

GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO
SECRETARÍA EJECUTIVA

DIVISIÓN ESTUDIOS Y DESARROLLO

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS
HIDROLÓGICOS ACOPLADOS A SIG PARA EL MANEJO
Y PLANIFICACIÓN, CUENCAS DE MAULE,
MATAQUITO E ITATA**

INFORME FINAL

SANTIAGO, DICIEMBRE 2006

GCF INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Ricardo Matte Pérez 0535 - Fono 56 2 209 7179 · Fax 56 2 209 7103
e-mail gcabrera@entelchile.net Providencia Santiago Chile

EQUIPO PROFESIONAL DEL ESTUDIO

- Por parte de la COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, participaron los siguientes profesionales:

Nelson Pereira M.	Secretario Ejecutivo.
Gastón Sagredo T.	Coordinador División Estudios y Desarrollo.
Juan Pablo Schuster V.	Coordinador División Estudios y Desarrollo.

- Por parte de la DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS del MOP, participaron los siguientes profesionales:

Ana María Gangas P.	Jefa de Modelación, Departamento de Estudios y Planificación.
Mauricio Zambrano B.	Ingeniero de Estudios, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
Miguel Caro H.	Ingeniero de Estudios, Departamento de Estudios y Planificación.

- Por parte de la empresa Consultora GCF Ingenieros Consultores Ltda., participaron los siguientes profesionales:

Félix Pérez S.	Jefe del Proyecto.
Carlos Granifo G.	Coordinador del Proyecto.
Guillermo Cabrera F.	Asesor del Proyecto.
Lem Mimica V.	Especialista Modelación.
Jorge Guarda.	Ingeniero de Proyecto.
Marcelo Allende B.	Ingeniero de Proyecto.
Lorena Bustamante J.	Cartógrafo.
Salomón Vielma P.	Cartógrafo.
Carlos Aranda M.	Programador Interfaz SIG MAGIC.
Manuel Riveros S.	Programador Interfaz SIG MAGIC.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y ANÁLISIS DE LA INTERFAZ SIG MAGIC	I-1
I.1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	I-1
I.2.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES DISPONIBLES	I-3
I.2.1.	Introducción	I-3
I.2.2.	Análisis de Antecedentes	I-3
I.2.3.	Análisis de Suficiencia de la Información Recopilada	I-17
I.3.	ANÁLISIS INTERFAZ SIG-MAGIC	I-23
I.3.1.	Aspectos Técnicos	I-24
I.3.2.	Aspectos de Forma	I-28
I.3.3.	Análisis Crítico Deficiencias de la Interfaz Sig Magic	I-34
II.	MEJORAS A LA APLICACIÓN ACTUAL: INTERFAZ SIG MAGIC	
II.1.	INTRODUCCIÓN	II-1
II.2.	PROPOSICIÓN Y DESARROLLO CONCEPTUAL DE MEJORAS A INTERFAZ SIG MAGIC.	II-1
II.2.1.	Mejoras de Deficiencias en la Actual Interfaz SIG MAGIC	II-1
II.2.2.	Modulo de Calibración	II-4
II.2.2.1.	Introducción	II-4
II.2.2.2.	Elementos Considerados	II-4
II.2.2.3.	Criterio de Calibración	II-7
II.2.2.4.	Interacción con MAGIC y Operación Módulo de Calibración	II-8
II.2.2.5.	Resultados Esperados	II-9
II.2.3.	Modulo de Generación de Caudales	II-10
II.2.3.1.	Generalidades	II-10
II.2.3.2.	MPLA mensual o MPLA diario	II-10
II.2.3.3.	Parámetros a calibrar en el MPLA	II-11
II.2.3.4.	MPLGCF	II-12
II.2.3.5.	Modelación de Acuíferos con MPLGCF	II-14
II.2.3.6.	Calibración de parámetros del MPLGCF	II-17
II.2.3.7.	Metodología de cálculo de MPLGCF	II-18
III.	IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE	
III.1	INTRODUCCIÓN	III-1
III.2	GENERALIDADES	III-1
III.3	BASE DE DATOS MAGIC	III-3
III.4	ANTECEDENTES PARA POBLAMIENTO DE MAGIC V2.0	III-5
III.4.1	Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica	III-5

ÍNDICE GENERAL (Continuación)

III.4.2	Acuíferos	III-9
III.4.2.1	Exploración Geofísica	III-9
III.4.2.2	Parámetros Hidrogeológicos	III-13
III.4.2.3	Afloramientos	III-17
III.4.2.4	Preparación Información para Interfaz SIG-MAGIC	III-18
III.4.3	Pozos	III-21
III.4.4	Canales	III-21
III.4.5	Zonas de Riego	III-24
III.4.5.1	Definición e Identificación Zonas de Riego	III-26
III.4.5.2	Identificación de Acuíferos Adyacentes	III-27
III.4.5.3	Identificación de Cultivos	III-27
III.4.5.4	Identificación de Métodos de Riego	III-27
III.4.5.5	Evapotranspiración de Cultivos	III-27
III.4.5.6	Precipitación Efectiva	III-28
III.4.5.7	Percolaciones	III-28
III.4.5.8	Derrames o Retornos	III-29
III.4.5.9	Identificación de Zonas Cultivables y No Cultivables.	III-30
III.4.6	Centrales Hidroeléctricas	III-36
III.4.7	Embalses	III-44
III.4.8	Cuencas No Controladas	III-57
III.4.9	Descargas Puntuales	III-74
III.4.10	Caudales Ecológicos	III-75
III.4.11	Topología	III-78
III.4.12	Fluviometría	III-82
III.4.13	Pluviometría	III-86
III.4.14	Captaciones Puntuales	III-88
III.5	IMPLEMENTACIÓN MODELO MAGIC EN CUENCA DEL MAULE	III-90
III.5.1	Creación de Topología con Interfaz SIG MAGIC V2.0	III-90
III.5.2	Calibración MAGIC	III-96

ÍNDICE GENERAL (Continuación)

IV.	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
IV.1	INTRODUCCIÓN	IV-1
IV.2	GENERALIDADES	IV-1
IV.3	BASE DE DATOS MAGIC	IV-3
IV.4	ANTECEDENTES BÁSICOS	IV-5
IV.4.1	Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica	IV-5
IV.4.2	Acuíferos	IV-7
IV.4.2.1	Exploración Geofísica	IV-8
IV.4.2.2	Parámetros Hidrogeológicos	IV-15
IV.4.2.3	Afloramientos	IV-17
IV.4.2.4	Preparación Información para Interfaz SIG-MAGIC	IV-17
IV.4.3	Pozos	IV-21
IV.4.4	Canales	IV-22
IV.4.5	Zonas de Riego	IV-31
IV.4.5.1	Definición e Identificación Zonas de Riego	IV-32
IV.4.5.2	Identificación de Acuíferos Adyacentes	IV-36
IV.4.5.3	Identificación de Cultivos	IV-36
IV.4.5.4	Identificación de Métodos de Riego	IV-37
IV.4.5.5	Evapotranspiración de Cultivos	IV-43
IV.4.5.6	Precipitación Efectiva	IV-45
IV.4.5.7	Percolaciones	IV-45
IV.4.5.8	Derrames o Retornos	IV-47
IV.4.5.9	Identificación de Zonas Cultivables y No Cultivables.	IV-48
IV.4.6	Centrales Hidroeléctricas	IV-49
IV.4.7	Embalses	IV-49
IV.4.8	Cuencas No Controladas	IV-56
IV.4.9	Descargas Puntuales	IV-66
IV.4.10	Caudales Ecológicos	IV-67
IV.4.11	Topología	IV-67
IV.4.12	Fluviometría	IV-68
IV.4.13	Pluviometría	IV-71
IV.4.14	Captaciones Puntuales	IV-74

ÍNDICE GENERAL (Continuación)

