



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**VARIABILIDAD DEL CAUDAL MEDIO ANUAL DURANTE EL PERIODO
HISTÓRICO 1600 – 2000 EN LA CUENCA DEL MAULE, CHILE. USO DE
INFORMACIÓN DE EXPERIMENTO 3.6 DEL CMIP5**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

CAROLINA ALEJANDRA HUICHAQUELÉN NEMARICH

PROFESORA GUÍA:
XIMENA VARGAS MESA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JAMES McPHEE TORRES
MIGUEL LAGOS ZUÑIGA

SANTIAGO DE CHILE
2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: Ingeniera Civil
POR: Carolina Huichaquelén Nemarich
FECHA: 10/03/2017
PROF. GUÍA: Ximena Vargas Mesa**

**VARIABILIDAD DEL CAUDAL MEDIO ANUAL DURANTE EL PERIODO
HISTÓRICO 1600 – 2000 EN LA CUENCA DEL MAULE, CHILE. USO DE
INFORMACIÓN DE EXPERIMENTO 3.6 DEL CMIP5.**

Desde la era preindustrial se han observado aumentos en la concentración de gases de efecto invernadero, factor asociado directamente al cambio climático experimentado en las últimas décadas. A consecuencia de lo anterior, el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) se ha preocupado de promover el desarrollo de los modelos de circulación general, los cuales entregan las forzantes necesarias para calibrar un modelo hidrológico en el periodo en que existe información observada y proyectar caudales tanto hacia el futuro como el pasado. El objetivo principal de este trabajo es reconstruir el caudal medio anual durante el periodo histórico 1600 – 2000 en la cuenca del Maule, usando información del experimento 3.6 del CMIP5. Para ello se escogió el modelo de circulación general GISS-E2-R que incluye el experimento antes mencionado y se verificó que éste tuviese la capacidad de replicar la climatología termo-pluviométrica de la zona de estudio durante el periodo de línea base, obteniendo las series de precipitación y temperatura para el intervalo de tiempo 1600 - 2000. Se utilizaron dos modelos WEAP (MPUC y MERIDANUS), calibrados y validados en estudios anteriores a escala mensual en la cuenca del estero Las Garzas, estimándose caudales medios anuales de la temporada 1600 – 2000 en la subcuenca río Achibueno en La Recova, considerada representativa de la cuenca del Maule.

Como resultado de este trabajo se determina la evolución de las forzantes meteorológicas (precipitación y temperatura) a nivel de cuenca en el período 1600 a 2000 y se genera la conexión con los caudales medios anuales obtenidos, determinando que estos se ven principalmente influenciados por las precipitaciones. Se estimó que el caudal máximo anual en río Achibueno en La Recova ocurrió el año 1760 con valores de 104,4 m³/s (MPUC) y 94,2 m³/s (MERIDANUS), siendo el mismo año en que se registra la precipitación máxima anual del periodo estudiado, igual a 4.228,2 mm. Por su parte, el caudal medio anual mínimo según estas simulaciones ocurrió en 1957, cuyas magnitudes son 9,4 m³/s (MPUC) y 8,3 m³/s (MERIDANUS), donde la precipitación para este año se encuentra dentro de las más bajas (280,2 mm). Del análisis cada 100 años se obtuvo que, el siglo XX presenta los valores más bajos de caudal medio anual, reflejado en su media y en los caudales medios anuales asociados a las probabilidades de excedencia de 95, 90 y 85%. El siglo con más periodos secos corresponde al XIX; sin embargo, es el que posee el mayor caudal medio de los 4 siglos analizados. Los caudales medios anuales máximos relacionados al 95 y 90% de probabilidad se habrían producido en el siglo XVII, mientras que el correspondiente al 85% varía de acuerdo al modelo utilizado, el modelo MPUC indica que éste pertenece al siglo XIX y el modelo MERIDANUS que corresponde al XVII. Asimismo se aprecia una concordancia con un estudio basado en anillos de árboles en el 2011, ya que ambas presentan una distribución similar de caudales, donde los valores altos del siglo XX se encuentran por sobre el resto del periodo y en el caso de los caudales más bajos ocurre lo opuesto. Finalmente, de 79 registros históricos asociados a sequías e inundaciones, con el modelo MPUC existen 45 coincidencias, mientras que MERIDANUS entrega mejores resultados al concordar con 53 hechos.

A mi familia, especialmente a mi madre, por su paciencia, dedicación y amor.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios, que me ha regalado buenos y malos momentos, por permitirme conocer a gente maravillosa, aunque varias de ellas ya no me acompañen. Igualmente le agradezco por concederme el privilegio que hayan sido parte de mi vida, valorando aún más la compañía de las personas que amo, así como también cada simple acontecimiento de mi vida.

A mi madre, una súper mujer, aquella que no sólo ha puesto reglas en mi vida, sino que también ha colocado, y muchas veces más, ese infinito amor. Porque me enseñó que para cumplir los sueños se debe trabajar duro, y en ese trayecto ha luchado conmigo hombro a hombro, siendo una contribución importantísima de esta memoria pues como siempre, ni el cansancio impidió que comentáramos tardes enteras sobre este trabajo. A mi padre, por su ejemplo de vida, esfuerzo y sacrificio, por entregarme su inmenso amor y comprensión desde que era pequeña. Por llevar adelante junto a su compañera (mi madre) esta hermosa familia que me enorgullece profundamente. A mi hermano, por su paciencia y amor incondicional, por haber superado con creces las expectativas del compañero de vida que tanto pedí.

A las otras matriarcas de mi familia, Palocita y Mamica, mis tías Amalia, Cecy, Lola y a mi querida nana Licha, por ser unas mujeres luchadoras y empoderadas de sus vidas, mi ejemplo a seguir. A mi padrino, quien siempre se las arregló para estar a mi lado, cada vez que lo necesité. A mi familia en general, las que estuvieron siempre presente, transmitiéndome su seguridad, cariño y confianza en mis capacidades, cuando yo no creía ser capaz de hacerlo.

A Jacqui, por su preocupación, su alegría, y poner su hombro en mis momentos más difíciles. Por darme la oportunidad de entrar en su vida y ser mi madre del tercer piso. A don Omar y don Mario, por el excelente clima laboral que logran en el MECESUP, por la empatía y comprensión, que me permitieron solucionar situaciones personales y académicas. A la profesora Ximena, por su disposición en compartir el gran conocimiento que posee y ser un ejemplo de ser humano y profesional a seguir.

A mis amigos: los de la vida, Belén, Marce, Ca, Caro, Cami, Fer y Jus, pues fueron un pilar fundamental cuando la exigencia y el ritmo de vida de esta facultad me derrumbaban. A mis geólogas favoritas, Clau, Lari, Arita, Fran y Coni, pues han sido de gran apoyo durante mi recorrido universitario. A Caleb y Robert, por ser los amiguitos más cobradores de sentimientos que existe en el mundo, razón por la que los adoro con la vida. A los candys por esas tardes-noches de distensión, justas y necesarias, en los periodos de estrés. A Francisco, por ser mi partner, logrando posesionarse como un gran referente para mí. A Mota y Nico, por nunca negarme su ayuda todas las veces que lo requerí, por su disposición, buena onda e integración. A la 339, la mejor ofi del tercer piso, la buena onda, los chaqueteos y el apañe en este tiempo. A los chicos MECESUP, por el gran compañerismo. Y en general a los civiles, especialmente a Toro, Leo, Fabo y Mei, a quienes aprecio muchísimo. A Balabe, con quienes desarrollé un área que me fascina. A los cuequeros por la simpatía y compartir sus conocimientos de nuestro baile tradicional. A las últimas personitas que aparecieron en mi vida, que me han regalado y entregado sus buenas vibras en esta recta final. A todos los funcionarios que conocí en la universidad y los académicos que me formaron, que de alguna forma u otra influyeron en la mujer que soy hoy, desde esa simple sonrisa que recibía al llegar acá. Finalmente agradezco a ERIDANUS, por facilitarme la información utilizada en esta memoria, por el apoyo y disposición en ayudarme.

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

Capítulo 1: Introducción

1.1 Motivación

Hace décadas el cambio climático en el mundo se ha vuelto un tema de interés, es por ello que diferentes instituciones se han preocupado de desarrollar modelos de circulación general (GCM) que pretenden simular las diferentes componentes del sistema climático en diversos periodos de tiempo. Dentro de estos modelos se incluyen las distintas variables que influyen en la modificación del clima, entre ellos los efectos antropogénicos visualizados en el aumento de los gases de efecto invernadero desde la era preindustrial (particularmente del CO₂) y/o variaciones naturales del sistema climático (IPCC, 2014).

El CMIP5 corresponde al Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados que, ya se encuentra en la fase 5, y el cual agrupa 51 modelos de circulación general que trabajan con diferentes experimentos, abarcando simulaciones a corto y largo plazo, así como de baja y alta resolución (Taylor et al., 2012). Entre los modelos que contiene el CMIP5, destaca por su ajuste en relación a los otros modelos que simulan los distintos factores del sistema climático en el pasado, el modelo GISS-E2-R (Chandler et al., 2013), desarrollado por el Instituto Goddard para Estudios Espaciales. Este modelo ha sido utilizado para realizar varios de los experimentos numéricos definidos en el CMIP5, entre ellos: simulaciones de paleoclima (Chandler et al., 2013), clima actual y proyecciones asociadas a diferentes escenarios de los RCP (Radiative Concentration Pathways), los cuales se refieren al valor de la forzante radiativa en el año 2100. Cabe destacar que, el experimento 3.6 es uno de los pocos que trabaja con el paleoclima, teniendo un amplio y detallado nivel de información (1.000 años).

Estudios realizados recientemente en la cuenca del río Maule han utilizado el crecimiento de los árboles para asociarlo a las forzantes de precipitación y temperatura, y con ello reconstruir los caudales medios anuales para el periodo 1590 - 2000, trabajando específicamente con los anillos de los árboles (Urrutia et al., 2011).

Por lo recién mencionado, resulta interesante estudiar la evolución del caudal medio anual de hace 400 años atrás, utilizando la metodología de escalamiento de modelos climáticos y modelación hidrológica, que en la actualidad sólo se han empleado para realizar proyecciones futuras en distintas cuencas de Chile. Específicamente en la cuenca del río Maule se utilizaron dos conceptualizaciones del modelo WEAP trabajadas a nivel mensual (Centro de Cambio Climático, 2013; Eridanus, 2014), cuyo fin es observar si los eventos extremos ocurridos en el pasado son mayores a los acontecidos hoy y asimismo compararlos con el estudio realizado por otros autores (Urrutia & Lanza, 1993), analizando la relación existente entre la alteración y el régimen natural.

1.2 Objetivos

1.2.1 Generales

Reconstruir la serie de caudales medios anuales durante el periodo histórico 1600 – 2000 en la cuenca del Maule, usando información del experimento 3.6 del CMIP5.

1.2.2 Específicos

- Analizar la variabilidad temporal de la precipitación y temperatura en la cuenca del Maule en período 1600 a 2000.
- Análisis temporal del caudal medio anual en cuenca representativa, río Achibueno en La Recova, de la región del Maule en período 1600 a 2000.
- Comparar de distintas conceptualizaciones (Centro de Cambio Climático, 2013; Eridanus, 2014) del modelo de la subcuenca estero Las Garzas.
- Comparar la reconstrucción obtenida mediante modelación hidrológica, con aquella realizada utilizando anillos de árboles (Urrutia et al., 2011).
- Estudiar en distintas ventanas temporales, la variabilidad hidrológica, determinando épocas de eventos de sequías e inundaciones, relacionándola con la influencia de forzantes atmosféricas.

1.3 Organización del documento

El presente informe se organiza de la siguiente manera:

En el Capítulo 2, se exhibe una revisión bibliográfica que engloba todos los temas relacionados con el trabajo de título. Considerando los modelos de circulación general, los criterios de selección del modelo utilizado (GISS-E2-R). Además se realiza un análisis del modelo hidrológico WEAP, agregando la conceptualización de los modelos calibrados por otros autores. Finalmente, se detalla la metodología realizada en el estudio de los anillos de los árboles y una revisión de los desastres naturales en el periodo 1600 – 2000, en la cuenca del río Maule.

En el Capítulo 3, se hace referencia al área de estudio, abarcando características generales de la cuenca, como ubicación, clima y uso de suelo. Por otra parte, se da a conocer la información hidrometeorológica disponible para realizar este trabajo y la justificación de las estaciones utilizadas en él.

En el Capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos en todos los modelos de circulación general trabajados y se selecciona uno, con la justificación correspondiente para tomar la decisión final.

En el Capítulo 5, relacionado a la reconstrucción de los caudales medios anuales, se muestra el procesamiento de las variables de entrada (forzantes meteorológicas), su verificación con respecto a valores observados en las estaciones y finalmente los resultados obtenidos con los modelos hidrológicos utilizados.

En el 0, se realiza una comparación de los resultados conseguidos por cada modelo hidrológico. En cada caso se analizan los periodos de años consecutivos en escasez y excedencia de caudal para la serie completa y por siglos, así como los valores máximos y mínimos. Por último, se contrasta el trabajo realizado por Urrutia et al. (2011) y se verifican las coincidencias existentes con la recopilación histórica efectuada por Urrutia & Lanza (1993).

Finalmente en el Capítulo 7, se presentan las conclusiones y comentarios relacionados a esta investigación.

Capítulo 2: Antecedentes Bibliográficos

El objetivo de este capítulo es mostrar los antecedentes respecto a los temas que se abordaron en el trabajo de título, tales como: modelos de circulación general, su proceso de selección para el análisis de las forzantes meteorológicas en la zona, el experimento que reproduce las forzantes pasadas, el escalamiento del modelo climático, el modelo hidrológico WEAP, la reconstrucción de caudales medios anuales mediante los anillos de los árboles y las catástrofes en Chile, específicamente los sucesos ocurridos en la zona de estudio para el periodo 1600 - 2000.

2.1 Modelos de circulación general

La comprensión del clima, en especial de sus mecanismos e interacciones, las variaciones que éste ha tenido desde la era preindustrial, así como las proyecciones a futuro se puede incrementar mediante el uso de modelos climáticos.

En la actualidad existen 20 grupos de modelación climática coordinados por el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, el cual ya se encuentra en la fase 5 (CMIP5). El propósito de este proyecto consiste en proporcionar estimaciones del clima pasado, presente y futuro para trabajar en conjunto y responder a las preguntas que surgen de los trabajos de evaluación del IPCC¹ (Taylor et al., 2012).

Los experimentos que trabaja el CMIP5 (Ver Figura 2-1), se enfocan en dos escalas de tiempo: a corto plazo, correspondientes a simulaciones entre 10 y 30 años, cuyas condiciones iniciales son observadas de acuerdo al estado del océano y el hielo marino, entre otros; y a largo plazo, donde los estudios se realizan para 100 años o más; en este caso las condiciones iniciales se basan en las simulaciones realizadas para el periodo histórico (1850 – 2005), los cuales se llevan a cabo con los modelos climáticos atmósfera – océano (MCGAO).

Debido a la cantidad de simulaciones que realizan los experimentos es que además de dividirse en escalas de tiempo, también lo hacen a nivel de detalle y resolución. Por ende, los experimentos se agrupan en un conjunto "núcleo o base", y luego uno o dos "niveles". Las experiencias del nivel 1 examinan aspectos específicos de las forzantes del modelo climático, respuestas y procesos, y los del nivel 2 detallan con mayor profundidad los aspectos anteriores. Con el fin de realizar una comparación entre modelos es importante que se lleven a cabo todos los niveles (Taylor et al., 2012).

Las variables de entrada que necesitan los modelos de circulación general corresponden a las concentraciones de ozono; concentraciones o emisiones de aerosoles naturales y de sus precursores; concentraciones o emisiones de los gases de efecto invernadero como por ejemplo: dióxido de carbono, metano, óxido de nitroso y clorofluorocarbonos; irradiancia solar; aerosoles volcánicos y uso de suelo. Estos datos son entregados por la Sociedad de Modelos de Evaluación Integrada (IAMC) a la Comunidad de Química Atmosférica y del Clima.

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

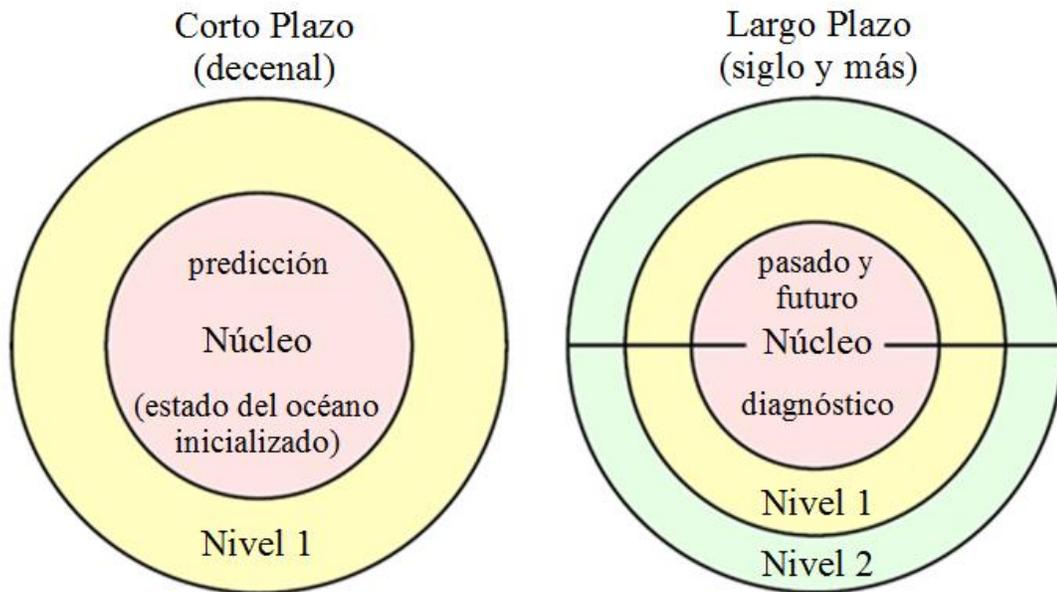


Figura 2-1. Esquema de las dos áreas de enfoque del CMIP5, cada uno dividido en los niveles de prioridad de los experimentos. Fuente: Taylor et al., 2012.

Dentro de los experimentos a largo plazo están aquellos que buscan el entendimiento del clima histórico y de los paleoclimas, resultando ser esenciales en la evaluación de los modelos. En algunos casos, las simulaciones consideran los modelos acoplados atmósfera – océano con el ciclo del carbono, en otros, no se considera el ciclo del carbono, sólo las concentraciones o emisiones de CO₂.

El experimento 3.6, en particular, se clasifica dentro de los experimentos a largo plazo que busca entender el paleoclima, posee 1000 años de modelación y para realizar sus simulaciones, necesita concentraciones o emisiones prescritas de gases bien mezclados (incluyendo el dióxido de carbono) y de componentes de corta duración. Por otra parte, supone que las concentraciones o emisiones de aerosoles naturales o sus precursores se mantienen constante, así como que el uso de suelo no ha cambiado en el periodo que se realizan estas simulaciones.

Se identifican 8 modelos presentados en la Tabla 2-1, datos que fueron recopilados del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore perteneciente a la Federación de Red del Sistema Terrestre (ESGF-LLNL), de los cuales se descarta inmediatamente el modelo FGOALS-gl, ya que posee información sólo hasta el año 1999, implicando que la línea base se reduzca, al no ser consistentes con el resto de los modelos.

Tabla 2-1. Especificaciones de los modelos de circulación general.

Modelo	Instituto	Resolución Horizontal
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici	2,0° x 2,0°
FGOALS-gl	Instituto de Física Atmosférica	5,0° x 4,5°
IPSL-CM5A-LR	Instituto Pierre Simon Laplace	3,75° x 1,875°
MIROC-ESM	Universidad de Tokio	1,4° x 0,5°
MPI-ESM-P	Instituto Max Plank	1,875° x 1,865°
MRI-CGCM3	Instituto de Investigación Meteorológica	2,8° x 2,8°
GISS-E2-R (past1000)	Instituto Goddard para Estudios Espaciales	2,5° x 2,0°
GISS-E2-R (picontrol)	Instituto Goddard para Estudios Espaciales	2,5° x 2,0°

Una vez reconocidos se efectuó un escalamiento espacial, escogiendo el método del punto más cercano, pues se considera que es el más representativo para las condiciones que ocurren en el lugar.

La elección del modelo, el cual se detallará más adelante, se basa en representar de mejor manera la correlación anual, estacionalidad, variabilidad, ensamble de GCM y tendencia de los datos observados. Para ello es necesario fijar un periodo de tiempo, llamado línea base, que corresponde al espacio en el que existe información meteorológica en las estaciones escogidas.

La correlación anual consiste en contrastar los valores anuales observados con respecto a cada modelo de circulación general. Para ello, se utilizan las curvas de duración de las series de tiempo de precipitación y temperatura.

La estacionalidad se propone analizarla (Eridanus, 2016), a través de dos índices: proporción de precipitación promedio mensual, respecto a la precipitación promedio anual (R_i) y el cociente entre la desviación de temperatura media mensual promedio, respecto a la temperatura media anual promedio, y la temperatura media anual promedio (D_i), descritos en las Ecuaciones (2.1) y (2.2) respectivamente. Posterior a eso, se obtienen los promedios mensuales para la serie histórica de cada variable, es decir 12 valores, tanto para los datos observados, como para los datos que entrega cada modelo sujeto a elección.

$$R_i = \frac{PP_i}{PP_{anual}} \quad (2.1)$$

Donde PP_i es la precipitación promedio mensual del mes i y PP_{anual} es la precipitación promedio anual observada.

$$D_i = \frac{(T_i - T_{anual})}{T_{anual}} \quad (2.2)$$

Donde T es la temperatura media mensual promedio y T_{anual} la temperatura media anual promedio.

Luego, se contrastan los valores obtenidos para cada modelo con respecto a los valores observados y se obtiene la correlación R^2 , el error cuadrático medio (ECM) y el coeficiente de determinación wR^2 (Ecuación 2.3), para ambos índices.

$$wR^2 = \begin{cases} |b| \cdot R^2 & \text{si } b \leq 1 \\ \frac{R^2}{|b|} & \text{si } b > 1 \end{cases} \quad (2.3)$$

La investigación realizada con los modelos de circulación general es principalmente estadística, es por eso que para estudiar qué modelo representa de mejor manera la variabilidad en la zona, se realiza una comparación de las curvas de duración a nivel mensual para ambas variables, precipitación y temperatura, en el periodo de línea base de cada modelo y de los datos observados. Lo anterior se elabora para todos los meses del año y por temporadas, entendiéndose por tal pluvial, abril – septiembre y de deshielo en los meses de octubre – marzo, teniendo en cuenta que la

subcuenca estero Las Garzas es pluvial. Nuevamente se efectúa un contraste entre cada modelo y los datos observados para obtener la correlación R^2 .

El análisis de ensamble tiene su fundamento en evitar el posible sesgo que pueda existir en los valores bajos y altos para la simulación pasada de las series de precipitación y temperatura. Éste radica en calcular la mediana de la precipitación anual (MP_i) y de la temperatura media anual (MT_i) por siglo y diferenciar cada mediana con el promedio de las medianas (por siglo) considerando todos los modelos en juego. Lo anterior se hace para ambas variables, precipitación (\overline{MP}_i) y temperatura (\overline{MT}_i). En la Ecuación 2.4 se considera que la variable V corresponde a la precipitación anual o temperatura media anual, según sea el caso.

$$\overline{(MV)}_i = \frac{\sum_j^N MV_i^j}{N} \quad (2.4)$$

Donde i es el siglo, j el modelo y N la cantidad de modelos que se están estudiando. Entonces, se obtiene un índice para cada siglo y cada variable.

$$EV_i = MV_i - \overline{MV}_i \quad (2.5)$$

El modelo que mejor representa la zona de estudio corresponde al que obtiene mejores resultados en la correlación y coeficiente de determinación, así como el que presente un menor valor del error cuadrático medio y EV_i . Por último, es fundamental, elegir un modelo cuyo sentido de la pendiente sea igual al de la tendencia de los valores observados (Salazar, 2017).

2.2 Modelo GISS-E2-R

El modelo GISS-E2-R es un modelo de circulación general desarrollado por el Instituto Goddard para Estudios Espaciales, su fin es estudiar las respuestas del clima a las forzantes antropogénicas y naturales a largo plazo, enmarcado en el Proyecto de Intercomparación Modelos Acoplados en fase 5 (CMIP5). Considerado como un Modelo del Sistema Terrestre (ESM), el modelo GISS representa los principales procesos dinámicos, físicos y bioquímicos del sistema climático. Independientemente de esto, puede ser utilizado en una multitud de configuraciones asociadas a las diferentes condiciones de borde y con una gama de complejidades en términos de procesos e interacciones (Schmidt et al., 2014).

El modelo E2 de GISS incluye todas las versiones desarrolladas anteriores, siendo en particular una mejora del modelo E, el cual no incluyó una química interactiva, aerosoles, el ciclo de carbono, vegetación dinámica y la dinámica de la capa de hielo.

Los objetivos principales del modelo GISS-E2-R corresponden a la inclusión de todos los procesos necesarios para el estudio y la interacción de la química y biogeoquímica del clima, mediante la adaptación e incorporación de los nuevos componentes y mejoras realizadas en los últimos años del GISS, además del aumento en la resolución vertical de la estratósfera para que el acoplamiento con la química estratosférica fuese posible. Por otro lado, la resolución gruesa de la atmósfera y océano han favorecido las simulaciones a largo plazo en una cantidad razonable de tiempo de cálculo.

El GISS-E2-R es una versión que utiliza el componente oceánico dinámico Russel, contando con una resolución horizontal de $2,5^\circ \times 2,0^\circ$ en longitud y latitud respectivamente. La resolución vertical estándar posee 40 capas y una parte superior del modelo a 0,1 hPa (Figura 2-2). La resolución horizontal del modelo oceánico es de $1,25^\circ \times 1,00^\circ$, con una resolución vertical de 32 capas.

La plataforma del modelo presenta forzantes de variabilidad orbital y solar (Wang et al., 2005b; Lean, 2009); intercambio de aerosoles volcánicos (Sato et al., 1993), gases de efecto invernadero bien mezclados (incluyendo los impactos sobre el vapor estratosférico del metano), del carbono negro, de aerosoles orgánicos (considerando el impacto del carbono negro en el hielo y el albedo del hielo), del ozono troposférico, nitrato, sulfato directo e indirecto; además de contener el agotamiento del ozono estratosférico.

El modelo GISS-E2-R ha sido utilizado en varios experimentos numéricos definidos en el CMIP5 como, por ejemplo: para conocer la química interactiva del ozono y del metano en simulaciones históricas y futuras (Shindell et al., 2013), ver la relación entre las emisiones de dióxido de carbono y el calentamiento global (Gillett et al., 2013), en la evaluación de la extensión del hielo marino (Turner et al., 2013), el estudio de las temperaturas superficiales en la época del Plioceno (Dowsett et al., 2013), la atribución del ozono en las emisiones antropogénicas de la era industrial (Shindell et al., 2013), investigar las causas de la variación en las simulaciones de carbono del suelo (Todd-Brown et al., 2013), entre otros.

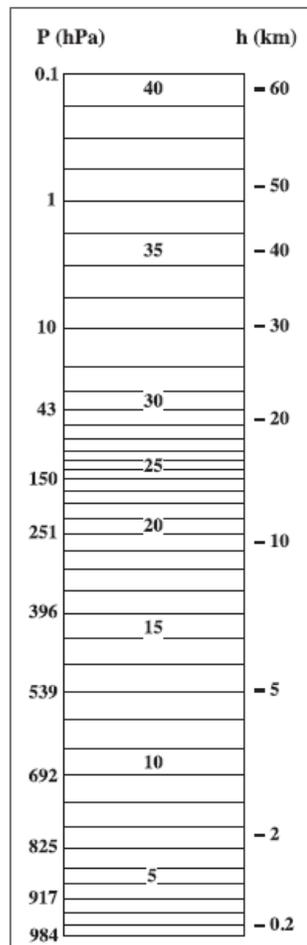


Figura 2-2. Capas verticales para la configuración del modelo atmosférico de 40 capas (para comodidad gráfica, la coordenada vertical mostrada aquí es lineal en la presión a 150 hPa, logarítmico arriba). Fuente: Schmidt et al., 2014.

2.3 Proceso de escalamiento

Como se mencionó en el punto anterior el modelo GISS-E2-R presenta una resolución de $2,5^\circ \times 2,0^\circ$, que es equivalente a 277 km x 222 km aproximadamente en el Ecuador, la cual es demasiado gruesa para dimensionar el impacto que tienen las forzantes meteorológicas en la zona de estudio. Es por ello, que nace la necesidad de utilizar técnicas para reducir la escala horizontal, entre ellas se encuentran los métodos estadísticos y dinámicos, siendo ambos los más utilizados (por ejemplo, Salameh et al., 2009, Lavaysse et al., 2012, Vrac et al., 2012, Flaounas et al., 2013). En la Figura 2-3 se muestra un esquema de la derivación de variables asociada a distintas escalas.

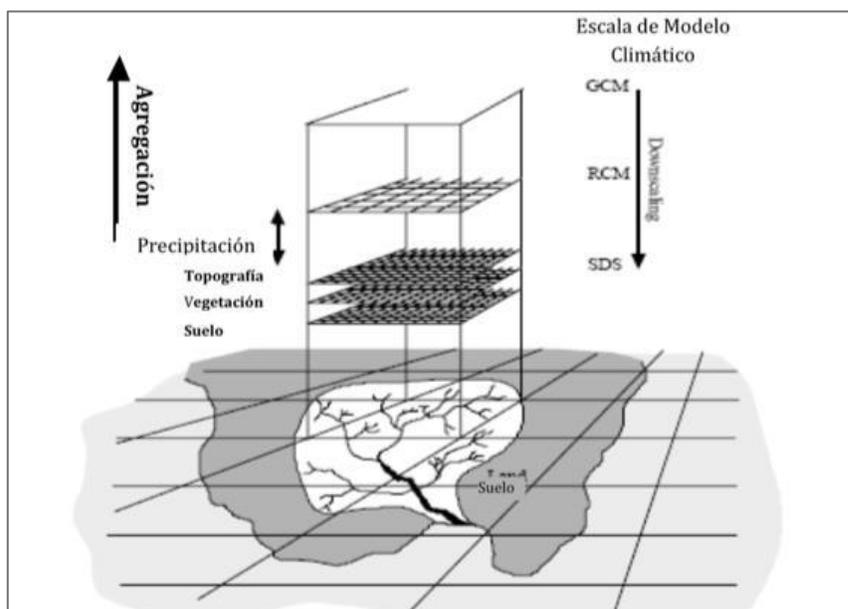


Figura 2-3. Esquema de escalamiento y la relación entre GCM y resoluciones menores.

Fuente: Wilby et al., 2013.

El escalamiento dinámico consiste en impulsar un modelo climático regional (RCM) por un GCM sobre un área de interés, ya que la disminución de espaciado de la malla generalmente mejora el realismo de los resultados (Flaounas et al., 2013). El modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies) es un ejemplo de este modelo regional, desarrollado por el Hadley Centre del Reino Unido, cuyo propósito es contar con un modelo climático de alta resolución, pero de área limitada. En Chile este modelo fue implementado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para obtener una mejor resolución de la grilla que cubre Chile continental (25×25 km y 19 niveles verticales de cientos de metros). Sin embargo, la principal restricción de los RCM es la exigencia computacional que éstas involucran.

Los modelos de regionalización estadística consisten en obtener datos climáticos de alta resolución de los Modelos de Circulación General mediante la derivación de relaciones estadísticas entre variables observadas a pequeña escala (a menudo nivel de equipo). Ésta puede ser utilizada siempre que los datos observados a pequeña escala se encuentren disponibles para realizar las relaciones con los modelos.

El escalamiento estadístico se divide en un escalamiento espacial y uno temporal; el propósito del primero es escalar los datos del GCM a la coordenada de la estación meteorológica a utilizar mientras que el *downscaling* temporal efectúa una corrección de sesgo, que busca ajustar los valores obtenidos del *downscaling* espacial a las observaciones realizadas en dicha estación.

2.3.1 Escalamiento espacial

El escalamiento espacial consiste en tomar un punto de interés, en este caso la estación meteorológica a utilizar, de la cual se tienen valores observados. Teniendo información en los nodos más cercanos de la grilla del GCM es posible interpolar la información mediante alguna formatales como: utilizando la información del punto más cercano, el método del inverso a la distancia y/o el método inverso a la distancia al cuadrado.

- a. Utilización del punto más cercano: este método supone que el nodo de la grilla que se encuentra más cerca del punto de interés es aquel que representa de mejor manera la información de la zona de estudio, sin incorporar una ponderación.
- b. Método del inverso a la distancia: como su nombre lo indica este método utiliza los 4 puntos con información para ponderar con respecto al inverso a la distancia que existe entre el punto de interés y cada nodo, según la ecuación (2.6).

$$X = \frac{\sum \frac{X_i}{d_i}}{\sum \frac{1}{d_i}} \quad (2.6)$$

Donde X es la variable meteorológica en el punto de interés, X_i la variable meteorológica en el punto i de la grilla del GCM y d_i la distancia entre el punto de interés y el nodo i de la grilla del GCM.

- c. Método del cuadrado inverso de la distancia: esta técnica es análoga a la presentada en el punto anterior, cuya única diferencia es que se calcula la distancia entre los puntos al cuadrado. Su ventaja es que reduce la influencia de los puntos lejanos y aumenta la importancia de los puntos más cercanos al punto de interés.

$$X = \frac{\sum \frac{X_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \quad (2.7)$$

Donde X es la variable meteorológica en el punto de interés, X_i la variable meteorológica en el punto i de la grilla del GCM y d_i la distancia entre el punto de interés y el nodo i de la grilla del GCM.

2.3.2 Escalamiento temporal

Posterior al escalamiento espacial del GCM en la estación meteorológica a utilizar, se realiza una calibración entre los valores entregados por el modelo y los datos observados, lo que se denomina escalamiento temporal. Este consiste en realizar una correlación entre las curvas de duración de los valores anuales simulados y los observados, para igual probabilidad, en el periodo de línea base, creando de esta forma una función de transferencia que se aplica a todo el periodo de estudio.

2.4 Modelo hidrológico WEAP

El modelo WEAP (Water Evaluation and Planning system) es una herramienta de planificación y distribución de agua mediante la modelación a diferentes escalas, lo cual logra al realizar un balance entre la oferta, originada mediante modelos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca, con la demanda de agua, representada por la distribución de variabilidad espacial y temporal considerando discrepancias en las prioridades de demanda y oferta. Este incluye un modelo hidrológico, así como módulos para relacionarlos a simuladores de agua subterránea (MODFLOW) y de calidad del agua (QUAL2K), además de considerar diferentes escenarios para evaluar la gama de esquemas de distribución del agua (Escobar M. & Vicuña S., 2009).

WEAP es un modelo ideal para realizar estudios de cambio climático, en primer lugar, porque es forzado por variables climáticas, y en segundo lugar porque las simulaciones consideran perspectivas humanas y ecosistémicas. En Chile se han usado para analizar el impacto del cambio climático en la agricultura y energía hidroeléctrica de la cuenca del Maule (Poblete et al., 2012; Eridanus, 2016), en el enfrentamiento a los desafíos asociados al cambio global en Chile (Centro de Cambio Global UC et al., 2013), realizar modelaciones hidro-glaciológicas en la cuenca alta del Maipo (Mc Phee et al., 2014), análisis de futuros regímenes fluviales en Chile Central (Henríquez L., 2015), así como de su planificación en el abastecimiento urbano del agua (Bonelli et al., 2014), para analizar el costo asociado a la escasez del agua en el norte de Chile (Wagnitz et al., 2014), entre otros.

El modelo hidrológico considera la homogeneidad de cada unidad de respuesta hidrológica (URH) o banda de elevación de la zona de estudio, con respecto a la precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y uso de suelo. Como por lo general no existe información meteorológica en cada URH o banda de elevación es necesario procesar las variables climáticas disponibles a través de gradientes o usar información satelital (Páez y Vargas, 2013; Morales y Vargas, 2014).

Por otra parte, para cada cobertura de suelo incluye dos estanques (Ver Figura 2-4), en donde se realizan los balances de masas respectivos, considerando la escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación. El balance realizado en cada estanque se muestra en las ecuaciones (2.8) y (2.9).

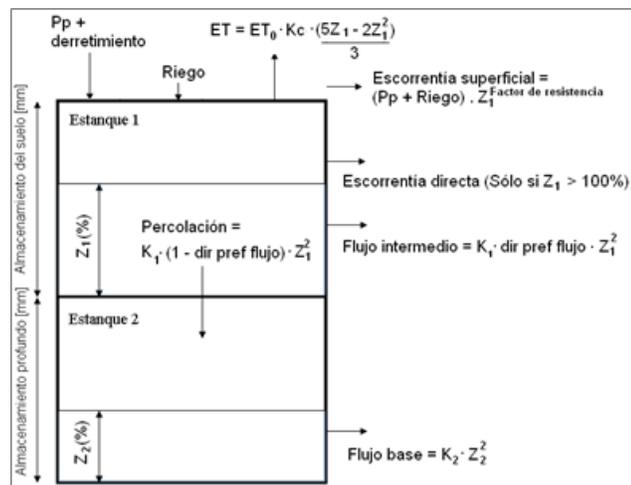


Figura 2-4. Esquema de estanques y elementos hidrológicos modelados por WEAP. Fuente: Escobar M. & Vicuña S., 2009.

a. Estanque Superior

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j}^{\frac{RRF_j}{2}} - f_j k_s z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_s z_{1,j}^2 \quad (2.8)$$

b. Estanque Inferior

$$Dw_j \frac{dz_{2,j}}{dt} = -k_d z_{1,j}^2 + (1 - f_j)k_s z_{2,j}^2 \quad (2.9)$$

Tabla 2-2. Descripción de simbología presentada en la Figura 2-4.

Abreviatura	Significado
Sw_j	Capacidad de almacenamiento en la zona de raíces
$z_{1,j}$	Nivel de humedad en la zona de raíces
P_e	Precipitación efectiva, incluye derretimiento de nieve y riego
PET	Evaporación potencial cultivo referencia (aproximación de Penman-Monteith)
$k_{c,j}$	Coefficiente de cultivo para las diferentes porciones de cobertura de suelo
RRF_j	Índice de resistencia a la escorrentía para cada cobertura de suelo
f_j	Dirección preferencial de flujo
k_s	Conductividad de zona de raíces
Dw_j	Capacidad de almacenamiento en la zona profunda
$z_{2,j}$	Nivel de humedad en la zona profunda
k_d	Conductividad de zona profunda

Los modelos WEAP utilizados en este trabajo fueron calibrados por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Centro de Cambio Global UC et al., 2013) y ERIDANUS (Eridanus, 2016). El modelo conceptual del primero, MPUC, incluye 7 subcuencas y 5 cuencas intermedias (Figura 2-5 y Figura 2-6); además cada banda de elevación corresponde a la altitud de su centro de gravedad, por otro lado, se asocia a diferentes tipos de suelos: áreas desprovistas de vegetación, bosques, cuerpos de agua, plantaciones forestales, praderas y matorrales, terrenos agrícolas y áreas urbanas. Mientras que el segundo, MERIDANUS, solamente contiene las subcuencas río Claro en San Carlos y estero Las Garzas (Figura 2-7), asociando cada banda a la combinación de tipos de suelo. Ambos plantean un esquema semidistribuido, cuyas entradas meteorológicas se asocian a las registradas en estaciones de la DGA.

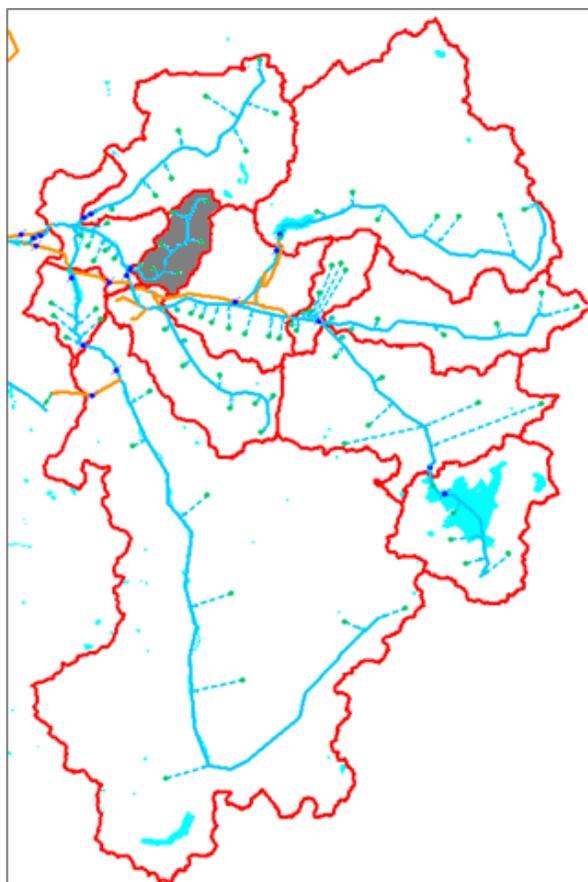


Figura 2-5. Conceptualización WEAP de las 7 subcuencas y 5 cuencas intermedias, propuesto por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013.

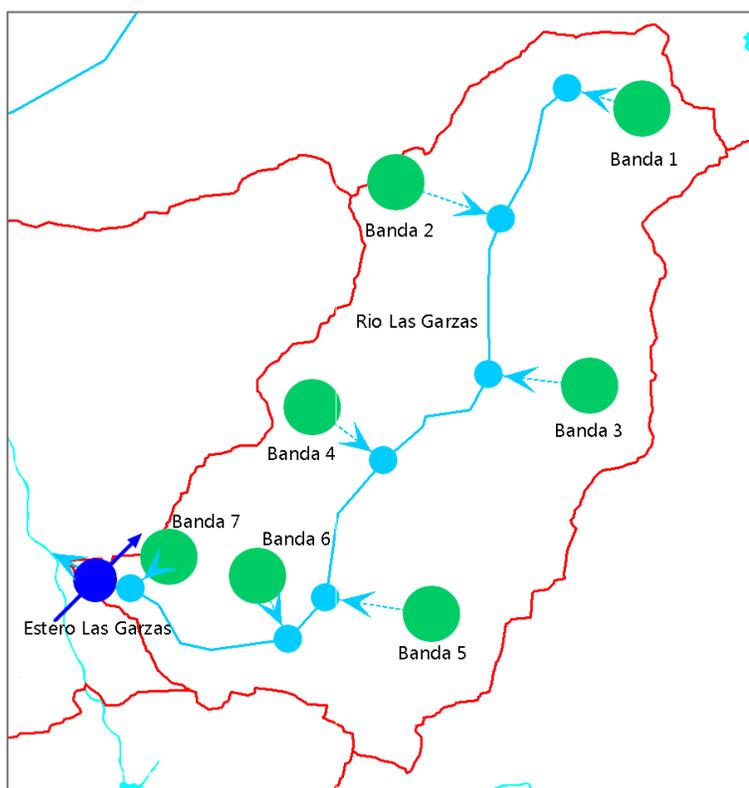


Figura 2-6. Conceptualización WEAP de la subcuenca estero Las Garzas modelo MPUC.

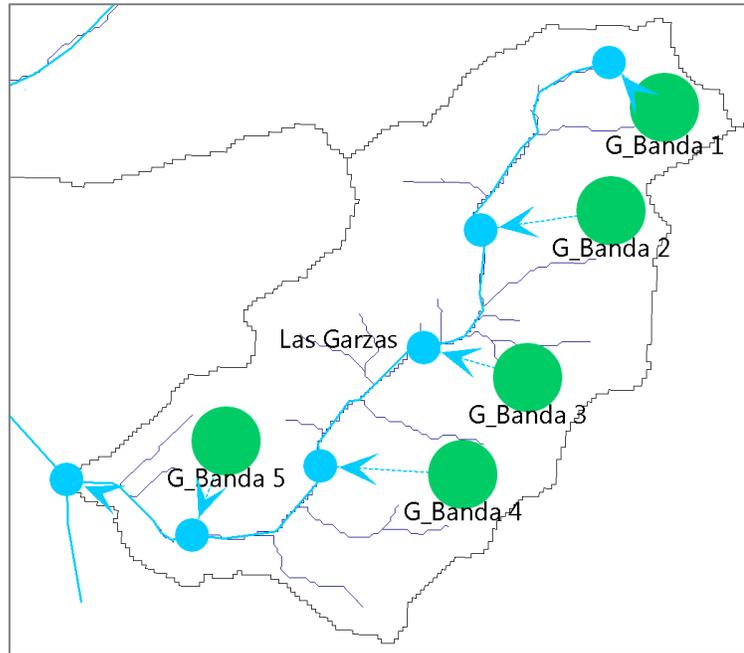


Figura 2-7. Conceptualización WEAP de la subcuenca estero Las Garzas, modelo MERIDANUS.

Además ambos modelos consideran la relación, entre las variables meteorológicas (precipitación y temperatura) y la altitud distribuida en el espacio, representado en las bandas de elevación que se observa en cada subcuenca. La altura media de cada banda y el área de éstas se presentan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Información bandas de elevación en subcuencas para ambos modelos.

Modelo	Elevación media bandas (m.s.n.m.)	Área bandas (km ²)
MPUC	(2750; 2350; 2050; 1750; 1450; 1150; 750)	(0,97; 5,96; 12,65; 13,77; 16,95; 21,66; 12,29)
MERIDANUS	(2503; 2099; 1754; 1335; 892)	(7,7; 7,7; 22,72; 22,72; 22,72)

Los parámetros calibrados en ambos modelos corresponden a la capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (Dw), conductividad de zona profunda (Kd), nivel inicial de humedad en la zona profunda (Z₂), punto de congelación, punto de fusión, límite inferior del albedo, límite superior del albedo, coeficiente de cultivo (Kc), capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces (Sw), factor de resistencia a la escorrentía (RRF), conductividad en la zona de raíces (Ks) y el nivel inicial de humedad en la zona de raíces (Z₁).

El Centro de Cambio Climático (PUC) consideró que los primeros 7 parámetros mencionados anteriormente son los mismos en toda la subcuenca, mientras que los otros se diferencian según el tipo de suelo (Tabla 2-4 y

Tabla 2-5). Por su parte, ERIDANUS, le adjudicó un valor a cada parámetro diferenciado por bandas (Tabla 2-6).

Tabla 2-4. Parámetros calibrados en WEAP para la subcuenca estero Las Garzas planteado por el Centro de Cambio Climático (PUC).

Parámetro	Estero Las Garzas
Capacidad agua profunda [mm]	2500
Conductividad profunda [mm/mes]	20000
Nivel humedad inicial profunda [%]	6
Punto de congelación [°C]	-8
Punto de fusión [°C]	14
Límite inferior del albedo	0,2
Límite superior del albedo	0,7

Tabla 2-5. Parámetros para todas las subcuencas calibrados en WEAP por tipo de suelo planteado por el Centro de Cambio Climático (PUC).

Parámetro	Área Desprovista de Vegetación	Bosque	Cuerpos de Agua	Plantaciones Forestales	Praderas y Matorrales	Terrenos Agrícolas	Áreas Urbanas
Coefficiente de cultivo	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Capacidad de agua del suelo [mm]	1687,5	8437,5	1350	8437,5	6300	3937,5	1687,5
Factor de resistencia a la escorrentía	1,2	3	0,075	3	1,5	3	3
Conductividad de la zona radicular	750	750	900	750	750	750	750
Nivel humedad inicial radicular [%]	15	20	100	25	25	20	10

Tabla 2-6. Parámetros calibrados en el modelo WEAP planteado por ERIDANUS. Cuenca estero Las Garzas.

Parámetro	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Capacidad agua profunda [mm]	500	500	500	1000	1000
Conductividad profunda [mm/mes]	122,5	122,5	122,5	122,5	122,5
Nivel humedad inicial profunda [%]	45,5	45,5	49	49	70
Punto de congelación [°C]	-3,5	-4	-4	-9	-9
Punto de fusión [°C]	7	7	6	1	1
Límite inferior del albedo	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Límite superior del albedo	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Coefficiente de cultivo	0,3	0,3	0,4	0,5	0,8
Capacidad de agua del suelo [mm]	350	350	350	850	850
Factor de resistencia a la escorrentía	5	5	5	5	7
Conductividad de la zona radicular	500	500	500	500	500
Nivel humedad inicial radicular [%]	5,6	5,6	6,4	6,4	8

2.5 Reconstrucción de caudales usando anillos de árboles

El método en los estudios analizados (Lara et al., 2008; Urrutia et al., 2011) corresponde en primer lugar, a realizar un catastro con las especies que están creciendo en la zona, así como de las secciones transversales de los árboles muertos y la madera sub-fósil. Ello permite que se agrupen en una cronología regional compuesta. Posteriormente, se lijan las secciones transversales de los árboles muertos y se miden sus anillos, realizando un cruce de información entre lo observado y los cálculos a través de programas computacionales. De acuerdo a la convención Schulman, a cada anillo del árbol se le asigna una fecha del año en el cual comenzó a crecer su radio. Consecutivamente se toman mediciones para el ancho de los anillos de cada muestra que fue estandarizada y promediada para producir una cronología estándar en cada sitio. La normalización involucra ajustar la serie de ancho del anillo observado con respecto a una curva teórica y computarizar un índice de valores medidos en relación al valor esperado. El objetivo de esta acción corresponde a eliminar la variabilidad en la serie de anillos de los árboles que no se relacionan con el clima.

Para validar la cronología estandarizada de los anillos de los árboles se utiliza el estadístico señal de la población expresada (EPS), estimado para cada cronología, si este valor se encuentra por encima de 0,85 se puede decir que la cronología es robusta e indica una estabilidad temporal, buena calidad y fuerte señal en común. (Urrutia et al., 2011).

Para formalizar la relación entre la información de los anillos de los árboles y el caudal aportado por la cuenca se trabaja con la variación porcentual respecto al promedio de una estación fluviométrica en particular o utilizando un set de ellos que mejor represente la cuenca en cuestión. Esta reconstrucción queda definida por la mejor correlación que existe con los componentes principales obtenidos del total de los provenientes de la cronología de los anillos de árboles estándar. Se utiliza un periodo para calibrar y posteriormente una validación.

La solidez del modelo se caracteriza por los índices R^2 y F de la ecuación ajustada (Woodhouse et al., 2006), y la capacidad del modelo para replicar las variaciones del caudal se evalúa a través de la reducción del error estándar (ER) y el error cuadrático medio (RMSE). Finalmente, para medir la varianza se realiza un análisis espectral de la coherencia.

Esta metodología se ha utilizado para reconstruir caudales de la cuenca alta del río Colorado (E.E.U.U.) (Woodhouse, C., 2001, Woodhouse et al., 2006); cuenca Sacramento en California (Kwak et al., 2016); río Amarillo, al oeste de China (Gou et al., 2007); río Heihe, en el noroeste de China (Yang et al., 2011); río Shiyang (Chen et al., 2016). En el Sur de América se han realizado pocas reconstrucciones, dos en Argentina (Holmes et al., 1979, Cobos & Boninsegna, 1983). En Chile se ha utilizado para observar la variabilidad del clima templado - mediterráneo de los últimos 400 años (Muñoz et al., 2016), en el río Puelo (Lara et al., 2008) y en la cuenca del río Maule (Urrutia et al., 2011).

En el estudio de Urrutia et al. (2011) se utilizaron tres estaciones para reconstruir el caudal en la cuenca del Maule (Ver Figura 2-8): río Perquilauquén en San Manuel (PSM), río Longaví en La Quiriquina (LLQ) y Perquilauquén en Quella (PEQ), considerando que la subcuenca río Achibueno en La Recova (ALR) es parte de una zona similar a la estudiada por Urrutia et al., 2011. (Ver Tabla 2-7).

Tabla 2-7. Estaciones fluviométricas consideradas en este estudio y en Urrutia et al., 2011. Fuente: DGA.

