ISSN 1564-4189

SERIE

MEDIO AMBIENTE
Y DESARROLLO

Disponibilidad futura de los recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático en Chile

NACIONES UNIDAS
CEPAL
UKaid
UNION EUROPEA
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE
Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo
MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS OF DENMARK
BID

SERIE

149

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Disponibilidad futura de los recursos hídricos frente a escenarios de cambio climático en Chile

Este documento fue preparado por Ximena Vargas, con la colaboración de Álvaro Ayala, Rodrigo Meza y Eduardo Rubio. Forma parte de lo estudios sectoriales realizados en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERCC) en América Latina y el Caribe- inicativa encabezada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) - , en particular, del estudio de la economía del cambio climático en Chile, realizado bajo la coordinación de Sebastián Vicuña a nivel nacional y de Joseluis Samaniego, Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, con la colaboración de Carlos de Miguel, Luis Miguel Galindo y Karina Martínez. El ERECC contó con el apoyo financiero de los Gobiernos de Alemania, Dinamarca, España y el Reino Unido, así como de la Unión Europea y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la organización.

Las denominaciones empleadas en los mapas de esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Publicación de las Naciones Unidas
ISSN 1564-4189
LC/L.3592
Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2012. Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

I. Introducción 11
A. Antecedentes generales 11
B. Productos entregables 12
II. Descripción de los sistemas en estudio 13
A. Sistema Maule Alto 13
1. Cauces naturales 13
2. Cuerpos de agua 14
B Sistema Laja 16
1. Cauces naturales 16
2. Cuerpos de agua 17
III. Metodología de modelación hidrológica 19
A. Análisis climatológico 19
1. Extensión y validación de estadísticas climatológicas 20
B. Análisis físico espacial 24
1. Definición de subcuencas aportantes 24
2. Definición de las bandas de elevación 26
3. Transposición de la estadística meteorológica a bandas de elevación 27
4. Calibración de parámetros del modelo 29
IV. Calibración del modelo hidrológico 31
A. Sistema Maule Alto 31
1. Estero Las Garzas en junta con Maule y Río Claro en San Carlos 32
2. Afluente a laguna La Invernada 36
3. Afluente a laguna del Maule 39
4. Afluente a embalse Melado 43

B Sistema Laja 47
1. Cuenca afluente a la laguna Laja 48
2 Laja en punto de salida 52

V. Resultados Futuros 57
A. Línea base de simulación de caudales 57
1. Sistema Maule Alto 58
2. Sistema Laja 65
B. Simulación de caudales futuros: escenario A2 69
1. Sistema Maule Alto 69
2. Sistema Laja 77
C. Simulación de caudales futuros: escenario B2 81
1. Sistema Maule Alto 81
2. Sistema Laja 89

VI. Conclusiones 95
Serie Medioambiente y desarrollo: números publicados 227

Anexos

Anexo 1 Sistema Maule 104
Anexo 2 Sistema Laja 168

Índice de cuadros

CUADRO 1 ESTACIONES DE PRECIPITACIONES EN EL SISTEMA MAULE ALTO 20
CUADRO 2 ESTIMACIÓN DE LA ETP Y LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA ANUAL PARA LAS SUBCUENCAS ALTAS 21
CUADRO 3 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DEL SISTEMA LAJA 21
CUADRO 4 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL SISTEMA MAULE ALTO 22
CUADRO 5 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DISPONIBLES PARA EXTRAPOLACIÓN DE TEMPERATURA A SISTEMA LAJA 24
CUADRO 6 PUNTO DE SALIDA DE LAS CUENCAS DE CABECERA DEL SISTEMA MAULE ALTO 24
CUADRO 7 PUNTOS DE CONTROL EN SISTEMA LAJA 25
CUADRO 8 PARÁMETROS A CALIBRAR EN MODELO HIDROLÓGICO WEAP 29
CUADRO 9 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN (1976-2007) 35
CUADRO 10 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN (1976-2007) 37
CUADRO 11 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN (1976-2007) 41
CUADRO 12 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN (1976-2007) 45
CUADRO 13 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN (1970-1994), AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA 49
CUADRO 14 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN (1970-1994), LAJA EN TUCAPEL 52
CUADRO 15 VALORES PROMEDIO MENSUALES DE METEOROLOGÍA EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1976-2000), ESTACIÓN BASE 58