V.	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ITATA	
V.1	INTRODUCCIÓN	V-1
V.2	GENERALIDADES	V-1
V.3	BASE DE DATOS MAGIC	V-3
V.4	ANTECEDENTES BÁSICOS	V-5
V.4.1	Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica	V-5
V.4.2	Acuíferos	V-8
V.4.2.1	Exploración Geofísica	V-8
V.4.2.2	Parámetros Hidrogeológicos	V-9
V.4.2.3	Afloramientos	V-11
V.4.2.4	Preparación Información para Interfaz SIG-MAGIC	V-11
V.4.3	Pozos	V-14
V.4.4	Canales	V-15
V.4.5	Pérdidas en Canales	V-22
V.4.6	Zonas de Riego	V-23
V.4.6.1	Definición e Identificación Zonas de Riego	V-23
V.4.6.2	Identificación de Acuíferos Adyacentes	V-27
V.4.6.3	Identificación de Cultivos	V-27
V.4.6.4	Identificación de Métodos de Riego	V-31
V.4.6.5	Evapotranspiración de Cultivos	V-33
V.4.6.6	Precipitación Efectiva	V-35
V.4.6.7	Percolaciones	V-36
V.4.6.8	Derrames o Retornos	V-36
V.4.6.9	Identificación de Zonas Cultivables y No Cultivables	V-37
V.4.7	Centrales Hidroeléctricas	V-38
V.4.8	Embalses	V-43
V.4.8.1	Embalses Existentes	V-43
V.4.8.2	Embalses Proyectados	V-45
V.4.9	Cuencas No Controladas	V-53
V.4.10	Descargas Puntuales	V-64
V.4.11	Caudales Ecológicos	V-64
V.4.12	Topología	V-66
V.4.13	Fluviometría	V-66
V.4.14	Pluviometría	V-70
V.4.15	Captaciones Puntuales	V-73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 - 1.	Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas	I-4
Cuadro 1 - 2.	Información Disponible Cuenca del Río Mataquito	I-18
Cuadro 1 - 3.	Información Disponible Cuenca del Río Maule	I-19
Cuadro 1 - 4.	Información Disponible Cuenca del Río Itata	I-21
Cuadro 1 - 5.	Aspectos Deficitarios Interfaz SIG MAGIC V.1.4.7	I-35
Cuadro 3 - 1.	Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas	III-4
Cuadro 3 - 2.	Coeficientes Elásticos Cuenca del Maule por Sectores	III-14
Cuadro 3 - 3.	Otros Coeficientes Elásticos en la VII Región	III-15
Cuadro 3 - 4.	Resumen Características de Acuíferos en la Cuenca del Río Maule	III-20
Cuadro 3 - 5.	Factores de Uso	III-21
Cuadro 3 - 6.	Resumen Información Zonas de Riego	III-33
Cuadro 3 - 7.	Centrales Hidroeléctricas en la Cuenca del Maule	III-36
Cuadro 3 - 8.	Derechos de Agua de Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Maule	III-38
Cuadro 3 - 9.	Derechos de Agua Constituidos de Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Maule	III-38
Cuadro 3 - 10.	Caudal Demandado por Centrales Hidroeléctricas	III-39
Cuadro 3 - 11.	Curva de Alerta de Embalses (mill m3)	III-48
Cuadro 3 - 12.	Tasas de Evaporación Mensuales de Embalses	III-48
Cuadro 3 - 13.	Registros Observados de Evaporación (mm) – Estación Ancoa Embalse	III-49
Cuadro 3 - 14.	Registros Observados de Evaporación (mm) – Estación Tutuvén Embalse	III-50
Cuadro 3 - 15.	Curva Volumen Embalsado (mill m3) v/s Cota (msnm)	III-51
Cuadro 3 - 16.	Curva Superficie Espejo de Agua (km2) v/s Cota (msnm)	III-51
Cuadro 3 - 17.	Curva Filtración (m3/s) v/s Vol (mill m3)	III-51
Cuadro 3 - 18.	Curva Q máx (m3/s) v/s Vol (mill m3)	III-51
Cuadro 3 - 19.	Volúmenes Embalsados (Mm3)	III-52
Cuadro 3 - 20.	Otros Flujos Embalse Laguna del Maule	III-54
Cuadro 3 - 21.	Otros Flujos Embalse Laguna Invernada	III-54
Cuadro 3 - 22.	Otros Flujos Embalse Melado	III-55
Cuadro 3 - 23.	Otros Flujos Embalse Bullileo (m3/s)	III-56
Cuadro 3 - 24.	Otros Flujos Embalse Digua	III-56
Cuadro 3 - 25.	Cuencas de Cabecera	III-57
Cuadro 3 - 26.	Hoyas Intermedias Consideradas en MAGIC	III-58
Cuadro 3 - 27.	Ajuste Estadístico Cuenca Estero Los Puercos	III-62
Cuadro 3 - 28.	Caudales Medidos y Simulados Cuenca Estero Los Puercos	III-62
Cuadro 3 - 29.	Ajuste Estadístico Cuenca Estero Purapel	III-64

ÍNDICE DE CUADROS (Continuación)

Cuadro 3 - 30.	Caudales Medidos y Simulados Cuenca Estero Purapel	III-64
Cuadro 3 - 31.	Estaciones Pluviométricas Utilizadas para la Generación de escorrentía	III-65
Cuadro 3 - 32.	Control Fluviométrico asociado a cada cuenca en proceso de calibración Modelo Nivel Pluvial	III-65
Cuadro 3 - 33.	Descarga de Riles en la cuenca del Maule	III-74
Cuadro 3 - 34.	Descargas de Aguas Servidas en la cuenca del Maule	III-75
Cuadro 3 - 35.	Caudales Ecológicos Señalados en la Constitución de Derechos de Aguas Superficiales	III-76
Cuadro 3 - 36.	Caudales Ecológicos Cuenca Río Maule	III-77
Cuadro 3 - 37.	Derechos de Agua Río Claro	III-78
Cuadro 3 - 38.	Derechos de Agua Río Maule	III-78
Cuadro 3 - 39.	Derechos de Agua Río Ancoa	III-80
Cuadro 3 - 40.	Derechos de Agua Río Achibueno	III-81
Cuadro 3 - 41.	Derechos de Agua Río Logaví	III-82
Cuadro 3 - 42.	Derechos de Agua Río Lircay	III-82
Cuadro 3 - 43.	Estaciones Fluviométricas DGA en Cuenca del Río Maule	III-83
Cuadro 3 - 44.	Estaciones Fluviométricas Consideradas en la Calibración ModMaule	III-85
Cuadro 3 - 45.	Estaciones Pluviométricas DGA en Cuenca del Río Maule	III-87
Cuadro 3 - 46.	Estaciones Fluviométricas de Calibración de MAGIC Maule	III-97
Cuadro 4 - 1.	Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas	IV-4
Cuadro 4 - 2.	Resumen Acuíferos Cuenca del Río Mataquito	IV-21
Cuadro 4 - 3.	Factores de Uso de los Pozos	IV-22
Cuadro 4 - 4.	Características de canales Río Lontué	IV-25
Cuadro 4 - 5.	Características de canales Río Teno	IV-27
Cuadro 4 - 6.	Características de canales Río Mataquito	IV-30
Cuadro 4 - 7.	Comparación estimaciones de superficies según distintas fuentes de información	IV-32
Cuadro 4 - 8.	Capacidad de Uso en la Cuenca del Mataquito	IV-33
Cuadro 4 - 9.	Superficies de Zonas de riego cuenca del Mataquito.	IV-34
Cuadro 4 - 10.	Distribución de Superficies para Zonas de Riego de la Cuenca Mataquito	IV-37
Cuadro 4 - 11.	Cultivos y Métodos de Riego en Zonas de Riego Cuenca del Mataquito	IV-38

ÍNDICE DE CUADROS (Continuación)

Cuadro 4 - 12. ETo por Zonas de Riego Cuenca del Mataquito	IV-43
Cuadro 4 - 13. Kc Cuenca del Mataquito	IV-44
Cuadro 4 - 14. Demandas Evapotranspirativas por Zonas de Riego Cuenca del Mataquito (m3)	IV-45
Cuadro 4 - 15. Coeficiente de Percolación y Eficiencia de riego por Zonas de Riego Cuenca del Mataquito	IV-47
Cuadro 4 - 16. Caudal y Volumen Medio Mensual Embalse El Planchón	IV-50
Cuadro 4 - 17. Curva de Embalse El Planchón	IV-54
Cuadro 4 - 18. Cota (m.s.n.m), Superficie (Km2) y Caudal de entrega (m3/s) en función del Volumen(Mm3)	IV-54
Cuadro 4 - 19. Caudales Medios Mensuales entregados por el	IV-55
Cuadro 4 - 20. Evaporación Media Mensual [mm]	IV-55
Cuadro 4 - 21. Subcuencas de Cabecera (Aporte Natural) Cuenca del Río Mataquito	IV-56
Cuadro 4 - 22. Subcuencas Laterales Cuenca del Río Mataquito	IV-57
Cuadro 4 - 23. Evaporación Media Mensual[mm]	IV-62
Cuadro 4 - 24. Datos para Generación de Caudales en Cuencas Pluviales	IV-64
Cuadro 4 - 25. Fuentes de Descargas	IV-66
Cuadro 4 - 26. Estaciones Fluviométricas DGA en Cuenca del Río Mataquito	IV-68
Cuadro 4 - 27. Estaciones Fluviométricas en Estudios Realizados	IV-69
Cuadro 4 - 28. Estaciones Pluviométricas DGA en Cuenca del Río Mataquito	IV-72
Cuadro 4 - 29. Estaciones Pluviométricas en Estudios Realizados	IV-72
Cuadro 5 - 1. Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas	V-4
Cuadro 5 - 2. Resumen Acuíferos Cuenca del Río Itata	V-13
Cuadro 5 - 3. Factores de uso de pozos considerados en el estudio	V-14
Cuadro 5 - 4. Características de canales Río Ñuble	V-18
Cuadro 5 - 5. Características de canales Río Diguillín	V-20
Cuadro 5 - 6. Superficies de canales en Subcuenca Río Itata	V-21
Cuadro 5 - 7. Superficies de canales en Subcuenca Río Itata	V-21
Cuadro 5 - 8. Características de canales Río Itata	V-21
Cuadro 5 - 9. Pérdidas en canales Cuenca Río Itata	V-22
Cuadro 5 - 10. Comparación Estimaciones de superficies según distintas fuentes de información.	V-25
Cuadro 5 - 11. Cultivos en Zonas de Riego Cuenca del Río Itata	V-28
Cuadro 5 - 12. Métodos de Riego para todas las Zonas de Riego Cuenca del Río Itata	V-32
Cuadro 5 - 13. ETo por Zonas de Riego Cuenca del Río Itata	V-33