Código	Nombre	Año Inicio	Altura [msnm]	Coordenadas	
				Lat. S	Lon. W
07330001-0	Río Perquilauquén en San Manuel	1963	266	36° 22'	71° 37'
07350001-K	Río Longaví en La Quiriquina	1966	449	36° 13'	71° 27'
07335001-8	Río Perquilauquén en Quella	1966	120	36° 03'	72° 05'
07354002-K	Río Achibueno en La Recova	1986	562	36° 00'	71° 26'

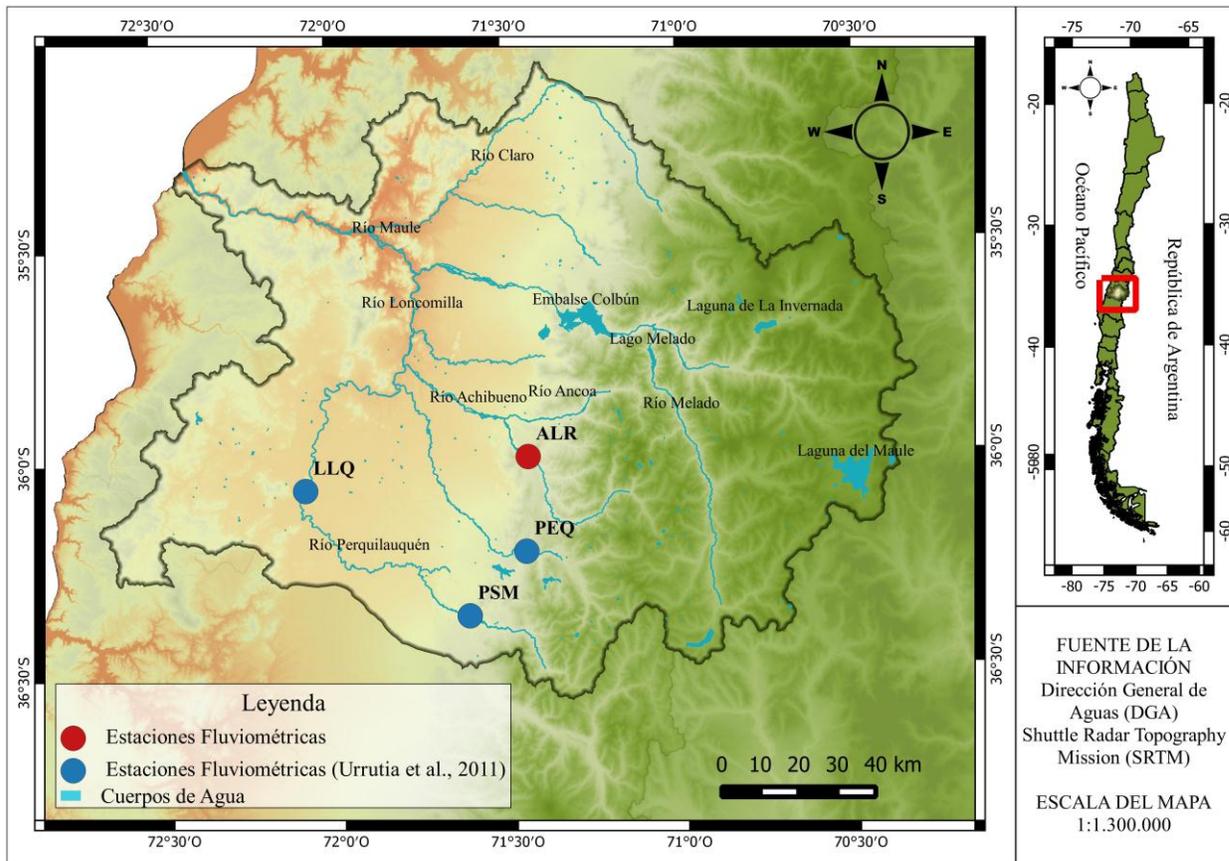


Figura 2-8. Estaciones fluviométricas en este estudio y las utilizadas en Urrutia et al., 2011.

En la Figura 2-9, Figura 2-10 y Tabla 2-8 se muestran los resultados obtenidos por el estudio de Urrutia et al., 2011.

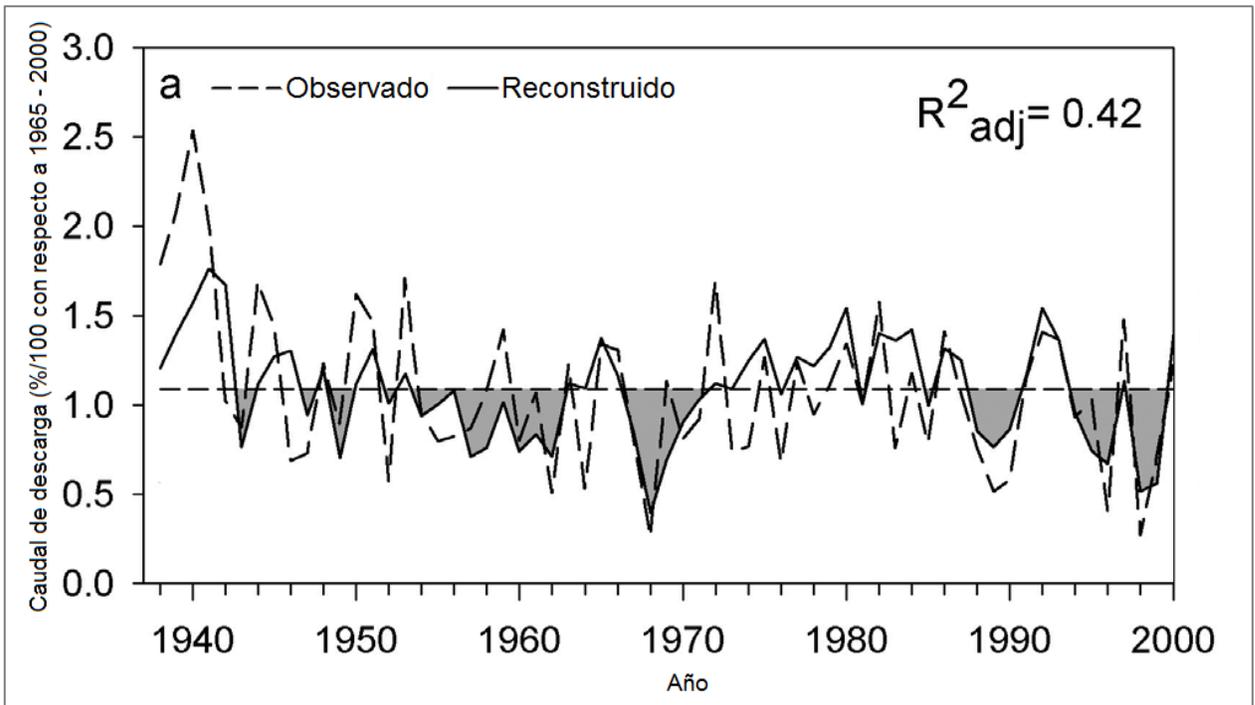


Figura 2-9. Caudal medio anual observado y reconstruido en la cuenca del Maule expresado en %/100 del promedio. Periodo 1938 – 2000. Fuente: Urrutia et al., 2011.

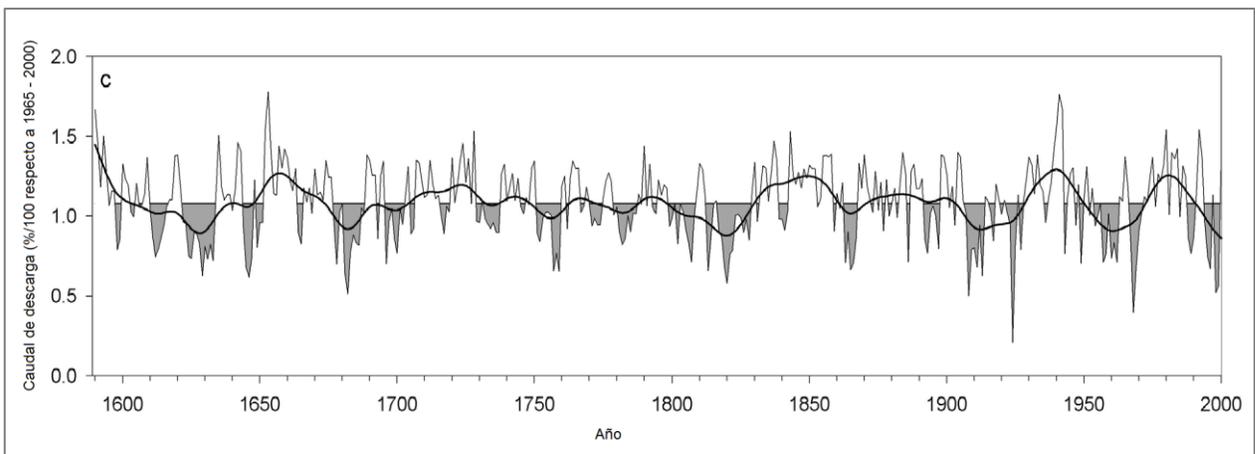


Figura 2-10. Reconstrucción del caudal medio anual en la cuenca del Maule expresado en %/100 del promedio. Periodo 1590 - 2000. Fuente: Urrutia et al., 2011.

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 período 1965 – 2000, para la cuenca del Maule desde 1590. Fuente: Urrutia et al., 2011.

Caudales Medios Anuales Altos		Caudales Medios Anuales Bajos	
Años	Porcentaje respecto a media [%]	Años	Porcentaje respecto a media [%]
1653	1,779	1924	0,209
1941	1,761	1968	0,396
1942	1,674	1908	0,503
1590	1,667	1682	0,513
1940	1,573	1998	0,518
1938 – 1942	1,523	1818 – 1822	0,735
1590 – 1594	1,418	1908 – 1912	0,745
1652 – 1656	1,405	1628 – 1632	0,765
1980 – 1984	1,347	1682 – 1686	0,765
1656 – 1660	1,332	1966 – 1970	0,798
1650 – 1659	1,310	1625 – 1634	0,822
1975 – 1984	1,298	1815 – 1824	0,878
1935 – 1944	1,271	1905 – 1914	0,896
1720 – 1729	1,261	1960 – 1969	0,896
1850 - 1859	1,251	1680 - 1689	0,900

2.6 Catástrofes en Chile y en la zona de estudio en particular para el periodo 1600 – 2000.

Según lo relatado por Urrutia y Lanza (1993), se identifican los periodos con inundaciones y sequías registrados históricamente en la zona de estudio. En la Tabla 2-9 se aprecian los años en los que ocurrieron estos eventos.

Tabla 2-9. Recopilación histórica de años con inundaciones y sequías en la zona de estudio. Periodo 1600 - 2000.

Años con Inundaciones			Años con Sequías
1607	1919	1965	1618
1609	1921	1969	1619
1679	1929	1970	1726
1730	1930	1971	1729
1748	1932	1972	1740
1826	1934	1974	1742
1827	1936	1975	1757
1828	1940	1976	1772
1836	1941	1977	1781
1855	1944	1978	1799
1856	1945	1979	1817
1877	1948	1980	1871
1878	1949	1981	1872
1888	1951	1982	1892
1891	1952	1984	1911
1895	1953	1986	1912
1899	1957	1987	1924
1900	1958	1990	1967
1912	1961	1992	1968
1915	1962		1991

Capítulo 3: Zona de Estudio

La investigación se orienta a determinar los caudales en la zona media de la cuenca del río Maule, específicamente se trabaja con la subcuenca definida por la estación fluviométrica río Achibueno en La Recova que se ubica en el río Achibueno, aguas arriba de la junta con el río Ancoa. Una de las razones de la elección de esta subcuenca reside en comparar los resultados obtenidos en la modelación hidrológica acoplada al modelo de circulación general GISS-E2-R, con la reconstrucción de los caudales medios anuales a través de los anillos de los árboles realizado en aquella zona (Urrutia et al., 2011).

Por otro lado, esta región es un área de alto interés, ya que se concentra tanto la población humana como la producción agrícola (Gasith & Resh, 1999; Instituto Nacional de Estadísticas, 2014). Además, representa la principal área de bosques templados de América del Sur y ha sido reconocido como uno de los ecosistemas más amenazados del mundo (Olson & Dinerstein, 2002).

Para llevar a cabo la reconstrucción de caudales mediante los modelos WEAP previamente descritos, es necesario trabajar con escorrentía en régimen natural. Es por ello, que se utiliza la subcuenca estero Las Garzas (ELG, 35° 45' S – 71° 00' W), la cual pertenece al sistema del Maule Alto, zona poco intervenida. Cabe precisar que, se debió integrar la información registrada en la estación Canal Las Garzas al estero del mismo nombre, para posteriormente realizar una correlación entre la subcuenca río Achibueno en La Recova con estero Las Garzas.

3.1 Cuenca del río Maule

La cuenca del río Maule (Ver Figura 3-1) se ubica en la región del Maule, cubriendo un área de 21060 km² y presentando una altura promedio de 880 m.s.n.m. Su río principal nace en la Precordillera Andina y se dirige a su desembocadura en el Océano Pacífico, recorriendo 271 km aproximadamente en sentido norte-noroeste.

Los afluentes principales de esta cuenca son el río Claro, por su ribera derecha, y el río Loncomilla, por la ribera izquierda. Siendo el río Achibueno, el afluente principal de este último, el cual cruza el territorio por el oeste del cordón Melado, desde la Precordillera Andina hasta la desembocadura del río Loncomilla.

El clima de esta área es del tipo mediterráneo, sin embargo debido a su condición geomorfológica general se observa la presencia de ombroclimas que varían de húmedo a subhúmedo en función de la precipitación. Adicional a esto, la variación de la temperatura en la Cordillera Andina genera la existencia de dos tipos bioclimáticos en la zona (MOP-DGA, 2004).

- Mediterráneo pluviestacional – oceánico: interviniendo los sectores costeros, la Cordillera de la Costa, el Valle Central y los suelos inferiores de la Cordillera de los Andes, bajo los 2000 m.s.n.m.
- Mediterráneo pluviestacional – continental: se aprecia en las zonas andinas altas (sobre los 2000 m.s.n.m.), ya que el régimen ombrotérmico se debe al efecto que ejerce la altitud sobre la continentalidad.

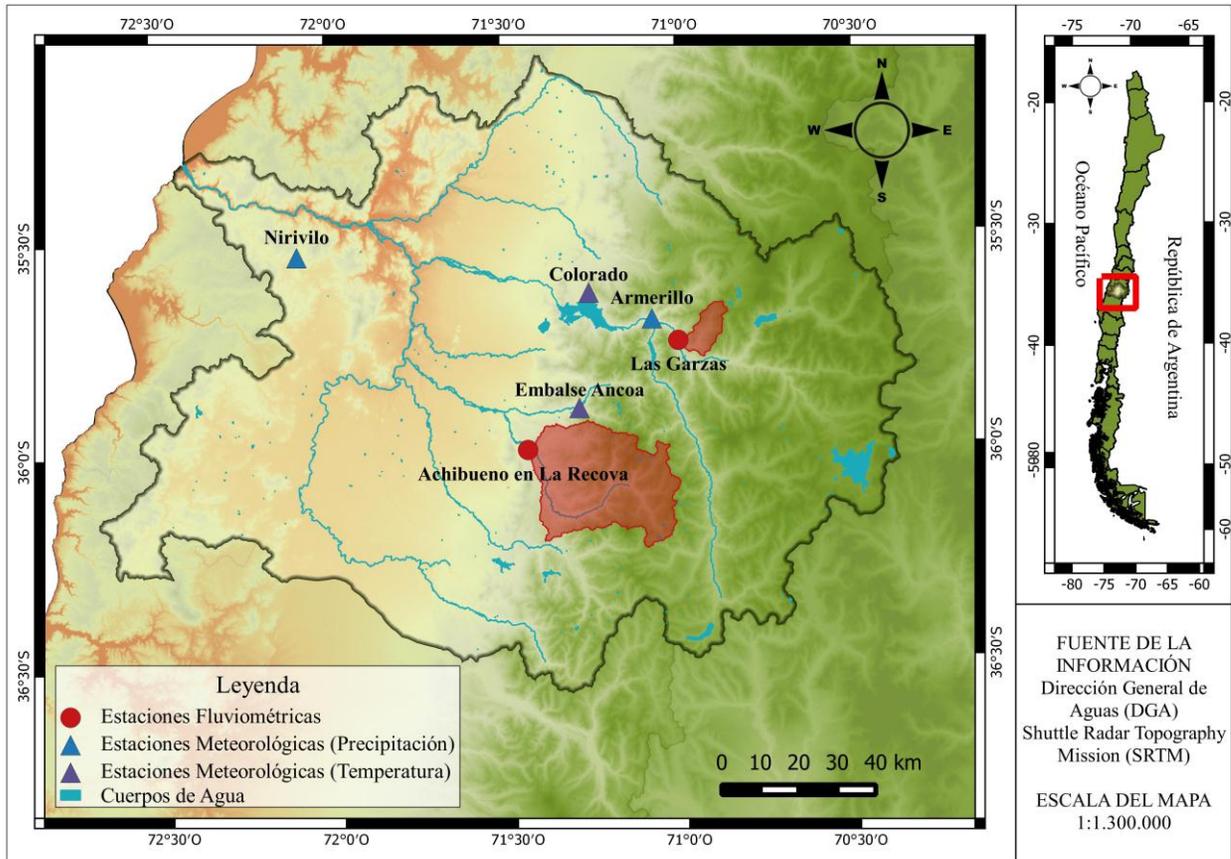


Figura 3-1. Estaciones meteorológicas y fluviométricas de cuenca río Maule.

De acuerdo a la información obtenida en la zona alta del Maule para el periodo 1976 - 2005, la precipitación media anual en la estación Armerillo es de 2.385 mm, con una mínima de 769 mm y máxima de 3.934 mm. Las precipitaciones predominan en los meses de invierno (mayo, junio y julio) como se aprecia en la Figura 3-2. La temperatura media anual en la estación Colorado es de 13,6°C, con una mínima de 12,7°C y máxima de 14,5°C. Se aprecia que hay un aumento de temperatura en los meses de verano (diciembre, enero y febrero), de acuerdo a la Figura 3-3.

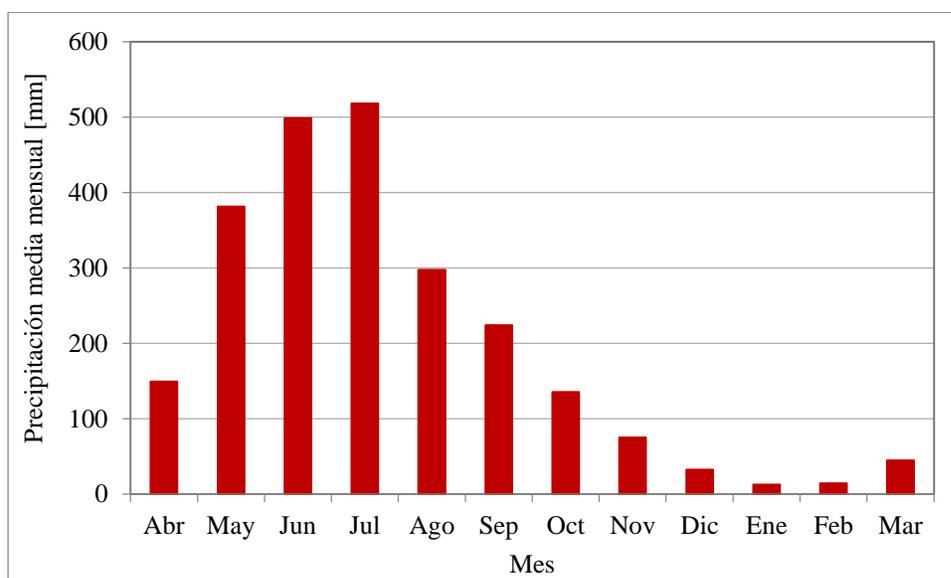


Figura 3-2. Precipitaciones medias mensuales registradas en estación Armerillo. Periodo 1976-2005.

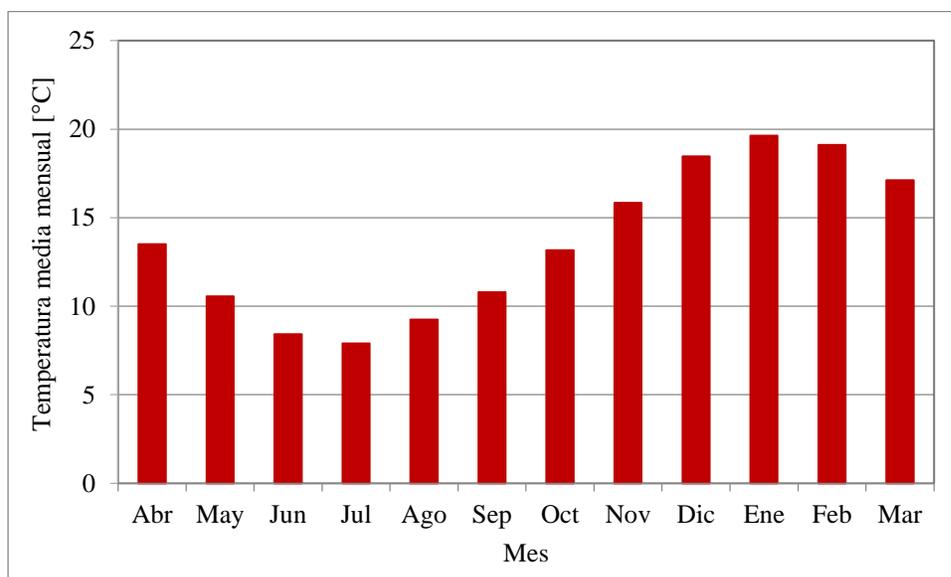


Figura 3-3. Temperaturas medias mensuales registradas en estación Colorado. Periodo 1976-2005.

Esta cuenca, además, posee una agricultura típica de clima templado, es decir, se caracteriza por veranos calurosos, inviernos secos, crudos y húmedos. El tipo de suelo presente es principalmente tierras agrícolas y pastizales (35,7%), seguido de los arbustos (18%), bosques nativos (14,2%), plantaciones (11%) y tierra (9%) (CONAF, 1999). Los cultivos que dominan en la zona son los cultivos anuales, permanentes y las praderas artificiales (MOP-DGA, 2004).

3.2 Información hidrometeorológica disponible

La información utilizada en este trabajo se obtiene a partir de la base de datos proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA), presentándose en él la vigencia y la ubicación espacial de las estaciones utilizadas, además de las razones por la cual se escogieron para este estudio.

3.2.1 Información meteorológica

De acuerdo al estudio realizado por Eridanus (2016), existen 3 estaciones cercanas a la subcuenca estero Las Garzas que cuentan con registros de más de 30 años. En el caso de las estación pluviométrica que mejor responde al efecto orográfico del territorio y aquella que posee una mayor altura es la estación Armerillo, sin considerar la estación Melado en La Lancha, puesto que en la base de datos de la DGA no se encontró información desde el año 2003, como se observa en la Tabla 3-1. Con respecto a la temperatura, la estación Colorado es la que muestra información más completa y se ubica más cerca de la subcuenca en estudio, mencionada anteriormente.

La estación Armerillo cuenta con datos para el periodo 1960 – 2016, mientras que la estación Colorado presenta información completa desde el año 1970, sin embargo se sospecha de valores erróneos hasta el año 1975, dentro los cuales se destacan temperaturas negativas en los meses de agosto – septiembre y valores muy bajos con respecto al promedio en la temporada estival. Debido a que, los modelos GCM contienen información hasta el año 2005, se considera el periodo 1976 – 2005 para ambos casos.

Tabla 3-1: Estaciones meteorológicas con más de 30 años de información. Fuente: DGA.

Código	Nombre	Año Inicio	Altura [msnm]	Coordenadas	
				Lat. S	Lon. W
07320002-4	Armerillo	1916	492	35° 42'	71° 04'
07378003-9	Colorado	1963	420	35° 38'	71° 15'
07317001-K	Melado en La Lancha	1916	650	35° 51'	71° 04'

3.2.2 Información fluviométrica

La elección de la estación fluviométrica en régimen natural se basa en la investigación realizada por Morales (2016), donde se indica que existe una adecuada correlación entre Achibueno en La Recova y Las Garzas. Las estaciones fluviométricas empleadas se especifican en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Estaciones fluviométricas de la zona de estudio.

Código	Nombre	Año Inicio	Altura [msnm]	Coordenadas	
				Lat. S	Lon. W
07308001-0	Estero Las Garzas	2002	600	35° 45'	71° 00'
07354002-K	Río Achibueno en La Recova	1986	562	36° 00'	71° 26'

Capítulo 4: Selección del Modelo de Circulación General

En este capítulo se muestran los resultados de los criterios considerados para elegir el modelo de circulación general. Evaluando la correlación anual, la representación de la estacionalidad y la

variabilidad en el periodo de línea base, la diferencia entre la mediana y la mediana promedio de los modelos que se tiene en intervalos de cien años y comparando la tendencia entre los valores simulados y observados. Las series anuales se trabajaron considerando año hidrológico (abril – marzo).

4.1 Correlación Anual

El primer análisis que se lleva a cabo, trata de la correlación anual que existe entre las variables simuladas por los modelos de circulación general y aquellas observadas en las estaciones Armerillo y Colorado. En la Figura 4-1 y Figura 4-2 se exhiben las relaciones mencionadas anteriormente con su respectivo coeficiente de correlación R^2 .

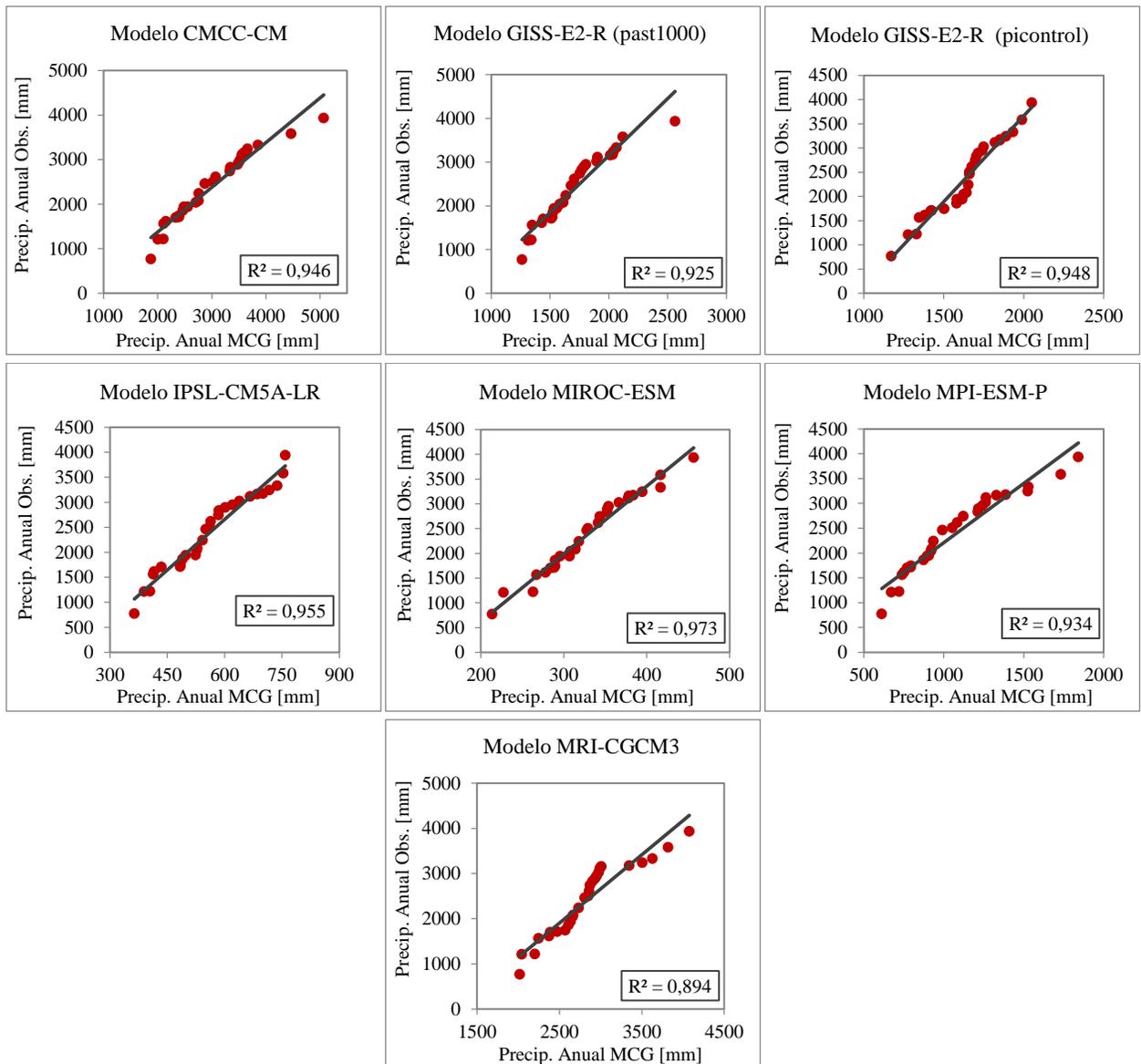


Figura 4-1. Relación entre precipitación anual modelada y observada en Armerillo. Periodo 1976 – 2004.

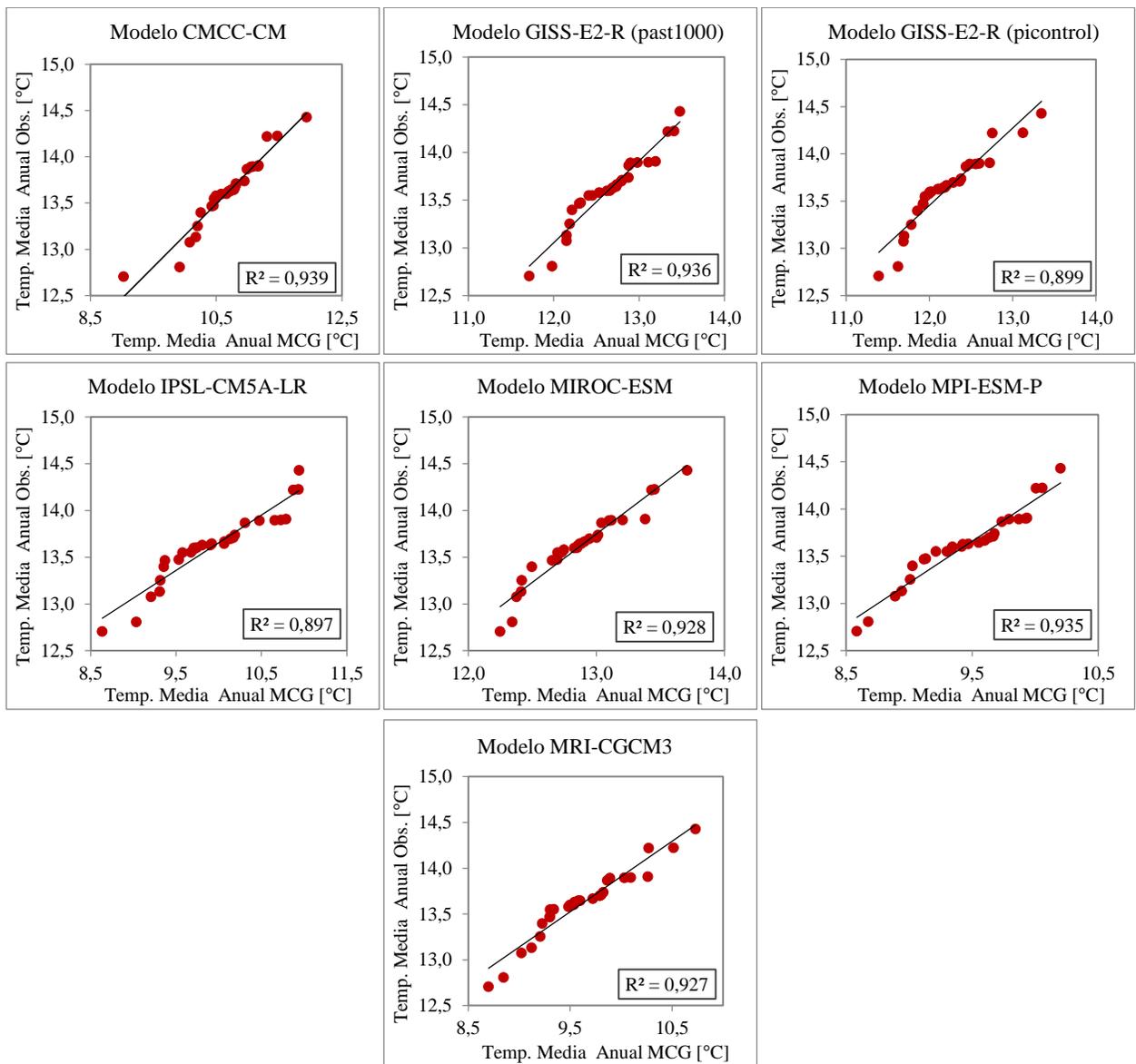


Figura 4-2. Relación entre temperatura media anual modelada y observada en Armerillo. Periodo 1976 – 2004.

4.2 Análisis de estacionalidad

En la Figura 4-3 y Figura 4-4 se presentan las correlaciones de los índices R_i y D_i observados respecto a los simulados por cada modelo, mencionados en el Capítulo 2.

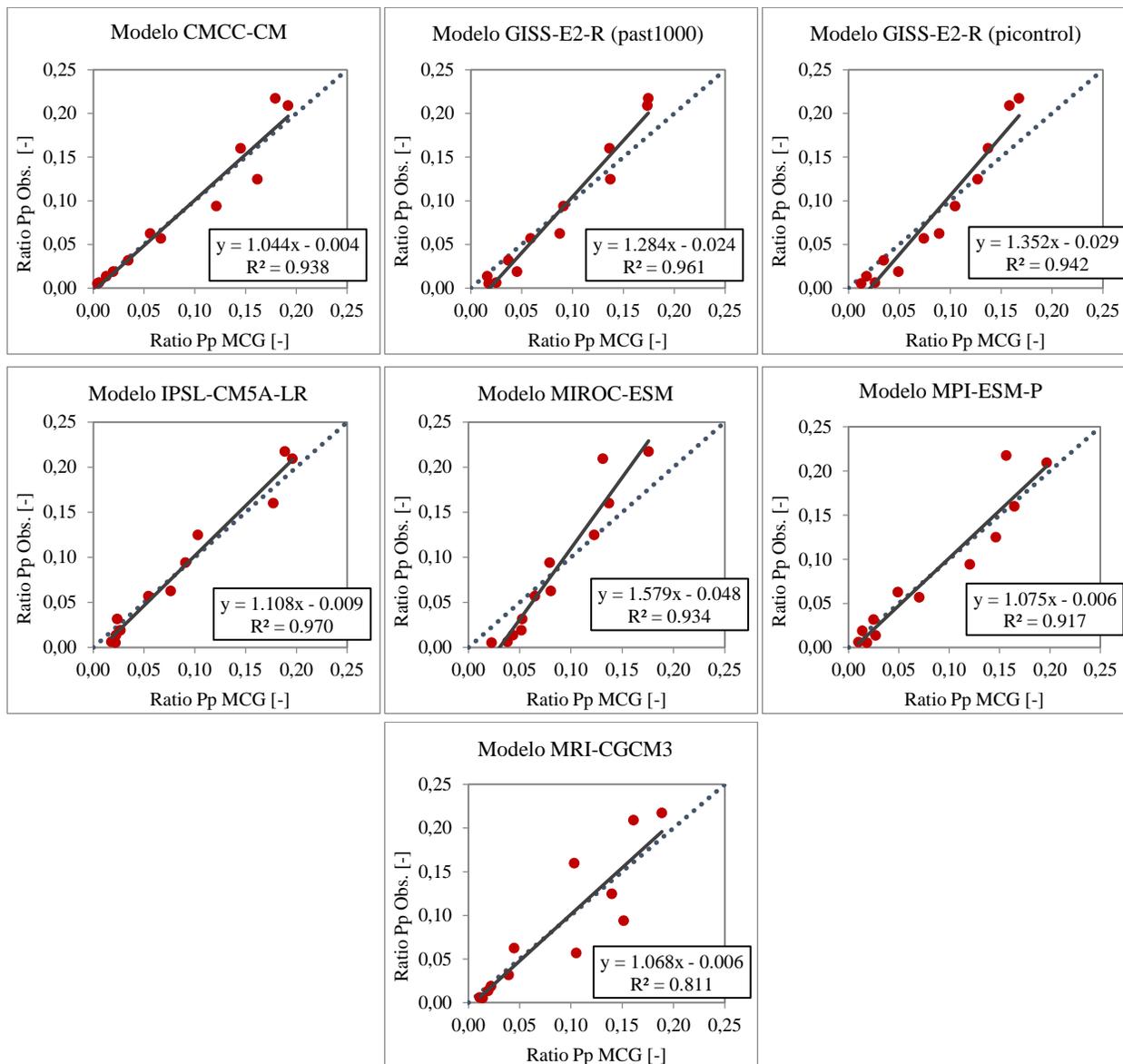


Figura 4-3. Proporción de precipitación mensual promedio respecto a la precipitación anual. Periodo 1976 - 2004.

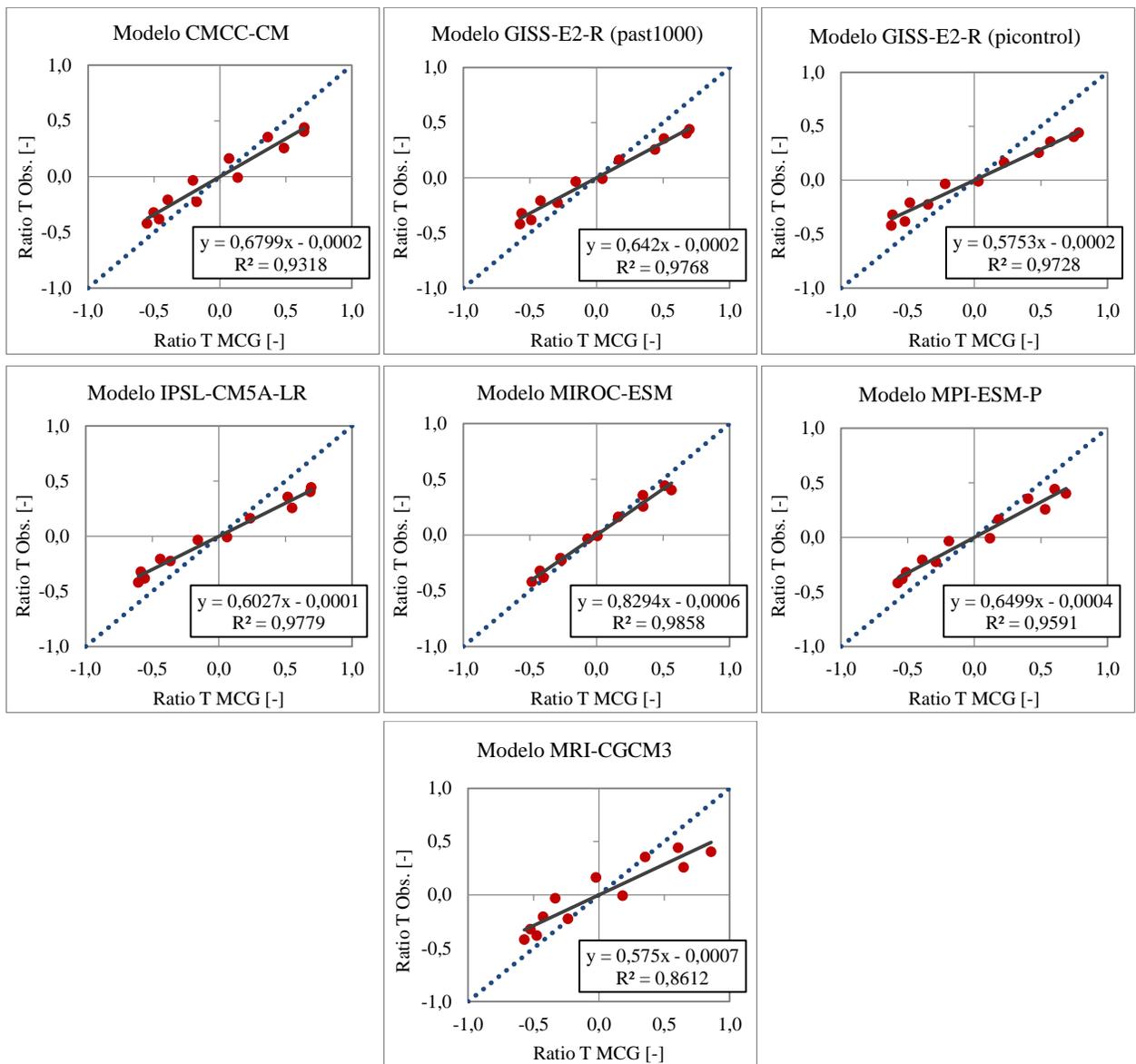


Figura 4-4. Proporción de la desviación de temperatura media mensual promedio respecto a la temperatura media anual. Periodo 1976 - 2004.

4.3 Análisis de variabilidad

El análisis de variabilidad se efectúa para todos los meses del año (Ver Figura 4-5 y Figura 4-8) y por temporadas: abril – septiembre (Ver Figura 4-6 y Figura 4-9) y octubre – marzo (Ver Figura 4-7 y Figura 4-10), las cuales presentan su respectivo índice de correlación R^2 .

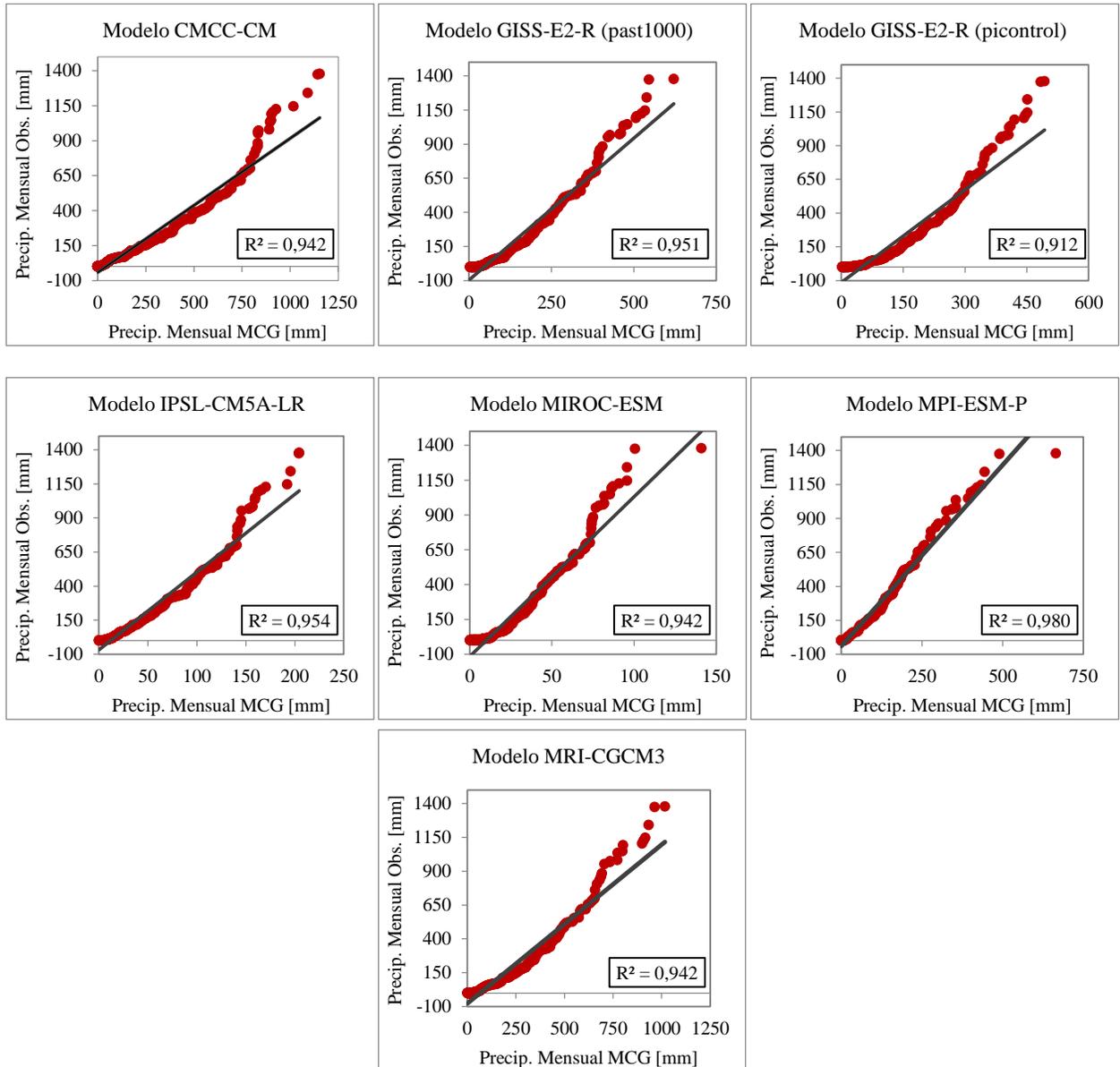


Figura 4-5. Correlación de las curvas de duración de las precipitaciones mensuales. Periodo 1976 - 2004.

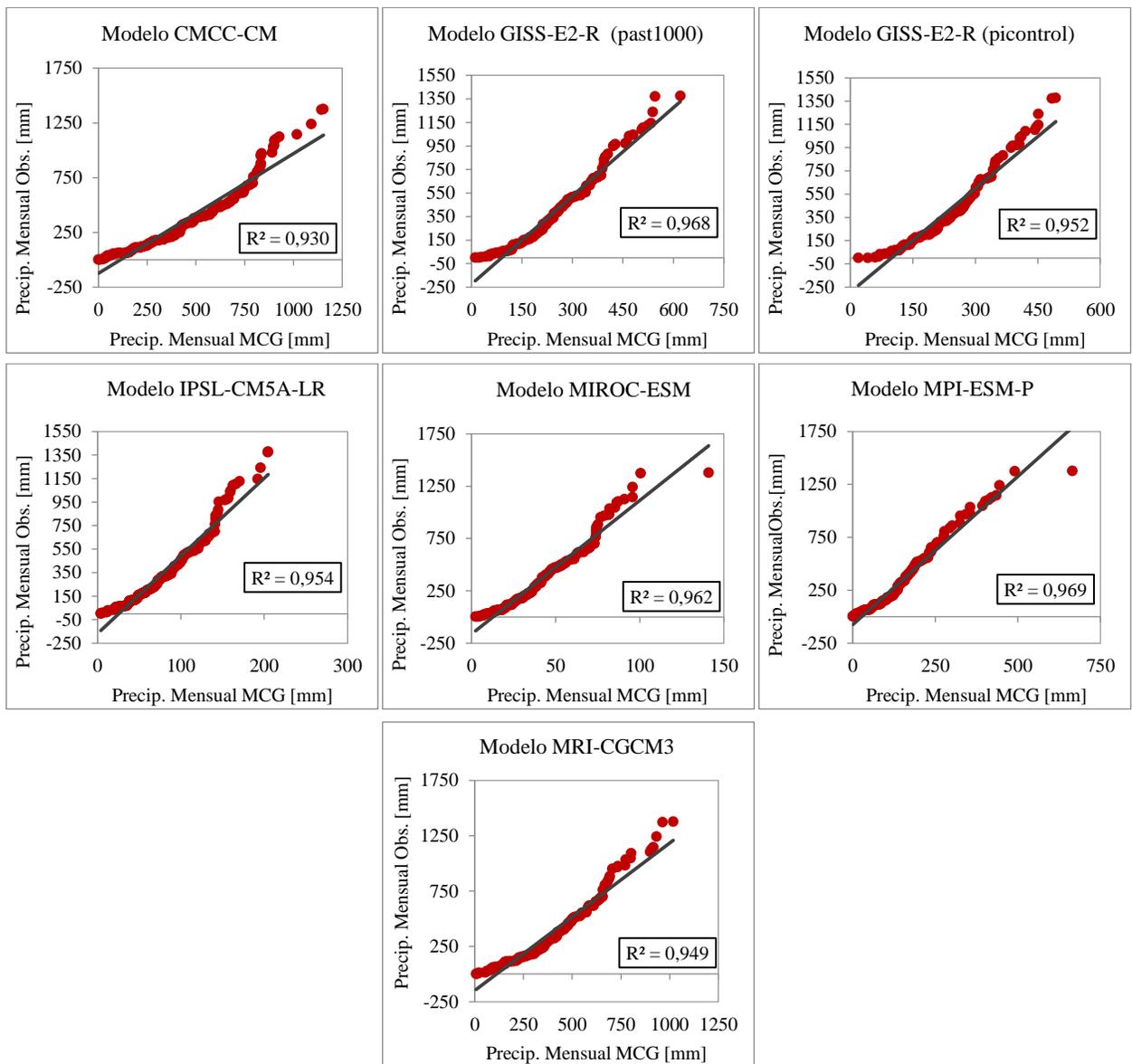


Figura 4-6. Correlación de las curvas de duración de las precipitaciones mensuales. Temporada abril - septiembre. Periodo 1976 – 2004.

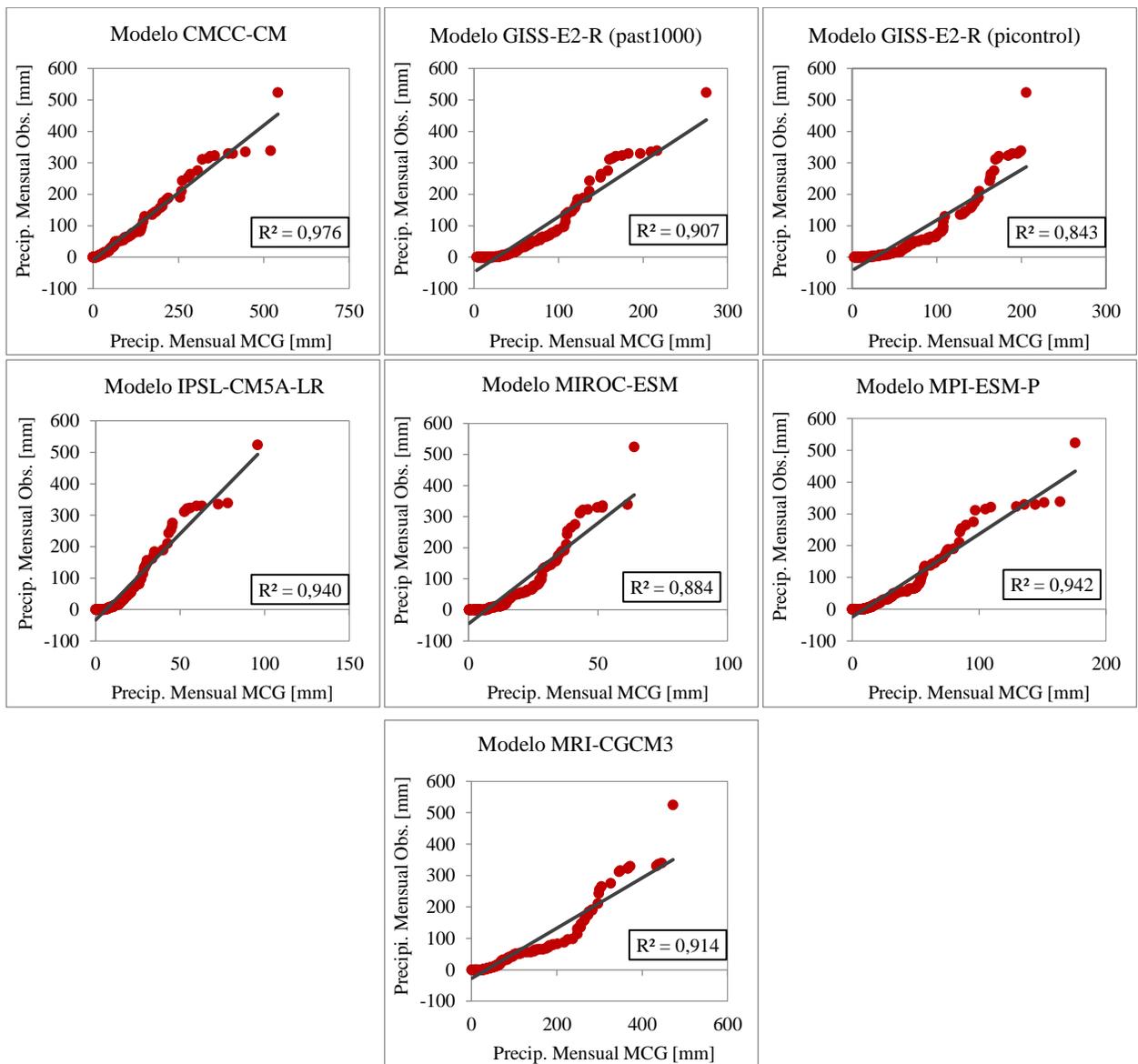


Figura 4-7. Correlación de las curvas de duración de las precipitaciones mensuales. Temporada octubre - marzo. Periodo 1976 – 2004.