CUADRO 16 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1976-2000), LAS GARZAS-CLARO 59
CUADRO 17 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍAY CAUDALES EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1976-2000), LAGUNA LA INVERNADA ... 61
CUADRO 18 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1976-2000), AFLUENTE LAGUNA DEL MAULE 62
CUADRO 19 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1976-2000), AFLUENTE A EMBALSE MELADO..... 64
CUADRO 20 VALORES PROMEDIO MENSUALES DE METEOROLOGÍA EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1970-2000), ESTACIÓN BASE..... 66
CUADRO 21 VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE METEOROLOGÍA Y CAUDALES EN EL PERÍODO DE LÍNEA BASE (1970-2000), AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA 66
CUADRO A.2 PRECIPITACIONES OBSERVADAS, ESTACIÓN ARMERILLO 106
CUADRO A.3 PRECIPITACIONES LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2..... 108
CUADRO A.4 PRECIPITACIONES LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2..... 109
CUADRO A.5 PRECIPITACIONES FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2 110
CUADRO A.6 PRECIPITACIONES FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2 113
CUADRO A.7 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN COLORADO 116
CUADRO A.8 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN LO AGUIRRE 117
CUADRO A.9 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN GUAYQUIVILO..... 118
CUADRO A.10 TEMPERATURAS LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2 118
CUADRO A.11 TEMPERATURAS LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2..... 120
CUADRO A.12 TEMPERATURAS FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2 121
CUADRO A.13 TEMPERATURAS FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2 124
CUADRO A.14 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN RÍO MAULE EN DESAGÜE LAGUNA MAULE 127
CUADRO A.15 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN RÍO CIPRESES EN DESAGÜE LAGUNA LA INVERNADA 127
CUADRO A.16 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN CANAL DE ADUCCIÓN CENTRAL PEHUENCHE 127
CUADRO A.17 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN ESTERO LAS GARZAS..... 128
CUADRO A.18 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN RÍO CLARO EN SAN CARLOS 128
CUADRO A.19 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN RÍO MAULE EN ARMERILLO..... 128
CUADRO A.20 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN RÍO MAULE EN ARMERILLO..... 130
CUADRO A.21 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN CANAL MAULE EN AFORADOR.... 130
CUADRO A.22 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO A2, AFLUENTES CLARO-LAS GARZAS..... 132
CUADRO A.23 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO A2, AFLUENTES EMBALSE MELADO 136
CUADRO A.24 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO A2, AFLUENTES LAGUNA LA INVERNADA 140
CUADRO A.25 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO A2, AFLUENTES LAGUNA MAULE 145
CUADRO A.26 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO B2, AFLUENTES CLARO-LAS GARZAS..... 149
CUADRO A.27 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO B2, AFLUENTES EMBALSE MELADO 154
CUADRO A.28 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO B2, AFLUENTES LAGUNA LA INVERNADA 159

CUADRO A.29 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO B2, AFLUENTES LAGUNA MAULE 164
CUADRO A.30 PRECIPITACIONES OBSERVADAS, ESTACIÓN TRUPÁN 168
CUADRO A.31 PRECIPITACIONES OBSERVADAS, ESTACIÓN TUCAPEL 170
CUADRO A.32 PRECIPITACIONES OBSERVADAS, ESTACIÓN LAS CRUCES..... 171
CUADRO A.33 PRECIPITACIONES OBSERVADAS, ESTACIÓN SAN LORENZO EN BIO-BÍO172
CUADRO A.34 PRECIPITACIONES LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2..... 173
CUADRO A.35 PRECIPITACIONES LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2..... 174
CUADRO A.36 PRECIPITACIONES FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2 176
CUADRO A.37 PRECIPITACIONES FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2 180
CUADRO A.38 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN LA PUNILLA 184
CUADRO A.39 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN CARACOL 185
CUADRO A.40 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN DIGUILLÍN..... 186
CUADRO A.41 TEMPERATURAS OBSERVADAS, ESTACIÓN LIUCURA 188
CUADRO A.42 TEMPERATURAS LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2 189
CUADRO A.43 TEMPERATURAS LÍNEA BASE, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2..... 190
CUADRO A.44 TEMPERATURAS FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO A2 191
CUADRO A.45 TEMPERATURAS FUTURAS, ESTACIÓN BASE, ESCENARIO B2 194
CUADRO A.46 CAUDALES OBSERVADOS, AFLUENTES LAGUNA LAJA 198
CUADRO A.47 CAUDALES OBSERVADOS, ESTACIÓN LAJA EN TUCAPEL..... 201
CUADRO A.48 CAUDALES OBSERVADOS, EXTRACCIÓN CANALES DE RIEGO..... 204
CUADRO A.49 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO A2, AFLUENTES LAGUNA LAJA 207
CUADRO A.50 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO A2, HOYA INTERMEDIA 212
CUADRO A.51 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO B2, AFLUENTES LAGUNA LAJA 217
CUADRO A.52 CAUDALES LÍNEA BASE Y FUTUROS, ESCENARIO B2, HOYA INTERMEDIA 222