ÍNDICE DE CUADROS (Continuación)

Cuadro 5 - 14. Kc Cuenca del Río Itata	V-34
Cuadro 5 - 15. Demandas Evapotranspirativas por Zonas de Riego Cuenca del Río Itata (m3)	V-35
Cuadro 5 - 16. Resumen Características Proyectos de Generación de Energía	V-38
Cuadro 5 - 17. Evaporación Embalse Coihueco (mm)	V-44
Cuadro 5 - 18. Evaporación Embalse Coihueco (mm)	V-44
Cuadro 5 - 19. Datos Meteorológicos Estación Coihueco (1984-1985)	V-44
Cuadro 5 - 20. Resumen Embalses Proyectados Cuenca el Río Itata	V-50
Cuadro 5 - 21. Datos Meteorológicos Estación La Punilla (1959-1968)	V-51
Cuadro 5 - 22. Subcuencas de Cabecera (Aporte Natural) Cuenca del Río Itata	V-53
Cuadro 5 - 23. Subcuencas Laterales Cuenca del Río Itata	V-54
Cuadro 5 - 24. Evaporación Media Mensual[mm]	V-59
Cuadro 5 - 25. Datos para Generación de Caudales en Cuencas Pluviales	V-62
Cuadro 5 - 26. Caudales Ecológicos Cuenca del Río Itata	V-64
Cuadro 5 - 27. Estaciones Fluviométricas DGA en Cuenca del Río Itata	V-67
Cuadro 5 - 28. Estaciones Fluviométricas en Estudios Realizados	V-68
Cuadro 5 - 29. Estaciones Pluviométricas DGA en Cuenca del Río Itata	V-71
Cuadro 5 - 30. Estaciones Pluviométricas en Estudios Realizados	V-71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 1.	Barra de Menú Principal	I-30
Figura 1 - 2.	Ventana con formato CNR-DGA y Mayúsculas	I-30
Figura 1 - 3.	Ventana con formato CNR-DGA y Minúsculas	I-30
Figura 1 - 4.	Ventana con formato sin CNR-DGA y Minúsculas	I-31
Figura 1 - 5.	Ventana despliegue normal	I-31
Figura 1 - 6.	Igual Ventana anterior con despliegue modificado	I-32
Figura 1 - 7.	Sector con información de ubicación de archivo incompleta ilegible.	I-32
Figura 1 - 8.	Ventana principal en plano de fondo con respecto a ventana secundaria.	I-32
Figura 1 - 9.	Menú de Ayuda Incompleto	I-33
Figura 3 - 1.	Ubicación Cuenca del Río Maule y sus principales Tributarios.	III-2
Figura 3 - 2.	MDE y Red Hídrica Topológica Cuenca del Río Maule.	III-6
Figura 3 - 3.	Trazado Perfiles Gravimétricos Valle del Maule.	III-10
Figura 3 - 4.	Perfil Longitudinal L1. Valle del Maule	III-11
Figura 3 - 5.	Perfil Transversal L2. Valle del Maule	III-12
Figura 3 - 6.	Perfil Transversal L3. Valle del Maule	III-13
Figura 3 - 7.	Dispersión T v/s Ge Cuenca del Maule	III-15
Figura 3 - 8.	Transmisibilidades en acuíferos de la Cuenca del Río Maule (m ² /día)	III-16
Figura 3 - 9.	Coeficiente de almacenamiento en acuíferos de la Cuenca del Río Maule	III-17
Figura 3 - 10.	Acuíferos de la Cuenca del Río Maule	III-18
Figura 3 - 11.	Parámetros de Infiltración	III-29
Figura 3 - 12.	Ubicación de Zonas de Riego	III-32
Figura 3 - 13.	Diagrama de Flujo Operación Centrales Hidroeléctricas	III-43
Figura 3 - 14.	Ubicación de Embalses	III-45
Figura 3 - 15.	Tipos de SubCuenca consideradas en la Cuenca del Río Maule	III-60
Figura 3 - 16.	Tipos de Régimen considerados en la Cuenca del Río Maule	III-61
Figura 3 - 17.	Ubicación Cuencas de Calibración de MPL GCF	III-63
Figura 3 - 18.	Evapotranspiración Potencial por Distritos Agroclimáticos Cuenca del Río Maule	III-66
Figura 3 - 19.	Evapotranspiración Potencial por Subcuenca y Estaciones Pluviométricas. Cuenca del Río Maule	III-67
Figura 3 - 20.	Ubicación Estación Nival Lo Aguirre	III-70

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuación)

Figura 3 - 21.	Resultados de Ajuste de Coeficientes CK para estimación de componente nival de escorrentía	III-71
Figura 3 - 22.	Estaciones Pluviométricas DGA Cuenca del Maule	III-85
Figura 3 - 23.	Estaciones Pluviométricas	III-88
Figura 3 - 24.	Ejemplo de Red Topológica a Implementar con Magic	III-91
Figura 3 - 25.	Compatibilización de Red Terciaria de Canales con Interfaz Magic	III-92
Figura 3 - 26.	Representación de Canales Troncales Unitarios en Modelo	III-95
Figura 3 - 27.	Cuencas de Calibración MAGIC de la Cuenca del Río Maule	III-97
Figura 4 - 1.	Ubicación Cuenca del Río Mataquito y sus principales Tributarios.	IV-3
Figura 4 - 2.	MDE y Red Hídrica Topológica Cuenca del Río Mataquito.	IV-5
Figura 4 - 3.	Trazado Perfiles Gravimétricos Valle del Mataquito	IV-9
Figura 4 - 4.	Perfil Longitudinal L1. Valle del Mataquito	IV-10
Figura 4 - 5.	Perfil Transversal L2. Valle del Mataquito	IV-11
Figura 4 - 6.	Perfil Transversal L5 Valle del Mataquito	IV-12
Figura 4 - 7.	Perfil Transversal L7. Valle del Mataquito	IV-13
Figura 4 - 8.	Perfil Transversal L9. Valle del Mataquito	IV-14
Figura 4 - 9.	Perfil Transversal L10. Valle del Mataquito	IV-15
Figura 4 - 10.	Distribución del Coeficiente de Permeabilidad (m/s) en la Cuenca del Mataquito	IV-16
Figura 4 - 11.	Acuíferos de la Cuenca del Mataquito	IV-18
Figura 4 - 12.	Coeficiente de Almacenamiento para los acuíferos de la Cuenca del Mataquito	IV-20
Figura 4 - 13.	Diagrama Unifilar Río Lontué	IV-24
Figura 4 - 14.	Diagrama Unifilar Río Teno	IV-26
Figura 4 - 15.	Diagrama Unifilar Río Mataquito (Desembocadura)	IV-28
Figura 4 - 16.	Zonas de Riego Cuenca del Mataquito	IV-35
Figura 4 - 17.	Parámetros de Infiltración	IV-46
Figura 4 - 18.	Curvas de Capacidad Embalse El Planchón	IV-52
Figura 4 - 19.	Curvas de Entrega Embalse El Planchón	IV-53
Figura 4 - 20.	Tipos de SubCuenca consideradas en la Cuenca del Río Mataquito	IV-58
Figura 4 - 21.	Tipos de Régimen considerados en la Cuenca del Río Mataquito	IV-59
Figura 4 - 22.	Evapotranspiración Potencial por Distritos Agroclimaticos Cuenca del Río Mataquito	IV-63
Figura 4 - 23.	Evapotranspiración Potencial por Subcuenca y Estaciones Pluviométricas. Cuenca del Río Mataquito	IV-65

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuación)

Figura 4 - 24.	Estaciones Fluviométricas en la Cuenca del Río Mataquito	IV-70
Figura 4 - 25.	Estaciones Pluviométricas en la Cuenca del Río Mataquito	IV-73
Figura 5 - 1.	Ubicación Cuenca del Río Itata y sus principales Tributarios.	V-3
Figura 5 - 2.	MDE y Red Hídrica Topológica Cuenca del Río Itata.	V-5
Figura 5 - 3.	Transmisibilidad v/s Gasto específico	V-9
Figura 5 - 4.	Distribución de Transmisibilidad (m ² /dia) en Cuenca del Río Itata	V-10
Figura 5 - 5.	Acuíferos de la Cuenca del Río Itata	V-12
Figura 5 - 6.	Diagrama Unifilar Río Ñuble	V-17
Figura 5 - 7.	Diagrama Unifilar Río Diguillín	V-19
Figura 5 - 8.	Diagrama Unifilar Río Itata	V-21
Figura 5 - 9.	Zonas de Riego Cuenca del Río Itata.	V-24
Figura 5 - 10.	Ubicación Proyectos Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Río Itata.	V-40
Figura 5 - 11.	Ubicación Proyectos Centrales Hidroeléctricas en Embalses de Riego Cuenca del Río Itata.	V-42
Figura 5 - 12.	Ubicación Proyectos Embalses Cuenca del Río Itata.	V-49
Figura 5 - 13.	Curvas del Embalse Punilla 2	V-52
Figura 5 - 14.	Tipos de SubCuenca consideradas en la Cuenca del Río Itata	V-55
Figura 5 - 15.	Tipos de Régimen considerados en la Cuenca del Río Itata	V-56
Figura 5 - 16.	Evapotranspiración Potencial por Distritos Agroclimaticos Cuenca del Río Itata	V-61
Figura 5 - 17.	Evapotranspiración Potencial por Subcuenca y Estaciones Pluviométricas. Cuenca del Río Itata	V-63
Figura 5 - 18.	Ubicación Estaciones Fluviométricas con Caudal Ecológico Cuenca del Río Itata	V-65
Figura 5 - 19.	Estaciones Fluviométricas en la Cuenca del Río Itata	V-69
Figura 5 - 20.	Estaciones Pluviométricas en la Cuenca del Río Itata	V-72