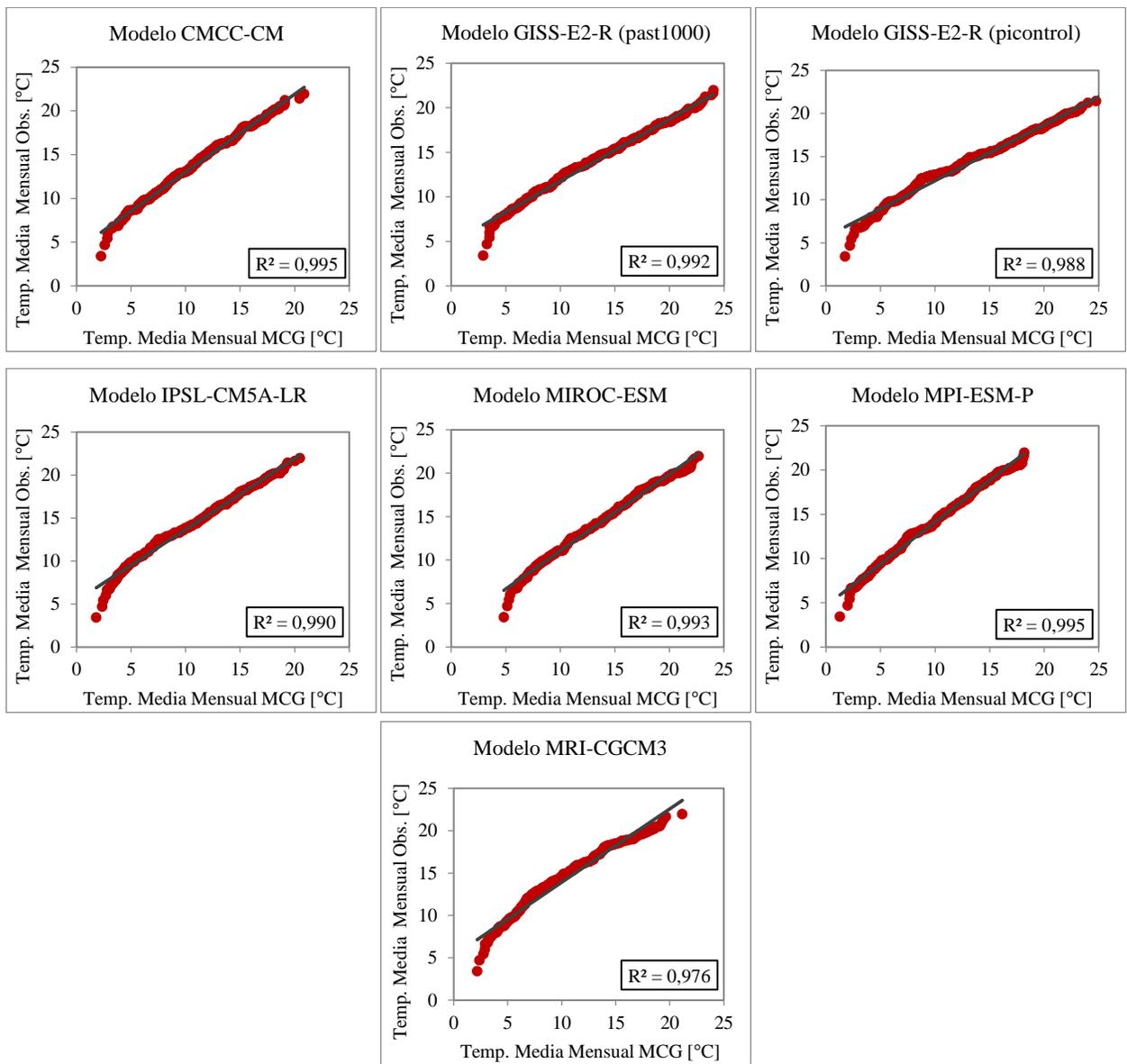


Figura 4-8. Correlación de las curvas de duración de las temperaturas medias mensuales. Periodo 1976 -2004.

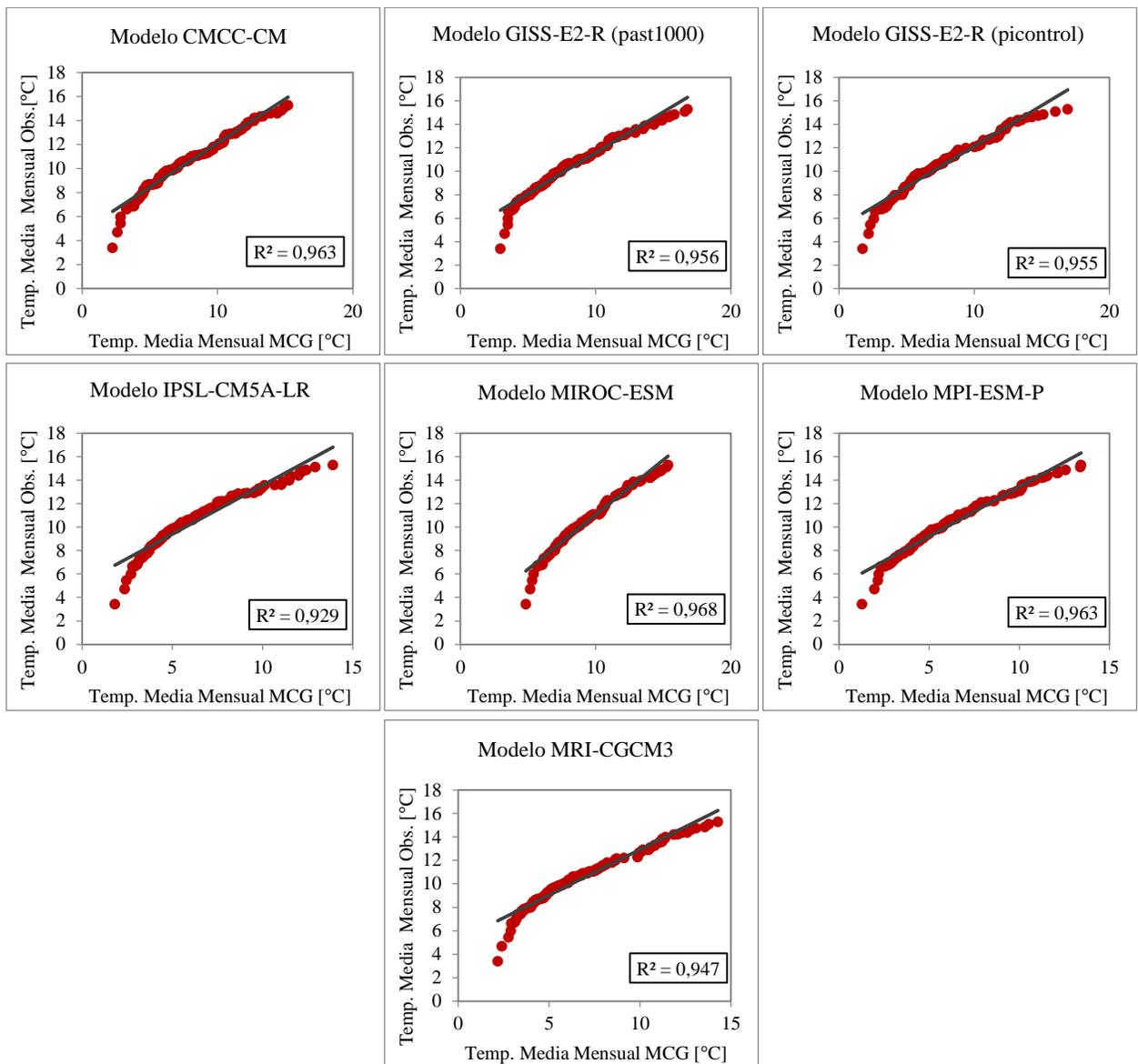


Figura 4-9. Correlación de las curvas de duración de las temperaturas medias mensuales. Temporada abril - septiembre. Periodo 1976 – 2004.

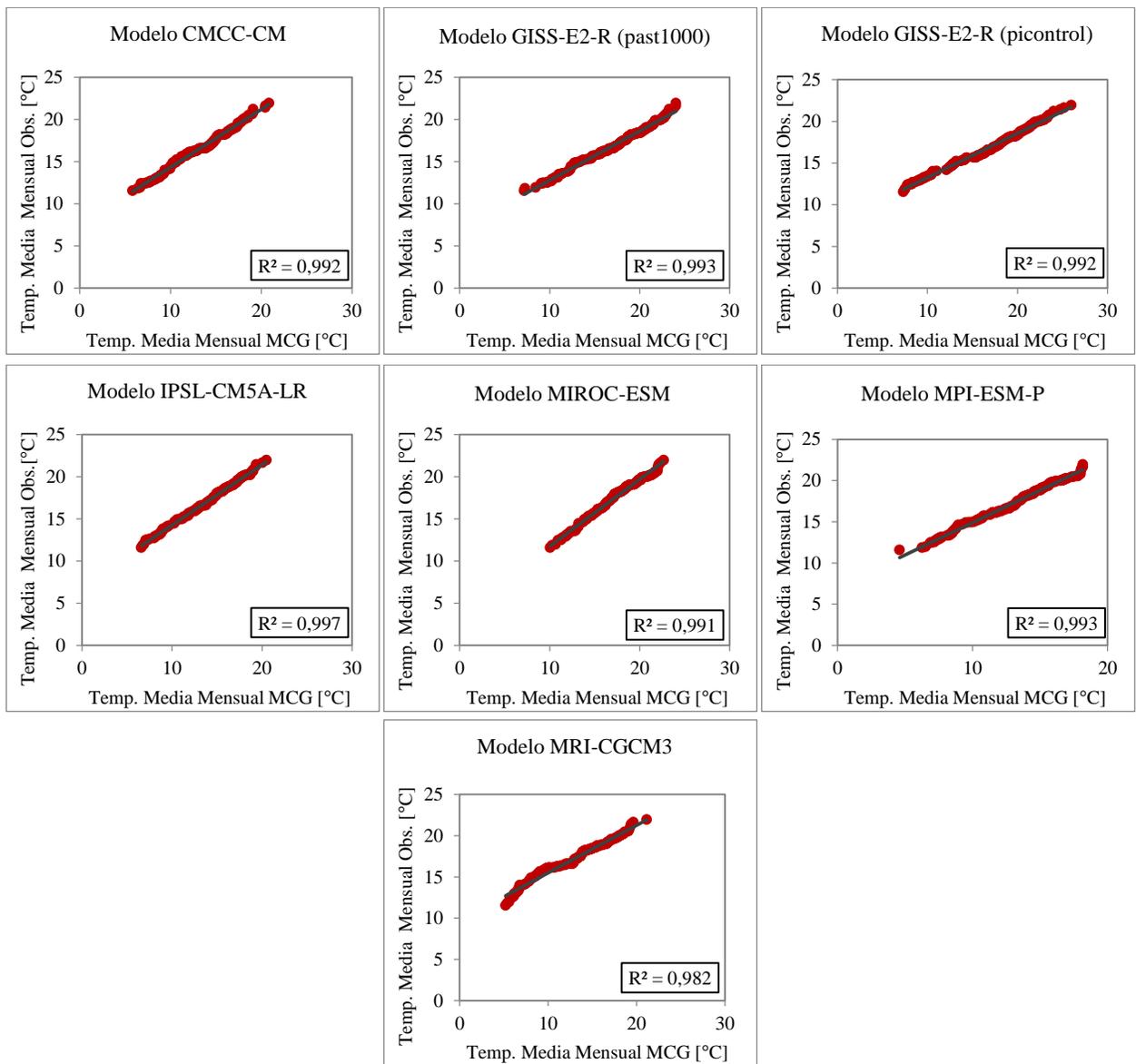


Figura 4-10. Correlación de las curvas de duración de las temperaturas medias mensuales. Temporada octubre - marzo. Periodo 1976 – 2004.

4.4 Análisis de ensamble

En la Figura 4-11 y Figura 4-12 se observan las diferencias entre, la mediana y mediana promedio, para cada siglo en ambas variables.

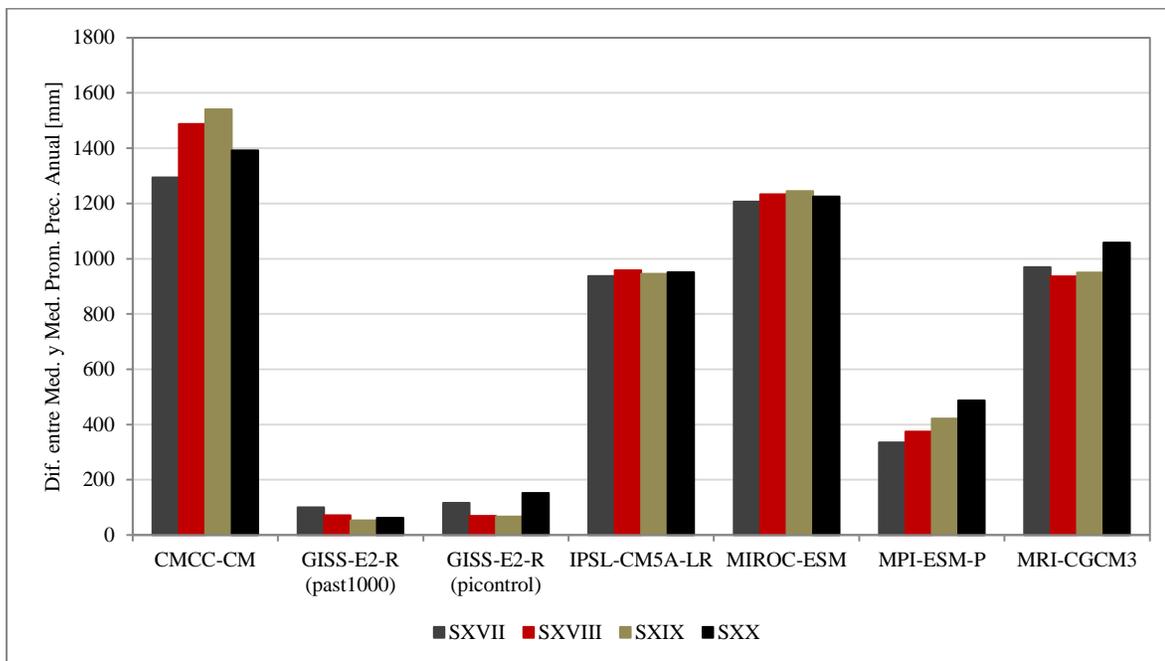


Figura 4-11. Diferencia entre mediana y mediana promedio, ambas por siglo, para precipitación anual. Periodo 1600 - 1999.

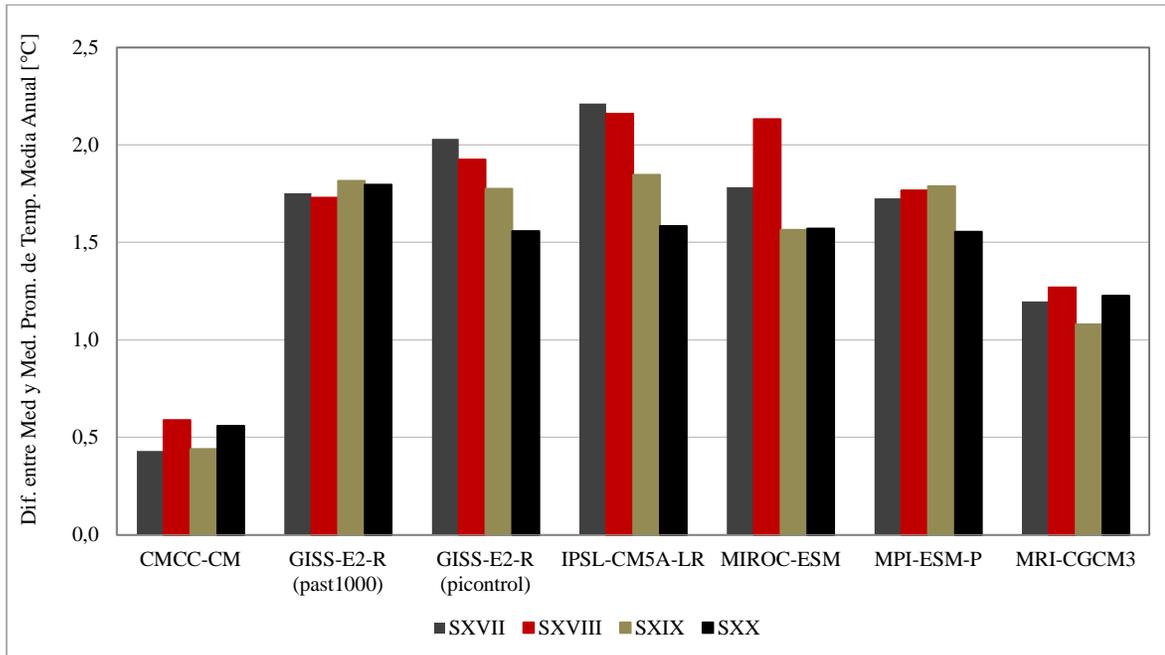


Figura 4-12. Diferencia entre mediana y mediana promedio, ambas por siglo, para temperatura media anual. Periodo 1600 - 1999.

4.5 Tendencia en periodo base

Al momento de elegir el modelo es esencial escoger el que presente el mismo sentido de la pendiente de la tendencia en el periodo común en el cual existen datos observados. Según la Figura 4-13 todos los modelos, excepto el GISS-E2-R (picontrol) y MPI-ESM-P, representan de buena manera la tendencia mostrada para las precipitaciones en el periodo 1976 – 2004. Mientras que los modelos que caracterizan mejor las temperaturas (Ver Figura 4-14) para el mismo periodo son el GISS-E2-R (past1000) y el GISS-E2-R (picontrol).

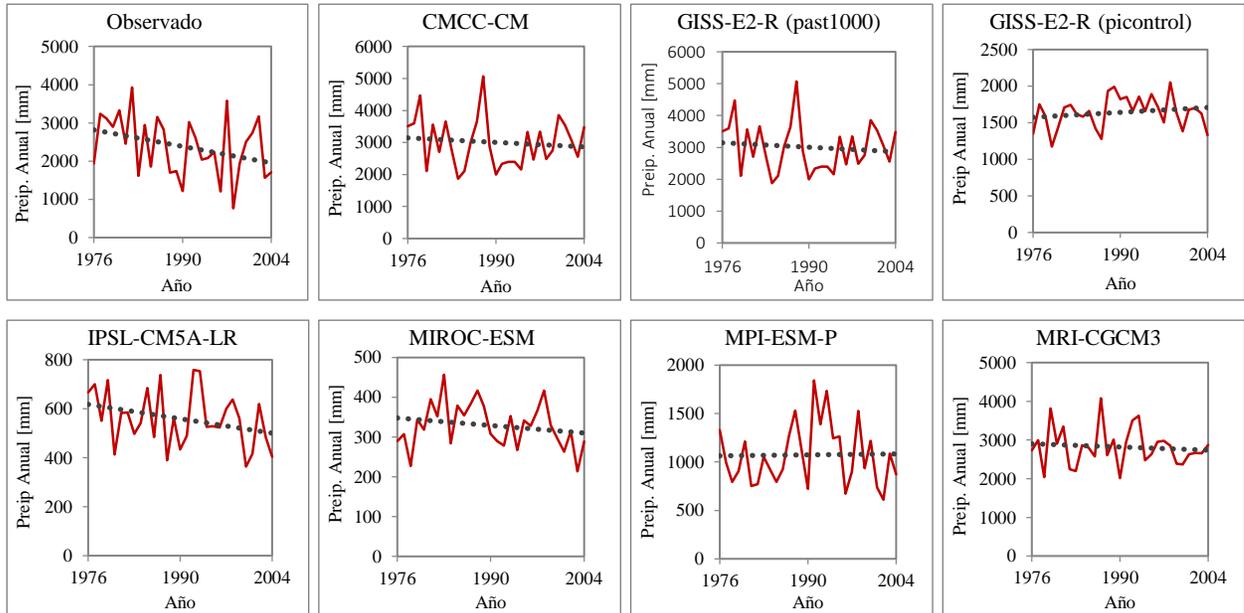


Figura 4-13. Precipitación anual en estación Armerillo. Periodo 1976 - 2004.

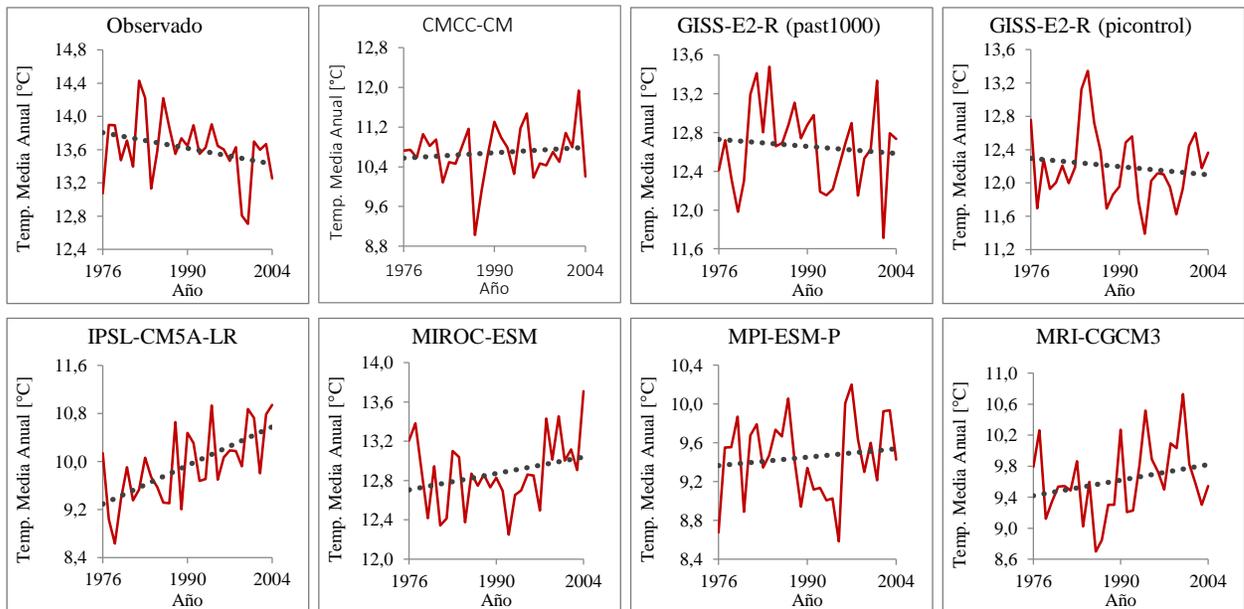


Figura 4-14. Temperatura media anual en estación Colorado. Periodo 1976 – 2004.

4.6 Selección del GCM

En la Tabla 4-1 se muestran los resultados de la correlación R^2 , el error cuadrático medio ECM, el coeficiente de determinación wR^2 y el valor obtenido del análisis por ensamble EVi, según sea el caso, para las variables de precipitación y temperatura. Además, se resaltan los dos mejores valores obtenidos para cada criterio. En la Tabla 4-2 se indica el orden que obtuvieron los modelos para cada indicador.

Para elegir definitivamente el modelo MCG se descarta el ECM asociado a la precipitación puesto que, la variación intermodelo es muy pequeña, se da mayor peso (50 %) a los índices asociados a la precipitación y al periodo pluvial (abril – septiembre), por el tipo de subcuenca con la que se está trabajando, escogiendo los modelos con mayor R^2 . Al ser ordenados por preferencia se obtiene: GISS-E2-R (past1000), MPI-ESM-P, IPSL-CM5A-LR para las precipitaciones y CMCC-CM, MIROC-ESM y MPI-ESM-P para las temperaturas. El criterio decisivo corresponde a que la tendencia de las variables meteorológicas disminuya, asignándole el otro 50% del peso a dicha selección. De lo anterior, se decide trabajar con el modelo GISS-E2-R (past 1000), pues es el único que cumple con ambas tendencias.

Tabla 4-1. Resultados de los indicadores calculados para la selección de los modelos de circulación general.

Criterio	Variable	Índice	CMCC-CM	GISS-E2-R (past1000)	GISS-E2-R (picontrol)	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	MPI-ESM-P	MRI-CGCM3
Correlación Anual Simple	Precip.	R^2	0,946	0,925	0,948	0,955	0,973	0,934	0,894
	Temp.	R^2	0,939	0,936	0,899	0,897	0,928	0,935	0,927
Análisis de Estacionalidad	Precip.	R^2	0,938	0,961	0,942	0,970	0,934	0,917	0,811
		wR^2	0,899	0,749	0,696	0,876	0,592	0,852	0,759
	Temp.	ECM	0,005	0,004	0,003	0,005	0,003	0,005	0,004
		R^2	0,932	0,977	0,973	0,978	0,986	0,959	0,861
	Temp.	wR^2	0,634	0,627	0,560	0,589	0,818	0,623	0,495
		ECM	0,184	0,216	0,268	0,246	0,131	0,207	0,238
Análisis de Variabilidad	Precip.	R^2	0,942	0,951	0,912	0,954	0,942	0,980	0,942
	Precip (Abr-Sep)	R^2	0,930	0,968	0,952	0,954	0,962	0,969	0,949
	Precip (Oct-Mar)	R^2	0,976	0,907	0,843	0,940	0,884	0,942	0,914
	Temp.	R^2	0,995	0,992	0,988	0,990	0,993	0,995	0,976
	Temp (Abr-Sep)	R^2	0,963	0,956	0,955	0,929	0,968	0,963	0,947
	Temp (Oct-Mar)	R^2	0,992	0,993	0,992	0,997	0,991	0,993	0,982
Análisis de Ensamble	Precip S. XVII	EPi	1293,683	100,143	116,203	937,555	1207,114	335,116	969,756
	Precip S. XVIII	EPi	1487,599	72,154	68,797	957,798	1232,905	374,117	936,271
	Precip S. XIX	EPi	1540,527	53,095	66,581	944,880	1244,226	421,552	950,456
	Precip S. XX	EPi	1392,073	61,932	152,195	951,659	1225,553	486,810	1057,822
	Temp S. XVII	ETi	0,430	1,752	2,031	2,211	1,782	1,726	1,197
	Temp S. XVIII	ETi	0,588	1,729	1,924	2,161	2,131	1,766	1,270
	Temp S. XIX	ETi	0,440	1,815	1,775	1,847	1,564	1,787	1,080
	Temp S. XX	ETi	0,560	1,796	1,558	1,584	1,572	1,555	1,227

Tabla 4-2. Resultados del ranking obtenido a partir de los indicadores calculados para la selección de los modelos de circulación general.

Criterio	Variable	Índice	CMCC-CM	GISS-E2-R (past1000)	GISS-E2-R (piControl)	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	MPI-ESM-P	MRI-CGCM3
Correlación Anual Simple	Precip	R ²	4	6	3	2	1	5	7
	Temp	R ²	1	2	6	7	4	3	5
Análisis de Estacionalidad	Precip	R ²	4	2	3	1	5	6	7
		wR ²	1	5	6	2	7	3	4
		ECM	7	3	2	5	1	6	4
	Temp	R ²	6	3	4	2	1	5	7
		wR ²	2	3	6	5	1	4	7
		ECM	2	4	7	6	1	3	5
Análisis de Variabilidad	Prec	R ²	6	3	7	2	5	1	4
	Precip (Abr-Sep)	R ²	7	2	5	4	3	1	6
	Precip (Oct-Mar)	R ²	1	5	7	3	6	2	4
	Temp	R ²	1	4	6	5	3	2	7
	Temp (Abr-Sep)	R ²	3	4	5	7	1	2	6
	Temp (Oct-Mar)	R ²	5	2	4	1	6	3	7
Análisis de Ensamble	Precip S. XVII	EPi	7	1	2	5	6	3	4
	Precip S. XVIII	EPi	7	2	1	5	6	3	4
	Precip S. XIX	EPi	7	1	2	4	6	3	5
	Precip S. XX	EPi	7	1	2	4	6	3	5
	Temp S. XVII	ETi	1	5	6	7	4	3	2
	Temp S. XVIII	ETi	1	3	5	7	6	4	2
	Temp S. XIX	ETi	1	6	5	7	3	4	2
	Temp S. XX	ETi	1	7	6	4	3	5	2

Capítulo 5: Simulación de Caudales

En el presente acápite se muestra el procesamiento de las variables de entrada (precipitación y temperatura) al modelo WEAP, anteriormente calibrado por otros autores. Entregando como resultado los caudales medios mensuales para el periodo 1600 – 2000.

5.1 Escalamiento de datos de precipitación y temperatura

Posterior al escalamiento espacial, se realiza un ajuste entre los valores observados y los simulados para el periodo de línea base a nivel anual. Como se observa en la Figura 5-1 y Figura 5-2, los valores entregados por el modelo están bastante por debajo a los observados en las estaciones para el mismo periodo. En el caso de las precipitaciones el ajuste se realiza en dos tramos para obtener mejores resultados mientras que para la temperatura se aprecia una buena correlación única.

Los valores mensuales escalados temporalmente, se estiman mediante los ponderadores mensuales con respecto a la variable anual para cada año en el periodo 1600 – 2000 (Ver Anexo A) y se aplica luego de haber realizado el ajuste antes mencionado, obteniendo las series de tiempo mostradas en la Figura 5-3 y Figura 5-4.

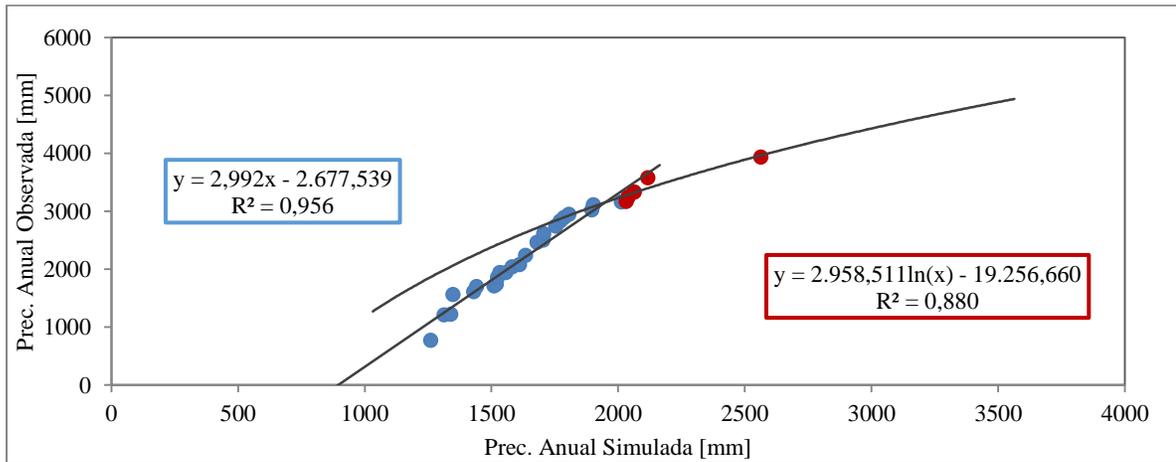


Figura 5-1. Correlación de precipitaciones anuales observadas respecto a simuladas en Armerillo para periodo de línea base.

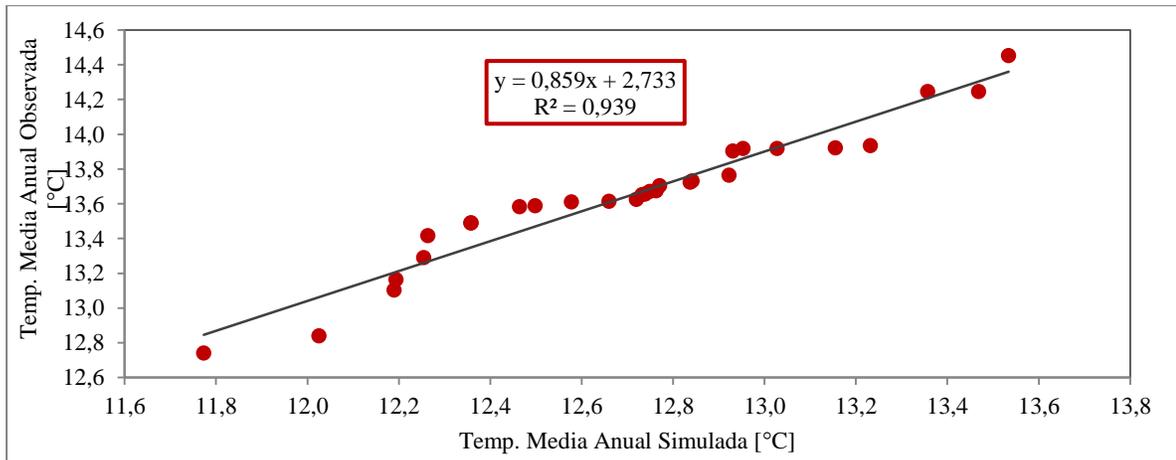


Figura 5-2. Correlación de temperaturas medias anuales observadas en Colorado respecto a simuladas en periodo línea base.

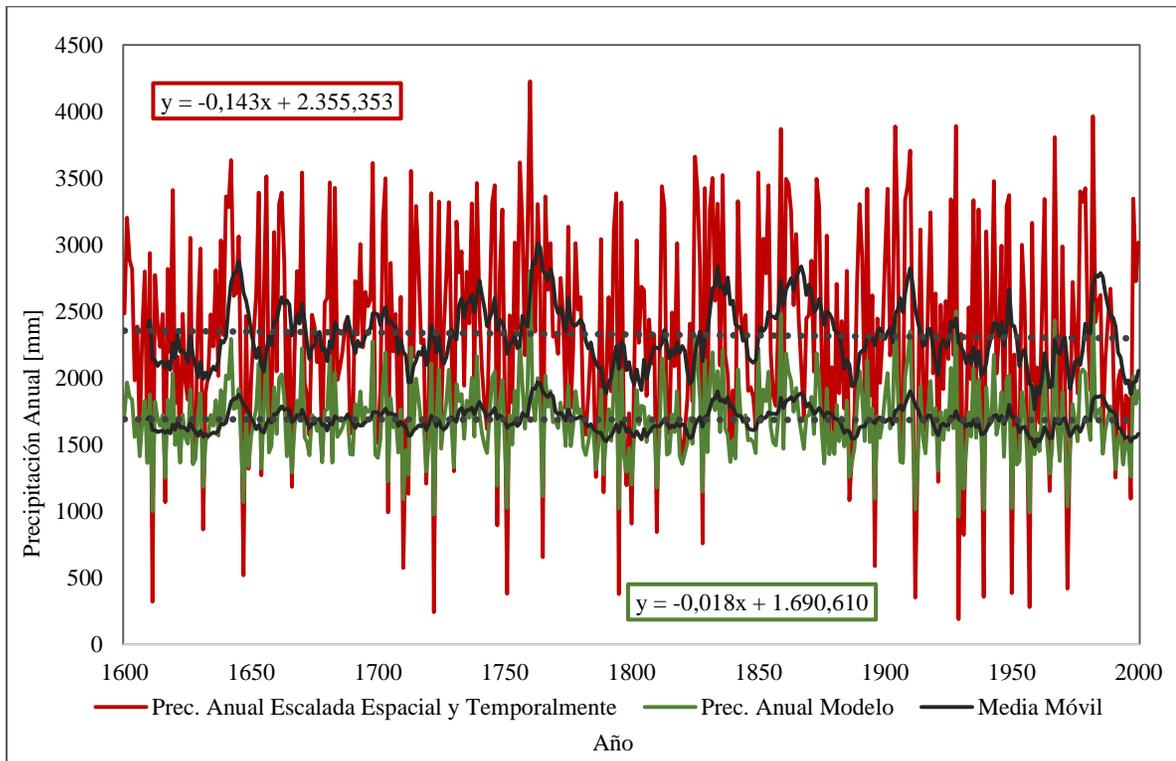


Figura 5-3. Precipitación anual en Armerillo para el periodo 1600 – 2000.

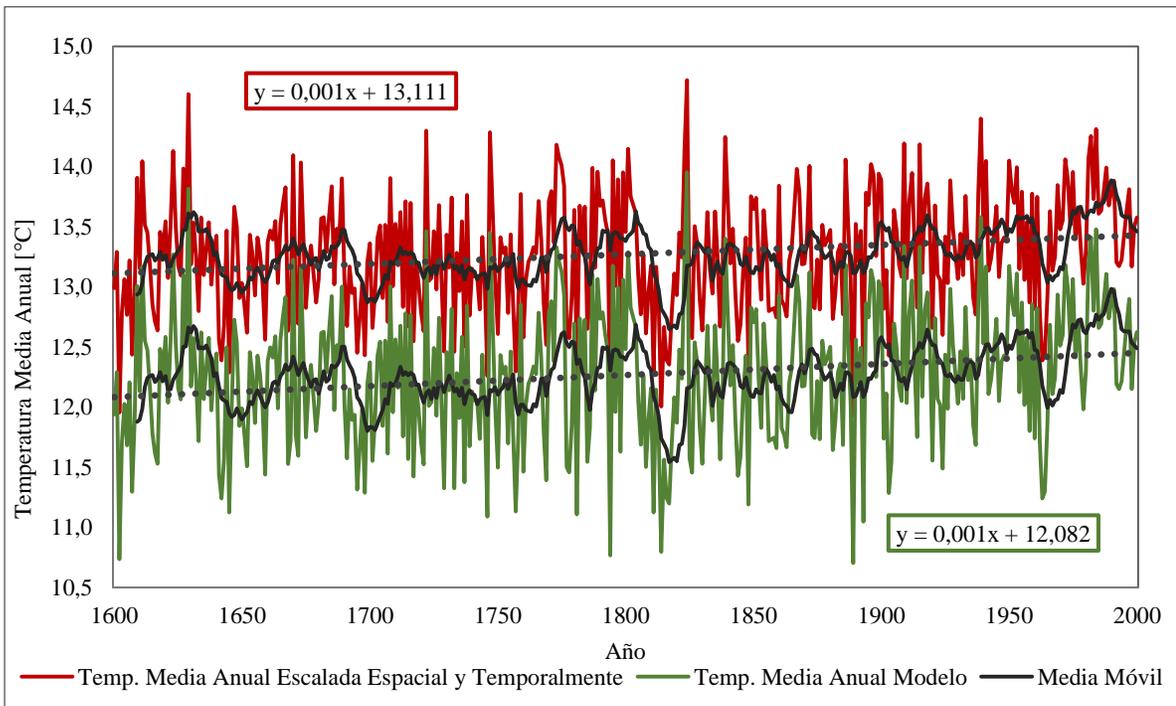


Figura 5-4. Temperatura media anual en Colorado para el periodo 1600 – 2000.

5.2 Verificación del proceso de escalamiento

Se verifica que las precipitaciones anuales quedan bien representadas luego de haber aplicado la función de transferencia. Para ello, se comparan con las precipitaciones anuales observadas en el periodo 1976 - 2004, a través de la función de probabilidades (Ver Figura 5-5 y Figura 5-7), test

de medias (prueba t y z para dos muestras) y test de varianzas (prueba F de Fisher, Bartlett y Levene), ver Anexos B y C. Los resultados indican que efectivamente las series pertenecen a la misma población. Además se comprueba que la tendencia de los valores del modelo después de aplicada la función de transferencia es similar a la observada en dicho tiempo (Ver Figura 5-6 y Figura 5-8).

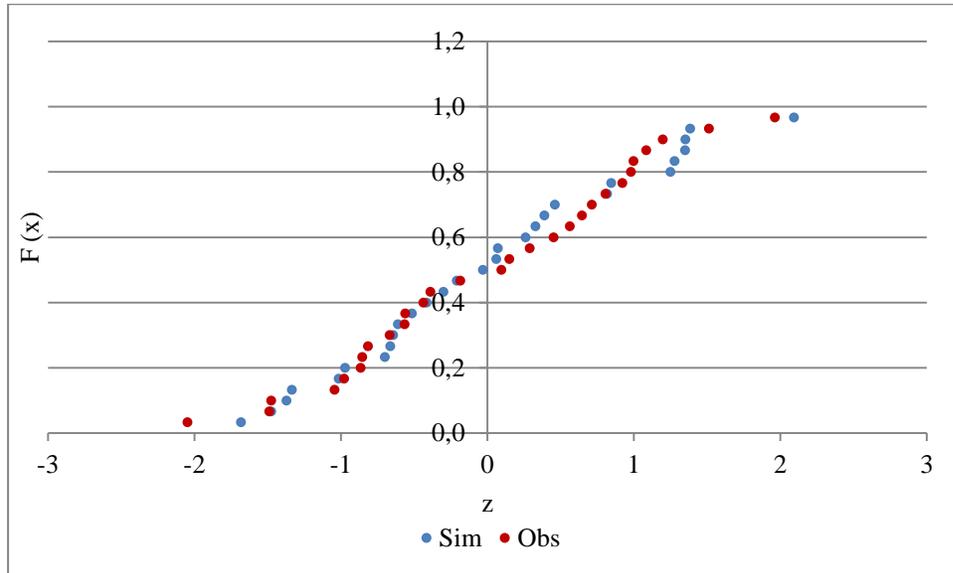


Figura 5-5. Función de probabilidades de las precipitaciones en Armerillo. Periodo 1976 - 2004.

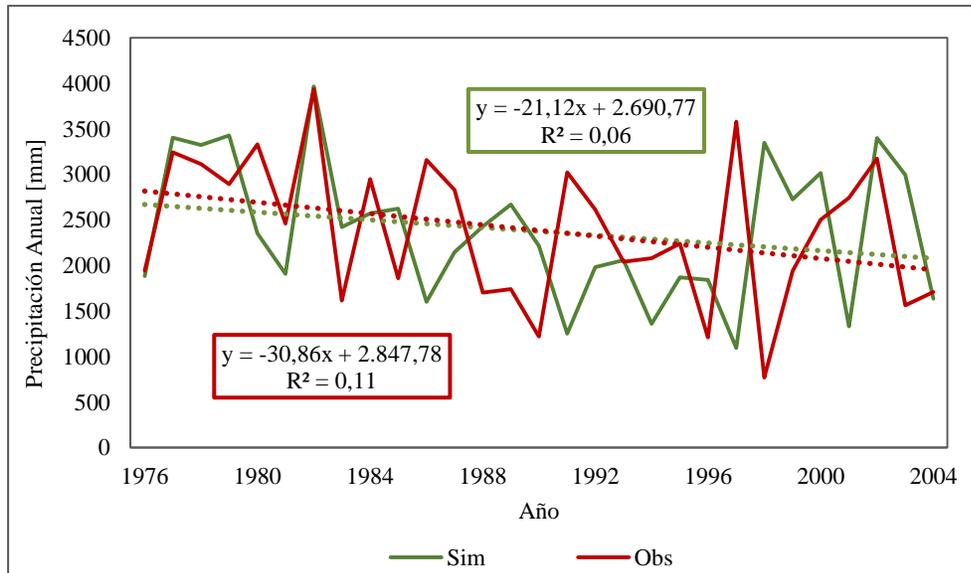


Figura 5-6. Precipitación anual en Armerillo para periodo línea base.

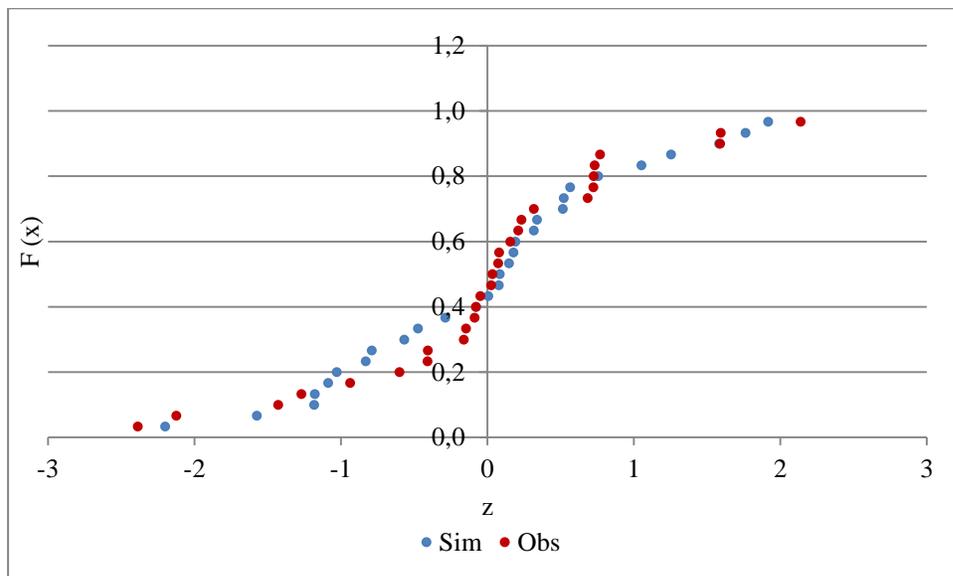


Figura 5-7. Función de probabilidades de las temperaturas en Colorado. Periodo 1976 - 2004.

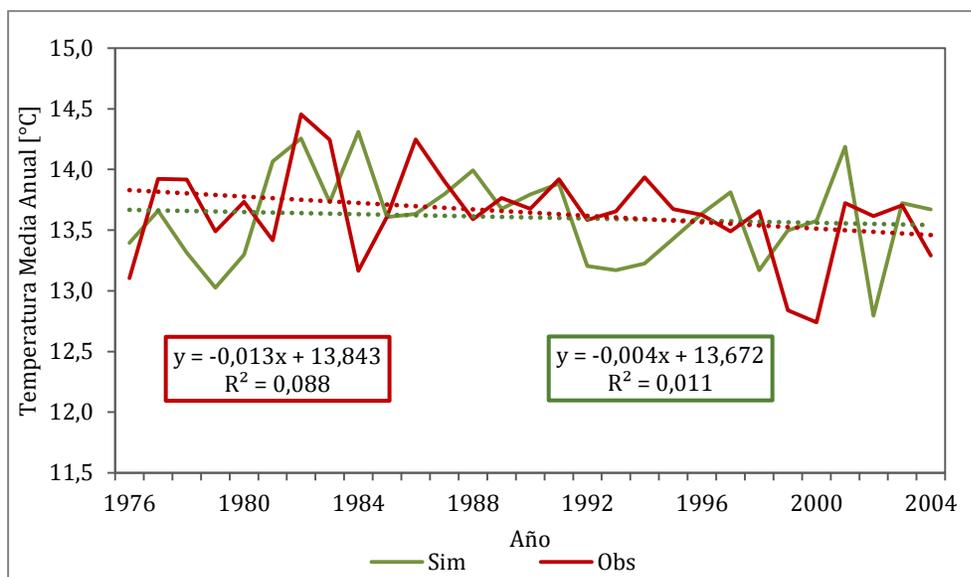


Figura 5-8. Temperatura media anual en Colorado para periodo línea base.

5.3 Generación series de caudales medios anuales

Las series mensuales de precipitación y temperatura se ingresan a los modelos WEAP calibrados por el Centro de Cambio Global (MPUC) y ERIDANUS (MERIDANUS) para la cuenca estero Las Garzas, obteniendo los caudales medios mensuales (Ver Anexo E). Luego, se aplica la correlación existente con la subcuenca río Achibueno en La Recova, la cual se determinó sin utilizar los meses con datos faltantes, considerando el periodo de mayo de 2003 a diciembre de 2015 (Ver Anexo D) y finalmente se estiman los caudales medios anuales en año hidrológico para el periodo 1600 - 2000.

A continuación se muestra el caudal medio anual obtenido en la subcuenca estero Las Garzas y en río Achibueno en La Recova, el caudal promedio obtenido en los 400 años y la media móvil, respectivamente. Lo anterior se realiza para cada modelo utilizado.

En la Figura 5-9 se observa que la media obtenida en el estero Las Garzas para la serie completa es igual a $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$, el valor máximo de $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ocurre en el año 1760 y el mínimo de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ se simula en el año 1957. En la Figura 5-10 se aprecia que el río Achibueno en La Recova en el periodo 1600 – 2000 presenta una media igual a $55,1 \text{ m}^3/\text{s}$, con un máximo de $104,4 \text{ m}^3/\text{s}$ y un mínimo de $9,4 \text{ m}^3/\text{s}$, en los años mencionados anteriormente, según el modelo MPUC.

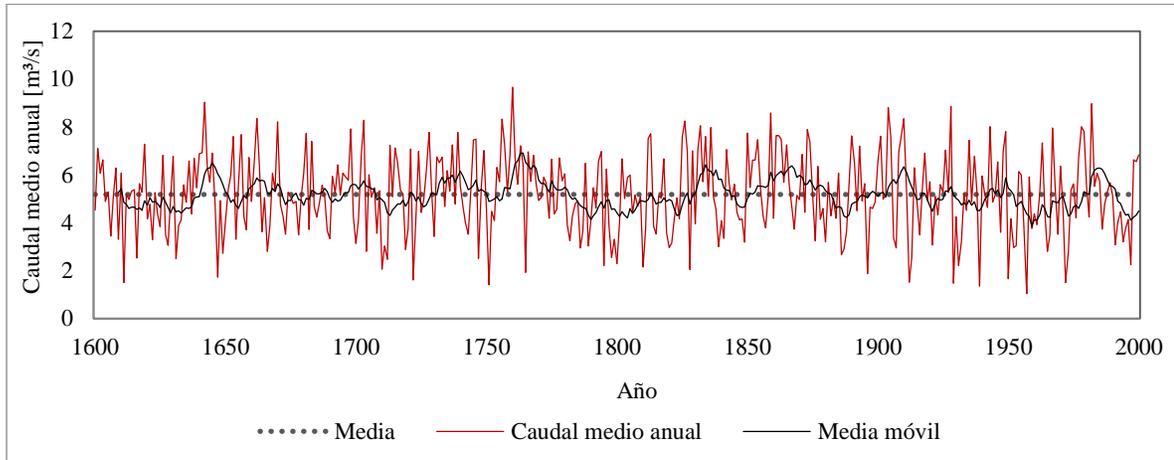


Figura 5-9. Caudal medio anual en Estero Las Garzas obtenido con modelo MPUC. Periodo 1600 – 2000.