Índice de gráficos

GRÁFICO 1 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN ESTACIÓN COLORADO (DGA)..... 23
GRÁFICO 2 CALIBRACIÓN DE PROMEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS (1976-2007)..... 33
GRÁFICO 3 CALIBRACIÓN DE MEDIOS ANUALES..... 33
GRÁFICO 4 CALIBRACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE LAS GARZAS-CLARO.. 34
GRÁFICO 5 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LAS GARZAS Y CLARO (1976-2007)..... 34
GRÁFICO 6 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LAS GARZAS Y CLARO (1976-2007)..... 35
GRÁFICO 7 CALIBRACIÓN DE PROMEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS (1976-2007)..... 37
GRÁFICO 8 CALIBRACIÓN DE MEDIOS ANUALES..... 38
GRÁFICO 9 CALIBRACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE LA INVERNADA..... 38
GRÁFICO 10 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LA INVERNADA (1976-2007)..... 39
GRÁFICO 11 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN LA INVERNADA (1976-2007)..... 39
GRÁFICO 12 CALIBRACIÓN DE PROMEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS (1976-2007) 41
GRÁFICO 13 CALIBRACIÓN DE MEDIOS ANUALES..... 42
GRÁFICO 14 CALIBRACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE MAULE..... 42

GRÁFICO 15 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN MAULE (1976-2007) 43
GRÁFICO 16 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN MAULE (1976-2007) 43
GRÁFICO 17 CALIBRACIÓN DE PROMEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS (1976-2007) 45
GRÁFICO 18 CALIBRACIÓN DE MEDIOS ANUALES 46
GRÁFICO 19 CALIBRACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE MELADO 46
GRÁFICO 20 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MENSUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN MELADO (1976-2007) 47
GRÁFICO 21 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN MELADO (1976-2007) 47
GRÁFICO 22 COMPARACIÓN DE VARIACIÓN ESTACIONAL DEL PERÍODO DE CALIBRACIÓN CON LOS CAUDALES OBSERVADOS, AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA (1966-1994) 49
GRÁFICO 23 COMPARACIÓN DE CAUDALES MEDIOS ANUALES DEL PERÍODO DE CALIBRACIÓN CON LOS CAUDALES OBSERVADOS, AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA (1966-1994) 50
GRÁFICO 24 CALIBRACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA 50
GRÁFICO 25 CORRELACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL PERÍODO DE CALIBRACIÓN Y OBSERVADOS, AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA (1966-1994) 51
GRÁFICO 26 CORRELACIÓN ENTRE LOS CAUDALES MEDIOS ANUALES OBSERVADOS Y SIMULADOS EN AFLUENTE A LA LAGUNA LAJA (1966-1994) 51
GRÁFICO 27 COMPARACIÓN DE CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL, LAJA EN PUNTO DE SALIDA (1966-1994) 53
GRÁFICO 28 COMPARACIÓN DE SERIE DE TOTALES ANUALES, LAJA EN PUNTO DE SALIDA (1966-1994) 53
GRÁFICO 29 CALIBRACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN DE LAJA EN PUNTO DE SALIDA 54
GRÁFICO 30 CORRELACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DEL PERÍODO DE CALIBRACIÓN Y OBSERVADOS, LAJA EN PUNTO DE SALIDA (1966-1994) 54
GRÁFICO 31 CORRELACIÓN DE CAUDALES MEDIOS ANUALES EN EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN, LAJA EN PUNTO DE SALIDA (1966-1994) 55
GRÁFICO 32 COMPARACIÓN DE PROMEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS EN LAS GARZAS - CLARO (1976-2000) 60
GRÁFICO 33 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE DURACIÓN EN LAS GARZAS - CLARO 60
GRÁFICO 34 COMPARACIÓN DE PROMEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS

预览已结束，完整报告链接和二维码如下：
https://www.yunbaogao.cn/report/index/report?reportId=5_1255