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1-10 Estaciones de control y cuencas laterales. Cuenca del Río Maule.
- Plano 2-10 Acuíferos, Pozos y Perfiles Gravimétricos. Cuenca del Río Maule.
- Plano 3-10 Infraestructura de Riego y Centrales Hidroeléctricas. Cuenca del Río Maule.
- Plano 4-10 Malla de Modelación MAGIC. Cuenca del Río Maule.
- Plano 5-10 Estaciones de control y cuencas laterales. Cuenca del Río Mataquito.
- Plano 6-10 Acuíferos, Pozos y Perfiles Gravimétricos. Cuenca del Río Mataquito.
- Plano 7-10 Infraestructura de Riego y Centrales Hidroeléctricas. Cuenca del Río Mataquito.
- Plano 8-10. Estaciones de control, Aportes Naturales y Cuencas Laterales. Cuenca del Río Itata.
- Plano 9-10. Acuíferos y Pozos. Cuenca del Río Itata.
- Plano 10-10. Infraestructura de Riego y Centrales Hidroeléctricas. Cuenca del Río Itata.

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1.1 Descripción de Tablas Modelo Magic
- ANEXO 2.1 Fórmulas Estadígrafos y Gráficos de Bondad de Ajuste Definidos
- ANEXO 2.2 Antecedentes Estimator de Bondad de Ajuste Proporcionado por la Inspección
- ANEXO 2.3 Base Conceptual Estimación de Caudales en Cuencas no Controladas
- ANEXO 3.1 Informe Estudio Gravimétrico Cuenca del Maule
- ANEXO 3.2 Derechos Subterráneos Cuenca del Río Maule
- ANEXO 3.3 Infraestructura Sistema de Riego Río Longavi
- ANEXO 3.4 Calibración Modelo Pluvial
- ANEXO 3.5 Estadística de Nieve Cuenca del Río Maule
- ANEXO 3.6 Calibración Modelo Nival
- ANEXO 3.7 Caudales Medios Mensuales Observados Cuenca del Río Maule
- ANEXO 3.8 Precipitaciones Mensuales Rellenas, Corregidas y Homogeneizadas Cuenca del Río Maule
- ANEXO 3.9 Calibración MAGIC en la Cuenca del Río Maule
- ANEXO 4.1 Derechos Subterráneos en la Cuenca del Río Mataquito
- ANEXO 4.2 Catastro de Pozos Cuenca del Río Mataquito
- ANEXO 4.3 Estadística de Nieve Cuenca del Río Mataquito
- ANEXO 4.4 Estadística Pluviométrica Cuenca del Río Mataquito
- ANEXO 4.5 Estadística Fluviométrica Cuenca del Río Mataquito
- ANEXO 5.1 Derechos Subterráneos en la Cuenca del Río Itata
- ANEXO 5.2 Estadística Fluviométrica Cuenca del Río Itata
- ANEXO 5.3 Estadística Pluviométrica Cuenca del Río Itata
- ANEXO 5.4 Estadística de Nieve en la Cuenca del Río Itata

I. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS, RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES Y ANÁLISIS DE LA INTERFAZ SIG MAGIC

I.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Comisión Nacional de Riego (CNR) y la Dirección General de Aguas (DGA) durante el año 2005 han finalizado el "Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación en las Cuencas de Aconcagua y Maipo". Este contempló la generación de una aplicación SIG programada en Visual Basic utilizando controles de MapObject, que permite el ingreso de información, construcción de topología, preparación de los datos y observación de los resultados de un modelo de simulación hidrológico operacional. Específicamente corresponde al Modelo Analítico Genérico e Integrado de Cuencas (MAGIC) desarrollado por la DGA, para su implementación piloto en las cuencas de los ríos Maipo y Aconcagua. Como consecuencia y continuación de dicho trabajo, se materializa este estudio que determina la necesidad de mejorar la interfaz SIG-MAGIC desarrollada y recopilar antecedentes que permitan ampliar las aplicaciones a las cuencas de los ríos Maule, Mataquito e Itata, contemplando la implementación de MAGIC para la cuenca del Maule.

El objetivo principal de este estudio es la recopilación y generación de información para ser ingresada a la aplicación SIG-MAGIC (CNR-DGA 2005) existente, para su aplicación en las cuencas de los ríos Maule, Mataquito e Itata y el mejoramiento de esta aplicación en aspectos de calibración y generación de caudales en cuencas sin control fluviométrico.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- a) Analizar todos los antecedentes de recursos básicos existentes, tanto en modelos de estudios existentes, como de la información propia del SIIR de la CNR, para las cuencas de Maule, Mataquito e Itata.
- b) Estudiar y mejorar la actual aplicación Interfaz SIG-MAGIC (CNR-DGA 2005) desarrollada.
- c) Implementar la aplicación Interfaz SIG-MAGIC existente con la información recopilada y evaluar la información faltante para su generación, particularmente para la cuenca del Maule.
- d) Generar la información necesaria para el correcto funcionamiento del modelo de acuerdo a los requerimientos del presente Estudio.
- e) Calibrar y validar los Modelos Implementados.
- f) Desarrollar e incorporar una aplicación para el cálculo del mejor ajuste de calibración.

g) Mejorar o Diseñar una aplicación que incorpore el cálculo de la escorrentía en cuencas no controladas, y que considere la mayor cantidad de información física disponible en el llenado de su base de datos.

El Informe Final del presente estudio está compuesto de seis capítulos, que contienen la siguiente información:

- Capítulo 1: Introducción, Objetivos, Recopilación y Análisis de Antecedentes disponibles y Análisis de la Interfaz SIG MAGIC.
- Capítulo 2: Mejoramientos Interfaz SIG MAGIC, Módulo de Calibración y Módulo de Generación de Caudales.
- Capítulo 3: Procesamiento Antecedentes Básicos Cuenca del Maule e Implementación MAGIC en Cuenca del Río Maule.
- Capítulo 4: Procesamiento Antecedentes Básicos para MAGIC V2.0 en la Cuenca del Río Mataquito.
- Capítulo 5: Procesamiento Antecedentes Básicos para MAGIC V2.0 en la Cuenca del Río Itata.

I.2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES DISPONIBLES

I.2.1. INTRODUCCIÓN

Se efectuó una recopilación de los antecedentes disponibles que tienen relación con los parámetros y tablas que considera el MAGIC y con los posibles datos que pudiesen adicionarse con el tiempo. Asociado a lo anterior se recopiló antecedentes respecto a estadísticas pluviométricas, fluviométricas y meteorológicas, coberturas bases (curvas de nivel, hidrografía, caminos, etc.), características de canales de riego, zonas de riego, acuíferos, catastros de pozos, embalses, centrales hidroeléctricas, entre otras. La recopilación de antecedentes se realizó principalmente a través de la revisión de información bibliográfica.

Se analizaron todos los modelos realizados en estudios anteriores y publicaciones existentes con el fin aprovechar la información útil, a nivel de topología, elementos y variables existentes. Se elaboró una reseña de los antecedentes analizados, entregando los datos relevantes que cada estudio, informe o documento proporcione.

Con los antecedentes recopilados, se realizó un análisis de suficiencia de información, con el propósito de poder calificar el uso que se le dará durante el desarrollo del estudio y determinar aquellos antecedentes que se requiere actualizar, complementar y en ciertos casos generar.

I.2.2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Las 51 tablas de datos (ver Anexo 1) que utiliza el programa MAGIC para realizar la simulación de caudales, pueden ser agrupadas en 13 tipos principales según lo indicado en el Cuadro 1-1. Esta clasificación fue considerada como de referencia durante el análisis de los antecedentes disponibles, procurando identificar la información relevante para cada grupo definido. Esto permite focalizar el trabajo posterior de llenado de los datos, a realizarse a partir de la Etapa III del estudio, además de identificar de manera precisa los antecedentes faltantes que debiesen ser complementados o generados.

Se revisaron una serie de publicaciones asociadas a las cuencas de interés, siendo a continuación presentadas junto a una breve descripción de las materias, por grupos de cuenca donde pueden ser utilizados.