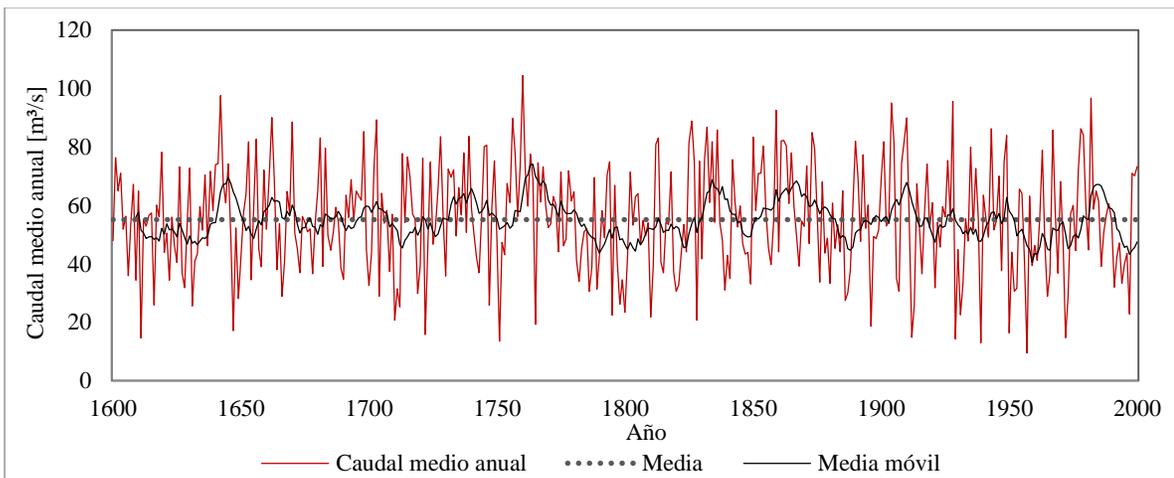


Figura 5-10. Caudal medio anual en río Achibueno en La Recova obtenido a partir de la correlación con la subcuenca estero Las Garzas (MPUC). Periodo 1600 – 2000.

En cuanto a los caudales medios anuales estimados con el modelo conceptualizado por ERIDANUS, indican que la media del estero Las Garzas para el período de estudio es $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$, su máximo corresponde a $8,7 \text{ m}^3/\text{s}$ y su mínimo a $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ver Figura 5-11), es decir, respecto al otro modelo éste contiene valores más bajos (Ver Tabla 5-1), pero coinciden en los años donde ocurren los eventos extremos. La Figura 5-12, muestra que la media resultante en la subcuenca río Achibueno en La Recova es $51,4 \text{ m}^3/\text{s}$, su máxima $94,1 \text{ m}^3/\text{s}$ y mínima $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

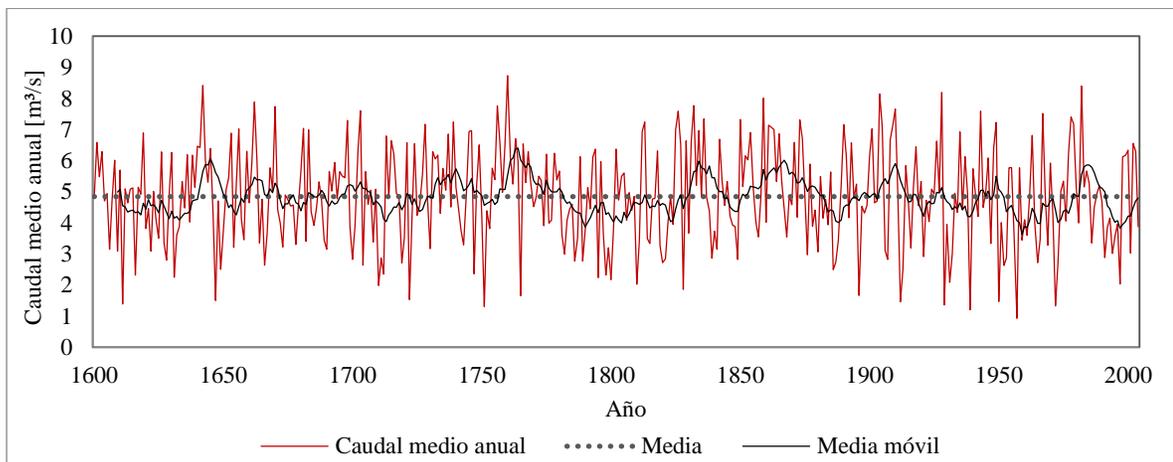


Figura 5-11. Caudal medio anual en Estero Las Garzas obtenido con modelo MERIDANUS. Periodo 1600 – 2000.

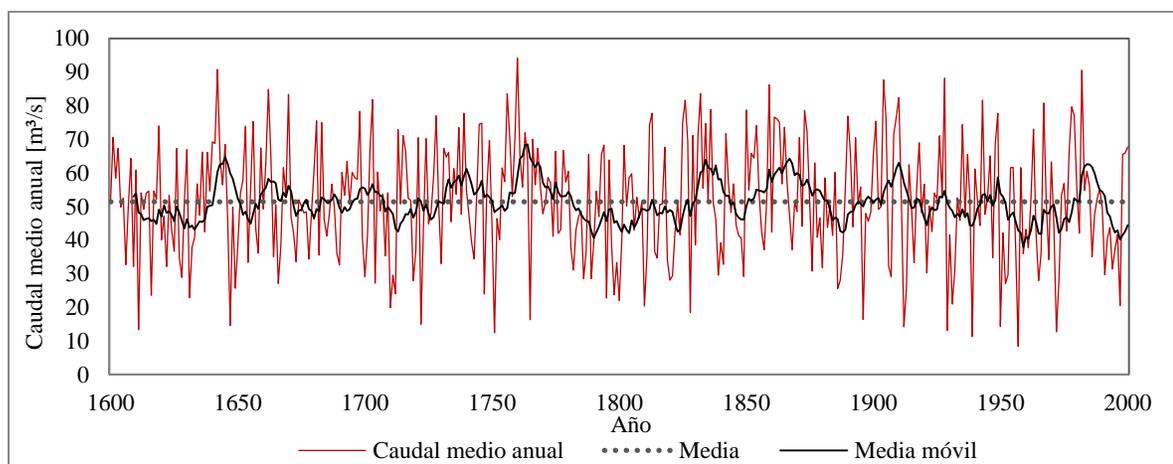


Figura 5-12. Caudal medio anual en río Achibueno en La Recova obtenido con modelo MERIDANUS en base a la correlación con subcuenca estero Las Garzas. Periodo 1600 – 2000.

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.

Subcuenca	Estero Las Garzas		Río Achibueno en La Recova	
	MPUC	MERIDANUS	MPUC	MERIDANUS
Caudal Medio Anual [m³/s]	5,2	4,8	55,1	51,4
Caudal Máximo Anual [m³/s]	9,6	8,7	104,49,4	94,1
Caudal Mínimo Anual [m³/s]	1,0	0,9	34,5	8,3

Capítulo 6: Análisis de Resultados

En este capítulo se identifican los años seguidos de excedencia y déficit del caudal medio anual en todo el tiempo de simulación (1600 – 2000), asociándolos a las precipitaciones y temperaturas en dicho periodo. Además, se realiza un análisis por siglos, comparando las curvas de variación estacional, de duración, la media, el valor asociado a una probabilidad de excedencia de 95%, 90%, 80% y 10% y las magnitudes más altas y más bajas. Conjuntamente, se comparan los resultados obtenidos en el Capítulo 5 con los adquiridos por Urrutia et al (2011) y se relacionan al registro histórico detallado en el Capítulo 2. Asimismo, en cada observación mencionada anteriormente se comparan resultados con aquellos basados en los modelos WEAP utilizados en la simulación.

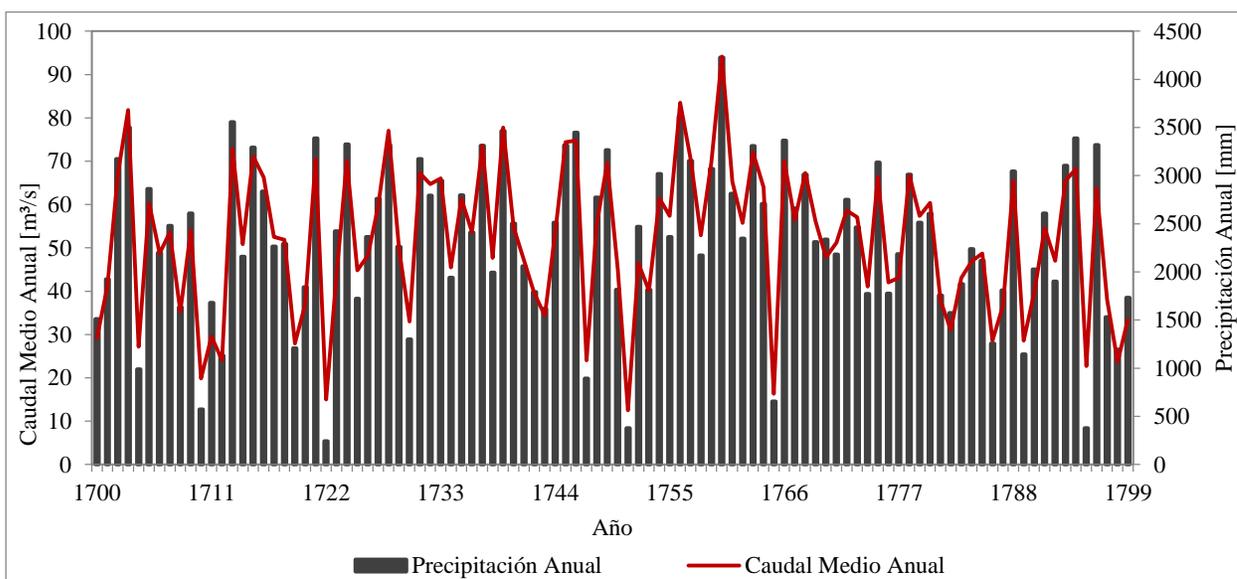
Al realizar una comparación entre ambos modelos se observa que éstos coinciden en los años peak de excedencia de caudal. Sin embargo, difieren en cuanto a las magnitudes. Para el caso del año con mayor caudal medio anual, 1760, el modelo MPUC indica que el caudal es mayor a lo obtenido por la otra simulación, siendo 104,4 y 94,2 m³/s, respectivamente (Ver Anexo F). Con respecto a los 5 caudales medios anuales más bajos, se presenta una discrepancia, pues el modelo MERIDANUS indica que 4 de los 5 caudales menores ocurrieron en el último siglo, mientras que en el otro caso sólo son 3. Por otra parte, en el caso de estos 5 años el modelo MERIDANUS presenta valores más bajos en comparación con la otra simulación. Ambos coinciden en que el año 1957 presenta el mayor déficit de estos 4 siglos. Tabla 6-2.

En el siglo XVIII, tal como se destaca en la tabla 6-1, se simulan hasta 11 años consecutivos, en ambos modelos, con valores sobre la media entre los años 1754 – 1764, coincidiendo con el hecho que el máximo caudal anual de la serie se encuentra en este periodo. Respecto a los caudales anuales con mayor duración bajo la media corresponde al período 1990 – 1997, dándose esta situación en los dos modelos). Según el modelo MPUC, existen más periodos con años consecutivos en los cuales el caudal medio anual se encuentra bajo la media y menos años sobre ella, al realizar la comparación con MERIDANUS, pero coinciden en general en los periodos y presentan pequeñas desigualdades en los caudales estimados.

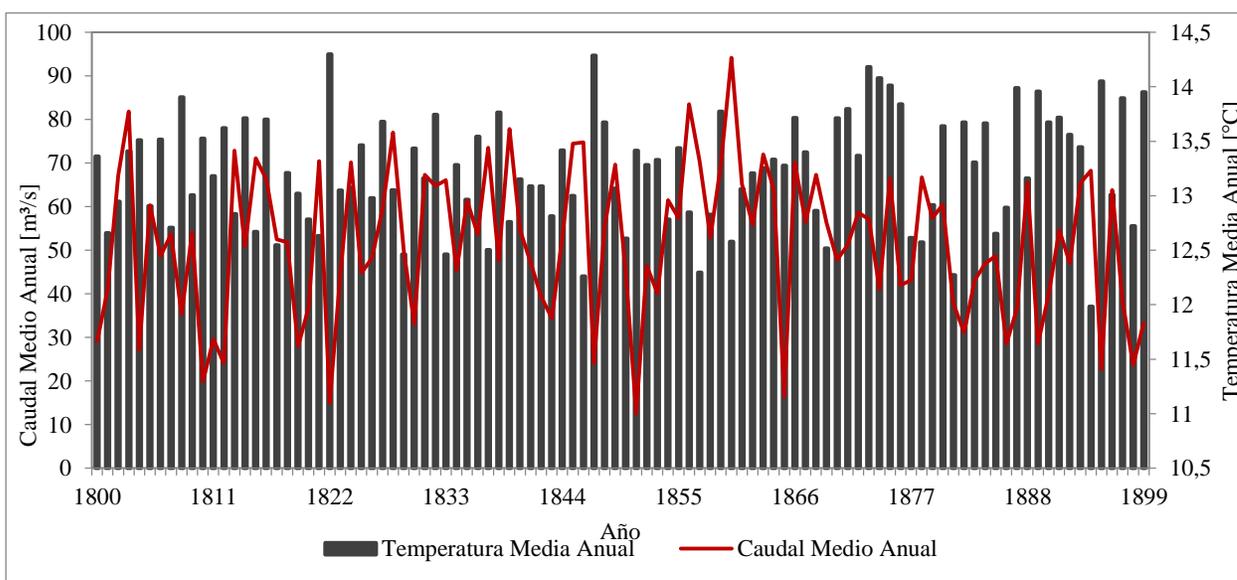
El mayor caudal obtenido en la serie completa (1600 – 2000) se debe a que en el año 1760 se simuló la máxima precipitación por el modelo GCM GISS-E2-R (Ver Figura 6-1). En el caso del menor flujo anual se asocia a que la precipitación de 1957 se encuentra dentro de las 3 precipitaciones anuales más bajas. Con respecto a la temperatura entre los dos años mencionados existe una diferencia promedio de 0,2° en el periodo estival, cuando la nieve se comienza a derretir y pasa a aportar en el caudal, siendo más baja incluso para el año de mayor caudal. En general, los valores extremos de los caudales medios anuales se ven fuertemente determinados por las precipitaciones de sus respectivos años (Ver Anexo F). Mientras mayores son las precipitaciones, entonces los caudales obtenidos son más grandes y viceversa, la afirmación anterior se observa en los periodos mostrados en la Tabla 6-1. Por otro lado, se reconocen periodos en los que coexiste una relación entre déficit de precipitaciones y aumento de temperaturas en el caso de caudales bajos, y al contrario para los caudales altos. Además, existen casos aislados donde los caudales altos son influenciados sólo por temperaturas bajas, y los bajos por temperaturas altas.

Tabla 6-1. Relación de los caudales medios anuales obtenidos y las variables meteorológicas (precipitación y temperatura).

Periodos con Valores Altos de Precipitación			Periodos con Bajas Precipitaciones y Altas Temperaturas	Periodos con Altas Precipitaciones y Bajas Temperaturas	Casos Aislados
1638 - 1645	1806 - 1811	1861 - 1866	1664 - 1667	1695 - 1698	1600 - 1603
1646 - 1650	1814 - 1817	1908 - 1911	1867 - 1870	1766 - 1769	1715 - 1718
1675 - 1679	1819 - 1824	1929 - 1932	1950 - 1953	1924 - 1928	
1750 - 1753	1831 - 1834	1977 - 1980			
1754 - 1764	1837 - 1841	1982 - 1985			
1781 - 1787	1846 - 1849	1990 - 1997			
1797 - 1801	1850 - 1855				



(a)



(b)

Figura 6-1. (a) Comparación entre caudal medio anual y precipitación anual en el siglo XVIII, modelo MERIDANUS. (b) Comparación entre caudal medio anual y temperatura media anual en el siglo XVIII, modelo MERIDANUS.

Al contrastar con el estudio realizado utilizando anillos de los árboles en la cuenca del Maule por Urrutia et al., 2011 mencionado en el Capítulo 2, se aprecia que los caudales anuales máximos obtenidos en este trabajo son mayores, cuya diferencia entre el porcentaje respecto a la media del periodo 1965 – 2000, para los caudales más altos es de 0,1% (comparado con los resultados del modelo computarizado por el Centro de Cambio Climático, PUC) y 0,05% (comparado con los resultados del modelo computarizado por ERIDANUS). Mientras que los caudales medios anuales son menores, diferenciándose por 0,04% y 0,05%, respectivamente. De lo anterior, se puede observar que las diferencias son prácticamente insignificantes.

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.

MPUC				MERIDANUS			
Caudales Medios Anuales Altos		Caudales Medios Anuales Bajos		Caudales Medios Anuales Altos		Caudales Medios Anuales Bajos	
Años	Porcentaje respecto a media [%]						
1760	1,894	1957	0,171	1760	1,832	1957	0,162
1642	1,770	1939	0,236	1642	1,766	1939	0,221
1982	1,755	1751	0,245	1982	1,761	1751	0,243
1928	1,734	1929	0,259	1928	1,716	1972	0,248
1904	1,724	1611	0,265	1904	1,707	1929	0,255
1831 – 1834	1,384	1929 – 1932	0,522	1908 – 1911	1,373	1929 – 1932	0,520
1908 – 1911	1,367	1950 – 1953	0,556	1977 – 1980	1,355	1797 – 1801	0,613
1977 – 1980	1,365	1797 - 1801	0,605	1861 -1866	1,346	1646 – 1650	0,679
1861 – 1866	1,339	1646 – 1650	0,689	1831 – 1836	1,346	1750 – 1753	0,701
1754 – 1764	1,333	1750 – 1753	0,691	1754 – 1764	1,320	1990 – 1997	0,716
1638 – 1645	1,300	1990 – 1997	0,715	1638 – 1645	1,309	1664 – 1667	0,734
1982 – 1985	1,278	1819 – 1824	0,732	1982 – 1985	1,273	1819 – 1824	0,735
1850 – 1855	1,274	1664 – 1667	0,733	1850 – 1855	1,271	1846 – 1849	0,757
1695 – 1698	1,248	1781 – 1787	0,758	1695 – 1698	1,242	1781 – 1787	0,758
1924 - 1928	1,243	1846 – 1849	0,759	1924 – 1928	1,240	1896 – 1899	0,770
1766 – 1769	1,221	1896 – 1899	0,763	1766 – 1769	1,216	1837 – 1841	0,775
1715 - 1718	1,173	1837 – 1841	0,767	1600 – 1603	1,205	1814 – 1817	0,839
		1806 – 1811	0,804	1715 - 1718	1,175	1675 - 1679	0,892
		1814 – 1817	0,841				
		1867 – 1870	0,890				
		1675 - 1679	0,898				

En cuanto a las curvas de duración, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos por las distintas conceptualizaciones utilizadas (MPUC y MERIDANUS) y los publicados por Urrutia (2001). De acuerdo a la Figura 6-2 existe una similitud entre el último siglo y los 3 anteriores en cuanto al caudal anual máximo, no obstante la Figura 6-3 indica que el mayor caudal se da en el periodo 1600 – 1899, siendo incluso más grande al visualizado en la Figura 6-4. Las 3 figuras coinciden en que el periodo 1900 – 2000 presentó magnitudes más altas en los caudales medios anuales asociados a probabilidades de excedencia bajas. En el caso de la Figura 6-1 esta diferencia se presenta hasta aproximadamente el 5% de excedencia, mientras que en los resultados de este estudio eso ocurre hasta el 15% de probabilidad de excedencia.

Al analizar los caudales medios anuales más pequeños se percibe en la Figura 6-2 que la diferencia entre el mínimo valor del siglo XX y de los otros siglos es mayor a las obtenidas en este estudio, concordando en que los flujos del periodo 1900 – 2000 se encuentran por debajo del periodo 1600 – 1899, esta tendencia comienza en la probabilidad de excedencia aproximada de 68% en el estudio de Urrutia (2011) y de 58% para los otros dos.

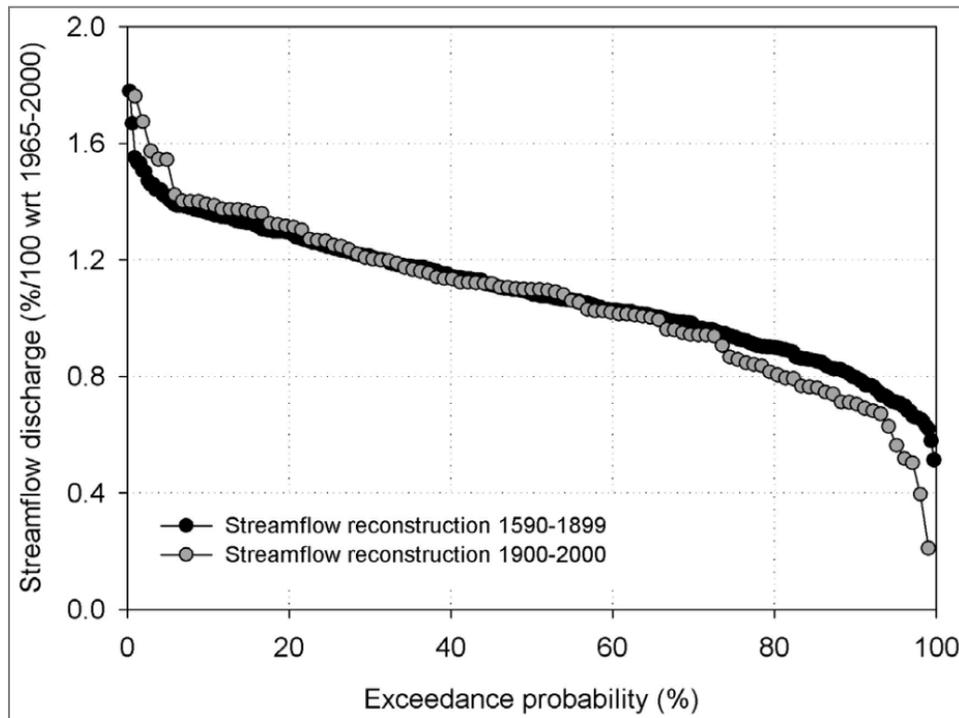


Figura 6-2. Probabilidad de excedencia del caudal medio anual obtenido en estudio realizado por Urrutia et al., 2011.

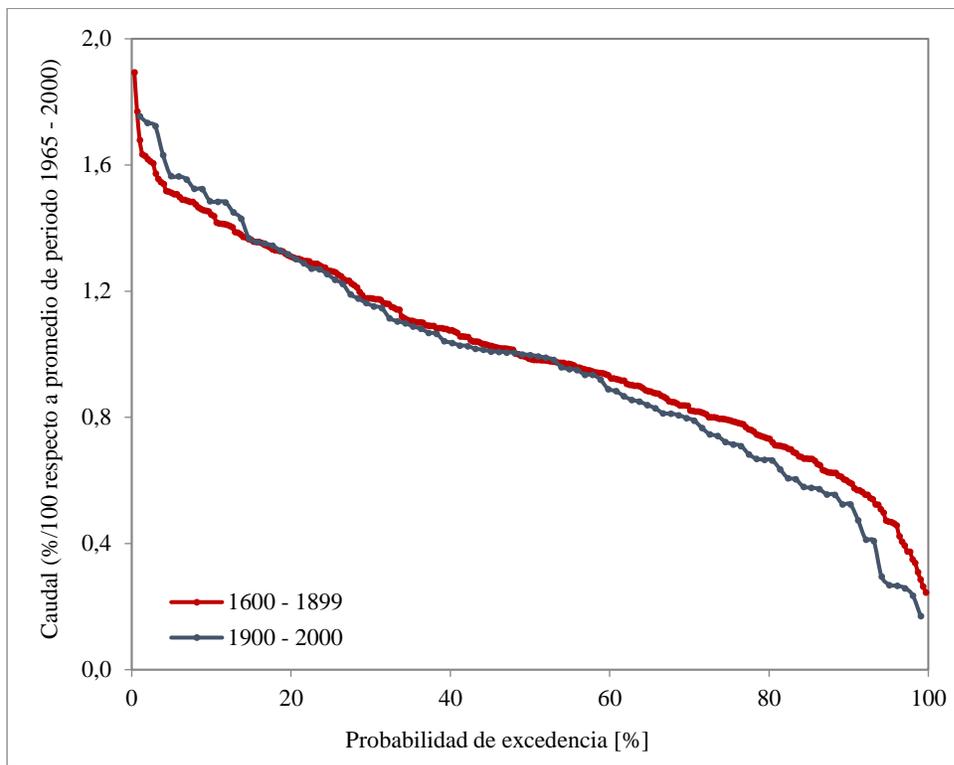


Figura 6-3. Probabilidad de excedencia del caudal medio anual en río Achibueno en La Recova para el periodo 1600 - 1899 y 1900 - 2000. (Basado en resultados obtenidos con MPUC).

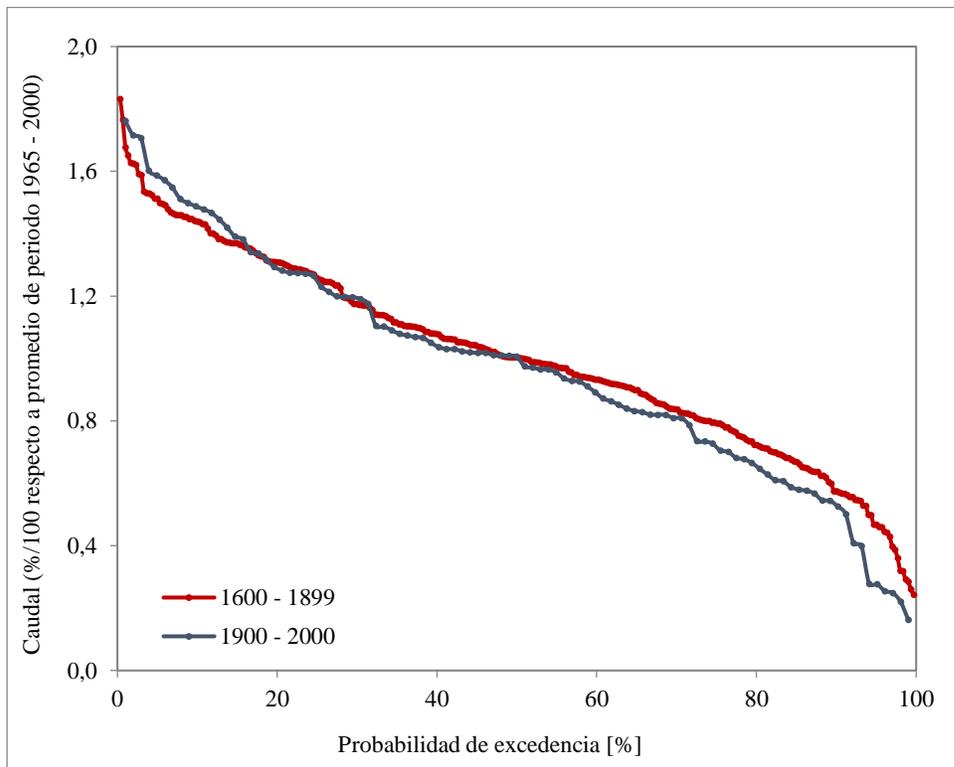


Figura 6-4. Probabilidad de excedencia del caudal medio anual en río Achibueno en La Recova para el periodo 1600 - 1899 y 1900 - 2000. (Basado en resultados obtenidos con MERIDANUS).

La evaluación de los resultados de caudal medio anual por siglos obtenidos en base al modelo MPUC (Ver Anexo F), indica que en el siglo XVII hubo una tendencia levemente positiva. En términos de los promedios móviles de 10 años se observa un tramo importante, inferior a la media global desde el año 1605, lo cual se invirtió en el año 1638 al comenzar un periodo de superávit, seguido de varias oscilaciones hacia el término del siglo. Los máximos caudales medios anuales simulados corresponden a los años 1642, 1662 y 1670 con valores de 97,6, 90,1 y 88,5 m³/s, respectivamente. Los valores mínimos de caudal anual pertenecen a los años 1611, 1647 y 1631, con magnitudes de 14,6, 17,1 y 25,6 m³/s, respectivamente.

Para el siglo siguiente (Ver Anexo F), se observa una ligera tendencia a la disminución de los caudales medios anuales. Las medias móviles de 10 años indican que a partir del año 1727 hubo una excedencia de caudal de 15 años aproximadamente, seguido de otro periodo con altos caudales originado en el año 1754 y que duró alrededor de 30 años. Los flujos máximos resultaron ser de 104,4, 89,8, 89,2 m³/s, que corresponden a los años 1760, 1756 y 1703, respectivamente. Los mínimos caudales medios anuales son de 13,5, 15,8 y 19,3 m³/s, perteneciente a los años 1751, 1722 y 1765. Respecto a los caudales medios anuales asociados a un cierto porcentaje de excedencia, presenta los mayores valores comparados al resto de los siglos, éstos son: 28,1 y 34,4 m³/s, asociado al 95 y 90% de probabilidad de excedencia (Ver Tabla 6-3).

En cuanto al siglo XIX (Ver Anexo F), se aprecia una mínima inclinación negativa de los caudales medios anuales. Según las medias móviles de 10 años, esta época parte con un periodo seco de casi 20 años, posterior a ello, se aprecia un aumento en las magnitudes del flujo, manteniéndose por sobre la media alrededor de 15 años. Luego, en el año 1850 se da inicio a otro tramo importante de caudales anuales altos, disminuyendo a finales del siglo. Los máximos caudales medios anuales ocurren en los años 1859, 1826 y 1832, asociados a los valores 92,6, 88,6 y 86,8 m³/s, respectivamente. Los valores más bajos son 18,7, 20,7 y 21,8 m³/s, correspondientes a los años 1896, 1828 y 1810, respectivamente. Este siglo, además, posee la mayor media en comparación al resto, como se muestra en la Tabla 6-3 y el que tiene el mayor valor de caudal asociado al 85% de probabilidad de excedencia.

El siglo XX también muestra una tendencia a la baja, mayor comparado a los siglos anteriores. Al observar la curva de promedios móviles se aprecia la disminución de los caudales anuales para este periodo, lo cual se corrobora con la media equivalente 53,7 m³/s y a los caudales medios anuales asociados a una probabilidad de excedencia de 95%, 90% y 85%, que son menores a los otros periodos (Ver Tabla 6-3). El tramo bajo la media más prolongado está comprendido entre 1950 y 1975 aproximadamente. Los máximos flujos de este lapso son 96,7, 95,6 y 95,0 m³/s coincidente con los años 1982, 1928 y 1904. Con respecto a los valores mínimos son de magnitud igual a 9,4, 13,0 y 14,3, que corresponden a los años 1957, 1939 y 1929. (Ver Anexo F).

Tabla 6-3. *Parámetros estadísticos por siglos del caudal medio anual (Modelo MPUC. Achibueno en La Recova).*

Siglo	XVII – XX	XVII	XVIII	XIX	XX
Media [m ³ /s]	55,1	55,1	55,6	55,9	53,7
Q _{95%} [m ³ /s]	25,24	28,1	22,4	27,5	14,8
Q _{90%} [m ³ /s]	31,4	34,5	29,8	33,2	28,9
Q _{85%} [m ³ /s]	35,8	36,9	34,0	37,2	31,8

Al aplicar el mismo análisis por siglos a los resultados derivados del modelo MERIDANUS se tiene que en cuanto a tendencias y a promedios móviles de 10 años, las conclusiones son las mismas. Sin embargo, estas se diferencian en cuanto a los valores puntuales máximos y mínimos por periodo, media y caudales asociados a una cierta probabilidad de excedencia (Ver Figura 6-5).

Los máximos caudales medios anuales para el periodo 1600 – 1699, son menores a los obtenidos por el otro modelo, equivalente a 90,8, 84,9 y 83,3 m³/s, perteneciendo a los mismos años indicados anteriormente, es decir, 1642, 1662 y 1670. Con respecto a los flujos mínimos, también estos son de menor magnitud, 13,4, 14,7 y 22,9 m³/s, para los mismos años (1611, 1647 y 1631).

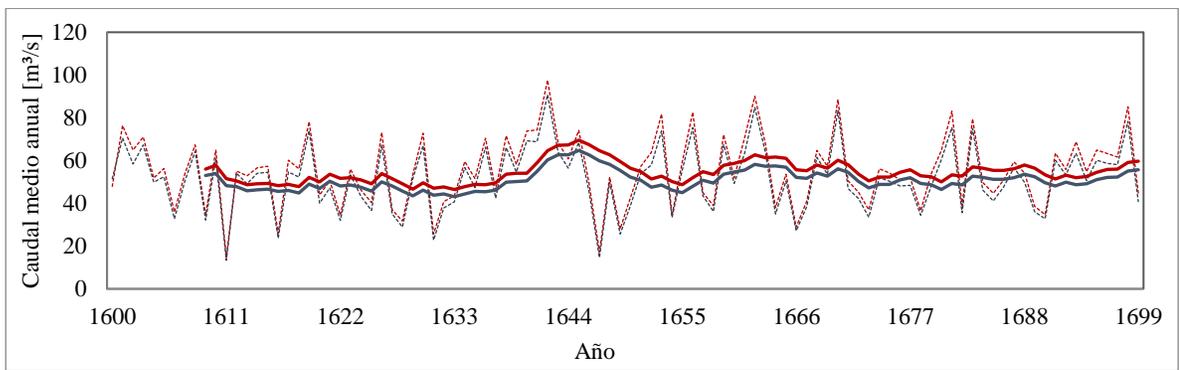
Los flujos máximos para el siglo XVIII se identifican en los mismos años obtenidos por la otra simulación, pero de diferente magnitud, 94,1, 83,5 y 81,8 m³/s. Asimismo para los caudales mínimos, existen variaciones en los valores, los cuales son 12,5, 15,0 y 16,4 m³/s. De acuerdo a la Tabla 6-4 los caudales medios anuales relacionados a una probabilidad de excedencia del 95, 90 y 85% son mayores en este periodo, comparado con el resto de los siglos, equivalente a 25,7, 32,7 y 35,0 m³/s, respectivamente. Al igual que en el siglo anterior, las magnitudes son menores al contrastar ambos modelos.

Con respecto al siglo XIX, los 3 caudales medios anuales más altos se producen en los mismos años 1859, 1832 y 1826 pero cambiando el orden en cuanto a la magnitud: 86,2, 83,6 y 81,6 m³/s, respectivamente. En el caso de los flujos mínimos, se mantienen los años en el mismo orden que el estimado con modelo MPUC, sin embargo varían sus valores, siendo éstos menores: 16,4, 18,5 y 20,4 m³/s, respectivamente. Estas estimaciones también son bajas comparadas al otro simulador.

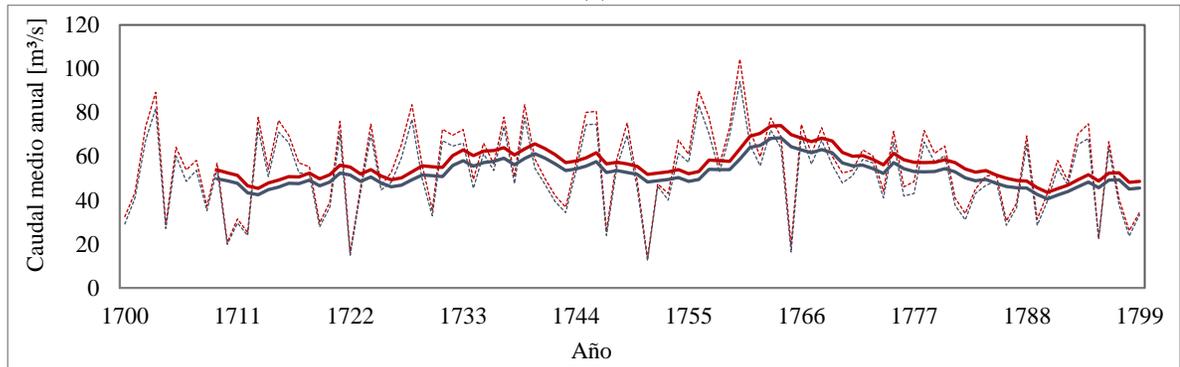
Las magnitudes máximas de caudal medio anual para el periodo 1900 – 1999 son igual a 90,5, 88,2 y 87,7 m³/s, para los mismos años resultantes en el modelo MPUC. Sin embargo, para los 3 caudales medios anuales mínimos los años cambian, los cuales corresponden a 1957, 1939 y 1972, cuyo caudal asociado es 8,3, 11,3 y 12,8 m³/s. En este caso no todos los caudales son menores a los obtenidos en la otra simulación. El siglo XX para este modelo también corresponde a la época de menores caudales, cuya media es igual a 50,0 m³/s y presenta los menores caudales medios anuales asociados al 95, 90 y 85% de excedencia (14,2, 27,0 y 29,8 m³/s) tal como se observa en Tabla 6-4.

Tabla 6-4. *Parámetros estadísticos por siglos del caudal medio anual (Modelo MERIDANUS). Río Achibueno en La Recova.*

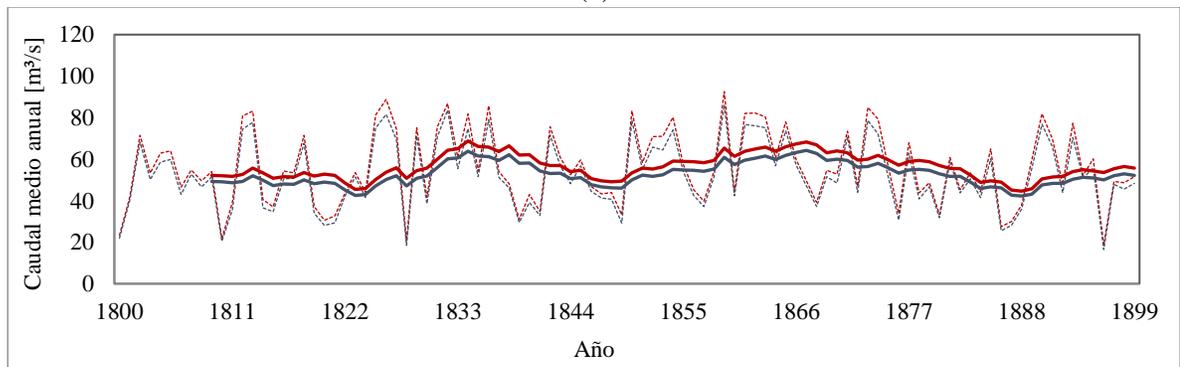
Siglo	XVII – XX	XVII	XVIII	XIX	XX
Media [m ³ /s]	51,4	51,4	51,7	52,3	50,0
Q _{95%} [m ³ /s]	22,9	25,7	22,7	25,6	14,2
Q _{90%} [m ³ /s]	29,1	32,7	27,9	29,6	27,0
Q _{85%} [m ³ /s]	33,2	35,0	31,1	34,7	29,8



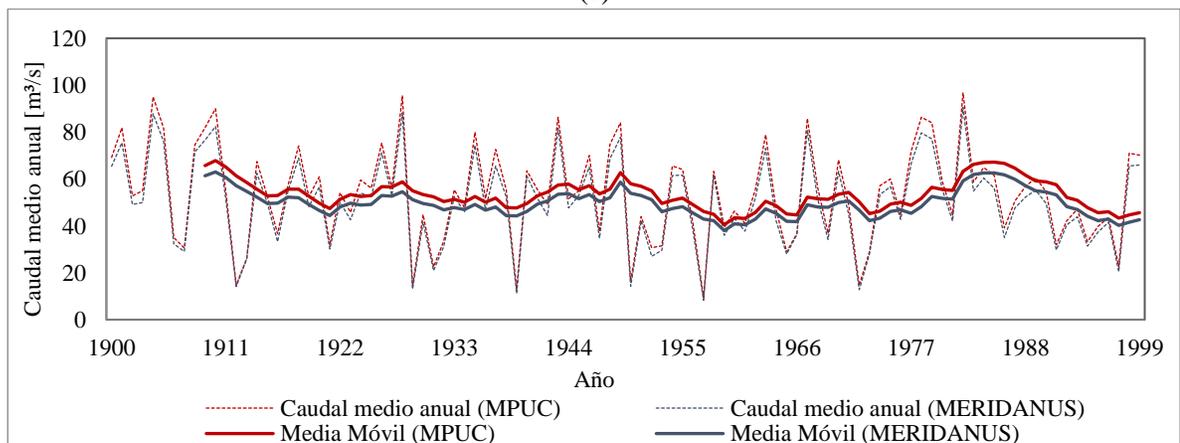
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6-5. Comparación de caudales medias anuales y medias móviles por siglos, entre modelo MPUC y MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.

De acuerdo a la curva de duración a nivel mensual mostrada en la Figura 6-6, los caudales medios mensuales máximos más altos se encuentran en el siglo XX, con una probabilidad de excedencia que alcanza a un valor de 1,7% aproximadamente; al igual que los más bajos en el siglo XVII, cuya probabilidad de excedencia comienza aproximadamente al 98,8%. Sin embargo, esta situación se invierte para el resto de los caudales. Existe una diferencia evidente en el máximo caudal medio mensual por siglo, estos valores son: 171,7, 162,2, 161,9 y 204,2 m³/s mientras que en el caso de los mínimos caudales medios mensuales esta disimilitud es más sutil, con valores equivalentes a 5,4, 5,3, 8,0 y 3,7 m³/s.

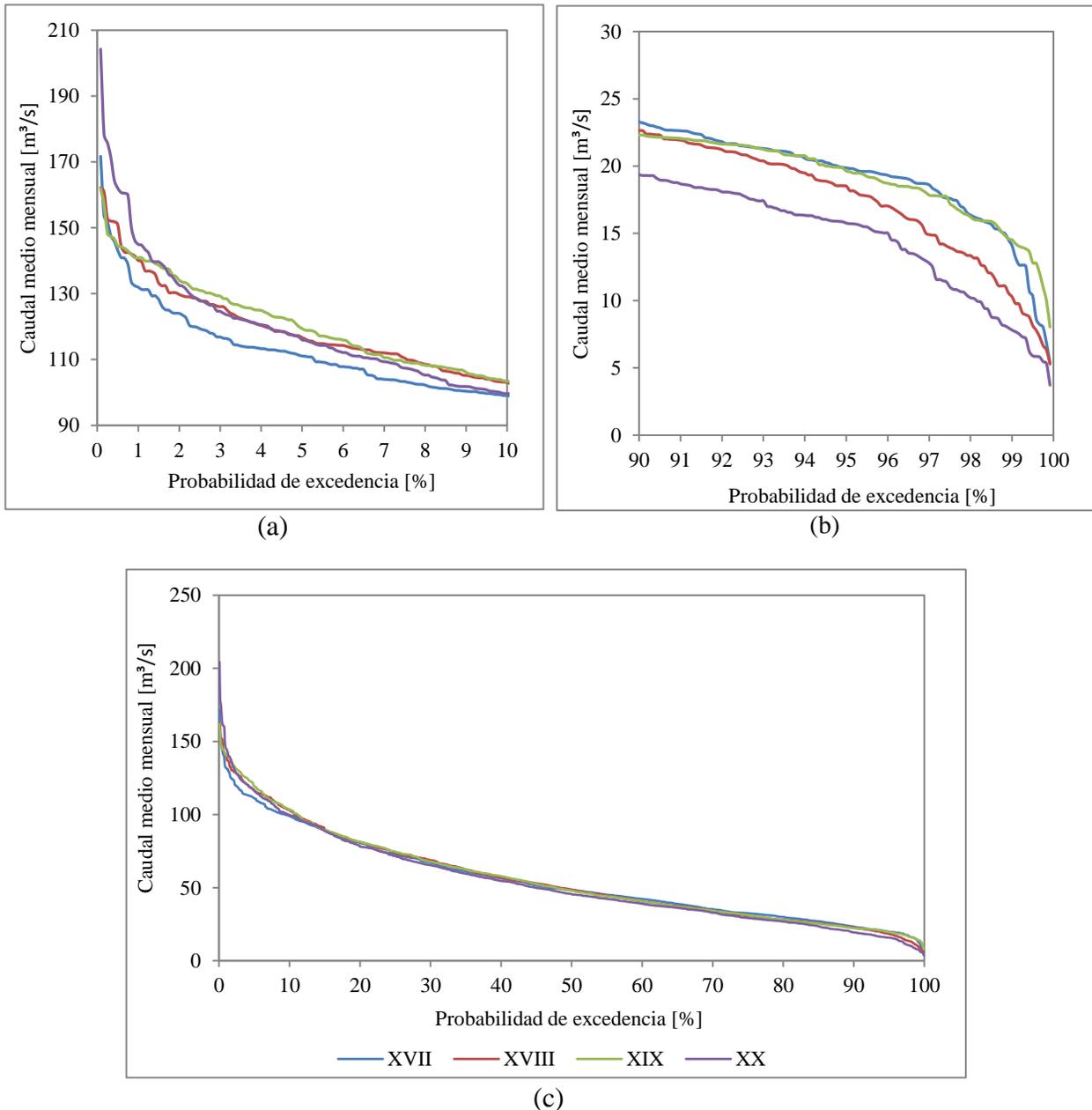


Figura 6-6. Curva de duración mensual por siglo. Basado en Modelo MPUC (c). (a) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia bajas. (b) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia altas.

Al igual que en los resultados obtenidos a base del modelo MPUC los mayores máximos caudales medios mensuales ocurren en el siglo XX, así como los menores en el siglo XVII, lo cual cambia para los caudales medios mensuales que se encuentran sobre la probabilidad de excedencia

del 20% aproximadamente. Los máximos valores medios mensuales por siglo son 212,2, 221,5, 268,2 y 265,2 m^3/s , mayores que los obtenidos a base del modelo MPUC, mientras que los mínimos resultan 3,7, 3,7, 5,1 y 2,6 m^3/s , valores menores que los obtenidos a base del modelo MPUC. Ver Figura 6-7.

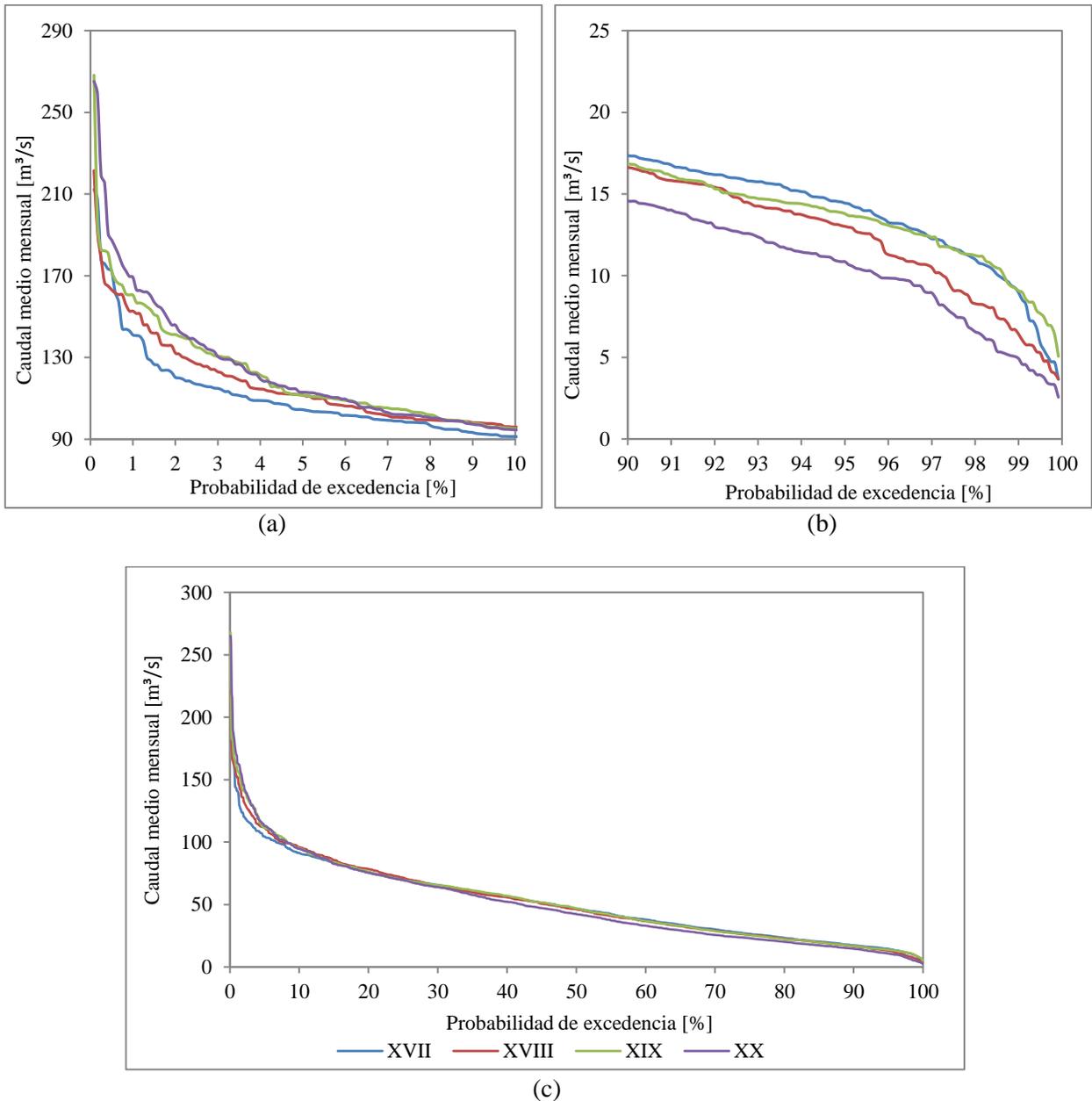


Figura 6-7. Curva de duración mensual por siglo. Basado en Modelo MERIDANUS (c). (a) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia bajas. (b) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia altas.

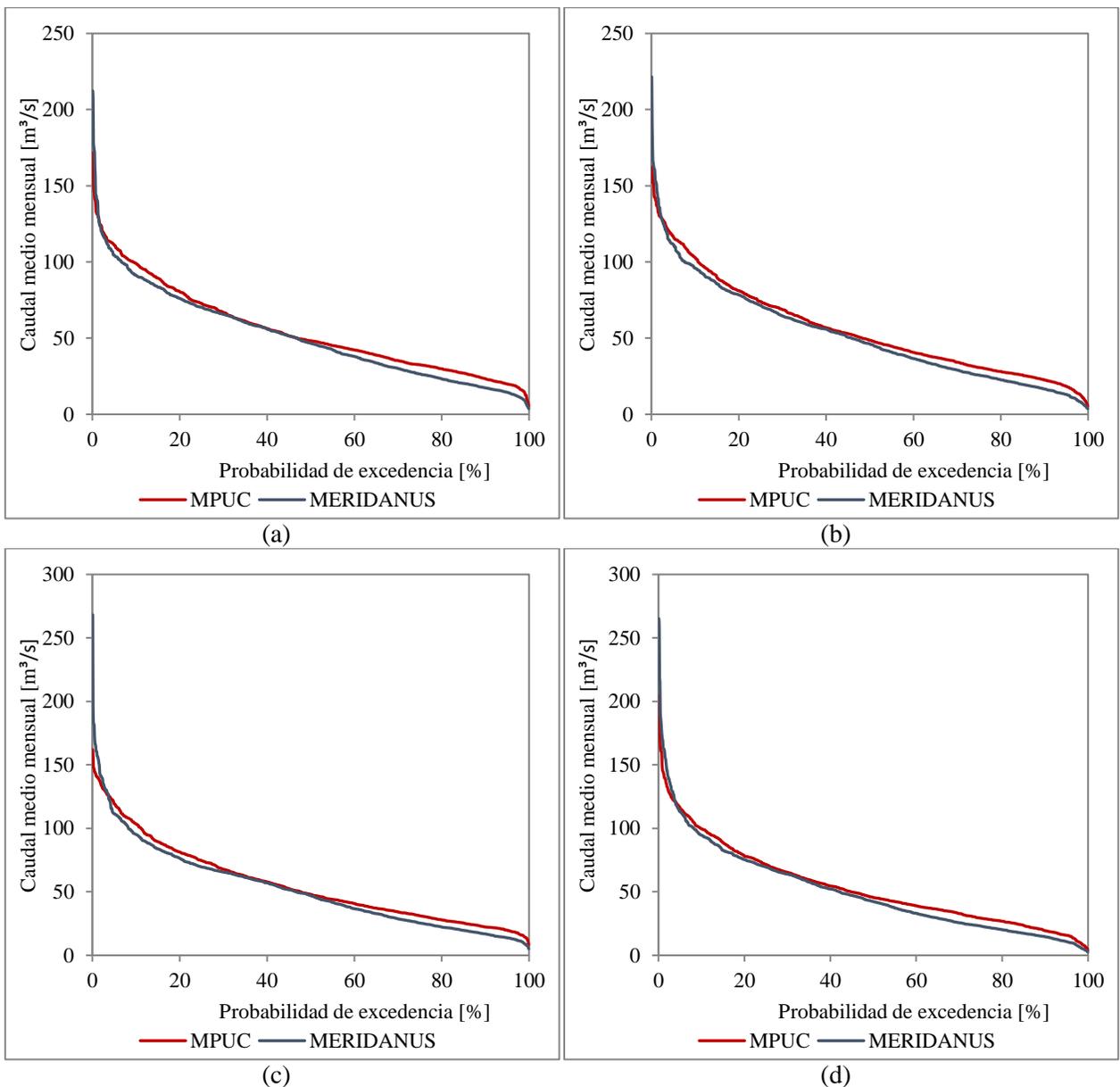


Figura 6-8. Comparación de curvas de duración mensual por siglos, entre modelo MPUC y MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.