Cuadro 1 - 1. Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas

N°	Elemento MAGIC	TABLAS MAGIC											
		1	2	3	4								
1	Acuíferos	AC_PARAM	AC_QZS	AC_QZV	AC_QZVE								
		30	31	32									
2	Pozos	PO_PARAM	PO_Q	PO_USOS									
		6	7	8	36								
3	Canales	CA_DER	CA_PARAM	CA_TRAMOS	SECCIONES								
		12	27	37	38	39	40	41	42	43	47	48	51
4	Zonas de riego	CULT_TIPOS	MR_TIPOS	ZR_CULT_ETP	ZR_CULT_PAR	ZR_CULT_PEF	ZR_RET	ZR_AC_NnM	ZR_PARAM	ZR_SR	ZR_QPR	ZR_CULT_SC	ZR_ANC_NNM
		9	10										
5	Centrales hidroeléctricas	CH_PARAM	CH_Q										
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
6	Embalses	EM_CA	EM_DEMGE	EM_FV	EM_NODOS	EM_PARAM	EM_QGENMAX	EM_QV	EM_SALIDAS	EM_SVH	EM_TASEV		
		5	26										
7	Cuencas no controladas	AN_PARAM	CL_PARAM										
		13	49										
8	Descargas puntuales	DP_PARAM	DP_Q										
		33											
9	Caudales ecológicos	QE_PARAM											
		28	29	34	35	46	50	50					
10	Topología	NO_DIST	NO_PARAM	RI_PARAM	RI_TRAMOS	NO_DIST_Q	EST_CALIB	EST_CALIB					
		25											
11	Fluviometría	ESTAD_Q											
		24											
12	Pluviometría	ESTAD_PP											
		11	44	45									
13	Captaciones Puntuales	CP_PARAM	CP_RETORNOS	CP_Q									

A) CUENCAS DEL MATAQUITO, MAULE E ITATA

A1) Balance Hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas-Dirección general de Aguas. 1987.

A2) Atlas Agroclimático de Chile Regiones VI^a, VII^a y VIII^a, realizado por Fernando Santibáñez y J. Manuel Uribe para El Ministerio de Agricultura y CORFO en 1993

A3) Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Cropwater Requirements, Irrigation and Drainage Paper Nr. 56
Yield Response to Water Part A, Irrigation and Drainage Paper Nr. 33

A4) Censos Agropecuario Nacional del INE, VII^a y VIII^a Región, 1996

A5) Catastro Frutícola de la VII^a y VIII^a Regiones, CIREN, Actualización 2001

A6) Sistema de Información Integral de Riego CNR: SIIR (SIG-CNR).

A7) Fotografías aéreas (SINIA).

A8) Imágenes Satelitales MrSID (S-19-25-2000, S-18-35-2000, S-19-35-2000)

A9) MDT - SRTM, NASA.

A10) Análisis Impacto Económico Originado por Sequías Hidrológicas, PUC, Facultad de Agronomía y Facultad de Ingeniería para la DGA, año 1997.

A11) Recursos Hídricos de las Centrales Hidroeléctricas de Chile, realizado pro la Empresa Nacional de Electricidad División Estudios Hidrológicos, DGA, 1982.

A12) Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero VII a VIII Región, CNR, realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., 2003.

A13) VI Censo Nacional Agropecuario; INE, 1997.

A14) Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos en Chile, VI a VIII región; Ministerio de Obras Públicas-DGA, IPLA Ltda., 1996.

Estudio de carácter general que realizó una estimación de las demandas de la época y futuras asociadas a los diferentes usos de los recursos hídricos, a nivel nacional y regional. Particularmente, se estimaron demandas de zonas de riego actuales y futuras, además de demandas para otros usos (potable, minero, industrial e hidroelectricidad). Incluye datos de centrales hidroeléctricas.

A15) Estudio de Síntesis de Catastro de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento; Ministerio de Obras Públicas-D.G.A. - Departamento Estudios / REG Ingenieros, 1991.

En este estudio se recopilaron los antecedentes más relevantes de los estudios de catastros realizados por la DGA a través de su departamento de estudios. Se presentan los diagramas unifilares completos de la infraestructura de canales de las cuencas Mataquito, Maule e Itata. Estos diagramas se usaran como base para la representación y la selección de canales matrices y derivados en las cuencas de Mataquito e Itata y, por consiguiente, en la definición de nodos secundarios (canales derivados).

A16) Análisis de criterios hidroambientales en el manejo de recursos hídricos; Ministerio de Obras Públicas-DGA - Universidad de Chile-Departamento de Ingeniería Civil, División Recursos Hídricos y Medio Ambiente, 1998.

El objetivo de este estudio fue formular una metodología simple que permitiera a través de un conjunto de parámetros y expresiones, formular criterios básicos generales para su utilización en el manejo de los recursos hídricos. Todo esto enfocado principalmente a la preservación de los ecosistemas asociados al medio acuático. Se usará sólo a nivel de consulta referencial para evaluar la estimación, en caso de que se requiera, de la Tabla MAGIC de caudales ecológicos.

A17) Antecedentes Proporcionados por la DGA Central a través del CIRH.

B) SISTEMAS MATAQUITO Y MAULE

B18) Catastro de usuarios de los ríos Lontué y Mataquito, VII región; Ministerio de Obras Públicas, Dirección general de Aguas-Departamento de Estudios, Solano Vega y Asociados Ingenieros Consultores, 1985.

De este trabajo se puede obtener una completa información de los sistemas de riego de los ríos Mataquito y Lontué, que deberá ser contrastada con antecedentes más recientes, puesto que las redes de canales pueden haber variado en los últimos 20 años. El estudio incluye unifilares, acciones, superficies regadas, descripciones de bocatomas, vertientes, derrames y usos del agua. Se ha incluido este catastro en el sistema Maule, puesto que el río Lontué entrega recursos a las zonas de riego de éste.

B19) Exploración de los Recursos Hídricos Subterráneos, VII región; DGA VII Región- AC Consultores, 1999.

En este trabajo se estudió la situación de la disponibilidad y demanda de recursos subterráneos en la VII Región. Para ello se elaboró un Catastro General de Pozos en

las cuencas de los ríos Maule y Mataquito, se actualizaron las demandas, incluyendo información de nuevos derechos concedidos y sondajes existentes, además de las demandas de agua potable y se replanteó el balance hídrico por sectores contenido en los estudios integrales de riego de dichas cuencas.

El estudio incorpora una serie de antecedentes sobre hidrogeología de la zona, análisis estadísticos de precipitaciones y caudales (entre los años 1961 y 1998), catastro de captaciones a partir de antecedentes existentes y de trabajo de terreno, medición de niveles y estimación espacial de los parámetros hidrogeológicos (estratigrafías, distribuciones de permeabilidad y almacenamiento).

B20) Expedientes administrativos de derechos de aguas tramitados que existen en la DGA, oficina VII región y/o DGA Nivel Central.

De la información de derechos de aprovechamiento de agua, se usará especialmente la relacionada con recursos hídricos subterráneos; ésta servirá para el llenado de la Tabla MAGIC de pozos. Con ello se podrá definir los escenarios de extracción de aguas subterráneas, según derechos de extracción de los pozos.

C) SISTEMAS MAULE E ITATA

C21) Levantamiento y catastro de bocatomas en cauces naturales, II etapa; Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación, CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores, DGA, 2000.

En este estudio se presentan las características de las bocatomas de canales en la cuenca del río Itata y en la subcuenca del sector sur de la cuenca del río Maule asociada al Río Perquilauquén. Entre los datos entregados se incluyen: coordenadas UTM, caudales máximos y acciones.

C22) Catastro general de usuarios de aguas de la subcuenca del río Ñuble y sus Afluentes, VIII región; Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas - Departamento de Estudios, Consultores en Economía-Planificación y Administración (CEPA), 1987.

En este trabajo se describen los canales del río Ñuble, incluyendo las fuentes, los usuarios e información de los tranques relacionados.

C23) Expedientes administrativos de derechos de aguas tramitados que existen en la DGA, oficina VIII región y/o DGA Nivel Central.

De la información de derechos de aprovechamiento de agua, se usará especialmente la relacionada con recursos hídricos subterráneos; ésta servirá para el llenado de la Tabla MAGIC de pozos. Con ello se podrá definir los escenarios de extracción de aguas subterráneas, según derechos de extracción de los pozos.

C24) Recursos hídricos de las centrales hidroeléctricas de Chile; Empresa Nacional de Electricidad, División Estudios Hidrológicos, 1982.

En este trabajo se analizan los recursos hídricos asociados a las centrales hidroeléctricas ubicadas en el Maule Alto y en El río Laja (Cuenca Itata). La información útil para el llenado de las Tablas MAGIC se relaciona con: estadísticas de caudales afluentes y las características y curvas de embalses.

D) SISTEMA MATAQUITO

D25) Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las Cuencas de Huasco y Mataquito. 2005 CNR-GCF Ingenieros Consultores. En ejecución.

En este estudio enfocado a la calidad de las aguas subterráneas, existe información reciente de hidrogeología, la cual incluye geología y geofísica, una actualización de los catastros de captaciones subterráneas y la caracterización de los acuíferos; caracterización hidrológica y estimación de demandas de riego, con eficiencias de aplicación.

D26) Análisis de la Oferta y Demanda de recursos hídricos en cuencas críticas de Loa, Rapel y Mataquito. Ministerio de Obras Públicas-DGA, Feguereido Ferraz Consultoría e Ingeniería de Proyecto, 1996.

En este trabajo se presenta una completa descripción de la red de canales de la cuenca del río Mataquito; incluyendo unifilares, acciones, geometría de secciones, aforos, caudales máximos y superficies de riego. También se generaron caudales en subcuencas no controladas. El volumen correspondiente al Río Mataquito es el número 3.

D27) Manejo Integral del recurso hídrico a nivel de cuencas: cuenca del río Mataquito; INECON Ingenieros y Economistas Consultores, Ministerio de Obras Públicas-Dirección de Obras Hidráulicas, 1998.

En este trabajo se presenta información de acciones de canales, obras de regulación, zonas de riego, cuantificación de la oferta del recurso hídrico (superficial y subterránea), generación de caudales y caracterización de acuíferos por sectores.

D28) Análisis regional de caudales: VI y VII región; Prisma Ingeniería Limitada Ingenieros Consultores, Ministerio de Obras Públicas, DGA, 1994.

En este estudio se desarrolla una metodología para la determinación de caudales en cuencas no controladas. Este trabajo se utilizará para complementar y contrastar los resultados de la generación de caudales con el modelo pluvial en la cuenca del río Mataquito.

D29) Estudio integral de riego de la cuenca del río Mataquito: prefactibilidad; Comisión Nacional de Riego, CICA, CNR, 1978.

Como su nombre lo indica, este estudio incluye información integral del sistema hídrico del Río Mataquito; de ésta, los antecedentes hidrogeológicos (Tomo F), serán útiles para el llenado de la Tabla MAGIC de acuíferos, puesto que hay descripciones regionales de los sistemas subterráneos. La información hidrológica, de uso del agua

y regadío, se usará complementariamente a los antecedentes que se obtengan de los estudios más recientes, mencionados anteriormente.

E) SISTEMA MAULE

E30) Catastros de Usuarios de los Sistemas de Riego de la Cuenca del río Maule; realizados por REG para la DGA.

De este trabajo se puede obtener información completa de los sistemas de riego de la cuenca del río Maule. El estudio incluye unifilares, acciones, superficies regadas, descripciones de bocatomas y usos del agua. Además, incluye antecedentes de vertientes y derrames.

E31) Estudio de determinación de los usuarios y títulos de derechos de agua en el área de riego del Complejo Colbún Machicura, 2ª Etapa, VII región, 1983.

De este trabajo se puede obtener una completa información de la infraestructura de canales de la zona cubierta por el Complejo Colbún-Machicura. El estudio incluye unifilares, acciones, superficies regadas, descripciones de bocatomas, vertientes y derrames.

E32) Asignación de los derechos de aprovechamiento de la zona de Maule Sur: informe final; Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego Región del Maule, Hydroconsult, 1994.

En este trabajo se presenta los datos de derechos o acciones de canales en la zona Maule Sur.

E33) Mejoramiento Readequación del riego Sector Maule Sur, VII región. Factibilidad con Diseño; DOH, Ayala Cabrera y Asoc. Ltda., 2001.

Este estudio incluye la estimación de demandas de riego e las características de la infraestructura de canales de la zona Maule Sur.

E34) Estudio a Nivel de Perfil del Canal de Linares; CNR, Consorcio de Profesionales Consultores Ltda. CEDEC, 1991.

Este trabajo incluye antecedentes de zonas de riego, derrames, re-usos, infraestructura de canales, acciones y centrales hidroeléctricas; en el área cubierta por el Proyecto del Canal Linares.

E35) Asesoría para el Complemento y Actualización de la Modelación Hidrológica de la cuenca del río Maule; RODHOS Asesorías y Proyectos Ltda., diciembre 2004.

Este estudio se usará como punto de partida para el llenado de las Tablas MAGIC, puesto que parte del trabajo realizado en él consistió precisamente en eso; se completaron las Tablas MAGIC de zonas de riego, derrames, canales matrices y derivados. Además, se definió la topología para la representación Magic, es decir, se elaboró completó la malla de modelación, previamente iniciada en la DGA, con los nodos secundarios para la representación de canales derivados. Se delimitó en planta los acuíferos y se llenaron algunos datos de la Tabla MAGIC de acuíferos (AC_PARAM).

E36) Estudio de optimización de sistemas de riego en la cuenca del Maule; desarrollado por Ciren para CNR y DOH, 2004.

Este estudio corresponde a una optimización del riego de 6 canales existentes en la cuenca del río Maule. En este trabajo se realizaron estudios básicos tales como mecánica de suelos, aforos y topografía, consistente principalmente en un levantamiento taquimétrico de los canales.

E37) Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del Río Maule, VIIª Región; desarrollado por CONIC-BF para la DGA, 1998.

Este trabajo incluye análisis de pérdidas y recuperaciones, demandas agrícolas, retornos de riego, derechos de agua (acciones), generación de caudales en cuencas nivales, derechos de centrales hidroeléctricas y derechos de agua potable; esta última información se podría utilizar para estimar parte de las descargas puntuales (efluentes de alcantarillado o plantas de tratamiento).

Además, el estudio cuenta con estadísticas de precipitaciones diarias, temperaturas, evaporaciones medias mensuales, caudales medios mensuales de carácter nivopluvial o pluvial, caudales medios mensuales de extracciones por canales, por centrales y niveles de embalses. La estadística existente se extiende desde el año 1950 a 1995, la misma que fue actualizada hasta el año 2002 en el Plan Director de la Cuenca del Río Maule.

E38) Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Maule; desarrollado por Cedec para la CNR, 1977.

En este estudio se desarrolló una evaluación de los recursos naturales de la cuenca disponibles para su desarrollo agropecuario y una formulación de un programa de desarrollo integral de dichos recursos a través de un programa de desarrollo agrícola y de obras de aprovechamiento de los recursos hídricos.

La información contenida en este estudio se refiere principalmente a la identificación de distritos agroclimáticos y su caracterización, caracterización de suelos agrícolas según su capacidad de uso y aptitud para el riego, estudio pluviométrico y

fluviométrico, establecimiento de relaciones precipitación escurrentía, caracterización hidrogeológica, uso del agua en la cuenca, caracterización productiva y económica, condicionamiento y bases para el desarrollo agropecuario y prediseño y evaluación de costos para pasar a una situación de pleno desarrollo.

Este trabajo es bastante antiguo y los análisis técnicos contenidos ya han sido superados y mejorados por trabajos posteriores. Con respecto a las obras de desarrollo que se propusieron, muchos de dichos proyectos fueron eliminados, modificados o reemplazados por otros. No obstante, se considera que podría ser utilizado para extraer información complementaria para la caracterización de acuíferos.

E39) Estudio de Bases para el Plan Director de la cuenca del Río Maule; elaborado por Ayala, Cabrera y Asociados para la DGA, 2004.

En este estudio se sistematizó la información existente sobre los recursos hídricos y complementó el diagnóstico de la cuenca del Maule, en relación con temas hídricos, ambientales, económicos, de infraestructura, institucionales y legales.

El diagnóstico físico de la cuenca incluyó una verificación y actualización de la información de recursos hídricos superficiales y subterráneos, en lo que se refiere a la oferta de recursos, calidad del agua y aspectos ambientales, demandas de agua, la infraestructura de aprovechamiento y monitoreo y el mercado del agua.

Además, se desarrolló un diagnóstico institucional enfocado hacia la gestión de los recursos hídricos, los instrumentos de fomento en el uso del recurso y las políticas, planes y carteras de proyectos que manejan los principales actores de la cuenca.

El trabajo desarrollado es de gran utilidad para el desarrollo de este estudio, puesto que en él se realizó una verificación y actualización de todos los datos, parámetros y criterios aplicados en el Modelo de Simulación Hidrológico Operacional de la Cuenca del Río Maule, con el fin de ser incorporados al modelo MAGIC.

Este trabajo incluye antecedentes de infraestructura de riego, sectores de riego (demandas), embalses, centrales hidroeléctricas, hidrogeología (incluido catastro de captaciones), derechos agua subterránea y caudales ecológicos.

E40) Catastro de Usuarios de Aguas de la Ribera Izquierda del Río Perquilauquén y sus Afluentes, después de Junta con el Río Ñiquén; elaborado por Ricardo Edwards G. Ingenieros Consultores Asociados Ltda. para la DGA, 1985.

E41) Catastro de Usuarios de Aguas del Río Longaví y sus Afluentes VII Región, realizado por Héctor Muro de la Fuente para la DGA, 1985.

E42) Catastro de Usuarios de Aguas del Río Claro Tributario del Maule y sus Afluentes, realizado por Héctor Muro de la Fuente para la DGA, 1984.

E43) Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule; elaborado por la DGA VII Región, 2005.

E44) Estudio Catastro de Usuarios Hoya del Río Maule, elaborado por REG para la DGA en el año 1983.

E45) Catastro General de Usuarios Área de Riego Complejo Colbún Machicura, R&Q, DGA, 1982.