Las curvas de variación estacional estimada a partir de los caudales medios mensuales calculados con el modelo MPUC establecen que la subcuenca río Achibueno en La Recova es del tipo nivopluvial, pues presenta valores altos de caudal en los meses de invierno, aumentando en el periodo de deshielo (Ver Figura 6-9). Mientras que, el modelo MERIDANUS indica que la subcuenca estudiada, Achibueno en la Recova, es pluvial, es decir los mayores caudales medios mensuales se presentan en los meses de invierno, así como los caudales medios mensuales más bajos ocurren en la época estival (Ver Figura 6-10), verificando que la subcuenca trabajada es del tipo pluvial (MOP-DGA, 2004), régimen que no ha cambiado desde el siglo XVII (Ver Anexo F).

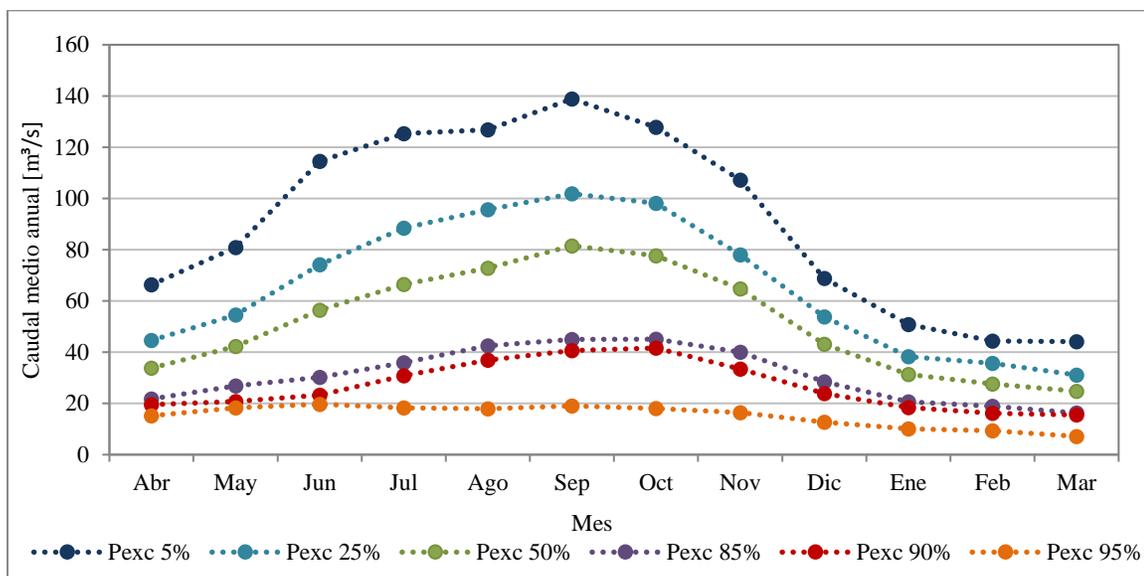


Figura 6-9. Curva de variación estacional Achibueno en la Recova. Modelo MPUC. Siglo XX.

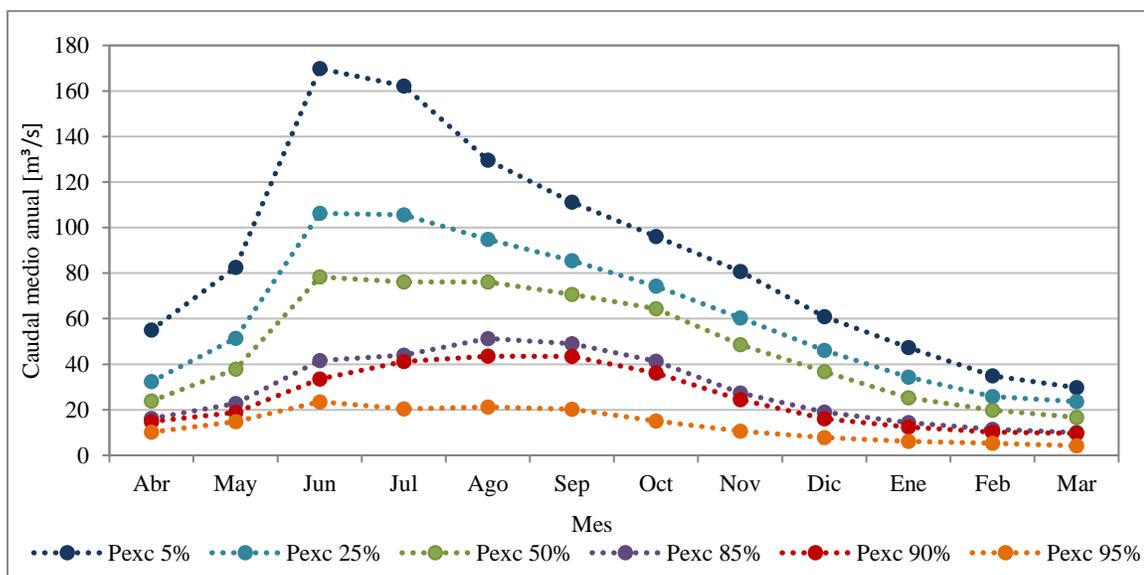


Figura 6-10. Curva de variación estacional en Achibueno en La Recova. Modelo MERIDANUS. Siglo XX.

De la recopilación realizada por Urrutia y Lanza (1993) acerca de los desastres en Chile, existen 59 años asociados a inundaciones y 20 a sequías en la zona de estudio por razones climáticas. Se considera que hubo crecidas aquellos años en los que su caudal medio se encuentra sobre la media estimada para los 400 años, mientras que las sequías para los caudales inferiores a dicho promedio. Para el caso de las inundaciones, 26 años coinciden con los registros históricos según el modelo MPUC y 25 según el modelo MERIDANUS; si se consideran los meses en que los temporales causaron desastres estas cifras ascienden a 34 y 42, respectivamente. Con respecto a las sequías, ambos modelos convienen que hay 10 años en que efectivamente tuvieron déficit de caudal, aumentando a 11 si se detallan los meses (Ver Tabla 6-5).

Tabla 6-5. Registro de años en que hubo sequías e inundaciones compatibles con los obtenidos por ambos modelos.

Centro Cambio Climático (PUC)				ERIDANUS			
Años con Inundaciones		Años con Sequías		Años con Inundaciones		Años con Sequías	
1679	1934	1979	1726	1679	1915	1969	1726
1748	1940	1980	1729	1730	1930	1970	1729
1826	1941	1982	1742	1748	1934	1971	1742
1827	1945	1984	1781	1826	1936	1974	1781
1836	1948	1987	1799	1827	1940	1975	1799
1855	1949	1990	1817	1836	1941	1976	1817
1877	1958		1871	1855	1944	1977	1871
1878	1961		1872	1877	1945	1978	1872
1888	1962		1892	1878	1948	1979	1892
1891	1970		1912	1888	1949	1980	1912
1895	1974		1991	1891	1951	1981	1991
1899	1975			1895	1959	1982	
1900	1977			1899	1961	1984	
1915	1978			1900	1962	1987	

Al contrastar los periodos de años consecutivos en que los caudales medios anuales simulados se encontraban bajo la media, con los antecedentes históricos en el modelo MPUC y MERIDANUS, se aprecian 2 inconsistencias (1929 – 1932 y 1950 – 1953), cuyas estimaciones indican que corresponden a años de déficit, mientras que la historia revela que pertenecen a ciclos de inundación. Por otra parte existen dos periodos amplios, casi contiguos, 1977 – 1980 y 1982 – 1985 en que los registros históricos (Urrutia & Lanza, 1993) concuerdan con los cálculos realizados con ambos modelos.

Es importante señalar que, no se espera que existan coincidencias cronológicas entre los resultados obtenidos a partir del modelo climático puesto que, es estadístico. Pero en el siglo XX se produjeron varios eventos de inundaciones que concuerdan con los valores altos de caudales medios anuales obtenidos en este trabajo. Con respecto al estudio de los anillos de los arboles (Urrutia et al., 2011) predominan los valores altos de escorrentía media anual en el mismo siglo.

Capítulo 7: Conclusiones y comentarios

La primera reconstrucción de 400 años realizada para las variables hidrometeorológicas: precipitación, temperatura y caudal en Chile, utilizando modelos de circulación general, se presentan en este trabajo. El objetivo del estudio fue adquirir conocimiento de la variabilidad en cuanto a la disponibilidad de agua, principalmente en una zona que se relaciona directamente con la agricultura y la generación hidroeléctrica, además de haber sido decretada como uno de los ecosistemas más amenazados globalmente.

Una de las cosas más importantes de trabajar con modelos de circulación general es seleccionarlo de forma adecuada, de acuerdo a la capacidad que éste tenga para replicar la climatología termo-pluviométrica de la zona de estudio, su resolución y frecuencia de tiempo de las variables a utilizar. Por ello, en este estudio se dio prioridad específicamente a los modelos que presentaban el mismo sentido de la tendencia, además de los mejores resultados en los índices de correlación R^2 y el coeficiente de determinación wR^2 con respecto a las precipitaciones, pues la subcuenca estero Las Garzas es pluvial. De lo antes mencionado, se escoge el modelo GISS-E2-R (past1000), que además es parte de las simulaciones realizadas por el CMIP5 con mayor detalle.

A pesar de la poca información que se tiene, sobre todo en las zonas cordilleranas, con respecto a la mantención y pocas estaciones, tanto meteorológicas como fluviométricas, se logró construir una metodología para generar las series de precipitación y temperatura, a través de la correlación entre datos simulados y observados, los cuales son verificados con las funciones de densidad de probabilidad, test de medias y varianzas. Y por otra parte, la correlación entre estaciones correspondientes a las subcuencas estero Las Garzas y río Achibueno en La Recova, donde la primera presentaba información a nivel mensual desde septiembre del año 2002 aunque con varios meses incompletos, los cuales no fueron incluidos en el ajuste. Con ello se obtuvo un coeficiente de determinación R^2 igual a 0,86, lo que es considerado muy bueno. Sin embargo, la representatividad de estas variables podría mejorar con una mayor cantidad de datos, en especial si se desea simular tantos años, como es este caso.

En relación a la estimación de los caudales medios mensuales es importante tener en consideración las hipótesis de base con las cuales se trabajó, siendo el uso de suelo, humedad y velocidad del viento, las variables determinantes en las diferencias encontradas entre ambos modelos empleados, que fueron consideradas constantes a nivel mensual para el periodo de simulación (1600 – 2000).

En función de los resultados de la reconstrucción del caudal medio anual para la cuenca río Achibueno en La Recova, el valor promedio en los 400 años es algo superior a $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ($55,1 \text{ m}^3/\text{s}$ según MPUC y $51,4 \text{ m}^3/\text{s}$ según MERIDANUS), sus valores máximos son del orden de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ($104,4 \text{ m}^3/\text{s}$ según MPUC y $94,1 \text{ m}^3/\text{s}$ según MERIDANUS) mientras los mínimos son cercanos a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($9,4$ y $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$, según MPUC y MERIDANUS), respectivamente. Los años en que ocurren los eventos extremos, siempre coinciden, coincidencia que no se ve reflejada al comparar los resultados con estas conceptualizaciones y el estudio de los anillos de los árboles (Urrutia et al., 2011), así como con el registro histórico (Urrutia & Lanza, 1993), puesto que, el modelo climático tiene una base estadística y no cronológica.

Ambos modelos indican que el periodo de mayor duración con caudales medios anuales por sobre la media corresponde al lapso 1754 – 1764, por su parte el ciclo 1990 – 1997 contiene sólo caudales medios anuales que se encuentran por debajo del promedio. Con respecto a los valores de

excedencia de caudal, se aprecia que existen más valores consecutivos en el último siglo superior a la media. Sin embargo, los flujos de menor magnitud se encuentran precisamente en el mismo periodo. Por otra parte, el siglo XIX, es la época con más años contiguos bajo el promedio.

Si se relacionan los caudales medios anuales con las variables de entrada, precipitación y temperatura, se observa una mayor afinidad entre los caudales y las precipitaciones, lo que se aprecia con mayor claridad en los eventos extremos donde el año en que llovió más (1760) en efecto es en el que se obtuvo el valor más alto de caudal. En el caso contrario, para el caudal medio anual más bajo del periodo 1600 – 2000, el año 1957 se encuentra dentro de los 3 años con menos precipitación, mientras que la temperatura en dicho año es mayor que la estimada en 1760. Además, en la mayoría de los ciclos, tanto de sequías como de inundación, se aprecia esta misma relación.

Al comparar la modelación con la reconstrucción efectuada utilizando anillos de los árboles en la misma zona por Urrutia et al. (2011), se obtiene que, estadísticamente los mayores caudales medios anuales se asocian al siglo XX, siendo más grandes en cuanto a magnitud respecto a los de siglos anteriores, mientras que los flujos más pequeños se dan en el periodo 1600 – 1899, concordando con los resultados obtenidos en este documento. Además, las curvas de duración son bastante similares, difiriendo en los valores extremos en donde los porcentajes con respecto al promedio son mayores al utilizar los modelos de MPUC y MERIDANUS. Diferencia que aún así es insignificante.

Ambos modelos, MPUC y MERIDANUS, coinciden en que las tendencias observadas cada cien años son leves y negativas para los siglos XVII y XIX, siendo casi nula para este último y ligeramente positivas para los siglos XVIII y XX. También, ambos concuerdan en que, desde el punto de vista del valor promedio por siglo, es el siglo XX el que presenta el menor valor, obviamente siendo inferior al promedio calculado para la serie completa (400 años). Lo anterior se atribuye principalmente, a que la magnitud de los caudales medios anuales son más bajos comparados a los otros siglos. Por su parte, los menores valores del caudal medio anual asociados a las probabilidades de excedencia de 95, 90 y 85% ocurren en el siglo XX, mientras que los más altos valores asociados a 95 y 90% de probabilidad de excedencia se habrían presentado en el siglo XVII y el de 85% en el siglo XIX según MPUC. Por su parte, el modelo MERIDANUS señala que los mayores caudales correspondientes a las probabilidades mencionadas habrían ocurrido en el siglo XVII.

A través del contraste realizado con el registro histórico de eventos asociados a inundaciones y sequías, con un total de 79 años, en los cuales se produjeron eventos, de acuerdo a la calibración hecha por el Centro de Cambio Climático (MPUC) 45 son compatibles, mientras que la estimación con el modelo aportado por ERIDANUS entrega más coincidencias, equivalentes a 53 eventos. Es esperable que estas coincidencias sean bajas, ya que el modelo climático es estadístico. Sin embargo, existe concordancia en que los resultados de ambas conceptualizaciones utilizadas indican que en el siglo XX hubo mayor cantidad de caudales altos, como lo avala el registro histórico.

Con el estudio realizado se puede reafirmar que el régimen de la cuenca es pluvial, tal como lo indican las curvas de variación estacional obtenidas a partir de la aplicación del modelo MERIDANUS. También se puede señalar que el modelo calibrado por ERIDANUS presenta más aciertos en cuanto a la hidrología de la zona estudiada, destacando por su conceptualización sencilla.

Bibliografía

- [1] Bonelli, S., Vicuña, S., Meza, F. J., Gironás, J., & Barton, J., 2014. Incorporating climate change adaptation strategies in urban water supply planning: the case of central Chile. *Journal of Water and Climate Change*, 5(3), 20 págs.
- [2] Chandler, M. A., Sohl, L. E., Jonas, J. A., Dowsett, H. J., & Kelley, M., 2013. Simulations of the Mid-Pliocene Warm Period Using Two Versions of the NASA-GISS ModelE2-R Coupled Model, 15 págs.
- [3] Chen, F., Yuan, Y. J., Zhang, R. B., Wang, H. Q., Shang, H. M., Zhang, T. W., ... & Fan, Z. A., 2016. Shiyang River streamflow since AD 1765, reconstructed by tree rings, contains far-reaching hydro-climatic signals over and beyond the mid-latitude Asian continent. *Hydrological Processes*, 23 págs.
- [4] Cobos, D. R., & J. A. Boninsegna, 1983. Fluctuations of some glaciers in the upper Atuel River basin, Mendoza, Argentina, *Quat. S. Am. Antarct. Peninsula*, 1, 22 págs.
- [5] CONAF, C., 1999. BIRF. 1999. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Corporación Nacional Forestal/Comisión Nacional del Medioambiente/Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Santiago, Chile, 90 págs.
- [6] Dowsett, H. J., Foley, K. M., Stoll, D. K., Chandler, M. A., Sohl, L. E., Bentsen, M., ... & Dolan, A. M., 2013. Sea surface temperature of the mid-Piacenzian ocean: A data-model comparison. *Scientific reports*, 8 págs.
- [7] Eridanus, 2016. Determinación del Impacto del Cambio Climático en el Potencial Esperado de Generación Hidroeléctrica en la cuenca del río Maule. Informe preparado para la Subsecretaría de Energía, 215 págs.
- [8] Escobar M. & Vicuña S., 2009. Guía Metodológica: Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos Con El Modelo Weap ("Methodological Guide for Hydrologic and Water Resources Modeling with the WEAP model", in Spanish), a joint publication of Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile and Stockholm Environment Institute, 86 págs.
- [9] Flaounas, E., Drobinski, P., & Bastin, S., 2013. Dynamical downscaling of IPSL-CM5 CMIP5 historical simulations over the Mediterranean: benefits on the representation of regional surface winds and cyclogenesis. *Climate dynamics*, 40(9-10), 17 págs.
- [10] Gasith, A., & Resh, V. H., 1999. Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual review of ecology and systematics*, 31 págs.
- [11] Gillett, N. P., Arora, V. K., Matthews, D., & Allen, M. R., 2013. Constraining the Ratio of Global Warming to Cumulative CO₂ Emissions Using CMIP5 Simulations*. *Journal of Climate*, 26(18), 15 págs.
- [12] Gou, X., Chen, F., Cook, E., Jacoby, G., Yang, M., & Li, J., 2007. Streamflow variations of the Yellow River over the past 593 years in western China reconstructed from tree rings. *Water Resources Research*, 43(6).
- [13] Holmes, R. L., C. W. Stockton, and V. C. LaMarche, 1979. Extension of river flow records in Argentina from long tree-ring chronologies, *Water Resour. Bull.*, 15(4), 5 págs.
- [14] Instituto Nacional de Estadísticas, 2014. Estadísticas Vitales, Anuario 2014, Santiago.
- [15] IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

- [16] Kwak, J., Kim, S., Kim, G., Singh, V. P., Park, J., & Kim, H. S., 2016. Bivariate Drought Analysis Using Streamflow Reconstruction with Tree Ring Indices in the Sacramento Basin, California, USA. *Water*, 8(4), 122, 16 págs.
- [17] Lagos M. & Vargas X., 2011. Variación De Eventos Extremos De Precipitación Diaria Proyectados A Medios Del Siglo XXI, Resultados En Regiones De Coquimbo Y Maule. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XX Congreso Chileno de Hidráulica, 163 págs.
- [18] Lagos M. & Vargas X., 2012. Variación De Precipitación Y Área Pluvial Aportante Afluyente Al Embalse Puclaro, Chile. Proyecciones Al Período 2045-2065. XXV Congreso latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica, 148 págs.
- [19] Lara, A., R. Villalba, and R. Urrutia, 2008. A 400-year tree-ring record of the Puelo River summer–fall streamflow in the Valdivian rainforest ecoregion, Chile, *Clim. Change*, 86(3–4), 26 págs.
- [20] Lavaysse, C., Vrac, M., Drobinski, P., Lengaigne, M., & Vischel, T., 2012. Statistical downscaling of the French Mediterranean climate: assessment for present and projection in an anthropogenic scenario. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(3), 20 págs.
- [21] Lean, J., 2009. Calculations of Solar Irradiance. http://www.geo.fuberlin.de/en/met/ag/strat/forschung/SOLARIS/Input_data/Calculations_of_Solar_Irradiance.pdf]
- [22] McPhee, J. P., Castillo, Y., Escobar, M., & Pellicciotti, F., 2014. Hydro-glaciological modeling in the Upper Maipo River basin, extratropical Andes Cordillera, with explicit representation of debris-covered glaciers. In *AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 1, p. 0330)*, 18 págs.
- [23] McPhee J., Rubio E., Meza R., Ayala A. y Vargas X., 2009. Proyecciones de impacto del cambio climático sobre cuencas andinas de Chile Central: aplicación a cuencas de Maule Alto y Laja. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XIX Congreso Chileno de Hidráulica, 165 págs.
- [24] Meko, D. M., Woodhouse, C. A., Baisan, C. A., Knight, T., Lukas, J. J., Hughes, M. K., & Salzer, M. W., 2007. Medieval drought in the upper Colorado River Basin. *Geophysical Research Letters*, 34(10), 5 págs.
- [25] Menut, L., Tripathi, O. P., Colette, A., Vautard, R., Flaounas, E., & Bessagnet, B., 2013. Evaluation of regional climate simulations for air quality modelling purposes. *Climate Dynamics*, 40(9-10), 19 págs.
- [26] MOP-DGA, C. I., 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá. Santiago, Chile, 152 págs.
- [27] Morales, Y., 2016. Evaluación y modelación de información hidrológica para propuesta de mejoras en la programación a largo plazo de centrales hidroeléctricas en Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, 92 págs.
- [28] Muñoz, A. A., González-Reyes, A., Lara, A., Sauchyn, D., Christie, D., Puchi, P., ... & Sheppard, P. R., 2016. Streamflow variability in the Chilean Temperate-Mediterranean climate transition (35° S–42° S) during the last 400 years inferred from tree-ring records. *Climate Dynamics*, 16 págs.
- [29] Olson, D. M., & Dinerstein, E., 2002. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical garden*, 26 págs.
- [30] Poblete, D., Vicuña, S., Meza, F., & Bustos, E., 2012. Water resources modeling under Climate Change scenarios of Maule River Basin (Chile) with two main water intensive and competing sectors: Agriculture and Hydropower Generation. In *IWA World Congress on Water, Climate and Energy*, 20 págs.

- [31] Rubio Álvarez, E. A., 2013. Análisis de variabilidad espacial y temporal de series de caudales de la VII a XI Regiones, 50 págs.
- [32] Salameh, T., Drobinski, P., Vrac, M., & Naveau, P., 2009. Statistical downscaling of near-surface wind over complex terrain in southern France. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 103(1-4), 13 págs.
- [33] Sato, M., Hansen, J. E., McCormick, M. P., & Pollack, J. B. (1993). Stratospheric aerosol optical depths, 1850–1990. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 98(D12), 8 págs.
- [34] Shindell, D., Faluvegi, G., Nazarenko, L., Bowman, K., Lamarque, J. F., Voulgarakis, A., ... & Ruedy, R., 2013. Attribution of historical ozone forcing to anthropogenic emissions. *Nature Climate Change*, 3(6), 4 págs.
- [35] Shindell, D. T., Pechony, O., Voulgarakis, A., Faluvegi, G., Nazarenko, L., Lamarque, J. F. & Schmidt, G. A., 2013. Interactive ozone and methane chemistry in GISS-E2 historical and future climate simulations. *Atmos. Chem. Phys*, 13(5), 37 págs.
- [36] Schmidt, G. A., Kelley, M., Nazarenko, L., Ruedy, R., Russell, G. L., Aleinov, I., ... & Canuto, V., 2014. Configuration and assessment of the GISS ModelE2 contributions to the CMIP5 archive. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 6(1), 44 págs.
- [37] Taylor KE, Stouffer RJ, Meehl GA, 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull Am Meteorol Soc* 93(4), 14 págs.
- [38] Todd-Brown, K. E., Randerson, J. T., Post, W. M., Hoffman, F. M., Tarnocai, C., Schuur, E. A., & Allison, S. D., 2013. Causes of variation in soil carbon simulations from CMIP5 Earth system models and comparison with observations. *Biogeosciences*, 10(3), 20 págs.
- [39] Turner, J., Bracegirdle, T. J., Phillips, T., Marshall, G. J., & Hosking, J. S., 2013. An initial assessment of Antarctic sea ice extent in the CMIP5 models. *Journal of Climate*, 26(5), 12 págs.
- [40] Urrutia, R. B., Lara, A., Villalba, R., Christie, D. A., Le Quesne, C., & Cuq, A., 2011. Multicentury tree ring reconstruction of annual streamflow for the Maule River watershed in south central Chile. *Water Resources Research*, 47(6), 15 págs.
- [41] Urrutia, R., & Lanza, C., 1993. *Catástrofes en Chile 1541-1992*. Editorial La Noria, Santiago, Chile, 440 págs.
- [42] Vargas X., Gomez T., Ahumada F., Rubio E., Cartes M. & Gibbs M., 2013. Water availability in a mountainous Andean watershed under CMIP5 climate change scenarios. *Cold and Mountain Region Hydrological Systems Under Climate Change: Towards Improved Projections Proceedings of H02, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 360, 2013)*, 23 págs.
- [43] Vrac, M., Drobinski, P., Merlo, A., Herrmann, M., Lavaysse, C., Li, L., & Somot, S., 2012. Dynamical and statistical downscaling of the French Mediterranean climate: uncertainty assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 16 págs.
- [44] Wagnitz, P., Núñez, J., & Ribbe, L., 2014. Cost of environmental flow during water scarcity in the arid Huasco River basin, northern Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4), 13 págs.
- [45] Wang, Y.-M., J. L. Lean, and N. R. Sheeley Jr., 2005b. Modeling the Sun's magnetic field and irradiance since 1713, *Astrophys. J.*, 625, 17 págs.
- [46] Wilby, R. L., & Dawson, C. W., 2013. The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 13 págs.
- [47] Woodhouse, C. A., 2001. A tree-ring reconstruction of streamflow for the Colorado front range. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(3), 9 págs.

- [48] Woodhouse, C. A., & Lukas, J. J., 2006. Multi-century tree-ring reconstructions of Colorado streamflow for water resource planning. *Climatic Change*, 78(2-4), 23 págs.
- [49] Yang, B., Qin, C., Shi, F., & Sonechkin, D. M., 2011. Tree ring-based annual streamflow reconstruction for the Heihe River in arid northwestern China from AD 575 and its implications for water resource management. *The Holocene*, 19 págs.

Anexos

ANEXO A. Proceso de Escalamiento de Datos

Tabla A-1. Ponderadores para obtener precipitaciones mensuales en estación Armerillo. Periodo 1600 – 2000.

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1600	0,07	0,08	0,23	0,23	0,11	0,08	0,07	0,06	0,02	0,00	0,02	0,03
1601	0,11	0,26	0,10	0,11	0,13	0,12	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04
1602	0,06	0,14	0,04	0,18	0,12	0,05	0,10	0,10	0,01	0,04	0,07	0,09
1603	0,07	0,18	0,10	0,22	0,12	0,11	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,09
1604	0,10	0,10	0,15	0,10	0,25	0,07	0,11	0,04	0,04	0,00	0,01	0,02
1605	0,04	0,27	0,09	0,19	0,16	0,10	0,05	0,01	0,02	0,06	0,01	0,00
1606	0,08	0,07	0,24	0,10	0,17	0,09	0,06	0,06	0,01	0,02	0,08	0,02
1607	0,10	0,19	0,10	0,12	0,22	0,09	0,05	0,06	0,00	0,02	0,02	0,03
1608	0,08	0,07	0,18	0,26	0,13	0,12	0,09	0,01	0,01	0,04	0,00	0,01
1609	0,08	0,19	0,18	0,18	0,15	0,04	0,05	0,05	0,03	0,01	0,00	0,04
1610	0,11	0,16	0,09	0,21	0,15	0,09	0,07	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02
1611	0,13	0,16	0,16	0,20	0,09	0,06	0,09	0,02	0,03	0,01	0,01	0,05
1612	0,04	0,10	0,25	0,23	0,10	0,09	0,06	0,06	0,01	0,03	0,02	0,01
1613	0,02	0,12	0,12	0,17	0,15	0,14	0,05	0,08	0,03	0,01	0,00	0,11
1614	0,10	0,08	0,21	0,22	0,11	0,10	0,10	0,00	0,04	0,02	0,01	0,01
1615	0,10	0,09	0,23	0,18	0,13	0,06	0,08	0,04	0,05	0,01	0,02	0,01
1616	0,04	0,12	0,10	0,20	0,16	0,14	0,04	0,03	0,09	0,02	0,00	0,06
1617	0,08	0,22	0,18	0,05	0,07	0,06	0,13	0,05	0,02	0,00	0,05	0,07
1618	0,03	0,14	0,12	0,20	0,18	0,06	0,09	0,10	0,01	0,01	0,03	0,04
1619	0,03	0,28	0,21	0,12	0,10	0,08	0,02	0,03	0,06	0,03	0,02	0,02
1620	0,12	0,06	0,17	0,17	0,16	0,07	0,03	0,06	0,03	0,00	0,01	0,10
1621	0,10	0,21	0,24	0,08	0,09	0,02	0,09	0,02	0,01	0,04	0,08	0,02
1622	0,12	0,09	0,28	0,08	0,17	0,07	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02	0,08
1623	0,06	0,19	0,25	0,16	0,13	0,04	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00	0,06
1624	0,11	0,20	0,18	0,18	0,10	0,08	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,08
1625	0,04	0,16	0,19	0,06	0,10	0,05	0,16	0,10	0,01	0,01	0,01	0,11
1626	0,05	0,15	0,12	0,17	0,15	0,12	0,09	0,03	0,02	0,04	0,00	0,04
1627	0,03	0,12	0,20	0,24	0,19	0,06	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05
1628	0,15	0,20	0,15	0,06	0,09	0,11	0,01	0,05	0,05	0,02	0,02	0,08
1629	0,04	0,16	0,15	0,23	0,11	0,11	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08
1630	0,10	0,07	0,27	0,14	0,11	0,05	0,13	0,07	0,03	0,00	0,01	0,03
1631	0,07	0,16	0,22	0,17	0,06	0,12	0,05	0,02	0,01	0,01	0,04	0,05
1632	0,15	0,23	0,03	0,19	0,07	0,13	0,07	0,06	0,03	0,01	0,02	0,01
1633	0,07	0,15	0,22	0,21	0,07	0,06	0,07	0,02	0,00	0,03	0,02	0,09
1634	0,05	0,18	0,09	0,25	0,15	0,10	0,08	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01
1635	0,03	0,18	0,16	0,19	0,13	0,08	0,03	0,06	0,07	0,04	0,00	0,03
1636	0,09	0,22	0,24	0,14	0,17	0,04	0,05	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01
1637	0,11	0,19	0,13	0,12	0,14	0,10	0,05	0,04	0,04	0,01	0,00	0,08
1638	0,07	0,11	0,16	0,16	0,15	0,15	0,05	0,04	0,01	0,07	0,01	0,02

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1639	0,04	0,21	0,19	0,11	0,16	0,10	0,07	0,05	0,04	0,00	0,02	0,01
1640	0,06	0,17	0,26	0,14	0,06	0,08	0,07	0,01	0,04	0,02	0,00	0,08
1641	0,08	0,11	0,13	0,18	0,10	0,11	0,04	0,06	0,02	0,01	0,04	0,14
1642	0,05	0,24	0,17	0,18	0,11	0,09	0,07	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02
1643	0,06	0,27	0,16	0,18	0,07	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02
1644	0,04	0,20	0,12	0,22	0,09	0,07	0,09	0,02	0,03	0,08	0,05	0,01
1645	0,09	0,14	0,07	0,12	0,21	0,17	0,08	0,04	0,01	0,02	0,02	0,04
1646	0,07	0,11	0,19	0,10	0,10	0,19	0,08	0,03	0,01	0,02	0,07	0,02
1647	0,06	0,14	0,19	0,12	0,12	0,09	0,11	0,07	0,04	0,01	0,00	0,04
1648	0,14	0,19	0,16	0,17	0,13	0,11	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01
1649	0,09	0,07	0,19	0,11	0,15	0,12	0,05	0,02	0,03	0,00	0,06	0,11
1650	0,07	0,18	0,18	0,07	0,11	0,14	0,03	0,02	0,01	0,03	0,10	0,07
1651	0,10	0,13	0,14	0,12	0,22	0,14	0,00	0,05	0,03	0,02	0,00	0,04
1652	0,12	0,12	0,06	0,09	0,13	0,18	0,10	0,17	0,01	0,00	0,02	0,02
1653	0,09	0,11	0,22	0,15	0,11	0,11	0,07	0,02	0,01	0,01	0,04	0,06
1654	0,06	0,08	0,17	0,23	0,12	0,09	0,07	0,03	0,02	0,00	0,01	0,11
1655	0,12	0,10	0,13	0,09	0,15	0,18	0,03	0,12	0,02	0,02	0,01	0,02
1656	0,19	0,14	0,10	0,13	0,11	0,11	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,08
1657	0,06	0,18	0,10	0,35	0,08	0,08	0,05	0,02	0,01	0,00	0,01	0,06
1658	0,07	0,09	0,20	0,11	0,21	0,06	0,09	0,01	0,01	0,01	0,10	0,03
1659	0,04	0,13	0,21	0,09	0,16	0,10	0,11	0,04	0,01	0,06	0,02	0,00
1660	0,07	0,14	0,09	0,14	0,25	0,14	0,09	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01
1661	0,02	0,04	0,16	0,21	0,13	0,15	0,07	0,01	0,00	0,08	0,04	0,08
1662	0,12	0,16	0,28	0,21	0,07	0,04	0,06	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
1663	0,08	0,17	0,15	0,10	0,18	0,07	0,13	0,07	0,00	0,02	0,00	0,03
1664	0,17	0,07	0,24	0,19	0,04	0,06	0,08	0,01	0,01	0,06	0,03	0,06
1665	0,07	0,15	0,21	0,15	0,08	0,17	0,08	0,02	0,02	0,02	0,00	0,04
1666	0,03	0,12	0,20	0,20	0,10	0,13	0,13	0,01	0,01	0,03	0,00	0,03
1667	0,04	0,06	0,16	0,20	0,11	0,12	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,12
1668	0,08	0,13	0,12	0,18	0,12	0,08	0,11	0,03	0,03	0,03	0,01	0,09
1669	0,09	0,06	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,05	0,03	0,01	0,04	0,10
1670	0,00	0,22	0,13	0,12	0,15	0,15	0,13	0,02	0,01	0,00	0,03	0,04
1671	0,10	0,06	0,12	0,33	0,08	0,12	0,08	0,03	0,01	0,00	0,01	0,06
1672	0,12	0,20	0,09	0,17	0,11	0,07	0,12	0,06	0,01	0,00	0,00	0,04
1673	0,07	0,08	0,17	0,17	0,19	0,11	0,03	0,07	0,04	0,02	0,01	0,04
1674	0,05	0,06	0,23	0,08	0,15	0,15	0,18	0,03	0,00	0,03	0,02	0,01
1675	0,11	0,08	0,14	0,20	0,09	0,10	0,07	0,08	0,01	0,07	0,00	0,06
1676	0,11	0,02	0,16	0,24	0,12	0,09	0,12	0,03	0,07	0,00	0,02	0,03
1677	0,05	0,16	0,19	0,11	0,15	0,03	0,09	0,10	0,02	0,00	0,04	0,06
1678	0,05	0,19	0,09	0,16	0,17	0,21	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
1679	0,10	0,09	0,22	0,07	0,09	0,08	0,14	0,04	0,01	0,06	0,06	0,06
1680	0,09	0,09	0,20	0,14	0,17	0,06	0,07	0,08	0,01	0,00	0,05	0,04
1681	0,08	0,09	0,29	0,14	0,04	0,05	0,14	0,02	0,03	0,01	0,03	0,08

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1682	0,16	0,14	0,04	0,17	0,07	0,08	0,10	0,06	0,02	0,00	0,03	0,13
1683	0,19	0,17	0,18	0,10	0,16	0,07	0,06	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02
1684	0,16	0,16	0,09	0,13	0,15	0,12	0,06	0,07	0,02	0,02	0,01	0,01
1685	0,03	0,05	0,12	0,09	0,32	0,12	0,09	0,03	0,04	0,00	0,04	0,07
1686	0,07	0,08	0,18	0,21	0,07	0,11	0,07	0,06	0,04	0,00	0,06	0,04
1687	0,09	0,12	0,24	0,11	0,23	0,11	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00
1688	0,14	0,12	0,07	0,10	0,20	0,14	0,06	0,01	0,04	0,01	0,01	0,11
1689	0,04	0,12	0,07	0,26	0,11	0,06	0,13	0,05	0,02	0,00	0,05	0,10
1690	0,10	0,09	0,08	0,13	0,18	0,11	0,14	0,02	0,00	0,03	0,00	0,12
1691	0,13	0,14	0,20	0,06	0,19	0,10	0,08	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03
1692	0,08	0,20	0,14	0,22	0,11	0,06	0,07	0,02	0,03	0,00	0,00	0,05
1693	0,11	0,14	0,11	0,13	0,18	0,08	0,04	0,09	0,01	0,02	0,04	0,05
1694	0,10	0,17	0,13	0,10	0,10	0,11	0,08	0,09	0,01	0,01	0,04	0,07
1695	0,07	0,18	0,11	0,16	0,10	0,12	0,14	0,01	0,03	0,04	0,04	0,01
1696	0,12	0,05	0,13	0,16	0,19	0,12	0,11	0,07	0,01	0,02	0,00	0,01
1697	0,18	0,06	0,09	0,30	0,14	0,06	0,08	0,05	0,00	0,01	0,03	0,03
1698	0,05	0,10	0,16	0,21	0,13	0,08	0,07	0,03	0,11	0,01	0,01	0,04
1699	0,08	0,18	0,18	0,09	0,12	0,21	0,03	0,03	0,02	0,00	0,03	0,03
1700	0,07	0,16	0,10	0,07	0,13	0,11	0,13	0,05	0,00	0,04	0,06	0,07
1701	0,09	0,12	0,14	0,18	0,16	0,08	0,04	0,04	0,06	0,00	0,05	0,03
1702	0,15	0,14	0,14	0,13	0,08	0,15	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04
1703	0,13	0,20	0,22	0,06	0,17	0,08	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,07
1704	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,10	0,10	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04
1705	0,06	0,09	0,14	0,16	0,23	0,02	0,15	0,10	0,00	0,01	0,01	0,01
1706	0,19	0,14	0,20	0,11	0,13	0,07	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,08
1707	0,18	0,13	0,12	0,08	0,18	0,08	0,07	0,02	0,04	0,05	0,03	0,02
1708	0,07	0,10	0,24	0,14	0,08	0,10	0,07	0,03	0,02	0,04	0,03	0,10
1709	0,12	0,16	0,13	0,17	0,08	0,04	0,05	0,11	0,00	0,01	0,01	0,11
1710	0,12	0,13	0,18	0,15	0,16	0,08	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01	0,04
1711	0,05	0,17	0,09	0,13	0,12	0,08	0,11	0,12	0,04	0,02	0,05	0,02
1712	0,11	0,17	0,19	0,08	0,11	0,11	0,02	0,05	0,08	0,01	0,01	0,07
1713	0,07	0,16	0,16	0,12	0,15	0,06	0,09	0,08	0,02	0,00	0,07	0,02
1714	0,08	0,24	0,17	0,15	0,12	0,06	0,03	0,01	0,03	0,00	0,01	0,10
1715	0,11	0,10	0,19	0,15	0,15	0,07	0,09	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05
1716	0,05	0,15	0,16	0,26	0,10	0,10	0,07	0,01	0,00	0,01	0,00	0,07
1717	0,18	0,15	0,10	0,20	0,02	0,12	0,09	0,07	0,01	0,01	0,01	0,04
1718	0,08	0,18	0,13	0,17	0,21	0,12	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
1719	0,08	0,10	0,11	0,13	0,35	0,09	0,03	0,03	0,00	0,01	0,04	0,01
1720	0,23	0,10	0,20	0,18	0,06	0,07	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04
1721	0,13	0,25	0,06	0,08	0,24	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,05	0,05
1722	0,00	0,18	0,19	0,18	0,07	0,05	0,06	0,19	0,01	0,05	0,01	0,01
1723	0,04	0,18	0,14	0,20	0,14	0,08	0,04	0,04	0,03	0,00	0,04	0,07
1724	0,03	0,10	0,14	0,23	0,10	0,11	0,08	0,05	0,01	0,04	0,05	0,06

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1725	0,10	0,18	0,13	0,21	0,09	0,06	0,06	0,06	0,02	0,02	0,01	0,07
1726	0,05	0,12	0,18	0,19	0,12	0,02	0,09	0,05	0,05	0,03	0,03	0,06
1727	0,08	0,15	0,06	0,16	0,12	0,15	0,08	0,04	0,04	0,00	0,01	0,10
1728	0,08	0,18	0,18	0,22	0,06	0,04	0,11	0,04	0,00	0,02	0,03	0,04
1729	0,07	0,20	0,09	0,06	0,09	0,10	0,12	0,06	0,05	0,06	0,01	0,07
1730	0,03	0,19	0,15	0,15	0,12	0,13	0,07	0,04	0,02	0,06	0,00	0,04
1731	0,04	0,20	0,12	0,20	0,08	0,19	0,08	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03
1732	0,07	0,09	0,26	0,11	0,24	0,08	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
1733	0,09	0,22	0,15	0,11	0,11	0,07	0,10	0,04	0,04	0,02	0,01	0,03
1734	0,07	0,24	0,14	0,19	0,06	0,09	0,02	0,14	0,01	0,00	0,00	0,04
1735	0,13	0,16	0,23	0,11	0,10	0,11	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,00
1736	0,04	0,27	0,12	0,18	0,08	0,10	0,07	0,06	0,01	0,01	0,03	0,04
1737	0,03	0,19	0,13	0,27	0,10	0,13	0,04	0,03	0,02	0,06	0,00	0,00
1738	0,13	0,05	0,19	0,16	0,24	0,10	0,04	0,05	0,00	0,00	0,01	0,03
1739	0,24	0,18	0,14	0,09	0,13	0,09	0,04	0,07	0,02	0,01	0,00	0,01
1740	0,11	0,14	0,11	0,20	0,11	0,07	0,14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,07
1741	0,10	0,09	0,23	0,15	0,16	0,11	0,02	0,06	0,02	0,01	0,01	0,05
1742	0,07	0,20	0,26	0,10	0,05	0,11	0,10	0,02	0,01	0,00	0,01	0,07
1743	0,05	0,05	0,18	0,20	0,19	0,13	0,05	0,06	0,01	0,02	0,04	0,03
1744	0,03	0,19	0,21	0,19	0,12	0,04	0,08	0,04	0,01	0,02	0,04	0,02
1745	0,11	0,16	0,15	0,10	0,20	0,11	0,11	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01
1746	0,07	0,26	0,17	0,08	0,18	0,08	0,05	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02
1747	0,05	0,08	0,12	0,22	0,16	0,12	0,11	0,04	0,00	0,02	0,00	0,06
1748	0,15	0,14	0,10	0,12	0,16	0,11	0,08	0,03	0,06	0,01	0,00	0,05
1749	0,05	0,13	0,25	0,05	0,15	0,13	0,09	0,03	0,01	0,03	0,01	0,07
1750	0,16	0,18	0,09	0,13	0,15	0,09	0,08	0,01	0,02	0,01	0,02	0,06
1751	0,08	0,18	0,11	0,17	0,20	0,07	0,04	0,09	0,02	0,03	0,01	0,01
1752	0,03	0,10	0,05	0,27	0,26	0,10	0,04	0,02	0,04	0,03	0,01	0,04
1753	0,10	0,11	0,23	0,07	0,20	0,07	0,08	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03
1754	0,04	0,18	0,18	0,07	0,10	0,15	0,06	0,07	0,01	0,05	0,05	0,04
1755	0,01	0,29	0,14	0,11	0,22	0,10	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06
1756	0,13	0,14	0,19	0,19	0,09	0,09	0,10	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02
1757	0,06	0,09	0,26	0,13	0,09	0,16	0,08	0,00	0,04	0,02	0,04	0,02
1758	0,12	0,12	0,22	0,21	0,09	0,06	0,08	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03
1759	0,08	0,20	0,21	0,23	0,05	0,03	0,07	0,06	0,05	0,00	0,01	0,01
1760	0,07	0,09	0,24	0,14	0,14	0,09	0,06	0,09	0,02	0,05	0,00	0,01
1761	0,04	0,12	0,10	0,19	0,16	0,10	0,13	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04
1762	0,19	0,07	0,12	0,20	0,10	0,10	0,11	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02
1763	0,07	0,07	0,25	0,18	0,11	0,12	0,07	0,04	0,02	0,00	0,06	0,00
1764	0,09	0,11	0,23	0,12	0,21	0,09	0,05	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02
1765	0,16	0,08	0,12	0,18	0,06	0,05	0,13	0,09	0,02	0,00	0,03	0,07
1766	0,07	0,08	0,25	0,27	0,17	0,06	0,07	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
1767	0,09	0,14	0,17	0,11	0,11	0,15	0,08	0,05	0,01	0,01	0,03	0,06

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1768	0,09	0,09	0,05	0,22	0,19	0,09	0,12	0,06	0,02	0,01	0,00	0,06
1769	0,15	0,05	0,24	0,13	0,20	0,05	0,06	0,06	0,02	0,01	0,02	0,01
1770	0,12	0,12	0,19	0,15	0,13	0,07	0,04	0,03	0,04	0,00	0,02	0,10
1771	0,08	0,23	0,21	0,13	0,13	0,06	0,06	0,01	0,01	0,00	0,03	0,05
1772	0,09	0,11	0,25	0,11	0,14	0,10	0,03	0,02	0,01	0,01	0,06	0,06
1773	0,03	0,10	0,11	0,26	0,14	0,16	0,08	0,03	0,00	0,03	0,06	0,00
1774	0,06	0,06	0,20	0,18	0,11	0,23	0,08	0,03	0,04	0,01	0,00	0,01
1775	0,07	0,06	0,21	0,16	0,19	0,12	0,07	0,03	0,02	0,00	0,03	0,04
1776	0,17	0,05	0,24	0,11	0,05	0,17	0,10	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04
1777	0,08	0,12	0,12	0,13	0,08	0,13	0,13	0,05	0,03	0,02	0,07	0,03
1778	0,12	0,09	0,12	0,16	0,11	0,07	0,15	0,09	0,00	0,03	0,03	0,02
1779	0,07	0,19	0,17	0,06	0,16	0,12	0,10	0,03	0,02	0,01	0,00	0,07
1780	0,11	0,16	0,18	0,16	0,11	0,17	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,05
1781	0,06	0,11	0,13	0,13	0,12	0,13	0,11	0,09	0,04	0,02	0,02	0,05
1782	0,03	0,12	0,09	0,16	0,11	0,17	0,11	0,02	0,03	0,00	0,02	0,16
1783	0,07	0,05	0,18	0,13	0,26	0,09	0,04	0,10	0,04	0,02	0,02	0,00
1784	0,11	0,23	0,09	0,09	0,08	0,16	0,11	0,04	0,02	0,00	0,04	0,03
1785	0,12	0,10	0,17	0,22	0,17	0,09	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
1786	0,16	0,10	0,14	0,19	0,21	0,08	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
1787	0,12	0,14	0,20	0,13	0,18	0,07	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03
1788	0,01	0,19	0,19	0,12	0,19	0,15	0,07	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
1789	0,12	0,11	0,16	0,15	0,17	0,08	0,16	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01
1790	0,08	0,21	0,06	0,20	0,10	0,07	0,12	0,08	0,04	0,00	0,01	0,04
1791	0,12	0,13	0,24	0,10	0,11	0,11	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,08
1792	0,10	0,12	0,18	0,22	0,15	0,08	0,09	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
1793	0,05	0,12	0,17	0,11	0,16	0,11	0,17	0,05	0,02	0,00	0,02	0,01
1794	0,11	0,16	0,12	0,12	0,09	0,07	0,08	0,03	0,02	0,03	0,05	0,13
1795	0,01	0,31	0,07	0,08	0,24	0,05	0,11	0,05	0,01	0,01	0,04	0,03
1796	0,05	0,17	0,06	0,22	0,08	0,08	0,11	0,10	0,02	0,02	0,04	0,04
1797	0,04	0,23	0,13	0,11	0,10	0,16	0,10	0,00	0,00	0,06	0,05	0,02
1798	0,08	0,19	0,07	0,11	0,07	0,10	0,12	0,07	0,01	0,05	0,00	0,11
1799	0,06	0,16	0,04	0,26	0,15	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,18
1800	0,05	0,12	0,11	0,19	0,19	0,06	0,04	0,08	0,07	0,01	0,00	0,08
1801	0,15	0,06	0,22	0,17	0,07	0,13	0,08	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02
1802	0,10	0,16	0,30	0,13	0,15	0,06	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,04
1803	0,02	0,18	0,22	0,16	0,12	0,12	0,06	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04
1804	0,14	0,20	0,07	0,10	0,18	0,12	0,07	0,03	0,00	0,00	0,04	0,04
1805	0,07	0,11	0,10	0,11	0,34	0,05	0,08	0,05	0,00	0,01	0,03	0,05
1806	0,20	0,09	0,14	0,19	0,07	0,06	0,12	0,05	0,00	0,02	0,02	0,03
1807	0,03	0,13	0,16	0,27	0,13	0,07	0,05	0,09	0,01	0,01	0,03	0,03
1808	0,07	0,13	0,15	0,20	0,15	0,08	0,09	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02
1809	0,06	0,17	0,28	0,15	0,09	0,03	0,12	0,01	0,01	0,00	0,05	0,02
1810	0,05	0,10	0,16	0,16	0,09	0,19	0,14	0,00	0,02	0,00	0,01	0,07