E46) Catastro de Usuarios de Aguas de los Esteros Afluentes al Río Lircay Aguas Arriba del Canal Maule Norte; realizado por Héctor Muro de la Fuente para la DGA en el año 1985.

E47) Estudio de Negocio de Riego Proyecto Embalse Ancoa Maule VII Región, realizado para la DOH en el año 2005 por AC Ingenieros Consultores Ltda.

F) SISTEMA ITATA

F48) Análisis regional de caudales: VIII región; DGA, AC Ingenieros Consultores, 1992.

Su finalidad principal fue desarrollar un procedimiento que permitiera evaluar los recursos hídricos superficiales en cuencas sin control fluviométrico de la VIII Región.

La metodología para la evaluación de los caudales en las cuencas sin control fluviométrico, consistió en estimar el caudal medio anual del punto de interés a partir de un plano de isolinéas de escorrentía y los caudales medios anuales y mensuales para diferentes probabilidades de excedencia. Ésta se aplicó a 25 puntos de interés (18 en la cuenca del río Itata) y se verificaron con aforos existentes, estableciéndose relaciones con el caudal medio mensual, las que resultaron satisfactorias para el período primavera – verano.

F49) Estudio de disponibilidad de agua cuenca Río Itata: sector intermedio y bajo; Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, VIII Región del Bío Bío, 1994.

En este trabajo se generaron caudales en la cuenca del río Itata, entre la confluencia del río Diguillín a la confluencia del río Lonquén. Lo que se utilizará para complementar y contrastar los resultados de la generación de caudales con el modelo pluvial en la cuenca del río Itata.

F50) Catastro de usuarios de aguas de los ríos Itata y Diguillín, VIII región; Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas-Departamento de Estudios; REG Ingenieros Consultores Asociados, 1986.

Este trabajo incluye la caracterización de la infraestructura de riego; además se presentan unifilares de canales, acciones, superficies regadas, derrames y antecedentes de tranques y lagunas.

F51) Proyecto Itata, proyecto Laja-Diguillín; Comisión Nacional de Riego Secretaría Ejecutiva, 1988.

En este trabajo se incluyen antecedentes relacionados con las zonas de riego en el período 1987-1988, pero sólo para el área cubierta por el proyecto.

F52) Estudio de la Situación Actual Agropecuaria de la Cuenca del Río Itata, VIII región; Comisión Nacional de Riego, AC Ingenieros Consultores, 1990.

En este trabajo se incluyen antecedentes que permitirán caracterizar las zonas de riego.

F53) Estudio Integral de riego proyecto Itata; Comisión Nacional de Riego- Departamento de Estudios, Consorcio de Ingeniería INGENDESA – EDIC Ltda., 1994.

Este estudio tuvo por objetivo formular un programa de desarrollo integral de los recursos naturales disponibles en la cuenca del río Itata, en el sector comprendido entre el río Larqui por el sur y el límite norte de la cuenca.

Este trabajo incluyen datos de zonas de riego, relleno de estadísticas fluviométricas, hidrogeología (con catastro de pozos), calidad del agua y análisis de pérdidas y recuperaciones. Detalles de obras de regulación (geometría), canales y bocatomas; con relación a los canales se presenta información relacionada con la geometría de las secciones, longitudes y materiales.

F54) Estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Río Itata; Juntas de Vigilancia de los Ríos Ñuble, Chillán y Diguillín, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.

Este estudio incluye evapotranspiración de referencia de cultivos, sectorizada según distritos agroclimáticos. Además, se presentan antecedentes relacionados con métodos de riego y se calcularon tasas de riego.

F55) Balance Hidrológico Nacional Cuenca del Río Itata; DGA, Ricardo Edwards G. Ingenieros Consultores Asoc. Ltda., 1985.

Este estudio incluye generación de caudales y curvas de isoescorrentía e isoevaporación. Estos antecedentes permitirán contrastar a través de la estimación de rendimientos unitarios los caudales que se generen en cuencas no controladas.

F56) Consultoría OME-02 Regadío Vegas de Itata; DOH, AC Ingenieros Consultores Ltda., 1992.

Este estudio incluye antecedentes hidrogeológicos, estimaciones de demandas de riego, y características de obras de regulación, en la zona de Vegas de Itata.

F57) Proyecto Itata Estudio Hidrológico y Situación Actual Agropecuaria; CNR – PROITATA Asociación de Profesionales, 1992.

En este estudio se abordó la generación de caudales en cuencas no controladas, tanto pluviales como nivales; se desarrolló un completo estudio hidrogeológico; se analizaron las pérdidas y recuperaciones. Incluye estimación de demandas de riego; con detalle de coeficientes de cultivo, distritos agroclimáticos y evapotranspiración

potencial. También se cuenta con un antecedente poco abordado en la bibliografía existente y que se debe incorporar en las Tablas MAGIC, que es la estimación de pérdidas en canales. Finalmente, de este trabajo se puede utilizar además, los datos de regulación nocturna y los antecedentes relacionados otros usos del agua (aparte del riego).

F58) Catastro de pozos explotados de constituciones, provincia de Ñuble; AC Ingenieros, 2005 (en ejecución)

Este trabajo consiste en un catastro completo de captaciones subterráneas que cubre gran parte de la cuenca del río Itata (incluye hasta norias de uso doméstico). Esa información se debe comparar con la de derechos de agua subterránea; probablemente el catastro incluye un número mucho mayor de captaciones (uso doméstico, sin derechos), que podría considerarse en escenarios distintos a los legales (escenario de derechos), al cuantificar las demandas de agua subterránea.

F59) Estudio de Recursos de Agua para el Canal Laja – Diguillín; CNR-BF Ingenieros Civiles, 1992.

Este trabajo incluye antecedentes de canales, acciones, áreas regadas, excedentes de riego. Además, se presenta un unifilar y se detalla la operación del Lago Laja. La información mencionada se restringe al área cubierta por el Sistema Laja-Diguillín.

F60) Estudio de Prefactibilidad Construcción Regadío Lonquén; Luis Arrau del Canto, DOH, 2003.

F61) Estudio de Suelos Proyecto Itata, Etapa II; CNR, Agrolog Chile Ltda., 1988

I.2.3. ANÁLISIS DE SUFICIENCIA DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

En los Cuadros 1.2, 1.3 y 1.4 se han resumido los tipos de información cubiertos por los antecedentes revisados, permitiendo visualizar las áreas de antecedentes que pueden resultar deficitarias en la confección de las bases de datos requeridas.

En el caso de la cuenca del Río Mataquito, la falta de información relacionada con las descargas puntuales no ha sido considerada relevante debido a que se adoptó como criterio general no utilizar esta información. Esto se basa fundamentalmente en que la magnitud de estas descargas resultan ser despreciables en comparación con los flujos pasantes y otros caudales del sistema. Sin embargo, estos antecedentes es posible reunirlos directamente en las empresas sanitarias correspondientes, o indirectamente mediante datos de demandas de agua potable, con los cuales se podría estimar los caudales efluentes a representar en MAGIC. Adicionalmente se sugiere consultar el catastro de Riles de la SISS, con el objetivo de complementar estos antecedentes. La misma información asociada a los sistemas Maule e Itata, permitirá complementar los antecedentes existentes para el llenado de la Tabla MAGIC N° 13 (DP_PARAM).

Para el caso de las captaciones puntuales para producción de agua potable, en las cuencas del Mataquito e Itata no existen antecedentes suficientes para pronunciarse respecto a la importancia de las extracciones superficiales, razón por la cual se debe recabar información en ese sentido. De igual forma se debe recopilar antecedentes de las demandas superficiales industriales, de manera de poder determinar la relevancia de este tipo de captaciones y la conveniencia de incorporarlo a la futura modelación con MAGIC.

Para el resto de la información requerida, existe bastante información que ha sido incorporada en el desarrollo de los capítulos posteriores. Un análisis detallado respecto a la cantidad y la calidad de los antecedentes consultados, además de sugerencias respecto a la necesidad de complementar y/o levantar desde terreno se incluyen en los capítulos 3, 4 y 5.