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1811	0,06	0,14	0,10	0,16	0,09	0,09	0,08	0,13	0,01	0,05	0,03	0,05
1812	0,04	0,25	0,13	0,14	0,16	0,06	0,08	0,03	0,02	0,00	0,01	0,08
1813	0,05	0,14	0,18	0,12	0,10	0,19	0,13	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02
1814	0,14	0,12	0,13	0,16	0,07	0,04	0,12	0,07	0,10	0,00	0,03	0,03
1815	0,23	0,11	0,16	0,08	0,17	0,04	0,06	0,02	0,02	0,01	0,01	0,07
1816	0,06	0,20	0,07	0,15	0,14	0,16	0,04	0,06	0,02	0,00	0,02	0,09
1817	0,25	0,16	0,13	0,11	0,11	0,06	0,10	0,02	0,01	0,01	0,00	0,04
1818	0,08	0,07	0,10	0,15	0,23	0,19	0,12	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
1819	0,04	0,08	0,21	0,13	0,14	0,12	0,09	0,07	0,01	0,01	0,06	0,03
1820	0,04	0,14	0,14	0,06	0,17	0,14	0,14	0,05	0,01	0,04	0,02	0,05
1821	0,07	0,16	0,20	0,05	0,05	0,05	0,16	0,03	0,05	0,05	0,01	0,14
1822	0,08	0,16	0,17	0,21	0,10	0,10	0,06	0,05	0,03	0,00	0,00	0,05
1823	0,09	0,11	0,17	0,25	0,13	0,05	0,07	0,03	0,02	0,00	0,00	0,07
1824	0,02	0,27	0,15	0,15	0,08	0,15	0,11	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05
1825	0,11	0,06	0,23	0,13	0,14	0,09	0,05	0,03	0,04	0,01	0,01	0,10
1826	0,19	0,11	0,16	0,05	0,10	0,17	0,09	0,04	0,00	0,03	0,02	0,04
1827	0,05	0,22	0,22	0,06	0,18	0,11	0,06	0,04	0,05	0,03	0,00	0,00
1828	0,12	0,12	0,14	0,16	0,11	0,10	0,05	0,08	0,03	0,01	0,07	0,02
1829	0,14	0,11	0,17	0,10	0,24	0,06	0,08	0,06	0,01	0,01	0,00	0,03
1830	0,13	0,12	0,20	0,17	0,15	0,02	0,07	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03
1831	0,07	0,20	0,26	0,16	0,12	0,08	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
1832	0,07	0,14	0,32	0,17	0,07	0,12	0,04	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02
1833	0,03	0,17	0,13	0,19	0,12	0,09	0,03	0,12	0,03	0,00	0,04	0,05
1834	0,16	0,14	0,10	0,22	0,11	0,09	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,08
1835	0,05	0,22	0,23	0,17	0,07	0,08	0,07	0,04	0,03	0,00	0,00	0,05
1836	0,04	0,24	0,13	0,21	0,07	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01
1837	0,10	0,12	0,19	0,15	0,10	0,09	0,12	0,09	0,01	0,02	0,00	0,01
1838	0,06	0,16	0,29	0,14	0,09	0,12	0,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
1839	0,08	0,03	0,33	0,15	0,16	0,06	0,04	0,04	0,01	0,00	0,03	0,07
1840	0,15	0,12	0,13	0,15	0,13	0,09	0,11	0,01	0,04	0,03	0,01	0,03
1841	0,05	0,19	0,09	0,30	0,14	0,09	0,06	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01
1842	0,09	0,09	0,16	0,09	0,26	0,13	0,11	0,02	0,01	0,03	0,02	0,00
1843	0,08	0,13	0,32	0,16	0,08	0,05	0,05	0,02	0,02	0,00	0,06	0,03
1844	0,05	0,06	0,15	0,15	0,15	0,13	0,12	0,03	0,03	0,04	0,01	0,08
1845	0,08	0,12	0,06	0,25	0,12	0,15	0,10	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07
1846	0,09	0,14	0,17	0,22	0,13	0,11	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05
1847	0,04	0,07	0,19	0,19	0,15	0,12	0,10	0,07	0,02	0,00	0,00	0,05
1848	0,06	0,11	0,18	0,19	0,11	0,15	0,08	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01
1849	0,03	0,15	0,15	0,11	0,09	0,10	0,04	0,09	0,01	0,04	0,01	0,18
1850	0,03	0,16	0,23	0,18	0,08	0,09	0,10	0,02	0,01	0,04	0,00	0,06
1851	0,12	0,15	0,17	0,12	0,17	0,09	0,03	0,01	0,00	0,04	0,00	0,09
1852	0,08	0,10	0,09	0,24	0,17	0,06	0,10	0,02	0,03	0,01	0,00	0,10
1853	0,15	0,13	0,12	0,04	0,22	0,04	0,15	0,03	0,02	0,01	0,04	0,05

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1854	0,03	0,12	0,26	0,20	0,12	0,02	0,09	0,00	0,02	0,03	0,06	0,05
1855	0,17	0,24	0,12	0,07	0,13	0,10	0,05	0,04	0,01	0,02	0,00	0,06
1856	0,04	0,16	0,19	0,19	0,10	0,14	0,08	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
1857	0,01	0,26	0,17	0,12	0,15	0,08	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,07
1858	0,07	0,11	0,27	0,15	0,09	0,13	0,08	0,01	0,00	0,03	0,00	0,07
1859	0,04	0,29	0,13	0,15	0,11	0,10	0,07	0,02	0,00	0,02	0,01	0,04
1860	0,11	0,09	0,12	0,23	0,16	0,07	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,10
1861	0,11	0,20	0,09	0,13	0,18	0,10	0,03	0,07	0,03	0,00	0,00	0,05
1862	0,08	0,23	0,10	0,09	0,16	0,12	0,10	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02
1863	0,09	0,13	0,24	0,16	0,19	0,03	0,05	0,02	0,00	0,02	0,03	0,04
1864	0,05	0,13	0,20	0,23	0,07	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,04	0,09
1865	0,07	0,22	0,21	0,14	0,12	0,05	0,09	0,05	0,01	0,00	0,02	0,01
1866	0,02	0,25	0,22	0,20	0,13	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,00	0,00
1867	0,23	0,14	0,17	0,16	0,12	0,06	0,02	0,04	0,03	0,00	0,01	0,01
1868	0,11	0,14	0,21	0,17	0,19	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02	0,00	0,01
1869	0,07	0,17	0,17	0,18	0,17	0,06	0,06	0,08	0,01	0,01	0,00	0,02
1870	0,06	0,08	0,21	0,11	0,08	0,11	0,12	0,04	0,02	0,06	0,02	0,10
1871	0,12	0,08	0,22	0,22	0,11	0,05	0,09	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00
1872	0,04	0,16	0,21	0,15	0,09	0,10	0,09	0,01	0,02	0,07	0,06	0,01
1873	0,21	0,13	0,12	0,13	0,09	0,18	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01
1874	0,06	0,14	0,17	0,11	0,12	0,17	0,08	0,02	0,04	0,03	0,01	0,04
1875	0,18	0,09	0,15	0,13	0,18	0,11	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,06
1876	0,09	0,13	0,07	0,07	0,37	0,05	0,05	0,03	0,00	0,05	0,04	0,05
1877	0,15	0,10	0,18	0,13	0,11	0,13	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,10
1878	0,05	0,14	0,21	0,17	0,14	0,12	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,03
1879	0,08	0,17	0,28	0,19	0,08	0,06	0,09	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
1880	0,05	0,16	0,22	0,13	0,11	0,09	0,10	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07
1881	0,03	0,11	0,32	0,11	0,13	0,11	0,04	0,07	0,02	0,04	0,00	0,02
1882	0,02	0,20	0,27	0,09	0,12	0,14	0,07	0,04	0,00	0,01	0,02	0,01
1883	0,15	0,11	0,04	0,21	0,21	0,06	0,09	0,02	0,00	0,04	0,02	0,04
1884	0,06	0,11	0,09	0,27	0,13	0,21	0,08	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03
1885	0,03	0,21	0,22	0,12	0,10	0,16	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	0,01
1886	0,01	0,13	0,12	0,16	0,22	0,14	0,09	0,01	0,01	0,01	0,03	0,08
1887	0,04	0,06	0,40	0,04	0,13	0,10	0,05	0,03	0,02	0,05	0,06	0,03
1888	0,11	0,14	0,11	0,13	0,20	0,11	0,10	0,04	0,01	0,00	0,01	0,04
1889	0,11	0,16	0,09	0,11	0,15	0,11	0,11	0,05	0,01	0,05	0,01	0,04
1890	0,09	0,17	0,17	0,27	0,09	0,05	0,02	0,07	0,03	0,01	0,00	0,02
1891	0,03	0,12	0,29	0,14	0,10	0,11	0,08	0,03	0,02	0,00	0,01	0,06
1892	0,27	0,10	0,11	0,06	0,08	0,15	0,09	0,03	0,00	0,01	0,01	0,08
1893	0,04	0,08	0,13	0,12	0,25	0,07	0,04	0,10	0,03	0,04	0,04	0,06
1894	0,08	0,10	0,30	0,23	0,01	0,12	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03
1895	0,11	0,17	0,14	0,18	0,06	0,11	0,09	0,07	0,03	0,01	0,00	0,04
1896	0,00	0,22	0,26	0,07	0,13	0,07	0,14	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1897	0,11	0,23	0,09	0,17	0,18	0,10	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08
1898	0,04	0,17	0,25	0,23	0,05	0,19	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02
1899	0,15	0,14	0,18	0,18	0,10	0,11	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08
1900	0,12	0,13	0,15	0,07	0,22	0,12	0,11	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03
1901	0,08	0,18	0,19	0,23	0,11	0,09	0,05	0,02	0,02	0,01	0,03	0,00
1902	0,09	0,06	0,18	0,13	0,26	0,08	0,10	0,01	0,02	0,00	0,01	0,06
1903	0,09	0,19	0,11	0,11	0,15	0,08	0,05	0,05	0,01	0,01	0,05	0,08
1904	0,14	0,12	0,17	0,13	0,08	0,11	0,07	0,07	0,01	0,02	0,02	0,05
1905	0,15	0,12	0,19	0,24	0,11	0,03	0,05	0,07	0,00	0,05	0,00	0,00
1906	0,12	0,23	0,08	0,19	0,03	0,07	0,12	0,07	0,00	0,03	0,03	0,03
1907	0,16	0,11	0,22	0,11	0,13	0,06	0,07	0,05	0,02	0,00	0,01	0,06
1908	0,08	0,15	0,16	0,22	0,13	0,10	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02
1909	0,01	0,12	0,28	0,22	0,08	0,11	0,04	0,05	0,03	0,00	0,01	0,05
1910	0,09	0,15	0,12	0,17	0,13	0,10	0,04	0,05	0,02	0,08	0,03	0,03
1911	0,03	0,16	0,17	0,23	0,08	0,08	0,09	0,01	0,02	0,06	0,01	0,08
1912	0,05	0,14	0,11	0,35	0,15	0,01	0,08	0,05	0,04	0,00	0,01	0,02
1913	0,10	0,15	0,12	0,23	0,16	0,03	0,06	0,02	0,02	0,00	0,02	0,08
1914	0,12	0,08	0,15	0,10	0,15	0,16	0,12	0,01	0,01	0,01	0,04	0,06
1915	0,16	0,11	0,14	0,18	0,14	0,11	0,06	0,04	0,03	0,00	0,00	0,03
1916	0,13	0,09	0,10	0,12	0,19	0,12	0,06	0,08	0,04	0,01	0,02	0,03
1917	0,11	0,13	0,24	0,21	0,04	0,08	0,06	0,04	0,05	0,00	0,01	0,04
1918	0,05	0,11	0,13	0,24	0,13	0,10	0,07	0,07	0,00	0,02	0,03	0,04
1919	0,08	0,14	0,15	0,18	0,09	0,18	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,01
1920	0,07	0,13	0,13	0,19	0,15	0,06	0,10	0,08	0,01	0,04	0,00	0,04
1921	0,07	0,28	0,13	0,15	0,08	0,10	0,02	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02
1922	0,08	0,15	0,21	0,09	0,10	0,15	0,06	0,03	0,01	0,03	0,05	0,05
1923	0,02	0,16	0,14	0,18	0,15	0,07	0,05	0,09	0,02	0,03	0,01	0,08
1924	0,10	0,10	0,10	0,14	0,10	0,08	0,17	0,06	0,02	0,02	0,06	0,04
1925	0,12	0,08	0,34	0,13	0,17	0,05	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,04
1926	0,10	0,18	0,33	0,08	0,07	0,04	0,05	0,01	0,02	0,00	0,02	0,10
1927	0,12	0,16	0,19	0,07	0,12	0,15	0,05	0,03	0,01	0,00	0,01	0,07
1928	0,14	0,15	0,17	0,14	0,21	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
1929	0,05	0,09	0,10	0,12	0,32	0,05	0,17	0,05	0,04	0,01	0,00	0,01
1930	0,10	0,09	0,18	0,15	0,11	0,12	0,07	0,06	0,04	0,02	0,01	0,05
1931	0,11	0,08	0,19	0,26	0,08	0,08	0,04	0,07	0,01	0,03	0,05	0,01
1932	0,04	0,14	0,11	0,12	0,06	0,19	0,19	0,06	0,05	0,00	0,04	0,01
1933	0,06	0,27	0,16	0,17	0,05	0,08	0,05	0,03	0,00	0,03	0,01	0,08
1934	0,09	0,12	0,23	0,21	0,09	0,05	0,06	0,05	0,02	0,01	0,00	0,07
1935	0,10	0,18	0,28	0,12	0,09	0,06	0,02	0,07	0,01	0,03	0,00	0,04
1936	0,16	0,10	0,13	0,15	0,18	0,09	0,08	0,06	0,03	0,00	0,02	0,00
1937	0,13	0,13	0,06	0,20	0,07	0,13	0,08	0,08	0,04	0,03	0,01	0,06
1938	0,05	0,23	0,17	0,18	0,18	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
1939	0,06	0,19	0,17	0,25	0,02	0,10	0,03	0,11	0,01	0,01	0,04	0,01

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1940	0,07	0,11	0,15	0,20	0,19	0,09	0,06	0,05	0,03	0,01	0,03	0,02
1941	0,12	0,17	0,15	0,14	0,12	0,16	0,05	0,00	0,05	0,01	0,01	0,02
1942	0,07	0,20	0,10	0,17	0,09	0,08	0,04	0,07	0,00	0,01	0,00	0,16
1943	0,12	0,11	0,33	0,08	0,16	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,06
1944	0,30	0,17	0,08	0,08	0,05	0,08	0,02	0,03	0,08	0,01	0,02	0,07
1945	0,10	0,05	0,22	0,22	0,09	0,13	0,11	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03
1946	0,13	0,14	0,09	0,21	0,17	0,06	0,13	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04
1947	0,05	0,08	0,12	0,17	0,14	0,17	0,13	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10
1948	0,09	0,08	0,24	0,16	0,08	0,14	0,05	0,01	0,02	0,06	0,01	0,05
1949	0,08	0,12	0,20	0,11	0,21	0,08	0,08	0,08	0,01	0,01	0,02	0,00
1950	0,08	0,16	0,17	0,11	0,13	0,18	0,06	0,03	0,01	0,00	0,02	0,05
1951	0,12	0,16	0,15	0,17	0,12	0,05	0,12	0,03	0,03	0,01	0,00	0,02
1952	0,14	0,11	0,11	0,08	0,17	0,03	0,17	0,07	0,04	0,03	0,00	0,05
1953	0,15	0,11	0,11	0,19	0,14	0,06	0,12	0,02	0,01	0,01	0,02	0,07
1954	0,22	0,13	0,14	0,10	0,13	0,04	0,07	0,06	0,01	0,01	0,07	0,03
1955	0,10	0,13	0,19	0,14	0,20	0,09	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,04
1956	0,10	0,16	0,22	0,09	0,24	0,05	0,02	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01
1957	0,07	0,10	0,27	0,08	0,14	0,15	0,04	0,08	0,02	0,01	0,02	0,02
1958	0,15	0,10	0,10	0,14	0,19	0,06	0,14	0,06	0,00	0,00	0,02	0,02
1959	0,19	0,06	0,10	0,18	0,15	0,05	0,08	0,05	0,06	0,01	0,00	0,05
1960	0,01	0,07	0,22	0,16	0,14	0,16	0,09	0,04	0,05	0,02	0,00	0,05
1961	0,22	0,11	0,19	0,16	0,09	0,01	0,05	0,06	0,06	0,02	0,01	0,02
1962	0,14	0,14	0,11	0,10	0,23	0,05	0,08	0,03	0,07	0,00	0,03	0,03
1963	0,09	0,10	0,09	0,21	0,21	0,10	0,06	0,04	0,02	0,00	0,01	0,06
1964	0,11	0,15	0,06	0,12	0,11	0,08	0,08	0,13	0,01	0,03	0,06	0,06
1965	0,07	0,15	0,11	0,23	0,10	0,09	0,08	0,05	0,01	0,00	0,03	0,07
1966	0,14	0,10	0,29	0,13	0,14	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,08
1967	0,04	0,13	0,15	0,18	0,13	0,07	0,12	0,05	0,05	0,02	0,02	0,03
1968	0,02	0,12	0,11	0,23	0,11	0,21	0,03	0,04	0,02	0,00	0,04	0,06
1969	0,04	0,15	0,21	0,12	0,13	0,12	0,14	0,00	0,01	0,01	0,01	0,06
1970	0,12	0,16	0,19	0,15	0,13	0,02	0,08	0,02	0,06	0,04	0,00	0,02
1971	0,07	0,13	0,08	0,20	0,17	0,08	0,16	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05
1972	0,08	0,18	0,29	0,04	0,07	0,13	0,06	0,01	0,01	0,01	0,03	0,08
1973	0,06	0,13	0,11	0,27	0,09	0,16	0,01	0,03	0,04	0,01	0,04	0,05
1974	0,06	0,18	0,14	0,15	0,11	0,08	0,08	0,03	0,03	0,00	0,06	0,07
1975	0,16	0,22	0,12	0,14	0,14	0,06	0,06	0,02	0,00	0,03	0,03	0,01
1976	0,04	0,14	0,25	0,19	0,13	0,11	0,07	0,05	0,01	0,00	0,01	0,02
1977	0,11	0,06	0,25	0,16	0,11	0,06	0,04	0,08	0,02	0,01	0,02	0,09
1978	0,11	0,12	0,18	0,26	0,08	0,06	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04
1979	0,10	0,16	0,19	0,09	0,15	0,12	0,09	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
1980	0,15	0,09	0,13	0,31	0,09	0,09	0,07	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02
1981	0,02	0,12	0,25	0,18	0,19	0,05	0,07	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02
1982	0,03	0,21	0,18	0,24	0,19	0,05	0,03	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1983	0,03	0,14	0,19	0,21	0,12	0,11	0,03	0,10	0,01	0,01	0,02	0,03
1984	0,07	0,07	0,26	0,29	0,15	0,06	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02
1985	0,10	0,13	0,16	0,24	0,10	0,05	0,06	0,07	0,02	0,03	0,01	0,03
1986	0,01	0,14	0,20	0,08	0,18	0,16	0,06	0,05	0,03	0,01	0,02	0,07
1987	0,10	0,24	0,13	0,12	0,18	0,11	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03
1988	0,16	0,11	0,20	0,15	0,06	0,06	0,16	0,01	0,04	0,02	0,01	0,02
1989	0,12	0,03	0,14	0,19	0,13	0,13	0,08	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04
1990	0,18	0,09	0,17	0,16	0,06	0,07	0,05	0,10	0,01	0,00	0,07	0,05
1991	0,10	0,10	0,26	0,17	0,10	0,10	0,01	0,01	0,00	0,01	0,08	0,05
1992	0,07	0,24	0,18	0,09	0,15	0,07	0,06	0,03	0,00	0,02	0,01	0,09
1993	0,11	0,16	0,07	0,22	0,12	0,13	0,05	0,02	0,02	0,00	0,01	0,08
1994	0,05	0,15	0,10	0,19	0,19	0,15	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06
1995	0,13	0,08	0,06	0,20	0,18	0,15	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03	0,05
1996	0,11	0,16	0,25	0,12	0,15	0,07	0,04	0,03	0,01	0,00	0,03	0,03
1997	0,03	0,18	0,14	0,14	0,10	0,10	0,03	0,02	0,07	0,06	0,03	0,10
1998	0,20	0,13	0,13	0,16	0,08	0,03	0,11	0,03	0,01	0,01	0,04	0,07
1999	0,08	0,26	0,21	0,12	0,10	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,04
2000	0,06	0,22	0,13	0,07	0,14	0,17	0,06	0,03	0,02	0,06	0,01	0,03

Tabla A-2. Ponderadores para obtener temperaturas mensuales en estación Armerillo. Periodo 1600 – 2000.

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1600	1,09	0,93	0,40	0,45	0,56	0,53	0,77	0,88	1,39	1,92	1,72	1,40
1601	1,03	0,57	0,43	0,25	0,37	0,51	0,58	1,16	1,63	1,99	1,83	1,70
1602	1,09	0,58	0,43	0,53	0,32	0,73	0,84	0,87	1,73	1,58	1,94	1,40
1603	1,07	0,54	0,25	0,32	0,33	0,50	0,95	1,52	1,52	1,77	1,86	1,43
1604	1,07	0,56	0,44	0,30	0,52	0,58	0,85	1,07	1,41	1,92	1,86	1,48
1605	1,19	0,62	0,44	0,39	0,33	0,54	0,94	1,29	1,60	1,47	1,71	1,53
1606	0,95	0,91	0,39	0,48	0,30	0,36	1,10	1,07	1,60	2,00	1,42	1,42
1607	1,18	0,59	0,47	0,28	0,24	0,42	1,07	1,04	1,68	1,94	1,66	1,47
1608	0,85	0,73	0,65	0,45	0,38	0,50	0,67	1,29	1,52	1,44	1,87	1,70
1609	1,08	0,56	0,41	0,37	0,37	0,60	0,88	1,20	1,64	1,75	1,91	1,28
1610	0,91	0,78	0,47	0,41	0,29	0,50	0,80	1,21	1,72	1,75	1,64	1,56
1611	1,10	0,83	0,56	0,19	0,31	0,53	0,76	1,32	1,68	1,66	1,74	1,37
1612	1,17	0,65	0,45	0,31	0,46	0,48	0,83	1,10	1,60	1,71	1,84	1,46
1613	1,20	0,72	0,56	0,38	0,41	0,45	0,93	0,95	1,38	1,76	2,07	1,27
1614	0,87	0,75	0,48	0,40	0,33	0,52	0,61	1,29	1,71	1,68	1,92	1,50
1615	1,11	0,54	0,66	0,32	0,50	0,45	0,93	1,17	1,18	1,77	1,70	1,71
1616	1,31	0,67	0,36	0,29	0,25	0,31	0,86	1,35	1,41	1,79	2,07	1,42
1617	1,19	0,79	0,40	0,48	0,36	0,51	0,62	1,15	1,61	2,15	1,51	1,25
1618	0,91	0,59	0,41	0,44	0,35	0,76	0,82	0,93	1,71	1,80	1,79	1,54
1619	1,19	0,83	0,47	0,52	0,42	0,48	0,98	1,31	1,24	1,52	1,67	1,41
1620	0,95	0,90	0,40	0,32	0,30	0,65	0,93	1,30	1,42	1,89	1,80	1,20
1621	0,82	0,58	0,52	0,46	0,50	0,75	0,78	1,33	1,45	1,53	1,52	1,79
1622	0,97	0,63	0,38	0,25	0,22	0,50	0,94	1,15	1,69	2,10	1,85	1,38

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1623	0,99	0,67	0,51	0,44	0,29	0,71	0,91	1,03	1,49	1,82	1,75	1,43
1624	0,81	0,52	0,20	0,27	0,48	0,70	1,13	1,45	1,45	1,61	1,95	1,50
1625	1,23	0,58	0,54	0,37	0,35	0,70	0,77	0,97	1,57	1,93	1,72	1,30
1626	1,15	0,55	0,52	0,52	0,47	0,41	0,60	1,16	1,50	1,47	2,19	1,55
1627	1,14	0,78	0,39	0,35	0,34	0,56	0,84	1,15	1,66	1,64	1,85	1,37
1628	1,14	0,65	0,44	0,29	0,36	0,48	1,06	1,23	1,52	1,91	1,60	1,35
1629	1,06	0,66	0,48	0,27	0,37	0,72	0,77	1,09	1,61	1,83	1,75	1,44
1630	0,94	0,65	0,41	0,28	0,51	0,91	0,51	1,29	1,36	1,80	1,83	1,57
1631	1,09	0,90	0,42	0,19	0,58	0,40	0,83	1,13	1,62	1,79	1,43	1,62
1632	1,22	0,54	0,58	0,46	0,41	0,48	0,70	1,15	1,41	1,79	1,71	1,60
1633	0,98	0,73	0,46	0,25	0,40	0,71	0,77	1,22	1,61	1,80	1,72	1,39
1634	1,07	0,55	0,46	0,46	0,35	0,65	0,84	1,18	1,26	1,77	1,80	1,66
1635	1,34	0,73	0,37	0,42	0,27	0,52	0,86	1,34	1,29	1,49	1,89	1,56
1636	0,89	0,65	0,55	0,41	0,32	0,58	0,87	0,97	1,39	1,89	1,90	1,63
1637	1,24	0,48	0,55	0,58	0,41	0,56	0,74	1,14	1,55	1,75	1,79	1,26
1638	0,95	0,74	0,51	0,43	0,53	0,46	0,75	1,18	1,63	1,43	1,92	1,55
1639	1,36	0,50	0,43	0,17	0,57	0,48	0,68	1,20	1,42	1,85	1,72	1,68
1640	1,19	0,71	0,44	0,31	0,44	0,56	0,65	1,34	1,48	1,64	1,95	1,36
1641	0,95	0,71	0,46	0,35	0,44	0,48	0,78	1,20	1,82	1,83	1,70	1,33
1642	1,14	0,69	0,49	0,32	0,20	0,53	0,72	1,24	1,65	1,69	1,75	1,64
1643	0,96	0,52	0,37	0,38	0,37	0,46	0,70	1,05	1,71	1,89	1,94	1,70
1644	1,15	0,68	0,42	0,40	0,43	0,59	0,70	1,31	1,42	1,62	1,75	1,59
1645	0,87	0,63	0,36	0,50	0,42	0,31	0,71	1,00	1,53	1,92	1,86	1,91
1646	1,00	0,82	0,60	0,44	0,51	0,39	0,70	1,09	1,45	1,94	1,59	1,49
1647	0,99	0,64	0,38	0,49	0,38	0,83	0,62	0,94	1,39	2,02	1,86	1,51
1648	0,90	0,66	0,35	0,36	0,32	0,48	0,91	1,28	1,50	1,79	1,73	1,76
1649	1,13	0,44	0,43	0,39	0,32	0,52	1,06	1,27	1,56	1,94	1,54	1,44
1650	0,94	0,67	0,29	0,41	0,65	0,49	1,02	1,37	1,60	1,66	1,39	1,53
1651	0,92	0,68	0,42	0,28	0,43	0,27	1,13	1,12	1,39	1,82	1,97	1,62
1652	0,95	0,56	0,44	0,45	0,38	0,51	0,74	0,73	1,69	2,05	1,84	1,70
1653	0,97	0,66	0,39	0,37	0,36	0,54	0,79	1,25	1,55	1,75	1,62	1,78
1654	1,03	0,68	0,41	0,25	0,61	0,60	0,85	1,14	1,46	1,84	1,78	1,38
1655	1,05	0,76	0,36	0,34	0,49	0,52	0,81	0,89	1,61	1,76	1,94	1,50
1656	1,18	0,65	0,50	0,41	0,29	0,41	0,99	0,97	1,55	1,68	1,94	1,48
1657	0,74	0,67	0,33	0,38	0,44	0,60	0,82	1,26	1,63	2,00	1,96	1,22
1658	0,77	0,71	0,54	0,32	0,42	0,76	0,82	1,26	1,70	1,88	1,32	1,50
1659	1,20	0,77	0,45	0,44	0,45	0,58	0,65	1,20	1,64	1,59	1,49	1,58
1660	1,15	0,72	0,48	0,36	0,44	0,46	0,68	1,02	1,65	1,71	1,84	1,54
1661	1,20	0,93	0,62	0,39	0,44	0,47	0,68	1,17	1,76	1,61	1,37	1,38
1662	0,94	0,60	0,44	0,45	0,47	0,56	0,77	1,28	1,53	1,85	1,71	1,45
1663	1,18	0,64	0,43	0,39	0,44	0,46	0,77	0,91	1,69	1,65	1,90	1,60
1664	0,95	0,63	0,57	0,53	0,66	0,55	0,72	1,40	1,56	1,55	1,58	1,35
1665	0,97	0,53	0,52	0,48	0,37	0,46	0,80	1,24	1,57	1,75	1,86	1,52

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1666	1,19	0,65	0,35	0,32	0,54	0,56	0,72	1,33	1,43	1,85	1,64	1,46
1667	1,10	0,74	0,49	0,49	0,49	0,62	0,87	1,10	1,37	1,74	1,71	1,35
1668	1,09	0,75	0,43	0,34	0,58	0,65	0,78	1,10	1,51	1,84	1,90	1,11
1669	1,08	0,80	0,39	0,37	0,40	0,45	0,80	1,05	1,55	1,91	1,83	1,41
1670	1,22	0,72	0,52	0,46	0,53	0,47	0,57	1,06	1,56	1,91	1,60	1,41
1671	1,00	0,59	0,24	0,32	0,38	0,42	0,85	1,35	1,69	2,01	1,74	1,44
1672	1,11	0,60	0,49	0,27	0,33	0,70	0,60	1,03	1,62	1,91	1,86	1,54
1673	1,04	0,74	0,56	0,36	0,33	0,47	1,11	1,03	1,24	1,64	1,93	1,62
1674	1,07	0,87	0,38	0,46	0,38	0,53	0,61	1,18	1,63	1,68	1,59	1,67
1675	1,05	0,65	0,68	0,37	0,53	0,49	0,87	0,92	1,73	1,46	1,87	1,43
1676	0,84	0,91	0,46	0,40	0,29	0,64	0,63	1,12	1,31	1,90	1,93	1,61
1677	1,16	0,86	0,49	0,37	0,40	0,77	0,86	0,94	1,45	1,78	1,66	1,31
1678	1,14	0,61	0,53	0,30	0,33	0,43	0,88	1,27	1,43	1,96	1,69	1,48
1679	1,35	0,67	0,49	0,52	0,50	0,59	0,59	1,06	1,58	1,41	1,81	1,48
1680	1,11	0,74	0,54	0,33	0,43	0,61	0,74	1,09	1,56	1,98	1,64	1,28
1681	0,76	0,62	0,61	0,45	0,53	0,73	0,69	1,26	1,48	1,89	1,73	1,29
1682	0,92	0,75	0,50	0,54	0,59	0,61	0,87	1,31	1,50	1,74	1,67	1,04
1683	0,97	0,53	0,44	0,30	0,26	0,54	0,63	1,11	1,73	2,06	1,81	1,67
1684	0,95	0,77	0,35	0,31	0,51	0,39	0,74	1,28	1,46	1,77	1,76	1,76
1685	1,32	0,95	0,66	0,37	0,40	0,36	0,64	1,01	1,54	1,74	1,54	1,51
1686	1,17	0,69	0,42	0,49	0,36	0,67	0,62	1,20	1,56	1,72	1,60	1,55
1687	1,06	0,66	0,34	0,21	0,37	0,41	0,76	1,27	1,62	1,74	1,71	1,88
1688	0,86	0,71	0,35	0,50	0,49	0,55	0,84	1,29	1,41	1,88	1,89	1,28
1689	1,07	0,67	0,54	0,50	0,39	0,85	0,89	1,03	1,47	1,90	1,60	1,13
1690	1,21	0,74	0,45	0,31	0,27	0,63	0,63	1,26	1,65	1,68	1,86	1,39
1691	1,09	0,71	0,43	0,13	0,34	0,43	0,71	1,33	1,47	1,81	1,90	1,72
1692	1,31	0,66	0,40	0,42	0,37	0,54	0,85	1,20	1,30	1,75	1,81	1,47
1693	0,93	0,65	0,47	0,38	0,43	0,46	0,74	1,09	1,69	2,03	1,92	1,29
1694	1,10	0,73	0,47	0,51	0,38	0,53	0,81	1,04	1,45	1,91	1,73	1,39
1695	0,93	0,74	0,48	0,50	0,48	0,49	0,62	1,22	1,41	1,56	1,83	1,79
1696	1,05	0,82	0,29	0,44	0,36	0,41	0,60	1,11	1,56	1,71	2,05	1,67
1697	0,97	0,70	0,57	0,34	0,44	0,63	0,70	1,16	1,54	1,95	1,64	1,40
1698	0,89	0,89	0,51	0,52	0,42	0,46	0,79	0,97	1,09	1,85	1,82	1,83
1699	1,11	0,73	0,50	0,34	0,34	0,31	0,91	1,26	1,25	1,77	2,02	1,54
1700	1,27	0,48	0,50	0,20	0,41	0,68	0,82	1,13	1,76	1,64	1,61	1,55
1701	0,92	0,72	0,39	0,32	0,30	0,54	0,93	1,22	1,34	1,95	1,60	1,81
1702	1,09	0,69	0,51	0,53	0,26	0,64	1,13	0,95	1,60	1,60	1,67	1,37
1703	0,96	0,58	0,47	0,55	0,52	0,36	0,89	1,24	1,54	1,87	1,96	1,12
1704	1,10	0,59	0,43	0,26	0,42	0,60	0,77	1,47	1,62	1,74	1,57	1,48
1705	1,26	0,71	0,60	0,26	0,47	0,71	0,63	0,97	1,53	1,54	1,61	1,76
1706	0,89	0,67	0,43	0,36	0,37	0,45	0,83	1,08	1,62	1,95	1,99	1,42
1707	1,01	0,70	0,53	0,38	0,26	0,54	0,70	1,43	1,45	1,57	1,74	1,74
1708	0,99	0,62	0,42	0,47	0,48	0,75	0,82	1,18	1,60	1,60	1,73	1,38

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1709	0,94	0,75	0,53	0,42	0,36	0,60	0,86	1,07	1,49	1,73	1,96	1,34
1710	0,82	0,53	0,43	0,47	0,40	0,54	1,00	1,08	1,65	1,75	2,03	1,36
1711	1,14	0,83	0,52	0,34	0,40	0,49	0,81	0,94	1,49	1,77	1,72	1,60
1712	1,26	0,61	0,57	0,39	0,39	0,55	0,77	1,22	1,28	1,79	1,85	1,40
1713	1,05	0,76	0,45	0,37	0,46	0,56	0,84	0,95	1,64	1,80	1,66	1,48
1714	1,08	0,68	0,33	0,32	0,30	0,58	0,84	1,18	1,58	1,87	1,97	1,33
1715	0,94	0,55	0,46	0,29	0,38	0,62	0,83	1,25	1,47	1,93	1,87	1,47
1716	1,16	0,64	0,50	0,40	0,38	0,54	0,80	1,16	1,71	1,73	1,89	1,17
1717	0,92	0,55	0,52	0,37	0,49	0,48	0,83	1,08	1,40	1,98	1,90	1,53
1718	1,15	0,80	0,38	0,28	0,30	0,45	0,87	1,21	1,64	1,68	1,70	1,59
1719	1,01	0,67	0,36	0,40	0,31	0,50	0,81	1,21	1,58	1,83	1,73	1,62
1720	0,88	0,61	0,45	0,33	0,48	0,70	0,90	1,08	1,50	1,94	1,63	1,53
1721	0,89	0,48	0,53	0,38	0,55	0,63	0,92	1,36	1,56	1,63	1,65	1,47
1722	1,28	0,58	0,60	0,39	0,44	0,69	1,04	0,80	1,41	1,40	1,82	1,61
1723	1,32	0,71	0,44	0,29	0,36	0,61	0,73	1,06	1,48	1,87	1,57	1,59
1724	1,21	0,83	0,62	0,39	0,43	0,52	0,71	0,98	1,87	1,68	1,40	1,37
1725	0,93	0,60	0,45	0,29	0,62	0,68	0,82	0,95	1,48	1,83	1,96	1,45
1726	1,20	0,66	0,56	0,37	0,37	0,89	0,73	1,10	1,38	1,72	1,57	1,49
1727	0,91	0,69	0,61	0,40	0,42	0,39	0,78	1,22	1,23	1,93	1,68	1,77
1728	1,08	0,64	0,47	0,34	0,31	0,82	0,75	1,09	1,65	1,85	1,63	1,39
1729	1,17	0,60	0,45	0,55	0,35	0,74	0,63	1,17	1,53	1,57	1,93	1,37
1730	1,14	0,67	0,72	0,50	0,38	0,46	0,83	1,11	1,59	1,43	1,58	1,62
1731	1,09	0,79	0,43	0,44	0,37	0,52	0,70	1,22	1,63	1,64	1,78	1,44
1732	0,96	0,87	0,58	0,39	0,33	0,40	0,86	1,12	1,42	1,69	1,89	1,54
1733	0,91	0,71	0,49	0,49	0,37	0,72	0,63	1,21	1,43	1,78	2,02	1,31
1734	1,19	0,67	0,23	0,46	0,61	0,49	1,01	0,76	1,34	1,70	1,97	1,63
1735	1,28	0,58	0,58	0,23	0,51	0,49	0,89	1,35	1,55	1,52	1,52	1,54
1736	1,21	0,55	0,36	0,51	0,48	0,56	0,66	0,93	1,61	1,62	1,78	1,79
1737	1,04	0,88	0,54	0,46	0,38	0,42	0,67	1,26	1,62	1,47	1,69	1,62
1738	0,86	0,73	0,60	0,16	0,42	0,68	0,86	1,21	1,59	1,77	1,76	1,41
1739	1,05	0,77	0,41	0,40	0,50	0,46	0,73	0,98	1,47	1,82	1,80	1,65
1740	1,10	0,75	0,48	0,28	0,43	0,59	0,82	1,31	1,50	1,70	1,70	1,40
1741	0,92	0,64	0,39	0,33	0,43	0,59	0,99	1,22	1,53	1,73	1,66	1,60
1742	1,07	0,68	0,54	0,20	0,48	0,49	0,68	1,09	1,52	1,92	1,85	1,52
1743	1,19	0,79	0,48	0,40	0,33	0,43	0,96	1,01	1,52	1,65	1,66	1,62
1744	1,21	0,59	0,48	0,45	0,16	0,84	0,71	1,07	1,50	1,59	1,91	1,56
1745	0,74	0,64	0,29	0,41	0,43	0,50	0,73	1,06	1,66	1,74	2,03	1,81
1746	1,18	0,84	0,42	0,24	0,37	0,47	0,69	1,11	1,75	1,73	1,71	1,52
1747	1,15	0,64	0,52	0,41	0,32	0,60	0,74	1,07	1,48	1,65	1,83	1,64
1748	1,02	0,70	0,50	0,28	0,30	0,49	0,67	1,30	1,46	1,86	2,08	1,41
1749	1,11	0,70	0,58	0,43	0,33	0,59	0,58	1,20	1,65	1,61	1,83	1,45
1750	1,04	0,51	0,29	0,33	0,36	0,38	0,81	1,41	1,53	1,96	1,87	1,56
1751	1,06	0,55	0,40	0,26	0,52	0,67	0,84	0,96	1,56	1,64	1,91	1,69

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1752	1,06	0,66	0,67	0,45	0,39	0,70	0,99	1,13	1,46	1,51	1,71	1,31
1753	1,22	0,57	0,60	0,28	0,30	0,70	0,73	1,23	1,39	1,72	1,86	1,46
1754	1,26	0,88	0,62	0,36	0,33	0,42	0,92	0,93	1,62	1,80	1,42	1,45
1755	1,27	0,62	0,37	0,42	0,29	0,45	0,83	1,24	1,61	1,81	1,87	1,28
1756	1,08	0,70	0,50	0,48	0,25	0,74	0,55	1,14	1,45	1,80	1,85	1,52
1757	1,07	0,79	0,45	0,30	0,31	0,40	0,89	1,38	1,64	1,60	1,55	1,63
1758	0,92	0,72	0,44	0,37	0,34	0,56	0,71	1,15	1,64	1,83	1,85	1,52
1759	1,11	0,77	0,57	0,43	0,40	0,86	0,86	1,03	1,24	1,75	1,50	1,51
1760	1,06	0,57	0,69	0,48	0,35	0,57	0,97	0,82	1,54	1,49	1,78	1,71
1761	1,10	0,81	0,59	0,53	0,43	0,67	0,69	1,15	1,35	1,52	1,88	1,36
1762	0,93	0,71	0,40	0,32	0,39	0,59	0,86	1,26	1,56	1,78	1,59	1,65
1763	0,94	0,62	0,55	0,53	0,58	0,34	0,86	1,23	1,48	1,81	1,40	1,66
1764	0,96	0,93	0,44	0,36	0,42	0,67	0,77	1,20	1,21	1,65	1,95	1,52
1765	0,98	0,56	0,45	0,23	0,68	0,60	0,74	1,07	1,54	1,92	1,63	1,61
1766	0,93	0,43	0,55	0,36	0,28	0,58	0,83	1,23	1,61	1,84	1,79	1,62
1767	1,07	0,64	0,61	0,33	0,47	0,40	0,90	0,93	1,57	1,89	1,90	1,35
1768	1,01	0,77	0,59	0,33	0,34	0,43	0,67	0,94	1,49	2,00	2,11	1,40
1769	0,99	0,65	0,38	0,33	0,49	0,49	0,80	1,16	1,45	1,84	1,64	1,81
1770	1,01	0,57	0,42	0,36	0,31	0,62	0,84	1,32	1,45	1,95	1,81	1,38
1771	1,01	0,74	0,46	0,29	0,37	0,51	0,75	1,21	1,47	1,93	1,81	1,50
1772	0,92	0,68	0,57	0,55	0,35	0,59	0,95	1,15	1,59	1,94	1,40	1,32
1773	1,07	0,88	0,54	0,40	0,38	0,61	0,57	1,24	1,56	1,62	1,50	1,66
1774	1,01	0,80	0,56	0,43	0,55	0,26	0,83	1,13	1,42	1,59	1,88	1,61
1775	0,97	0,79	0,60	0,48	0,55	0,41	0,85	1,03	1,44	1,75	1,71	1,46
1776	1,04	0,63	0,59	0,47	0,38	0,51	0,92	1,27	1,33	1,65	1,91	1,37
1777	1,21	0,56	0,58	0,32	0,54	0,54	0,62	1,26	1,64	1,71	1,53	1,52
1778	1,05	0,77	0,53	0,43	0,35	0,41	0,83	0,87	1,63	1,64	1,94	1,62
1779	1,29	0,63	0,37	0,25	0,45	0,62	0,65	1,23	1,55	1,92	1,95	1,17
1780	0,96	0,73	0,40	0,33	0,33	0,48	0,96	1,13	1,69	1,76	1,93	1,35
1781	1,20	0,81	0,28	0,27	0,30	0,53	0,60	1,03	1,38	1,98	2,02	1,67
1782	1,27	0,66	0,67	0,34	0,45	0,47	0,62	1,19	1,47	1,73	1,89	1,31
1783	1,11	0,72	0,45	0,36	0,44	0,60	0,88	1,01	1,46	1,61	1,77	1,63
1784	1,07	0,70	0,47	0,40	0,47	0,61	0,66	1,01	1,56	1,82	1,77	1,51
1785	1,01	0,81	0,44	0,31	0,25	0,48	0,82	1,16	1,60	1,77	1,69	1,69
1786	0,94	0,66	0,46	0,30	0,43	0,53	0,98	1,12	1,56	1,69	1,62	1,75
1787	1,08	0,71	0,39	0,39	0,30	0,52	0,70	1,25	1,65	1,70	1,82	1,54
1788	1,32	0,79	0,36	0,23	0,42	0,49	0,60	1,23	1,42	1,94	1,65	1,61
1789	0,84	0,65	0,42	0,35	0,27	0,78	0,59	1,08	1,62	1,81	1,90	1,75
1790	1,22	0,71	0,44	0,27	0,20	0,55	0,58	1,07	1,51	1,99	2,07	1,46
1791	1,19	0,60	0,47	0,46	0,33	0,40	0,82	1,22	1,56	1,76	1,79	1,46
1792	1,05	0,67	0,49	0,29	0,35	0,59	0,74	1,17	1,47	1,88	1,80	1,56
1793	1,13	0,57	0,34	0,33	0,36	0,49	0,69	1,05	1,48	1,99	2,00	1,64
1794	1,34	0,56	0,49	0,28	0,56	0,53	0,68	1,26	1,73	1,94	1,56	1,12

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1795	1,23	0,63	0,45	0,23	0,40	0,62	0,61	1,00	1,61	1,90	1,81	1,57
1796	1,19	0,92	0,46	0,39	0,36	0,54	0,78	0,89	1,65	1,83	1,50	1,52
1797	1,25	0,87	0,48	0,27	0,44	0,44	0,70	1,39	1,75	1,69	1,44	1,31
1798	1,01	0,66	0,47	0,32	0,34	0,53	0,70	1,08	1,55	1,86	2,30	1,27
1799	1,04	0,64	0,43	0,47	0,25	0,57	1,03	1,31	1,51	1,62	1,77	1,41
1800	1,01	0,55	0,39	0,47	0,45	0,58	0,88	1,07	1,35	1,79	1,94	1,59
1801	0,97	0,71	0,39	0,42	0,42	0,53	0,75	1,27	1,44	1,71	1,65	1,77
1802	1,07	0,72	0,50	0,32	0,36	0,53	0,96	1,18	1,55	1,93	1,70	1,23
1803	1,19	0,55	0,44	0,28	0,39	0,47	0,70	1,28	1,52	1,88	1,71	1,64
1804	1,19	0,63	0,42	0,43	0,44	0,39	0,80	1,10	1,80	1,85	1,82	1,18
1805	1,12	0,61	0,42	0,43	0,47	0,73	0,81	1,04	1,76	1,78	1,69	1,19
1806	0,83	0,66	0,27	0,36	0,32	0,73	0,93	1,30	1,71	1,66	1,74	1,54
1807	1,23	0,57	0,49	0,34	0,49	0,60	0,77	1,07	1,57	1,75	1,49	1,65
1808	1,33	0,66	0,44	0,24	0,27	0,46	0,86	1,16	1,76	1,78	1,55	1,50
1809	1,12	0,60	0,38	0,37	0,36	0,67	0,74	1,25	1,51	2,02	1,51	1,50
1810	1,22	0,59	0,56	0,30	0,50	0,43	0,65	1,34	1,42	1,96	1,80	1,30
1811	1,21	0,62	0,35	0,32	0,37	0,64	1,05	0,88	1,62	1,73	1,82	1,44
1812	1,03	0,60	0,64	0,40	0,29	0,61	0,75	1,16	1,49	1,96	1,94	1,21
1813	0,94	0,71	0,50	0,58	0,52	0,48	0,63	0,88	1,61	1,83	1,75	1,61
1814	0,92	0,61	0,38	0,53	0,47	0,60	0,90	0,95	1,24	1,91	1,77	1,77
1815	0,89	0,69	0,24	0,34	0,19	0,62	0,80	1,42	1,58	1,84	1,74	1,70
1816	1,00	0,75	0,58	0,50	0,29	0,39	0,89	1,11	1,40	1,93	1,84	1,38
1817	0,93	0,69	0,17	0,36	0,47	0,52	0,66	1,09	1,85	1,92	2,03	1,39
1818	0,96	0,68	0,42	0,42	0,44	0,48	0,72	1,14	1,65	1,70	1,77	1,66
1819	1,27	0,83	0,43	0,30	0,35	0,62	0,80	1,04	1,50	1,76	1,51	1,61
1820	1,29	0,74	0,41	0,47	0,41	0,49	0,78	1,10	1,68	1,39	1,65	1,62
1821	1,16	0,65	0,50	0,30	0,60	1,02	0,64	1,06	1,41	1,38	1,91	1,45
1822	0,95	0,52	0,48	0,29	0,43	0,49	0,78	1,11	1,48	1,97	2,02	1,56
1823	1,14	0,67	0,71	0,46	0,31	0,58	0,64	1,20	1,49	1,63	1,81	1,42
1824	1,24	0,73	0,41	0,36	0,50	0,58	0,87	1,13	1,41	1,59	1,76	1,47
1825	1,05	0,75	0,68	0,43	0,30	0,61	0,66	1,18	1,52	1,71	1,92	1,26
1826	0,98	0,69	0,50	0,41	0,52	0,59	0,71	1,12	1,74	1,71	1,59	1,47
1827	0,94	0,66	0,53	0,24	0,44	0,46	0,98	1,07	1,35	1,50	2,14	1,79
1828	1,15	0,76	0,47	0,36	0,50	0,60	0,83	0,92	1,52	1,86	1,68	1,39
1829	1,04	0,78	0,31	0,48	0,33	0,65	0,73	1,03	1,75	1,72	1,88	1,35
1830	1,06	0,62	0,57	0,22	0,18	0,82	1,04	1,22	1,64	1,53	1,74	1,42
1831	1,12	0,62	0,32	0,20	0,43	0,49	0,93	1,30	1,72	1,74	1,82	1,37
1832	0,97	0,70	0,63	0,40	0,18	0,49	0,69	1,06	1,66	2,14	1,63	1,49
1833	1,30	0,71	0,42	0,43	0,42	0,44	0,95	0,93	1,17	1,92	1,66	1,68
1834	0,98	0,68	0,57	0,51	0,32	0,53	0,63	0,91	1,67	1,96	2,02	1,29
1835	1,18	0,65	0,49	0,45	0,42	0,45	0,78	1,18	1,37	1,78	1,91	1,41
1836	1,13	0,72	0,45	0,29	0,32	0,46	0,58	1,21	1,60	1,71	1,84	1,76
1837	0,98	0,99	0,50	0,15	0,42	0,50	0,78	0,97	1,61	1,65	1,85	1,65

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1838	1,23	0,49	0,45	0,31	0,46	0,55	0,63	1,22	1,27	1,86	1,98	1,62
1839	0,88	0,80	0,66	0,37	0,28	0,57	0,81	1,54	1,51	1,88	1,44	1,30
1840	0,97	0,81	0,50	0,39	0,46	0,75	0,53	1,28	1,47	1,77	1,65	1,48
1841	1,28	0,55	0,38	0,38	0,35	0,43	0,68	1,29	1,60	1,64	1,68	1,78
1842	0,99	0,75	0,50	0,49	0,46	0,47	0,57	1,08	1,60	1,74	1,76	1,65
1843	1,21	0,53	0,51	0,30	0,52	0,55	0,77	1,06	1,62	1,82	1,66	1,49
1844	1,25	0,77	0,43	0,42	0,26	0,35	0,64	1,29	1,69	1,74	1,84	1,37
1845	1,04	0,64	0,38	0,30	0,40	0,67	0,85	1,32	1,62	1,87	1,59	1,36
1846	0,98	0,52	0,39	0,49	0,35	0,60	0,86	1,17	1,63	1,75	1,91	1,41
1847	1,20	0,52	0,45	0,53	0,47	0,50	0,85	1,01	1,36	1,84	1,93	1,42
1848	0,80	0,61	0,31	0,37	0,61	0,41	0,73	1,30	1,69	1,65	1,75	1,80
1849	1,21	0,74	0,36	0,28	0,56	0,49	0,81	1,00	1,54	1,70	2,02	1,37
1850	1,02	0,76	0,49	0,30	0,44	0,55	0,65	1,18	1,62	1,64	2,00	1,42
1851	0,97	0,58	0,53	0,40	0,30	0,45	0,83	1,40	1,71	1,59	1,93	1,39
1852	1,15	0,67	0,49	0,49	0,36	0,51	0,55	1,38	1,44	1,75	2,05	1,26
1853	1,02	0,57	0,53	0,54	0,46	0,62	0,63	1,29	1,54	1,87	1,64	1,32
1854	1,32	0,58	0,63	0,38	0,36	0,60	0,76	1,40	1,38	1,55	1,78	1,34
1855	1,03	0,59	0,45	0,36	0,49	0,49	0,82	1,19	1,51	1,99	1,85	1,29
1856	1,20	0,68	0,50	0,51	0,42	0,39	0,66	0,98	1,63	1,79	1,81	1,47
1857	1,35	0,72	0,39	0,26	0,48	0,64	0,87	1,27	1,53	1,60	1,58	1,36
1858	0,81	0,77	0,40	0,29	0,40	0,49	0,76	1,38	1,76	1,79	1,84	1,35
1859	1,02	0,68	0,58	0,29	0,47	0,42	0,70	1,36	1,70	1,73	1,64	1,44
1860	1,01	0,55	0,70	0,49	0,33	0,63	0,79	1,33	1,40	1,70	1,69	1,43
1861	0,93	0,63	0,34	0,22	0,62	0,47	0,83	1,21	1,66	1,77	1,95	1,43
1862	1,06	0,54	0,41	0,44	0,44	0,48	0,87	1,22	1,58	1,87	1,57	1,55
1863	1,03	0,61	0,69	0,32	0,36	0,54	0,83	1,22	1,70	1,77	1,60	1,37
1864	1,19	0,64	0,57	0,42	0,37	0,54	0,77	1,10	1,63	1,96	1,65	1,20
1865	1,00	0,55	0,44	0,28	0,63	0,54	0,63	0,97	1,62	2,03	1,64	1,69
1866	1,27	0,60	0,35	0,26	0,42	0,55	0,85	1,00	1,62	1,63	1,72	1,76
1867	0,79	0,70	0,41	0,42	0,40	0,62	1,02	1,21	1,59	1,71	1,68	1,48
1868	1,14	0,61	0,45	0,37	0,35	0,48	0,78	1,18	1,52	1,65	1,91	1,62
1869	1,29	0,65	0,39	0,36	0,26	0,49	0,75	0,90	1,38	1,80	2,11	1,69
1870	1,07	0,81	0,54	0,38	0,36	0,68	0,67	1,22	1,57	1,69	1,67	1,39
1871	0,81	0,67	0,53	0,36	0,26	0,50	0,88	1,05	1,71	1,58	2,00	1,71
1872	1,21	0,64	0,59	0,35	0,52	0,59	0,86	1,19	1,62	1,52	1,45	1,48
1873	1,09	0,68	0,36	0,28	0,36	0,52	0,88	1,27	1,46	1,50	1,91	1,74
1874	0,93	0,70	0,50	0,44	0,44	0,47	0,76	1,07	1,38	1,78	1,95	1,64
1875	0,89	0,68	0,38	0,44	0,55	0,36	0,82	1,27	1,44	1,77	1,76	1,69
1876	0,97	0,53	0,56	0,60	0,34	0,72	0,74	1,25	1,79	1,58	1,71	1,26
1877	1,02	0,75	0,46	0,44	0,56	0,52	0,57	1,11	1,64	1,78	1,93	1,30
1878	1,01	0,63	0,47	0,47	0,42	0,60	0,79	1,09	1,44	1,69	1,74	1,69
1879	0,98	0,57	0,61	0,22	0,48	0,57	0,82	1,23	1,52	1,76	1,74	1,55
1880	1,22	0,72	0,34	0,44	0,47	0,71	0,81	1,09	1,60	1,59	1,66	1,39

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1881	1,02	0,83	0,56	0,28	0,39	0,45	0,98	0,96	1,44	1,45	2,10	1,61
1882	1,19	0,63	0,24	0,19	0,31	0,53	0,76	1,16	1,62	1,87	1,87	1,70
1883	0,81	0,67	0,29	0,42	0,48	0,56	0,65	1,16	1,79	1,78	1,78	1,65
1884	0,82	0,62	0,56	0,40	0,33	0,38	0,61	1,45	1,46	1,72	2,09	1,64
1885	1,14	0,89	0,45	0,26	0,18	0,46	0,75	1,12	1,84	1,72	1,66	1,57
1886	1,27	0,57	0,42	0,50	0,52	0,47	0,79	1,22	1,52	1,68	1,58	1,48
1887	0,85	0,71	0,57	0,44	0,41	0,59	0,91	1,17	1,58	1,61	1,76	1,45
1888	0,99	0,62	0,46	0,49	0,32	0,55	0,68	1,20	1,57	1,83	1,67	1,67
1889	1,19	0,67	0,62	0,35	0,46	0,54	0,65	1,08	1,49	1,52	2,18	1,35
1890	1,02	0,61	0,44	0,33	0,36	0,70	0,89	0,97	1,46	1,89	1,70	1,69
1891	1,06	0,74	0,51	0,26	0,31	0,65	0,64	1,14	1,67	1,91	1,85	1,34
1892	0,97	0,76	0,45	0,51	0,40	0,58	0,69	1,10	1,82	1,74	1,80	1,23
1893	0,99	0,80	0,45	0,37	0,52	0,36	1,00	1,07	1,37	1,76	1,91	1,44
1894	1,01	0,63	0,59	0,32	0,29	0,47	0,71	0,93	1,56	1,85	2,09	1,60
1895	1,10	0,70	0,55	0,56	0,45	0,52	0,67	1,04	1,41	1,81	1,82	1,43
1896	1,34	0,74	0,52	0,45	0,46	0,62	0,76	1,02	1,49	1,44	1,63	1,58
1897	1,15	0,64	0,55	0,50	0,46	0,49	0,96	1,34	1,52	1,70	1,57	1,18
1898	1,25	0,70	0,40	0,41	0,38	0,39	1,00	1,19	1,56	1,64	1,69	1,43
1899	0,98	0,72	0,50	0,35	0,44	0,46	0,79	1,24	1,42	1,78	1,90	1,48
1900	1,01	0,73	0,46	0,54	0,49	0,47	0,53	1,10	1,60	1,84	1,84	1,44
1901	1,11	0,66	0,52	0,54	0,19	0,63	0,59	1,47	1,38	1,66	1,55	1,74
1902	0,92	0,61	0,56	0,33	0,31	0,57	0,70	1,16	1,47	1,85	2,01	1,59
1903	0,99	0,68	0,52	0,22	0,43	0,68	0,88	1,01	1,51	1,83	1,65	1,64
1904	0,98	0,79	0,54	0,42	0,38	0,53	0,94	0,77	1,56	1,81	1,69	1,64
1905	1,03	0,64	0,48	0,45	0,25	0,63	0,77	0,98	1,75	1,74	1,79	1,54
1906	1,06	0,57	0,52	0,34	0,49	0,70	1,02	1,11	1,54	1,75	1,60	1,33
1907	1,07	0,74	0,37	0,35	0,29	0,44	0,66	0,97	1,72	1,98	1,85	1,62
1908	1,16	0,76	0,51	0,55	0,42	0,58	0,80	1,20	1,38	1,46	1,65	1,58
1909	1,16	0,66	0,54	0,37	0,40	0,48	0,87	0,96	1,36	1,80	2,00	1,45
1910	1,13	0,86	0,55	0,52	0,48	0,49	0,90	1,37	1,38	1,48	1,70	1,19
1911	1,11	0,76	0,39	0,44	0,41	0,60	0,67	1,45	1,44	1,52	1,79	1,48
1912	1,18	0,60	0,32	0,35	0,32	0,73	0,89	1,10	1,40	1,66	1,79	1,71
1913	1,00	0,73	0,32	0,36	0,34	0,55	0,90	1,21	1,45	1,91	1,90	1,39
1914	1,05	0,51	0,45	0,55	0,44	0,44	0,62	1,23	1,71	1,83	1,81	1,42
1915	0,99	0,80	0,52	0,46	0,36	0,51	0,76	1,04	1,33	1,73	1,80	1,74
1916	0,91	0,62	0,72	0,34	0,54	0,55	1,00	1,03	1,36	1,75	1,66	1,55
1917	1,15	0,73	0,64	0,31	0,49	0,50	0,81	1,13	1,41	1,74	1,64	1,51
1918	1,12	0,61	0,63	0,49	0,31	0,72	0,83	0,92	1,61	1,71	1,59	1,50
1919	1,00	0,61	0,40	0,43	0,42	0,59	0,93	1,24	1,63	1,59	1,64	1,55
1920	1,28	0,53	0,57	0,34	0,26	0,65	0,82	1,02	1,49	1,60	1,99	1,53
1921	1,17	0,61	0,51	0,28	0,58	0,56	0,85	1,28	1,43	1,63	1,61	1,53
1922	0,96	0,69	0,50	0,34	0,42	0,51	1,01	1,05	1,68	1,90	1,57	1,38
1923	1,39	0,66	0,37	0,58	0,43	0,57	1,00	1,04	1,38	1,61	1,65	1,37

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1924	1,13	0,79	0,56	0,30	0,47	0,66	0,69	1,06	1,67	1,67	1,53	1,48
1925	0,83	0,70	0,39	0,32	0,36	0,46	0,96	1,37	1,74	1,52	1,88	1,53
1926	1,06	0,65	0,58	0,21	0,45	0,54	0,80	1,24	1,59	1,82	1,63	1,46
1927	0,98	0,78	0,48	0,49	0,30	0,52	0,70	1,03	1,71	2,03	1,60	1,42
1928	1,00	0,72	0,46	0,28	0,43	0,54	0,87	1,31	1,62	1,79	1,68	1,34
1929	1,07	0,54	0,50	0,38	0,47	0,68	0,69	1,09	1,43	1,61	1,99	1,65
1930	1,11	0,91	0,50	0,40	0,47	0,44	0,81	1,18	1,44	1,70	1,79	1,29
1931	1,08	0,59	0,28	0,29	0,53	0,61	0,95	1,17	1,60	1,59	1,61	1,73
1932	1,33	0,73	0,39	0,28	0,38	0,43	0,54	1,32	1,46	1,81	1,72	1,66
1933	1,37	0,61	0,42	0,39	0,44	0,65	0,80	1,13	1,50	1,75	1,77	1,25
1934	0,93	0,57	0,44	0,52	0,57	0,49	0,97	0,86	1,45	1,87	2,01	1,37
1935	0,91	0,72	0,55	0,30	0,37	0,52	1,05	0,95	1,59	1,61	1,88	1,60
1936	1,06	0,64	0,46	0,30	0,36	0,64	0,80	0,95	1,39	1,98	1,74	1,73
1937	0,86	0,56	0,54	0,47	0,51	0,50	0,89	0,86	1,43	1,99	1,96	1,47
1938	1,13	0,67	0,35	0,39	0,40	0,47	1,00	1,19	1,47	1,72	1,68	1,56
1939	1,28	0,61	0,56	0,31	0,48	0,50	0,94	0,90	1,49	1,74	1,87	1,39
1940	1,13	0,68	0,48	0,42	0,56	0,45	0,82	1,13	1,36	1,90	1,63	1,48
1941	0,91	0,59	0,54	0,48	0,44	0,58	0,68	1,32	1,21	1,89	1,83	1,59
1942	1,01	0,68	0,37	0,40	0,43	0,66	0,91	1,05	1,51	1,81	1,93	1,28
1943	0,88	0,73	0,60	0,32	0,39	0,59	0,88	1,18	1,59	1,70	1,86	1,33
1944	1,13	0,73	0,52	0,37	0,31	0,61	1,07	1,23	1,31	1,70	1,40	1,63
1945	0,93	0,72	0,59	0,47	0,26	0,53	0,66	0,98	1,82	1,55	1,97	1,60
1946	1,13	0,63	0,63	0,26	0,33	0,48	0,57	1,16	1,57	1,89	1,80	1,62
1947	1,07	0,74	0,27	0,48	0,47	0,47	0,59	1,18	1,55	2,02	2,03	1,22
1948	0,93	0,86	0,61	0,54	0,62	0,48	0,79	1,25	1,40	1,56	1,69	1,33
1949	1,11	0,53	0,55	0,55	0,35	0,58	0,80	1,02	1,52	1,74	1,65	1,64
1950	1,04	0,52	0,66	0,31	0,43	0,49	0,75	1,23	1,53	1,92	1,82	1,35
1951	1,19	0,71	0,41	0,37	0,27	0,59	0,90	1,07	1,39	1,74	1,88	1,54
1952	1,02	0,85	0,52	0,38	0,48	0,76	0,72	0,99	1,49	1,51	1,81	1,52
1953	0,99	0,78	0,47	0,32	0,60	0,59	0,69	1,25	1,59	1,73	1,57	1,45
1954	0,90	0,59	0,59	0,42	0,57	0,66	0,76	1,06	1,63	1,86	1,46	1,51
1955	1,12	0,55	0,62	0,33	0,57	0,49	0,85	1,06	1,47	1,72	1,98	1,32
1956	0,94	0,69	0,34	0,42	0,26	0,58	0,97	1,16	1,50	1,68	1,70	1,79
1957	1,08	0,67	0,26	0,35	0,48	0,54	1,04	1,09	1,54	1,69	1,62	1,64
1958	0,93	0,61	0,40	0,47	0,49	0,58	0,79	0,86	1,64	1,88	1,75	1,63
1959	0,93	0,75	0,46	0,39	0,27	0,78	0,85	1,21	1,45	1,63	1,87	1,46
1960	1,36	0,86	0,57	0,38	0,48	0,45	0,80	1,13	1,37	1,48	1,75	1,43
1961	0,92	0,71	0,54	0,47	0,28	0,80	0,85	1,01	1,18	1,65	2,01	1,65
1962	0,97	0,65	0,60	0,32	0,51	0,50	0,93	1,11	1,34	1,82	1,71	1,57
1963	0,92	0,90	0,44	0,51	0,36	0,73	0,67	1,05	1,48	1,85	1,77	1,36
1964	1,14	0,64	0,49	0,52	0,44	0,69	0,74	1,07	1,50	1,92	1,47	1,41
1965	1,21	0,67	0,46	0,40	0,44	0,51	0,75	1,02	1,48	1,86	1,74	1,51
1966	0,82	0,65	0,51	0,40	0,50	0,85	0,86	1,24	1,32	1,61	1,86	1,44

Año	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1967	1,33	0,80	0,65	0,59	0,38	0,44	0,85	1,17	1,35	1,61	1,56	1,31
1968	1,15	0,55	0,35	0,35	0,53	0,49	0,87	1,09	1,51	1,98	1,79	1,37
1969	0,97	0,78	0,59	0,52	0,43	0,58	0,76	1,25	1,35	1,71	1,63	1,48
1970	1,01	0,66	0,54	0,45	0,22	0,79	0,97	1,13	1,50	1,46	1,78	1,53
1971	1,15	0,68	0,57	0,36	0,48	0,57	0,60	1,03	1,39	1,57	1,95	1,73
1972	1,10	0,60	0,37	0,30	0,39	0,70	0,70	1,22	1,66	1,76	1,68	1,56
1973	0,96	0,54	0,51	0,43	0,60	0,58	0,95	1,28	1,30	1,76	1,75	1,40
1974	1,01	0,76	0,51	0,45	0,60	0,53	0,80	1,16	1,42	1,91	1,45	1,43
1975	1,02	0,67	0,35	0,37	0,39	0,80	0,64	1,30	1,69	1,64	1,59	1,58
1976	1,09	0,80	0,49	0,28	0,37	0,43	0,79	1,11	1,50	1,84	1,80	1,54
1977	1,06	0,95	0,60	0,58	0,34	0,50	0,94	0,97	1,47	1,59	1,71	1,30
1978	1,05	0,64	0,50	0,48	0,58	0,62	0,58	1,19	1,75	1,74	1,61	1,29
1979	0,90	0,73	0,57	0,39	0,53	0,48	0,61	1,33	1,44	1,73	1,69	1,65
1980	1,00	0,60	0,57	0,52	0,32	0,56	0,74	1,35	1,76	1,67	1,76	1,21
1981	1,10	0,79	0,54	0,49	0,37	0,52	0,77	1,20	1,44	1,65	1,57	1,61
1982	1,18	0,60	0,53	0,47	0,48	0,51	0,82	0,97	1,45	1,73	1,79	1,51
1983	1,30	0,86	0,51	0,43	0,40	0,52	1,00	0,88	1,47	1,68	1,61	1,38
1984	1,01	0,69	0,45	0,51	0,43	0,83	0,76	1,16	1,55	1,46	1,69	1,50
1985	1,13	0,68	0,54	0,44	0,39	0,80	1,00	0,90	1,35	1,40	1,80	1,63
1986	1,17	0,74	0,55	0,30	0,54	0,56	0,81	1,14	1,36	1,80	1,61	1,46
1987	0,88	0,57	0,47	0,52	0,29	0,40	0,95	1,16	1,73	1,63	1,85	1,59
1988	0,99	0,59	0,47	0,51	0,57	0,72	0,78	1,28	1,53	1,49	1,63	1,48
1989	0,81	0,75	0,63	0,45	0,53	0,54	0,86	1,46	1,34	1,61	1,49	1,54
1990	0,90	0,73	0,53	0,53	0,63	0,71	0,85	0,82	1,45	1,75	1,78	1,36
1991	1,20	0,58	0,50	0,31	0,23	0,60	0,95	1,37	1,71	1,77	1,56	1,26
1992	1,24	0,76	0,51	0,34	0,40	0,56	0,69	1,16	1,57	1,67	1,84	1,34
1993	0,96	0,72	0,66	0,33	0,27	0,36	0,77	1,27	1,54	1,98	1,69	1,51
1994	0,90	0,62	0,65	0,34	0,31	0,48	1,00	1,19	1,48	1,86	1,75	1,46
1995	0,87	0,69	0,60	0,47	0,57	0,56	0,78	1,33	1,49	1,66	1,66	1,35
1996	1,18	0,59	0,63	0,38	0,48	0,50	0,87	1,07	1,45	1,82	1,66	1,41
1997	1,19	0,67	0,38	0,27	0,51	0,58	1,00	1,38	1,34	1,65	1,68	1,39
1998	0,86	0,75	0,36	0,44	0,46	0,80	0,75	1,04	1,59	1,85	1,72	1,40
1999	0,98	0,72	0,44	0,37	0,31	0,48	1,07	1,26	1,51	1,71	1,73	1,47
2000	0,91	0,71	0,40	0,46	0,59	0,53	0,82	1,23	1,39	1,79	1,67	1,56

ANEXO B. Validación de la función de transferencia aplicada en precipitaciones anuales

Tabla B-1. Resultados de la prueba z.

Diferencia	10,854
z (Valor observado)	0,053
z (Valor crítico)	1,960
valor-p (bilateral)	0,957
alfa	0,05

Tabla B-2. Resultados de la prueba t.

Diferencia	10,854
t (Valor observado)	0,053
t (Valor crítico)	2,003
GL	56
valor-p (bilateral)	0,958
alfa	0,05

Tabla B-3. Resultados de la prueba F de Fisher.

Razón	1,077
F (Valor observado)	1,077
F (Valor crítico)	2,130
GL1	28
GL2	28
valor-p (bilateral)	0,845
alfa	0,05

Tabla B-4. Resultados de la prueba de Levene.

F (Valor observado)	0,199
F (Valor crítico)	4,013
GL1	1
GL2	56
valor-p (unilateral)	0,657
alfa	0,05

Tabla B-5. Resultados de la prueba de Bartlett.

Chi-cuadrado (Valor observado)	0,038
Chi-cuadrado (Valor crítico)	3,841
GL	1
valor-p (unilateral)	0,845
alfa	0,05

ANEXO C. Validación de la función de transferencia aplicada en temperaturas medias anuales

Tabla C-1. Resultados de la prueba z.

Diferencia	0,040
z (Valor observado)	0,406
z (Valor crítico)	1,960
valor-p (bilateral)	0,685
alfa	0,05

Tabla C-2. Resultados de la prueba t.

Diferencia	0,040
t (Valor observado)	0,406
t (Valor crítico)	2,003
GL	56
valor-p (bilateral)	0,687
alfa	0,05

Tabla C-3. Resultados de la prueba F de Fisher.

Razón	1,056
F (Valor observado)	1,056
F (Valor crítico)	2,130
GL1	28
GL2	28
valor-p (bilateral)	0,887
alfa	0,05

Tabla C-4. Resultados de la prueba de Levene.

F (Valor observado)	0,128
F (Valor crítico)	4,013
GL1	1
GL2	56
valor-p (unilateral)	0,722
alfa	0,05

Tabla C-5. Resultados de la prueba de Bartlett.

Chi-cuadrado (Valor observado)	0,020
Chi-cuadrado (Valor crítico)	3,841
GL	1
valor-p (unilateral)	0,887
alfa	0,05

ANEXO D. Correlación entre río Achibueno en La Recova y estero Las Garzas

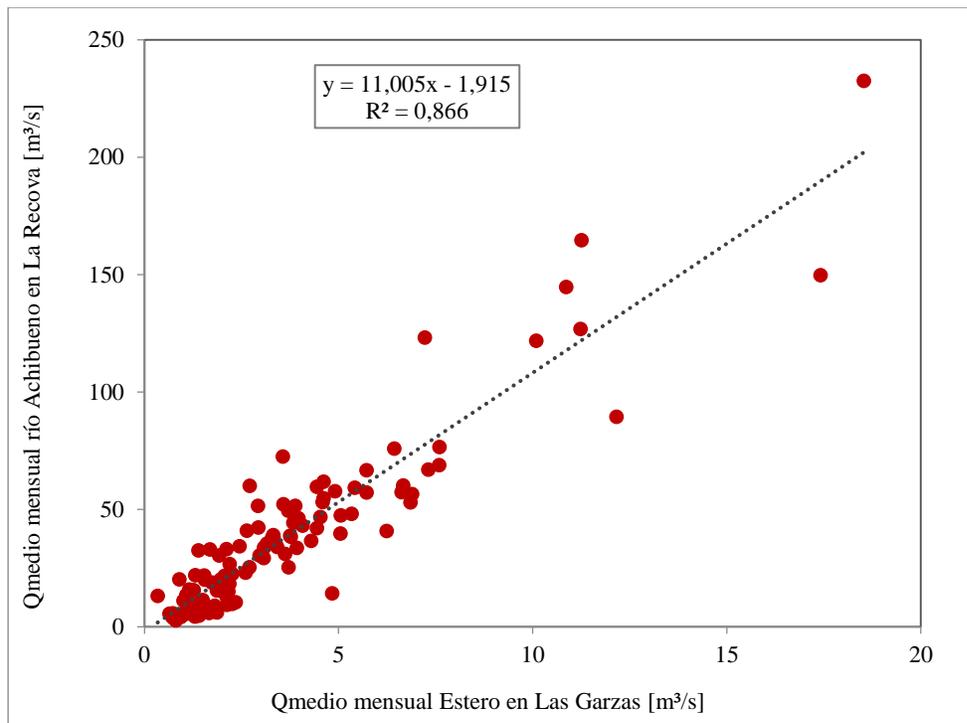


Figura D-1. Correlación de caudal medio mensual entre río Achibueno en La Recova y estero Las Garzas. Periodo 2003 - 2015.

ANEXO E. Reconstrucción de caudales medios mensuales

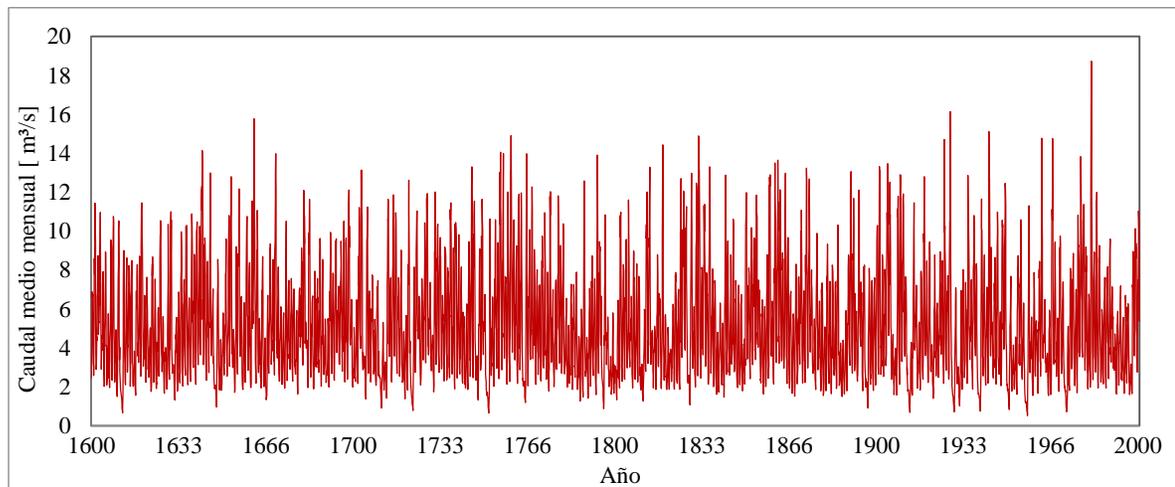


Figura E-1. Caudal medio mensual en Estero Las Garzas obtenido con modelo WEAP calibrado por el Centro de Cambio Global (PUC). Periodo 1600 – 2000.

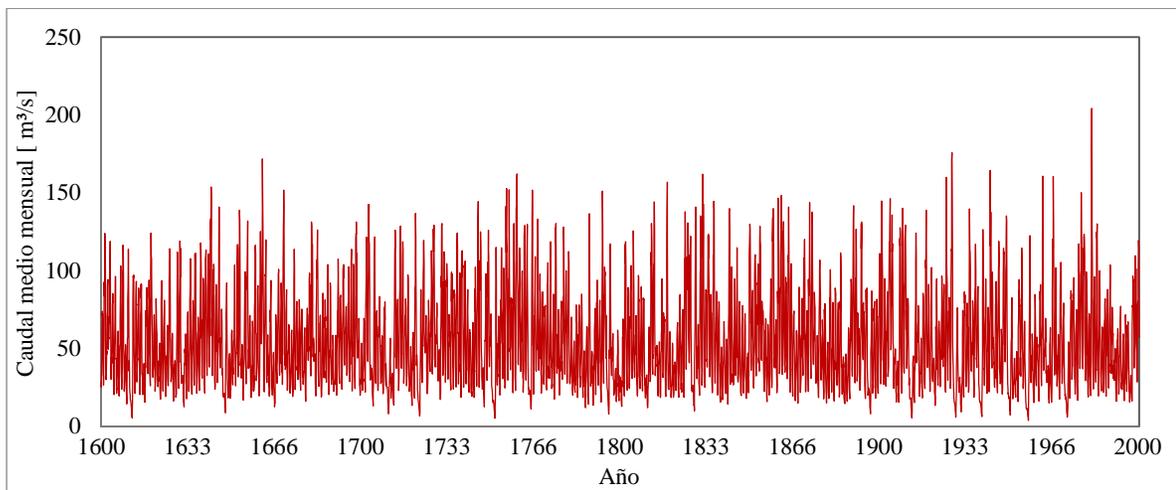


Figura E-2. Caudal medio mensual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo WEAP calibrado por el Centro de Cambio Global (PUC). Periodo 1600 – 2000.

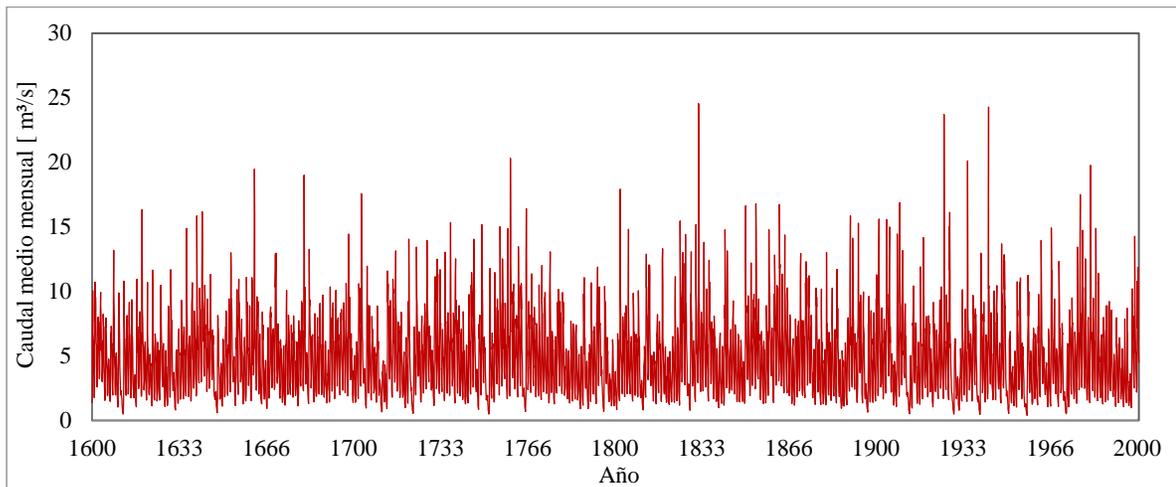


Figura E-3. Caudal medio mensual en Estero Las Garzas obtenido con modelo WEAP calibrado por ERIDANUS. Periodo 1600 – 2000.

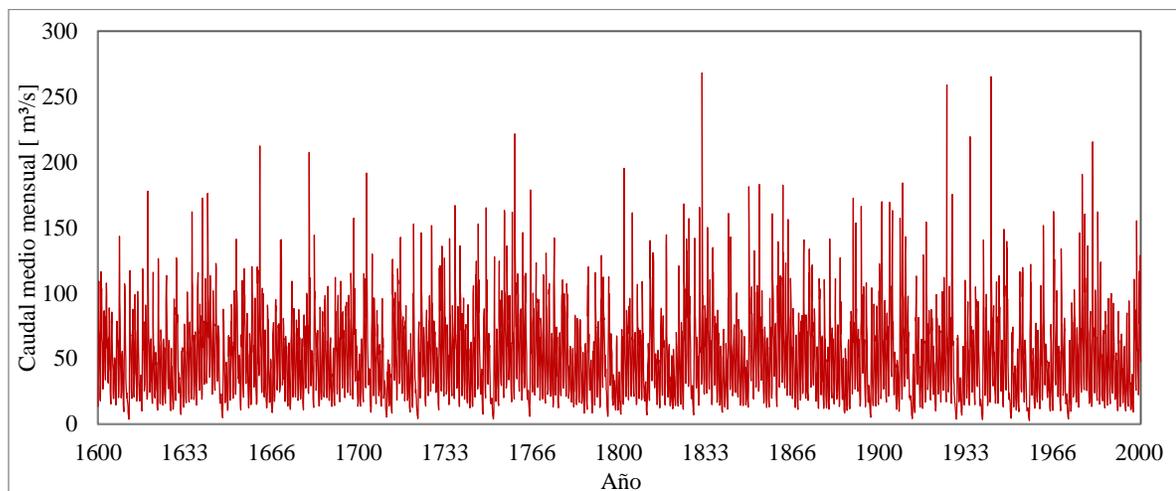
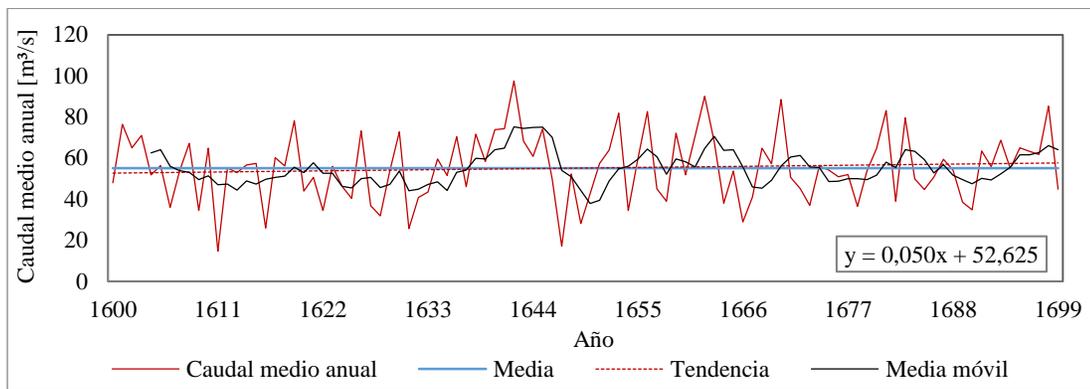


Figura E-4. Caudal medio mensual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo WEAP calibrado por ERIDANUS. Periodo 1600 – 2000.

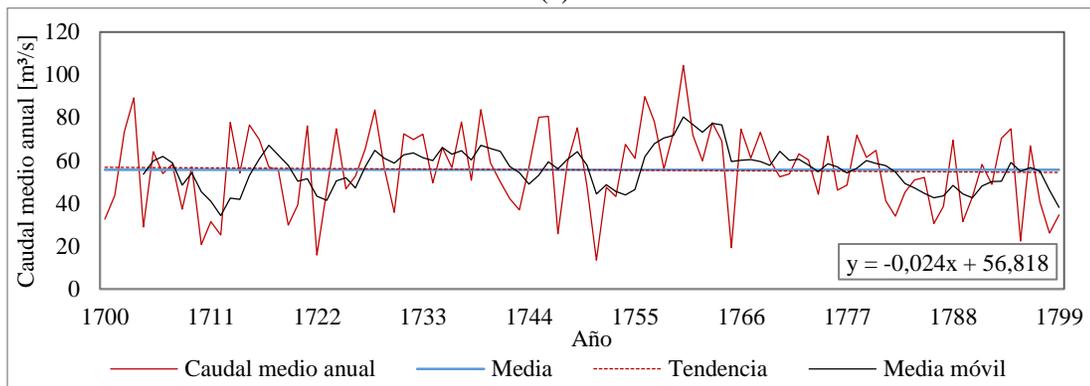
ANEXO F. Análisis de Resultados

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. Período 1600 – 2000.

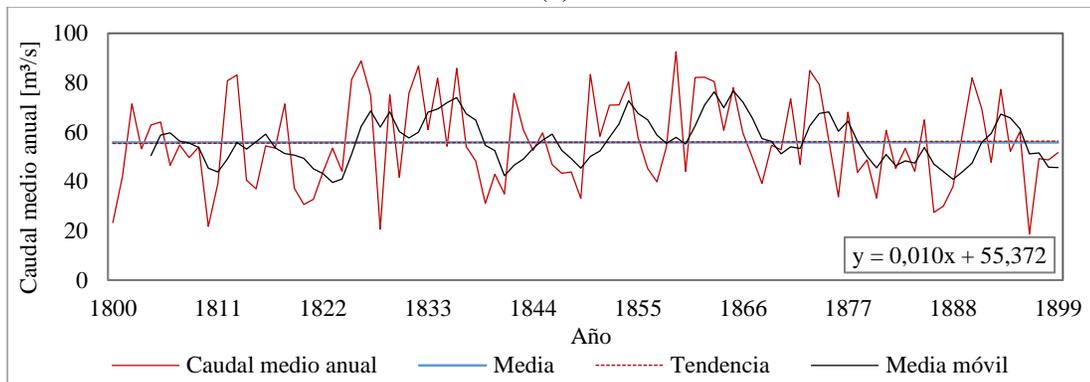
Centro Cambio Climático (PUC)				ERIDANUS			
Caudales Medios Anuales Altos		Caudales Medios Anuales Bajos		Caudales Medios Anuales Altos		Caudales Medios Anuales Bajos	
Años	Caudal medio anual [m ³ /s]	Años	Caudal medio anual [m ³ /s]	Años	Caudal medio anual [m ³ /s]	Años	Caudal medio anual [m ³ /s]
1760	104,399	1957	9,433	1760	94,166	1957	8,347
1642	97,569	1939	12,995	1642	90,782	1939	11,344
1982	96,743	1751	13,523	1982	90,537	1751	12,485
1928	95,566	1929	14,271	1928	88,205	1972	12,769
1904	95,011	1611	14,602	1904	87,742	1929	13,091
1831 – 1834	76,306	1929 – 1932	28,791	1908 – 1911	70,579	1929 – 1932	26,721
1908 – 1911	75,377	1950 – 1953	30,633	1977 – 1980	69,670	1797 – 1801	31,513
1977 – 1980	75,252	1797 - 1801	33,331	1861 -1866	69,189	1646 – 1650	34,915
1861 – 1866	73,825	1646 – 1650	37,957	1831 – 1836	69,183	1750 – 1753	36,017
1754 – 1764	73,496	1750 – 1753	38,108	1754 – 1764	67,875	1990 – 1997	36,814
1638 – 1645	72,366	1990 – 1997	39,421	1638 – 1645	67,320	1664 – 1667	37,754
1982 – 1985	70,453	1819 – 1824	40,338	1982 – 1985	65,468	1819 – 1824	37,793
1850 – 1855	70,227	1664 – 1667	40,393	1850 – 1855	65,353	1846 – 1849	38,914
1695 – 1698	68,788	1781 – 1787	41,785	1695 – 1698	63,831	1781 – 1787	38,976
1924 - 1928	68,518	1846 – 1849	41,812	1924 – 1928	63,729	1896 – 1899	39,562
1766 – 1769	67,287	1896 – 1899	42,075	1766 – 1769	62,502	1837 – 1841	39,821
1715 - 1718	64,647	1837 – 1841	42,262	1600 – 1603	61,970	1814 – 1817	43,155
		1806 – 1811	44,343	1715 - 1718	60,425	1675 - 1679	45,847
		1814 – 1817	46,336				
		1867 – 1870	49,083				
		1675 - 1679	49,491				



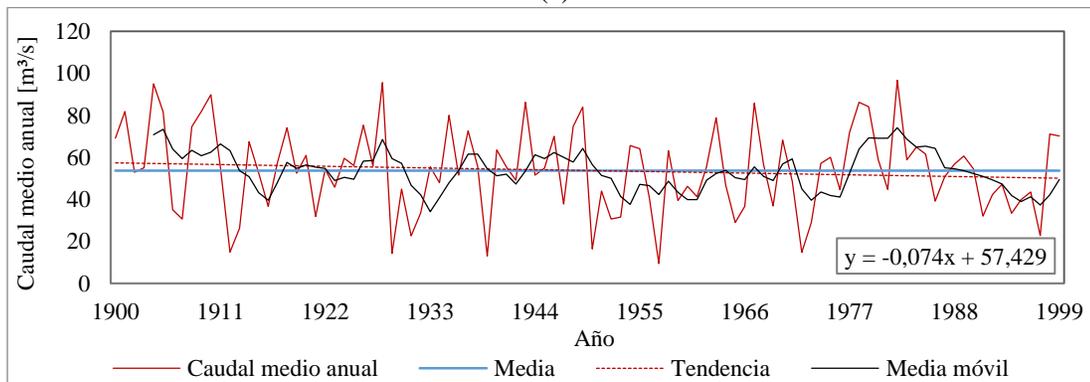
(a)



(b)



(c)



(d)

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.

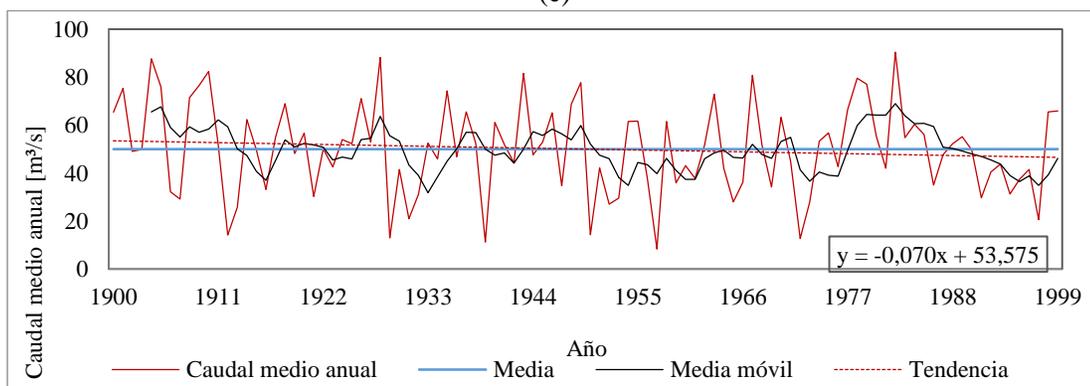
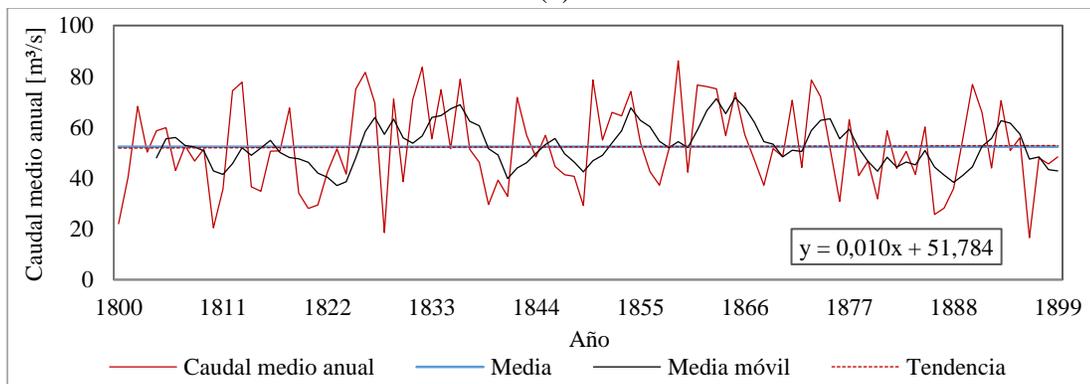
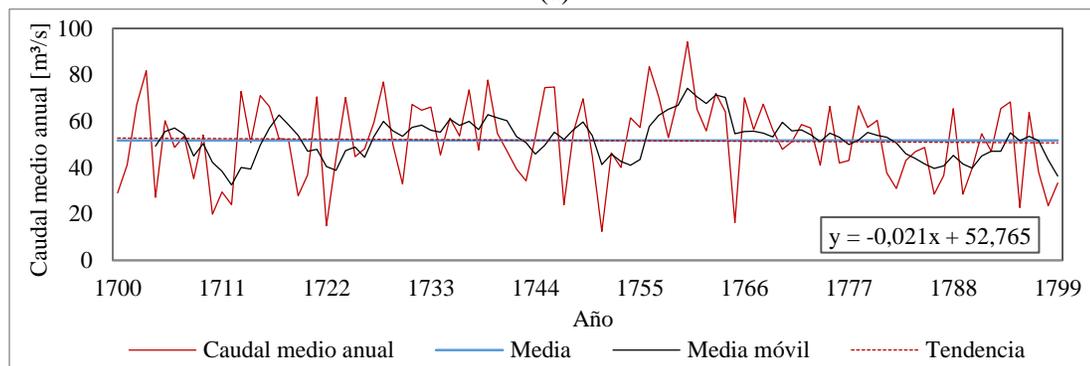
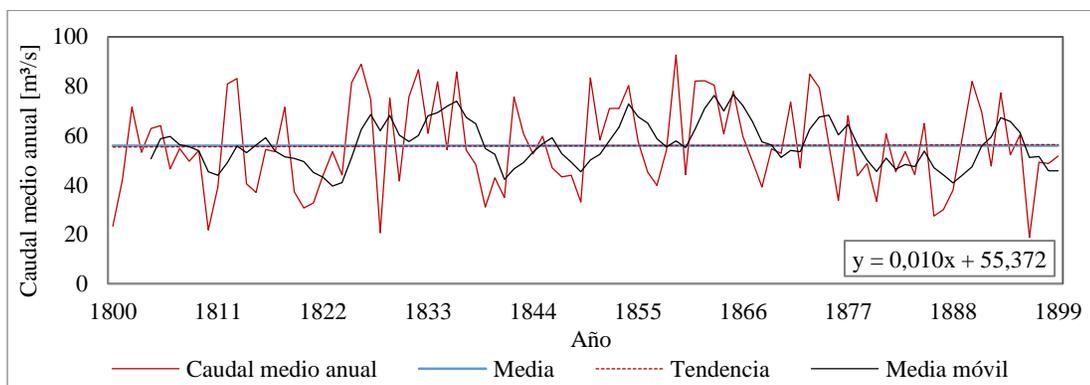
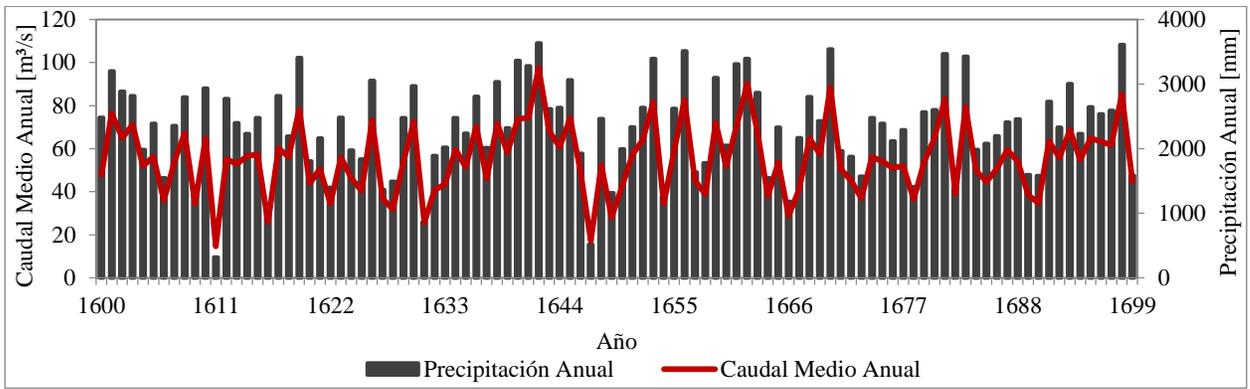
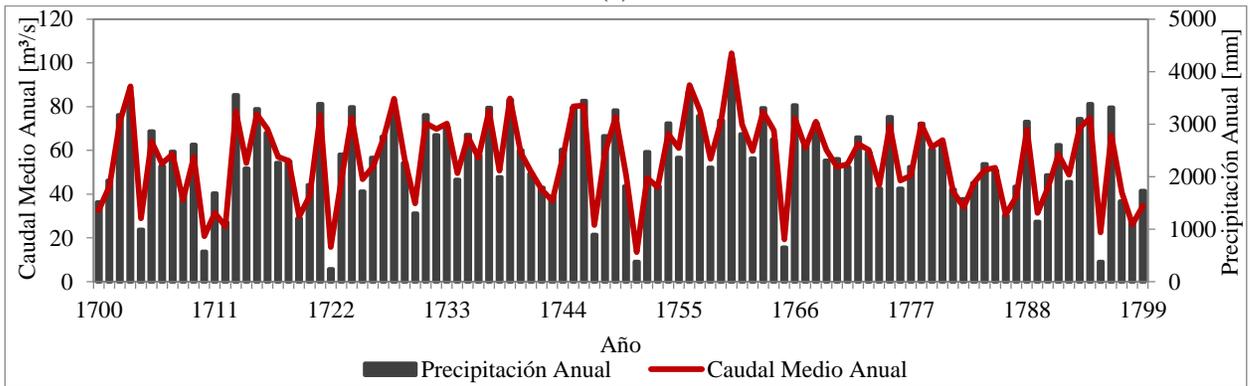


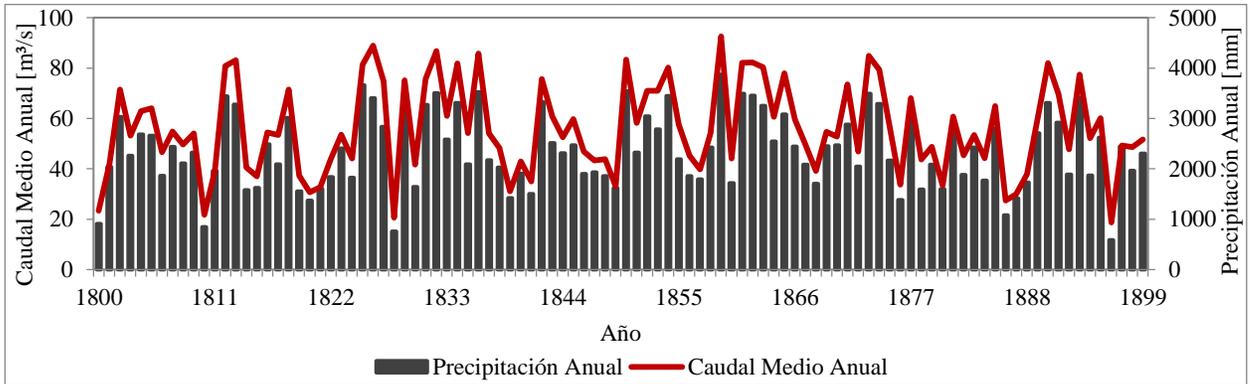
Figura F-2. Caudal medio anual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.



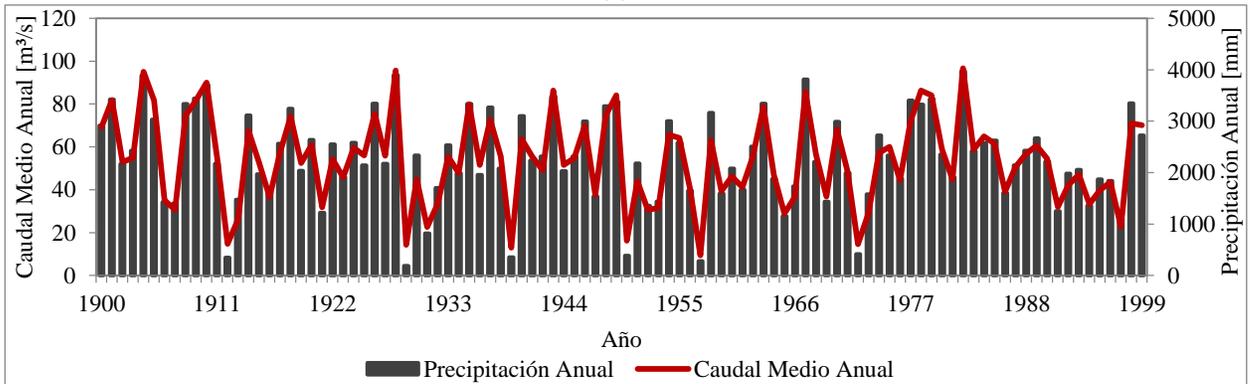
(a)



(b)

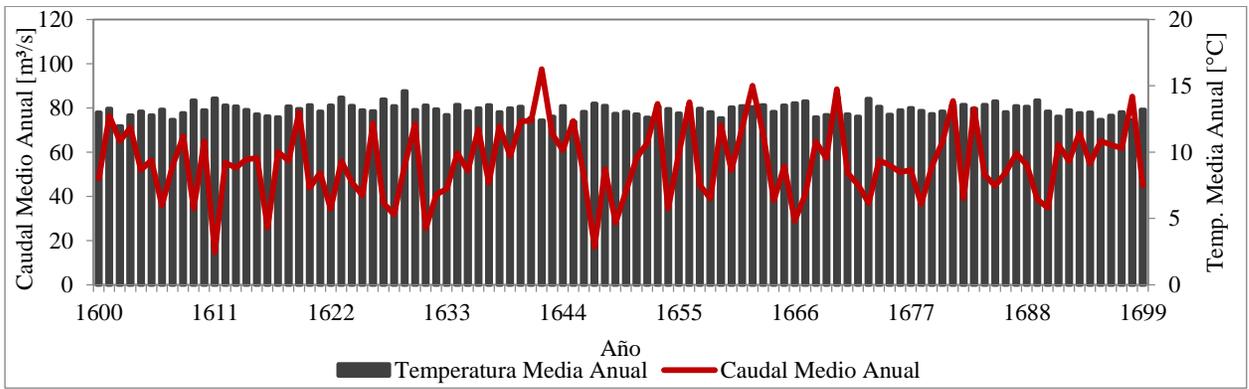


(c)

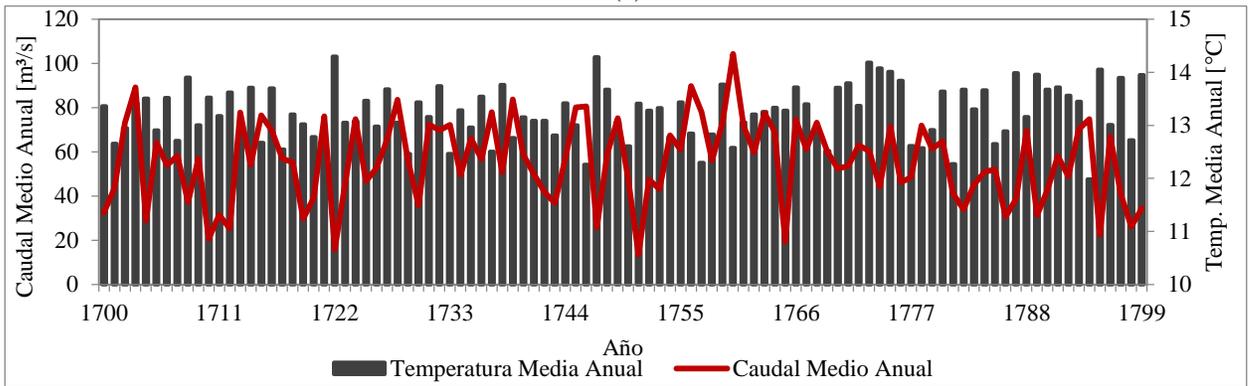


(d)

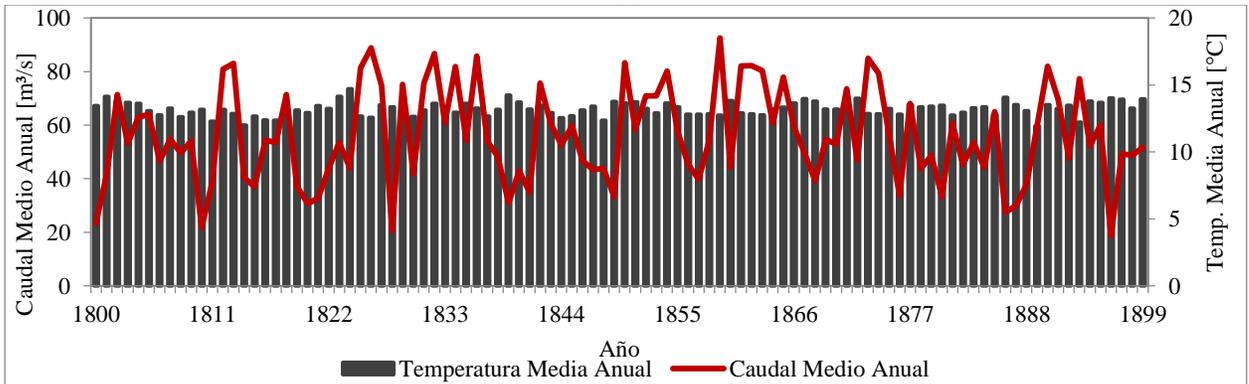
Figura F-3. Comparación entre caudal medio anual y precipitación anual por siglos (Modelo MPUC). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.



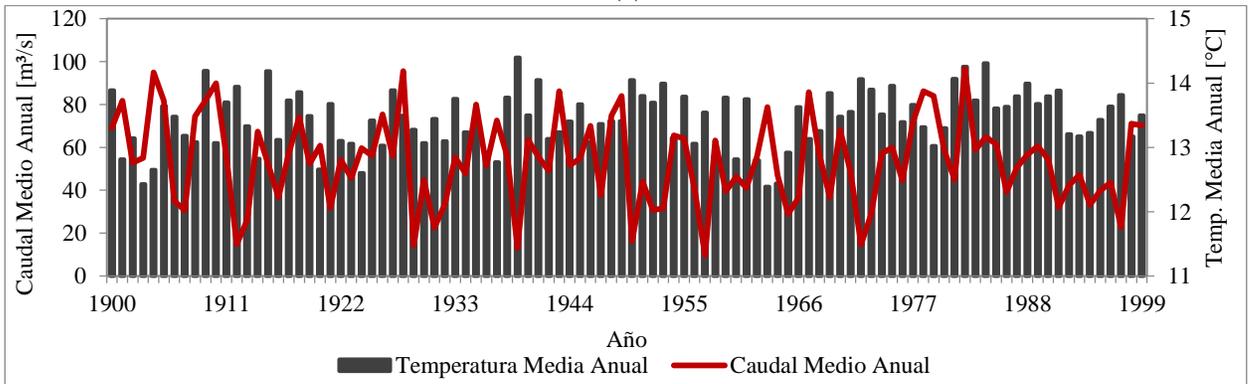
(a)



(b)

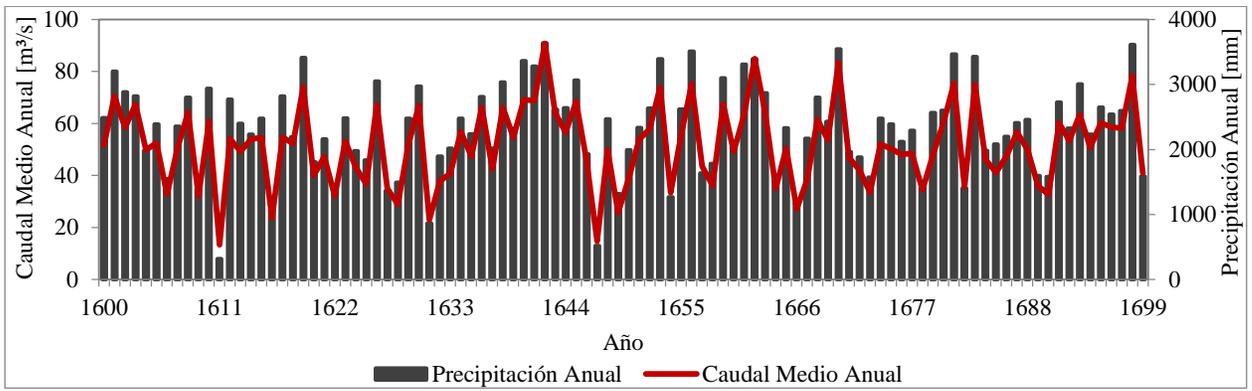


(c)

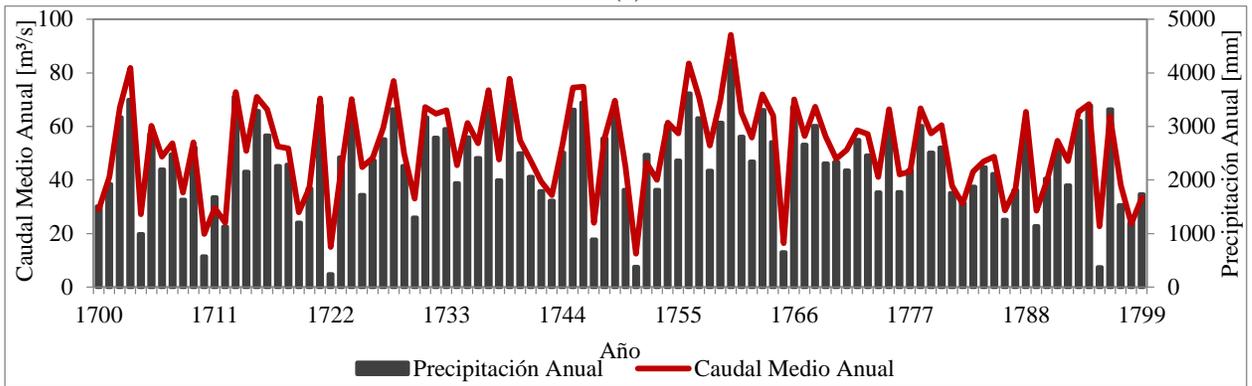


(d)

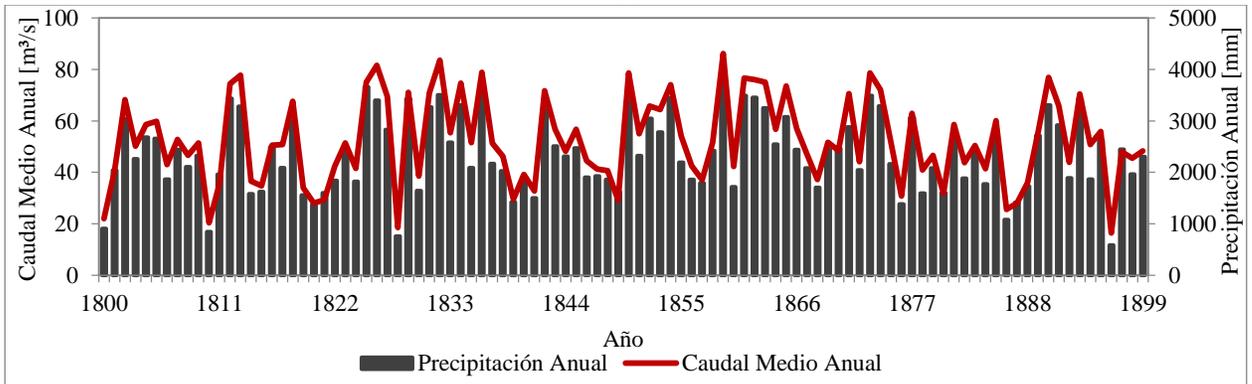
Figura F-4. Comparación entre caudal medio anual y temperatura media anual por siglos (Modelo MPUC). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.



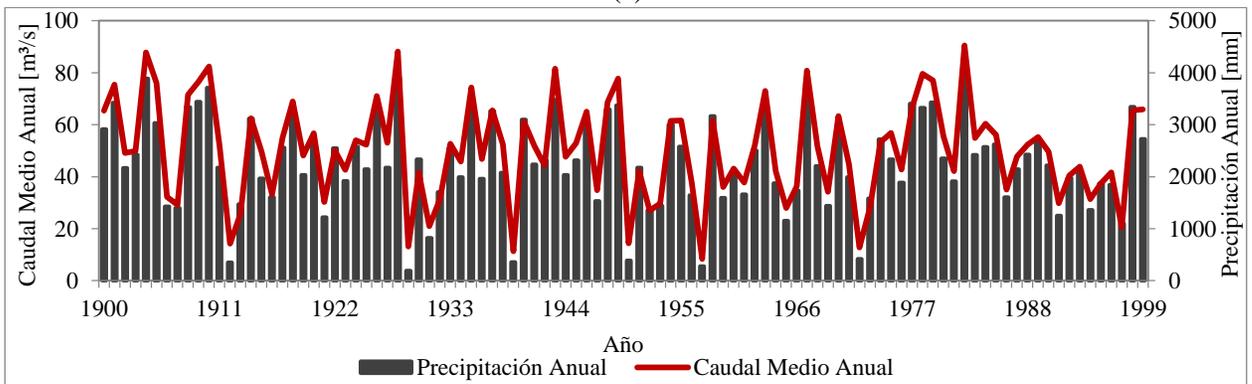
(a)



(b)

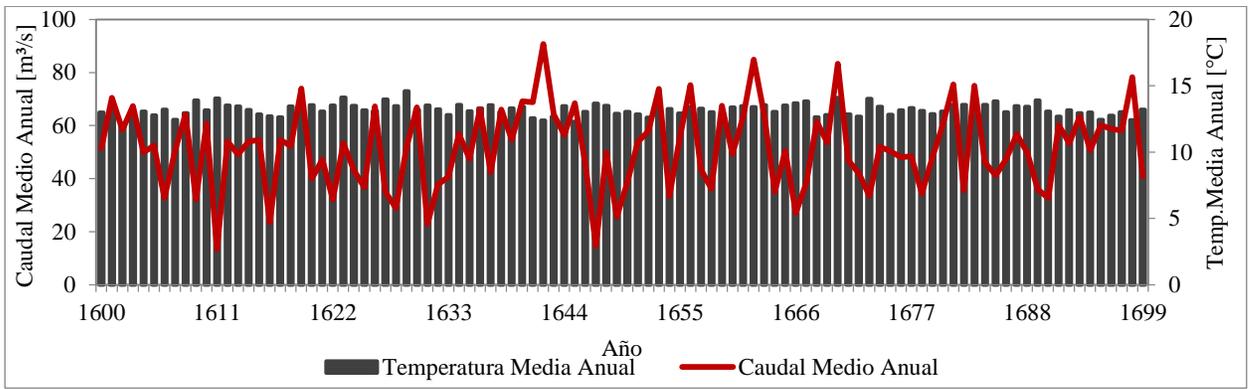


(c)

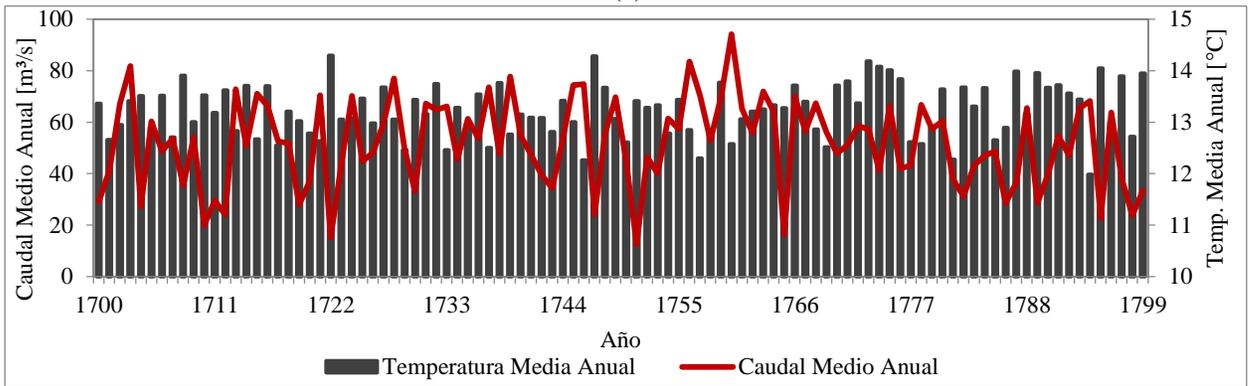


(d)

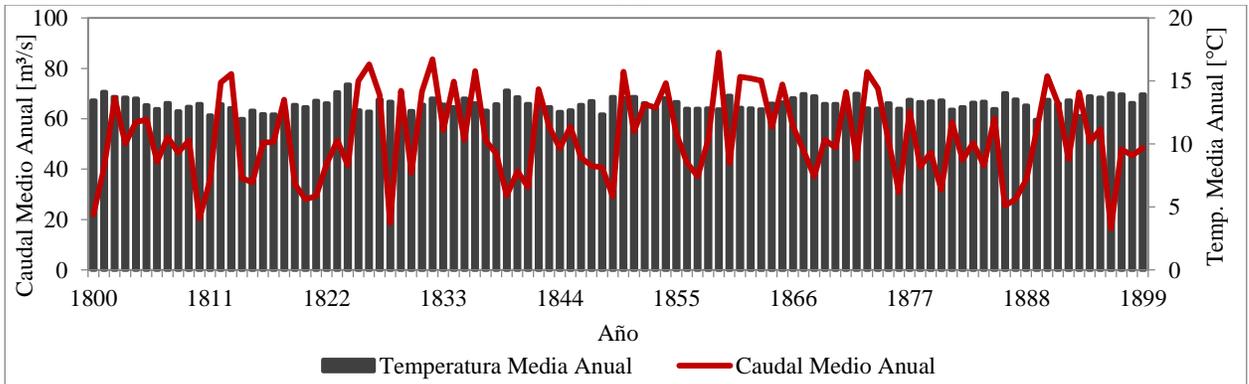
Figura F-5. Comparación entre caudal medio anual y precipitación anual por siglos (Modelo MERIDANUS). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.



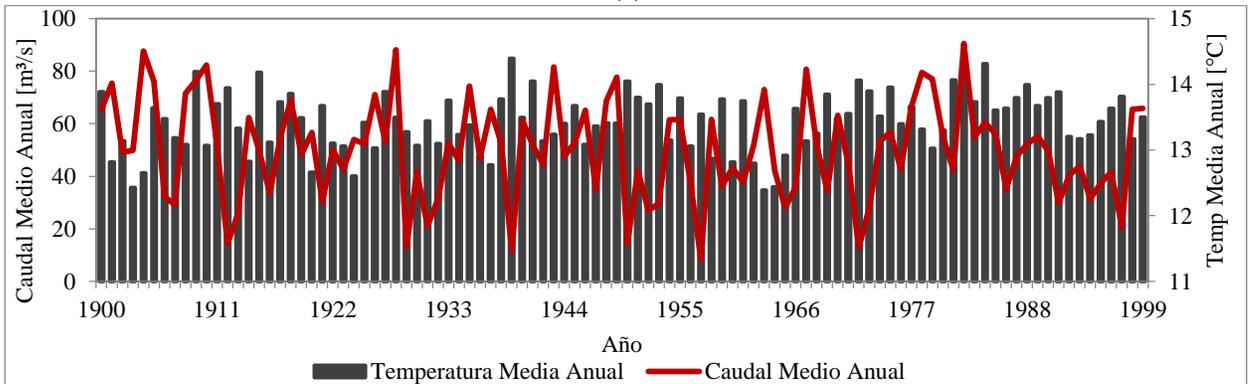
(a)



(b)

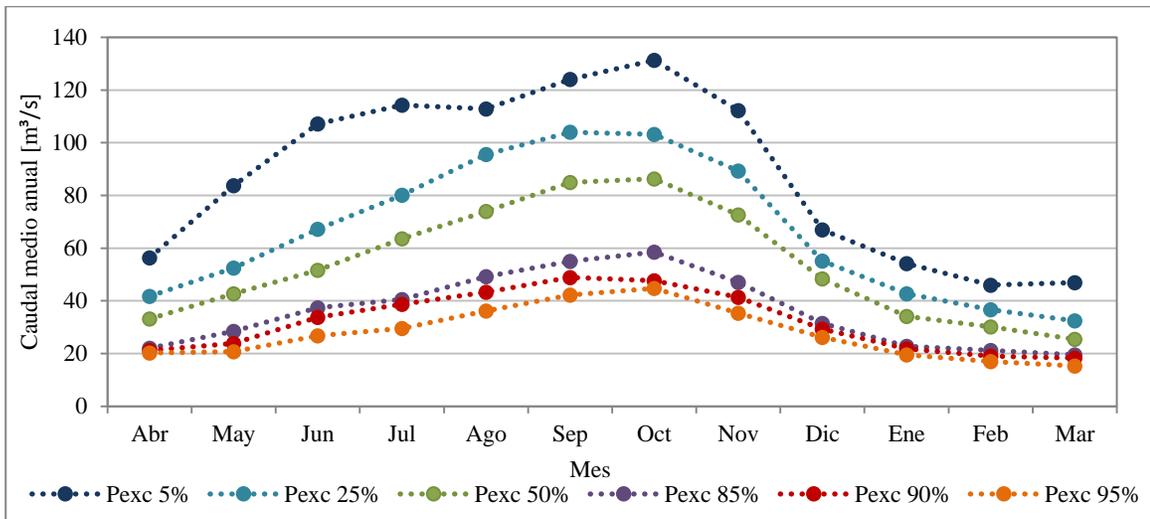


(c)

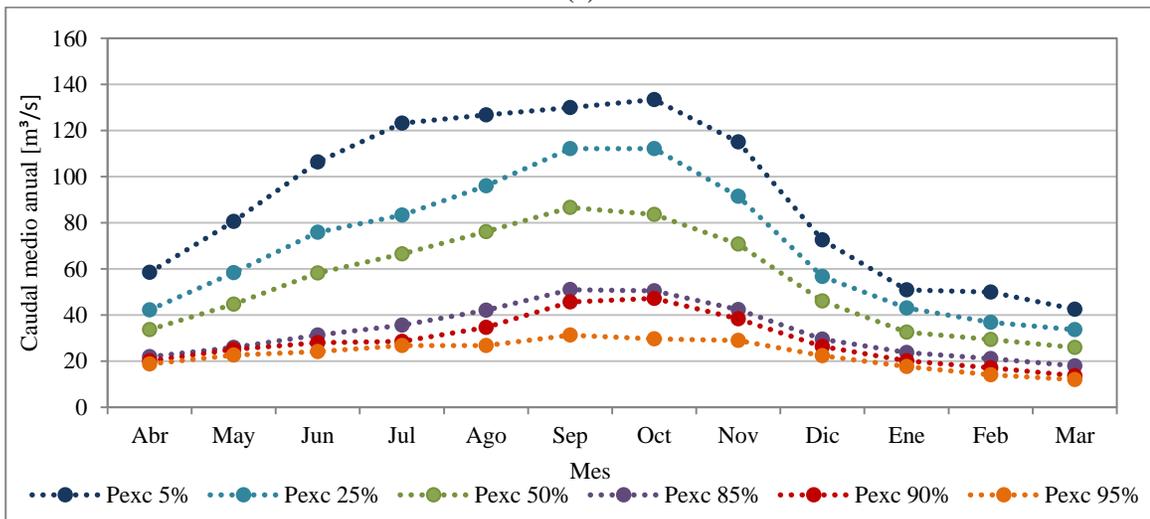


(d)

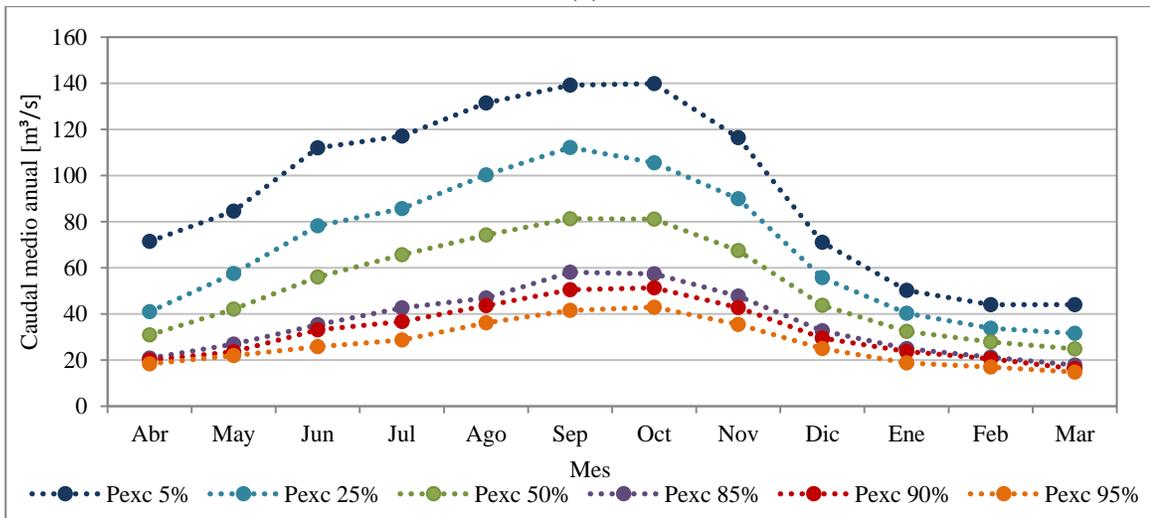
Figura F-6. Comparación entre caudal medio anual y temperatura media anual por siglos (Modelo MERIDANUS). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.



(a)

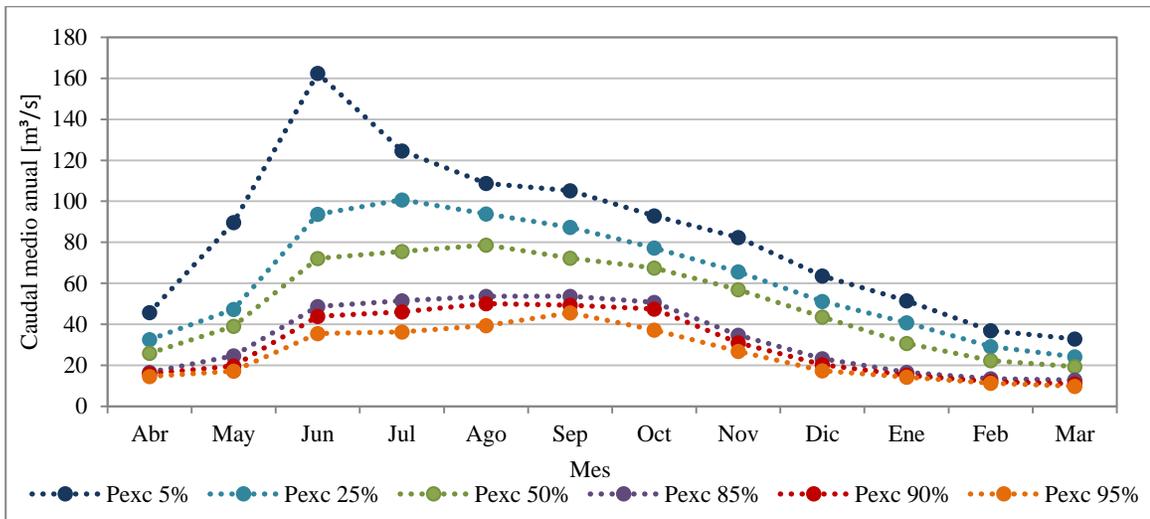


(b)

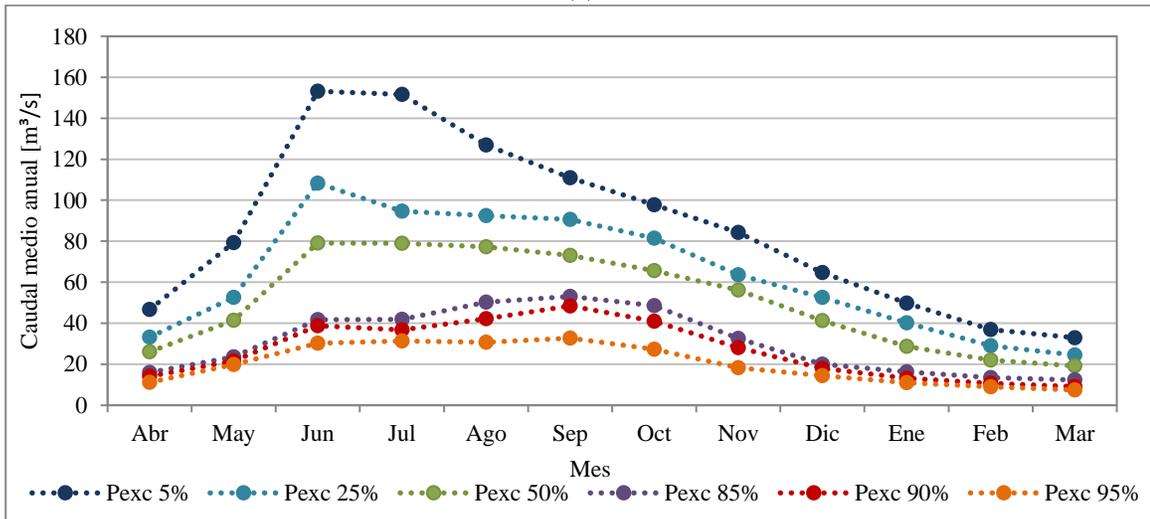


(c)

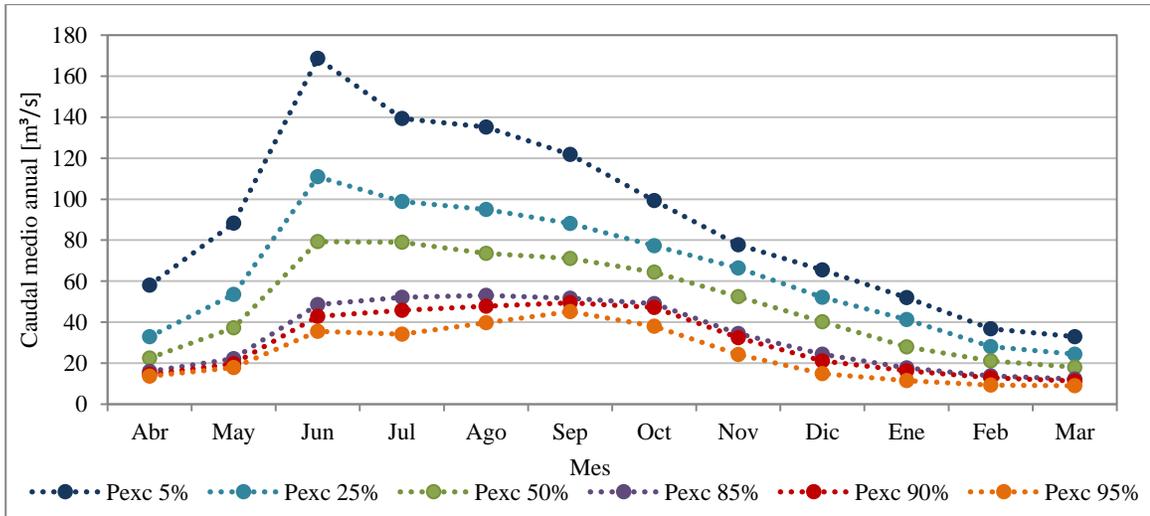
Figura F-7. Curva de variación estacional Achibueno en la Recova. Modelo MPUC. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII y (c) Siglo XIX.



(a)



(b)



(c)

Figura F-8. Curva de variación estacional Achibueno en la Recova. Modelo MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII y (c) Siglo XIX.

ANEXO G. Catástrofes en Chile y en la zona de estudio para el periodo 1600 – 2000.

De acuerdo a lo relatado por Urrutia y Lanza (1993) en 1607 los habitantes de Santiago son azotados por el desborde del río Mapocho, lo que nuevamente volvió a ocurrir en invierno de 1609, deteriorando casas y destruyendo la ermita de San Saturnio. Es por ello que, fue necesario reunir a las autoridades y vecinos con el fin de realizar las reparaciones ineludibles, entre ellas construir un tajamar. El río Maipo también se desbordó en esas fechas, destruyendo un puente construido por los vecinos. Por su parte, los ríos entre Santiago y Concepción quedaron obstruidos y los caminos intransitables. Estos sucesos arrasaron no sólo con la infraestructura de aquellas zonas, sino que también con cientos veinte personas, muertas por ahogo, pérdidas de ganado y de las siembras, causando además la plaga de roedores en el sur. Diez años después, entre 1618 y 1619, ocurren las sequías en la zona central del país. Los temporales del mes de junio de 1679, en la zona centro sur del país, provocaron la crecida del río Chillán, desbordándolo y causando la inundación de las zonas aledañas, construyendo un muro al año siguiente para evitar estos hechos.

Los años 1726 y 1729 fueron de una alarmante sequía. En Santiago, se realizan acuerdos para extraer agua del Mapocho, a través de un canal, con el fin de regar los terrenos cercanos. Por otra parte, se instala nuevamente el tema de extraer agua de las vertientes de Ramón para el suministro de la población. La madrugada del 8 de julio de 1730 se ve azotada por un fuerte terremoto que se sintió entre La Serena y Valdivia, seguido de una réplica casi de la misma intensidad, la madrugada del día siguiente. Daños mayores se provocaron en las costas del país debido a los maremotos, sin embargo, hubo menos de cinco muertos que lamentar. En los graneros, ubicados entre La Serena y Concepción, se perdieron gran parte del trigo, maíz, sebo y charqui, ya que los techos hundidos por causa del terremoto terminaron aplastados por las lluvias posteriores. 1740 fue un año seco, el cual continuó así en el centro del país el año 1742, provocando la muerte de un alto porcentaje de ganado y dejando el río Mapocho casi seco. Estas circunstancias dieron la instancia para llevar a cabo el proyecto de abrir un canal desde el río Maipo. El temporal de 1748 que comenzó a dejar estragos en abril, afectó al río Aconcagua, llevándose el puente en construcción de esa zona. En Santiago, se produce la crecida del río Mapocho a finales de abril destruyendo nuevamente los tajamares. Hacia el sur, se desbordó el río Chillán dejando la ciudad casi en ruinas. El 23 de mayo de 1751 en la noche, se sintió un temblor, el cual fue premonitor del terremoto del 25 de mayo que ocurrió en la madrugada, sintiéndose desde San Felipe a Valdivia, con mayor incidencia en Concepción que además sufrió un maremoto, pereciendo alrededor de 30 personas. En Chillán, se desbordó el río, que fluía más caudaloso que otros años, por la abundancia de lluvias de aquel año, inundando toda la ciudad y dejando grietas profundas en las calles. El año 1757 la zona central se vio afectada por una fuerte sequía, provocando la suspensión de viajes hacia Mendoza por el camino de Aconcagua, ya que no había pastos para alimentar a los caballos. Las sequías que afectaron a la zona central de Chile el año 1772, dificultó el trabajo de regadío. El año 1781 también se calificó de “seco”, debido a que sólo llovió setenta y ocho horas durante el invierno. Situación que se volvió a repetir en 1799.

El año 1817 quedó marcado por las heladas que devastaron las cosechas y las viñas de Curicó, el daño fue tan grande que ni siquiera hubo interés en subastar la producción de licores. El invierno de 1826, fue bastante lluvioso, provocando cuantiosos daños en la provincia de Curicó. En 1827 los temporales de lluvia, vientos y nieve, principalmente desde fines de mayo y los primeros días de junio azotaron desde Copiapó hasta más al sur de Curicó. El 5 de junio de ese año, llovió más de diez horas, incluyendo un aluvión de nieve, el caudal del Mapocho causó la inundación de la zona norte de Santiago. Por el lado sur se perdieron los cultivos y las pequeñas chozas de los

agricultores. A fines de abril de 1828 nevó abundantemente en Santiago y en junio del mismo año llovió más de treinta y seis horas seguidas, ocasionando deterioros en los sectores periféricos. Hacia el sur, se desbordó el río Teno, ocasionando daños en Curicó, por otra parte, debido a las heladas de ese año, no se pudo cosechar. En julio de 1836 nevó en Santiago, luego de una lluvia que duró cuarenta y ocho horas. En marzo del año siguiente, acaeció un gran aluvión en la capital. Ese mismo año, se produjo la inundación del río Claro generando grandes catástrofes en la calle principal del pueblo de Rengo.

En febrero de 1837 entró en erupción el volcán Peteroa, licuando la nieve de la zona que terminó formando una crecida y el desborde del río Teno. En el mes de julio de 1855 se produjo un nevazón en Santiago y valle central, seguido de un fuerte temporal que estalló el 10 de marzo de 1856 en la zona del Norte Chico y Valle Central, causando problemas en las cosechas de este último. Esto afectó gravemente a la agricultura de la zona, principalmente a las cosechas en Talca, Ñuble, Maule y Concepción. El 25 de marzo de 1871, a eso de las once y cuarto de la mañana se sintió un fuerte sismo en las ciudades de Valparaíso, Santiago, Rancagua, Curicó, Talca y Curepto. En Santiago, el caudal del río Mapocho se detuvo por algunos instantes. Mientras que en Curicó y en Linares se abrieron algunas murallas. El año 1872, por su parte, se caracterizó por ser un año seco a nivel nacional. Impetuosos temporales se originaron en julio de 1877, perjudicando a las localidades ubicadas desde el desierto de Atacama hasta Chiloé. En Santiago, la noche del 14 de julio hubo una tormenta eléctrica y un aumento de las temperaturas, en conjunto con fuertes lluvias que, se prolongaron los días posteriores, hasta que se produjo el gran temporal (17 de julio). El río Mapocho nuevamente se desbordó, inundando el barrio de La Chimba y las chacras del sector de Pudahuel. Por su parte, el río Maipo creció más de diez metros, inundando el matadero. La población de Linares se vio aquejada por las crecidas de los esteros Ancoa y Achibueno. El puente del río Claro se derrumbó y los viaductos del río Maule, río Ñuble y río Bío Bío fueron arrasados por las crecidas. El río Maule llegó hasta Bobadilla, destrozando con todo a su paso. En el mes de junio de 1878 se inició un temporal que afectó a la zona central del país. El viento, lluvia y nevazón causó cortes en las líneas férreas. Los poblados desde Talca hacia el sur se quedaron sin comunicaciones telegráficas y terrestres. Las inundaciones del 11 de mayo de 1888 provocaron el desborde del canal Williams en Talca, destruyendo varios ranchos. En agosto del mismo año se desató un temporal desde Copiapó hasta Concepción, generando la muerte de cincuenta personas y cientos de damnificados. En Yumbel, el río Claro derrumbó una parte del puente del ferrocarril. Por su parte, en Talca, se inundaron las rancherías ubicadas a orillas del estero.

Los primeros días de julio de 1891 trajeron consigo un fuerte nevazón en Yumbel, Quinta y varias urbes de la semicordillera. En octubre del mismo año se generó una gran avenida del río Maule, de setecientos metros de ancho y diez metros de profundidad aproximadamente, arrastrando todos los terrenos arcillosos y arenosos que eran parte de la barra del río y la punta del Quivolgo. El año 1892 trajo consigo un periodo seco, desde Illapel al sur. De acuerdo a los registros en aquel tiempo no hubo nieve en la cordillera, ni lluvias en invierno a la altura de la zona central. A inicios del mes de agosto de 1895 se produjo un temporal que afectó al país desde Curicó hasta Temuco. Las lluvias y crecidas de ríos provocaron daños considerables en puentes, caminos, vías de ferrocarril, viviendas y terrenos de cultivo. Los temporales de 1899, que comenzaron a fines de mayo de ese año y duraron hasta agosto, generaron daños desde Iquique hasta Osorno. En Santiago, las crecidas del río Mapocho amenazaron a la ciudad. La vía férrea tuvo interrupciones hacia el sur a la altura del río Maule, cortando el terraplén de acceso; el río Longaví socavó los machones centrales; en Yumbel por el desborde del río Claro y a la altura del cerro Centinela, se vio arrasado por el río Tinguiririca.

En julio de 1900, nuevamente ocurrieron temporales desde Valparaíso hasta Valdivia, causando dos muertos, varios damnificados, viviendas destruidas, desborde de ríos, esteros y quebradas, la suspensión de trenes y de las telecomunicaciones telegráficas. Al puente ubicado sobre el río Lircay se le rompieron los pilares, mientras que, aquel ubicado en el río Maule, se socavó a consecuencia de las aguas. A mitad del mes, se inició otro temporal, provocando el corte del tránsito ferroviario a la altura de Talca, debido a que los ríos Lircay y Claro destruyeron los sampeados. Además, la zona periférica de Talca sufrió inundaciones, la línea del tren a Constitución también fue interrumpida por desbordes del río Maule y hubo destrozos en la vía férrea, entre Linares y Parral. Las sequías de 1911 y 1912 afectaron a gran parte del país, siendo el más afectado, Santiago, debido a la densidad de población. Para solucionar tal situación fue necesario extraer agua del río Maipo, a través del canal San Carlos.

El 18 de mayo de 1912, un fuerte temporal azotó el norte, centro y sur del país, provocando el desborde del río Maule. En junio del mismo año se produjo otro frente, afectando principalmente a Santiago, lo que causó el desborde del río Mapocho. En mayo de 1915 hubo temporales de viento y lluvia desde La Serena hasta Temuco, desbordándose el río Lircay, lo que provocó la destrucción de la vía ferroviaria en más de cincuenta metros y la inundación de los caminos. La línea del tren también fue interrumpida a la altura de Linares, Chillán, Talcamávida, Gomero y Concepción. Entre los días 6 y 7 de mayo de 1919 se originó un fuerte temporal, con lluvia y vientos huracanados, éstos provocaron inundaciones, las cuales afectaron la comunicación en Curicó, además de pérdidas de chacras y viñas en los sectores aledaños a Talca. Entre los días 5 y 10 de mayo del año siguiente, 1921, un fuerte temporal azotó las zonas ubicadas entre Illapel y Ancud, generando complicaciones en el tráfico ferroviario y las comunicaciones telegráficas. En Santiago, el río Mapocho causó daños en el puente Bellavista (en construcción), se cayeron árboles y se volaron los techos de las casas, además de la inundación de algunas calles que dificultaron el tránsito de peatones y la paralización de los tranvías. Las sequías de 1924 causaron una disminución de la cosecha de trigo entre Coquimbo y el Maule, puesto que los ríos no tenían el caudal suficiente para regar los cultivos.

El 30 de enero de 1929 se ocasionó un frente de mal tiempo, provocando la muerte de varias personas en la cordillera central. Entre el 9 y 10 de agosto del mismo año un fuerte temporal afectó al país desde Antofagasta hasta Puerto Montt, donde la mayoría de las ciudades padecieron inundaciones en los sectores bajos, además de caídas de postes y árboles a causa del viento. En Santiago se desbordaron algunos canales, perjudicando a decenas de familias. Entre los días 12 y 13 de junio de 1930, la zona central se vio aquejada por un fuerte temporal, causando la muerte de diez personas, decenas de afectados y considerables daños en las ciudades y en el campo. Durante la tarde del 10 de abril de 1932 entró en actividad el volcán Quizapú, escuchándose un fuerte estruendo desde Santiago a Concepción, en esta ocasión las columnas de humo alcanzaban quince metros de altura. El río Maule transportó abundante material, principalmente piedra pómez de tamaño reducido; la laguna La Invernada bajó entre tres y seis metros su nivel, y el río del mismo nombre se secó. Para el 21 de abril sólo salía vapor de agua y escaso humo. Aproximadamente tres meses después, en junio de 1932, entró en erupción el volcán Descabezado Grande, provocando fumarolas y el derretimiento de la nieve que había en su cono. Actividad coincidente con una serie de temblores que estaba afectando a la zona ubicada entre Curicó y Santa Cruz. Posteriormente, se produjo una explosión de cenizas, cubriendo nuevamente a todo Chile central, las cuales desaparecieron, finalmente, en diciembre del mismo año. El 17 de mayo de 1934 se inició un nuevo frente de mal tiempo, el cual duró hasta el 4 de junio, causando estragos desde Copiapó a Magallanes: catorce muertos, más de treinta accidentados, pérdidas de animales, miles de lesionados y cuantiosos daños de caminos, puentes, vías férreas. Los sectores vecinos a Talca

sufrieron graves daños, tanto por las inundaciones en las poblaciones, como en las propiedades agrícolas y en el ganado; un individuo apareció ahogado y muchos quedaron aislados. El día 19 de julio de 1936 se originó un fuerte temporal que se extendió desde Antofagasta hasta Concepción, provocando el corte de las comunicaciones telefónicas y telegráficas, vías ferroviarias, desbordamiento de ríos y destrucciones en la infraestructura de algunos poblados. En julio de 1940, llegó un fuerte temporal a la zona comprendida entre Santiago y Carahue, dejando un total de mil quinientos accidentados, al menos cuarenta muertos, cincuenta heridos y otros tantos desaparecidos. Hacia el sur se desbordó el río Maule, inundando gran parte de la ciudad de Constitución.

Entre el 8 y 15 de agosto de 1941, un frente de mal tiempo causó inundaciones en casi todos los barrios de Santiago, el fallecimiento de ocho personas debido a rodados en Pérez Caldera. Hacia el sur, los desbordes de ríos y canales provocaron la inundación de carreteras, villorrios y campos. Las provincias afectadas fueron Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso, Santiago, O'Higgins, Colchagua, Curicó, Talca, Maule, Linares, Ñuble y Concepción. Entre el 27 y 29 de enero de 1944, se produjo un nuevo temporal en la zona centro del país, ocasionando la muerte de cuatro personas, además de las inundaciones y averías de las viviendas. Por otro lado, los pequeños agricultores perdieron todos sus cultivos, utensilios y ganados. En algunos sectores se cortaron las ferrovías y, las comunicaciones telegráficas y telefónicas, todo esto producto de la caída de los postes. Entre los días 6 y 9 de agosto del mismo año se desató un temporal de viento, lluvia y nieve en la zona centro – sur del país, generando mayor impacto en la provincia de O'Higgins, donde se calculan alrededor de trescientas víctimas. Un fuerte temporal afectó a la zona central entre los días 3 y 4 de febrero de 1945. Causando daños principalmente en las siembras y en los frutales. En Chillán, Concepción, Temuco y Talca, se interrumpieron las líneas telefónicas debido al derrumbe de postes e inundaciones. Los primeros días de mayo de 1948 fueron azotados por un gran ciclón que se desplazó desde Arica hasta las ciudades de Temuco, Osorno y Puerto Montt, interrumpiéndose las comunicaciones, principalmente telegráficas.

El 19 de mayo de 1949, comenzó un largo temporal de viento y lluvia, el cual sacudió al país, causando la muerte de doce personas, la destrucción de puentes, caminos, decenas de ciudades y pueblos aislados por el desborde de ríos y lagos. En el mes de junio de 1951 se produjo un frente de mal tiempo que afectó a las provincias ubicadas entre Valparaíso y Valdivia, dejando varios daños y muertos. En mayo del año siguiente se originó otro frente de mal tiempo, específicamente una precipitación que duró cinco días, desde Los Vilos hacia el sur. Cercano a Talca, un tren se salió de la ferrovía, arrastrando varios carros cargados con maderas, dejando a Constitución aislada. El 24 de mayo de 1953 empezó el temporal con vientos huracanados y fuertes lluvias que duró tres días, éste dejó a nueve personas desaparecidas, perdiéndose, además una gran cantidad de siembras y ganado. En Curicó, se desbordaron los esteros Hormazábal, Márquez, Quete Quete, Alcaíno y La Cañada, superando los dos metros en algunos sectores. Cerca de Talca, las aguas del río Puangue derribaron los puentes de fierro y cemento, interrumpiendo las vías férreas y terrestres con Santiago. Las crecidas del río Claro y del estero Piduco provocaron el derrumbe de cuarenta casas otras doscientas quedaron damnificadas. El río Maule, cerca de Constitución, borró prácticamente la línea férrea en varias partes, inundó calles y viviendas. Lo que dejó a la ciudad aislada. El 18 de agosto del mismo año, en la zona central llovió durante noventa horas seguidas causando graves daños en caminos, puentes, ferrovías, siembras, propiedades y a cien mil damnificados. Entre el 18 y 20 de mayo de 1957 se desencadenó un fuerte temporal que afectó al Norte Chico y zona central del país, provocando millonarias pérdidas, principalmente por la destrucción de puertos, en aquella ocasión se registraron cuatro mil afectados. Concepción, Temuco, Chillán y Talca estuvieron tres días incomunicados y sin luz. Un frente de mal tiempo llegó a afectar al país desde Valparaíso a Chiloé, en junio de 1958, generando pérdidas en caminos, puentes personas damnificadas. A

principios de junio de 1961, hubo un temporal de viento y lluvia que perduró más de setenta horas, afectando al país, desde Valparaíso hasta Ancud, el cual destruyó viviendas, caminos, puentes y dejó a decenas de familias arruinadas.

El 23 de junio de 1962, comenzó un temporal que duró setenta y dos horas, que causó la defunción de seis individuos, varios accidentados, el derrumbe e inundaciones de casas. Algunos de los derrumbes ocasionaron la suspensión del servicio ferroviario a la altura de Curicó y de Concepción a San Rosendo. Un tornado sacudió a Linares el 27 de julio de 1962, dañando ciento cincuenta viviendas aproximadamente, el hospital regional y el instituto politécnico. Además, de dejar a millares de personas damnificas. Éste hizo destrozos durante seis minutos, en los cuales entró al sector céntrico de Linares por el norte y se dirigió al sur, seguido de una fuerte granizada y tormenta eléctrica. El viento alcanzó una velocidad de doscientos kilómetros por hora en un perímetro de diez manzanas de edificios. Las ciudades de Chile se vieron afectadas por vientos y lluvias de larga duración desde los primeros días de julio de 1965, las cuales afectando a la agricultura, electrificación, obras públicas y viviendas. Hacia el sur, se desbordaron gran cantidad de esteros y ríos, se destruyeron los puentes Puangue, ubicados a diez kilómetros de Talca, y el del río Malleco. Durante el año de 1967 grandes heladas cubrieron el Norte Chico y la zona central del país, las cuales causaron pérdidas en las siembras, en especial desde Coquimbo a Colchagua. Ese mismo año se comenzó a tener problemas de sequía en el país, lo que perduró hasta el año siguiente, dejando grandes pérdidas entre Coquimbo y Llanquihue. Sin embargo, la “zona de crisis” incluía a Valparaíso, Aconcagua y Santiago. Entre Los Vilos y Puerto Montt hubo un temporal que duró tres días, comenzando el 6 de junio de 1969, éste provocó serios daños en Santiago, Linares, Valparaíso y otros puertos de la zona sur. Otro frente de tres días azotó al país en julio de 1970, desde Illapel hasta Puerto Montt, resultado del mal tiempo quedaron dos muertos, excesivos daños materiales y centenas de afectados.

A partir del 19 de junio de 1971, una tormenta de viento, lluvia y nieve afectó a Chile desde Coquimbo a Magallanes, la que duró prácticamente una semana. Ésta se formó en el océano Pacífico, consistió en una depresión atmosférica fuera de lo normal que se trasladó hasta la costa, sus vientos de alta velocidad provocaron las precipitaciones y, en conjunto con las bajas temperaturas, produjeron una nevazón. La tempestad se desarrolló de tal forma que llegó a abarcar la región comprendida entre Quintero y Curicó, lo cual es poco usual para dicho fenómeno. Al anochecer el día 6 de mayo de 1972 se inició un frente de mal tiempo, lluvias casi interrumpidas y fuertes ventiscas que duraron tres días. La tormenta abarcó zonas desde La Serena hasta Temuco. Las provincias más damnificadas fueron O’Higgins, Curicó, Talca y Linares. En aquella ocasión ocho personas fueron llevadas por la corriente de los ríos de la provincia de Curicó, una por las aguas del río Achibueno, tres arrasados por las aguas de la provincia de Linares y otras por las condiciones climáticas. En Talca, el canal Monte Baeza inundó la población Arturo Pratt, por su parte, las aguas del río Claro llegaron hasta la Alameda talquina, mientras que, los ríos Maule y Loncomilla se desbordaron hacia San Javier, Villa Alegre y las aldeas intermedias. Entre el 21 y 22 de mayo de 1974, una tempestad sacudió la zona centro del país, registrándose las mayores catástrofes hacia el sur. Las poblaciones de Curicó, Talca, Linares, Constitución, Maule, Cauquenes, Chillan, Concepción, Talcahuano y Tomé fueron inundadas por el desborde de los ríos Teno, Claro, Maule, Cauquenes, Chillán, Andalien, sus afluentes y esteros. Durante los días 1 y 3 de julio de 1975 se originó un temporal en Concepción, con fuertes lluvias y vientos huracanados, que se extendió hasta Santiago. En las poblaciones periféricas hubo inundaciones, desaparición de personas y pérdida de la conectividad terrestre. En Talca, la crecida del río Claro dejó poblaciones y sectores agrícolas cubiertos de agua. La nieve, lluvia y vientos generó cortes de caminos, puentes, tendidos eléctricos y de teléfono en varias partes del país, desde norte a sur, entre los días 26 y 30

de mayo de 1976. A mitad de junio del mismo año, las lluvias en la zona sur dejó a siete muertos, varios afectados, cortes de camino por las crecidas de los ríos y pueblos aislados. A principios de julio de 1977, un temporal azotó a Chile desde la región de Coquimbo hacia el sur. Entre los días 20 y 22 de julio cayeron precipitaciones sin parar durante cincuenta horas, desde La Serena hasta Puerto Montt, causando deterioros principalmente en el Norte Chico y zona central del país. Al menos doce muertos y cuatro mil damnificados dejaron las lluvias que duraron catorce días en el sur y siete en la zona centro, en julio de 1978. Este temporal causó daños en la comunicación tanto terrestre como telefónica. Dos frentes de mal tiempo afectaron a Chile el año 1979, el primero comenzó el 23 de junio, perturbando las zonas comprendidas desde Valparaíso hacia el sur, éste incluía lluvias tormentosas, vientos intensos y grandes nevazones. El segundo, surgió a principios de agosto, provocando daños principalmente entre Talca y Puerto Montt, siendo positivo para la agricultura de los valles interiores.

El día 9 de febrero de 1980 un temporal azotó el país desde Talca hasta Santiago, desbordándose el río Maule al interior de Talca, lo que causó la muerte de nueve ciudadanos. Entre el 20 y 23 del mismo mes, desde Calama hasta Puyehue, hubo fuertes lluvias acompañada de tormentas eléctricas. Posteriormente, en abril del mismo año un frente de mal tiempo llegó a la zona comprendida entre la tercera y octava región, dejando muchos muertos, heridos y viviendas damnificadas. Durante los meses de abril, mayo y junio de 1981 hubo varios eventos de tormentas afectando a Chile entre el Norte Chico y el extremo austral. Provocando deterioros en puentes, carreteras, puertos, viviendas y servicios de utilidad pública, así como, varios fallecidos y heridos. En el mes de junio de 1982, temporales de viento y lluvia generaron el desborde del río Claro inundando las casas de Talca. A fines del mismo mes otro frente provocó interrupciones telefónicas, de agua potable, energía eléctrica e incluso del alcantarillado, además de, muertes y lesionada. A mitad de julio, el mal tiempo perturbó las poblaciones entre La Serena y Valdivia, causando destrozos especialmente en las zonas campestres. El viento, lluvia y nieve que cayó en julio de 1984 entre la tercera y décima región, originó el desborde de ríos, los que dejaron setenta muertos, miles de damnificados, setenta heridos, algunos desaparecidos, aproximadamente millares de viviendas destruidas y otras tantas deterioradas, caminos cortados y por ende zonas aisladas. Los temporales de 1986 comenzaron el 19 de abril, este evento se repitió entre los días 24 y 28 de mayo, el cual se extendió de la cuarta a la octava región.

Entre el 15 y 17 de junio, hubo un nevazón acompañada de vientos y lluvias, causando tal daño que se declaró a dieciocho comunas de la Región Metropolitana y a las regiones VI y VII como “zona de catástrofe”. Dos nuevas tempestades se hicieron presentes en la zona central del país. La primera comenzó el 9 de julio de 1987, ocasionando el desborde de ríos, interrupción de caminos y del sistema telefónica, además de los muertos. El segundo, tuvo las mismas consecuencias, iniciándose el día 18 del mismo mes. El 29 de marzo de 1990 quedó marcado por la muerte de tres personas, cientos de afectados y considerables deterioros, producto del temporal que afectó a la zona centro y sur de Chile. A finales del año 1990 se declaró a las III, IV y V regiones como “zona de catástrofe” debido a las sequías que afectaba a esas zonas, extendiéndose hacia las VII región en marzo de 1991. En mayo de 1992 se produjeron varios frentes de mal tiempo, comenzando el 4 en la octava región, temporal que se extendió hacia Puerto Montt y Arica, los últimos días de mayo hasta los diez primeros de junio.