Cuadro 1 - 2. Información Disponible Cuenca del Río Mataquito

Ref. Nº	Acuíferos	Pozos	Canales	Zonas de riego	Centrales Hidroeléctricas	Embalses	Cuencas no controladas	Descargas puntuales	Caudales ecológicos	Topología	Fluviometría	Pluviometría	Captaciones Puntuales
A1							•						
A2				•									
A3				•			•						
A4				•									
A5				•									
A6	•	•	•			•	•						
A7										•			
A8										•			
A9										•			
A10				•									
A11					•								
A12	•												
A13			•										
A14			•		•				•				
A15			•										
A16													
A17											•	•	
B18			•	•									
B19	•	•											
B20		•											
D25	•	•		•								•	
D26			•	•							•	•	
D27	•		•	•		•			•		•	•	
D28							•		•		•	•	
D29	•	•	•	•							•	•	

Cuadro 1 - 3. Información Disponible Cuenca del Río Maule

Ref. N°	Acuíferos	Pozos	Canales	Zonas de riego	Centrales Hidroeléctricas	Embalses	Cuencas no controladas	Descargas puntuales	Caudales ecológicos	Topología	Fluviometría	Pluviometría	Captaciones Puntuales
A1							•						
A2				•									
A3				•			•						
A4				•									
A5				•									
A6	•	•	•			•	•						
A7										•			
A8										•			
A9										•			
A10				•									
A11					•								
A12	•												
A13			•										
A14	•		•		•								
A15	•		•										
A16													
A17		•	•				•				•	•	
B18			•	•									
B19		•											
B20		•											
C21			•										
C22			•										
C23		•	•										
C24					•	•							

Cuadro 1 - 3. Información Disponible Cuenca del Río Maule (Continuación)

Ref. N°	Acuíferos	Pozos	Canales	Zonas de riego	Centrales Hidroeléctricas	Embalses	Cuencas no controladas	Descargas puntuales	Caudales ecológicos	Topología	Fluviometría	Pluviometría	Captaciones Puntuales
E30			•										
E31			•										
E32			•										
E33			•										
E34			•										
E35	•		•	•						•			
E36			•	•									
E37			•	•	•		•	•			•	•	
E38	•									•	•	•	
E39		•	•	•	•	•			•			•	•
E40			•	•									
E41			•	•									
E42			•	•									
E43			•						•	•			
E44			•										
E45			•										
E46			•										
E47							•						

Cuadro 1 - 4. Información Disponible Cuenca del Río Itata

Ref. Nº	Acuíferos	Pozos	Canales	Zonas de riego	Centrales Hidroeléctricas	Embalses	Cuencas no controladas	Descargas puntuales	Caudales ecológicos	Topología	Fluviometría	Pluviometría	Captaciones Puntuales
A1							•						
A2				•									
A3				•			•						
A4				•									
A5				•									
A6	•	•	•			•	•						
A7										•			
A8										•			
A9										•			
A10				•									
A11					•								
A12	•												
A13			•										
A14			•		•	•							
A15			•										
A16													
A17													
C21			•										
C22			•										
C23			•										
C24					•	•							
F48							•				•	•	
F49							•		•		•	•	

Cuadro 1 - 4. Información Disponible Cuenca del Río Itata (Continuación)

Ref. N°	Acuíferos	Pozos	Canales	Zonas de riego	Centrales Hidroeléctricas	Embalses	Cuencas no controladas	Descargas puntuales	Caudales ecológicos	Topología	Fluviometría	Pluviometría	Captaciones Puntuales
F50			•										
F51				•									
F52			•	•									
F53	•	•	•	•		•	•			•	•	•	
F54				•		•							
F55				•		•	•				•	•	
F56	•			•		•						•	
F57			•	•				•			•	•	
F58		•											
F59			•										
F60				•									
F61				•									

I.3. ANÁLISIS INTERFAZ SIG-MAGIC

Se realizó una revisión de la Interfaz SIG MAGIC, v1.0 del 30 de Agosto 2005, con la finalidad de comprender su funcionamiento desde el punto de vista del usuario como también desde el punto de vista del código fuente, siendo esto último necesario para realizar los complementos y modificaciones a realizar durante la Etapa II del estudio.

El análisis que se presenta, ha sido realizado considerando aspectos técnicos tales como instalación, programación, desarrollo, funcionalidad y manejo de datos en los distintos módulos y herramientas de la aplicación, además de aspectos de forma tales como la presentación, facilidad de entendimiento por parte del usuario, entre otros. Cabe mencionar que el análisis presentado de la interfaz SIG MAGIC ha sido revisada considerando los resultados de las herramientas específicas para la generación de información, construcción y verificación de la topología, preparación de los datos y observación de los resultados del MAGIC, lo cual no representa un manejo exhaustivo de la interfaz completa. Esto podría arrojar consideraciones no incorporadas en el presente informe. La manipulación adecuada de la Interfaz SIG MAGIC ha sido realizada en la Etapa III del estudio durante la implementación del modelo en la cuenca del Maule.

La interfaz está desarrollada en Visual Basic versión 6.0, lenguaje de programación basado en objetos, donde cada objeto posee propiedades, métodos y eventos que lo caracteriza y define las funciones a realizar con la información que maneja. La programación en este lenguaje consiste en definir los objetos y sus características dispuestos en formularios (ventanas), que van siendo agregados y vinculados mediante códigos insertos en la aplicación. Adicionalmente, este lenguaje permite la ejecución de otras aplicaciones desarrolladas en el mismo u otro lenguaje de programación, pudiendo ocupar librerías del tipo DLL, API de Windows, y controles u objetos del tipo OCX y ActiveX, desarrollados externamente. En este caso, los principales controles ocupados en el desarrollo de la interfaz SIG MAGIC corresponden a MapObject v2.2, que se utiliza para el manejo de la información gráfica. El formato de archivo gráfico genérico utilizado por la interfaz corresponde al formato estándar de ESRI, shapefile. Es importante señalar que en general, el desarrollo de aplicaciones en este lenguaje permite hacer seguimientos con facilidad desde el punto de vista de la programación, lo que contribuye a realizar modificaciones al código fuente en futuros trabajos.

A continuación se presenta el análisis realizado considerando los aspectos de mayor relevancia.

I.3.1. ASPECTOS TÉCNICOS

En este punto se incorporan antecedentes técnicos relevantes en el análisis preliminar de la Interfaz SIG MAGIC, destacando aspectos positivos y algunos que presentan deficiencias que debiesen ser corregidas.

a. Instalación de la aplicación

Se debe distinguir entre una instalación para el uso del programa (usuario final) y la instalación del código fuente para desarrollo (ambiente de programación). La primera funciona en buena forma, aunque se considera que es lenta y poco eficiente al realizarse en definitiva dos instalaciones conjuntas (librerías y aplicación SIG MAGIC), lo cual puede generar errores y confusión en el usuario. La instalación para modificaciones al código fuente, presentó algunos inconvenientes, ya que no basta con proporcionar los códigos fuentes de un programa orientado a objetos, si no que también se necesita conocer todos los componentes y referencias a librerías externas que se utilizaron en el desarrollo del proyecto. Lo anterior es requisito para poder crear una estación de trabajo para el desarrollo, similar a la que se utilizó en la creación de la aplicación. En la interfaz SIG MAGIC, se utilizaron varias de estas librerías externas, de las cuales inicialmente faltaba información respecto a las licencias de desarrollo. Sin esta licencia es imposible ocuparlas en ambiente de diseño, lo que al compilar o crear el archivo ejecutable de la aplicación presentará problemas y la aplicación quedará sin poder utilizar estas librerías. Particularmente se requería los instaladores de las siguientes librerías o componentes:

- tdbg6.ocx
- tdbgpp.dll
- xarray32.ocx
- xarraydb.ocx
- todg6.ocx
- todgub6.dll
- pcoGarmin.ocx

Las seis primeras librerías fueron instaladas mediante el control "True DB GRID", el cual permite navegar, editar, añadir, eliminar, y manipular datos en forma tabular. Además soporta acceso a base de datos con tecnologías OLE DB y facilita el manejo y administración de la interfase a la base de datos.

En cuanto al instalador pcoGarmin.ocx corresponde a un control que permite la conexión con un GPS Garmin. La licencia de este control no puede ser transferida por el desarrollador inicial de la Interfaz SIG MAGIC V1.0, razón por lo cual se eliminó esta función de la Interfaz.

b. Desarrollo y Funcionalidades de la interfaz

Desde este punto de vista la aplicación cumple con el propósito de ser una interfaz de ayuda al usuario para realizar la simulación en MAGIC, ya que integra herramientas que apoyan el manejo de información, construcción de topología y observación de los resultados. Para el manejo y preparación de la información que utilizará el modelo MAGIC, la Interfaz SIG MAGIC considera una serie de funcionalidades que a continuación se mencionan y que en gran parte han sido incorporadas en un módulo especial para estos efectos, correspondiente a la "Ventana de Preparación de Cartografía y Estadística Base".

- Herramientas de creación, eliminación, edición e impresión de elementos espaciales.
- Herramientas de edición, llenado, modificación, eliminación e impresión de bases de datos.
- Compatibilidad con archivos de formatos frecuentemente utilizados, tales como shapefile, coberturas ArcInfo, GRID de ArcInfo, CAD, Imágenes (JPG, GIF, TIF, MrSid, entre otros), tablas Dbase y archivos de texto.
- Posibilidad de ingreso de datos mediante teclado a través de formularios específicos a los elementos de modelación considerados.
- Posibilidad de importación de datos a través de archivos que posean formatos compatibles.
- Incorporación de modulo de generación de Modelo Digital de Elevación y Red hídrica, bases para la delimitación automática de cuencas del área de estudio.
- Posibilidad de conexión con GPS Garmin.
- Cambios de Datum y lecturas de datos de proyección de shapes existentes.
- Herramientas de Geoprocesamiento que permiten construir corredores, Análisis Espacial (Intersección, suma, diferencia, juntar shapes) y georeferenciar Imágenes.
- Herramientas de selección y consultas de datos.

La funcionalidades anteriores han sido revisadas en su operatividad, encontrando que en general todas funcionan adecuadamente, aunque siempre es posible sugerir mejoras con respecto a alguna de ellas. Tal es el caso de la funcionalidad que permite agregar temas shapefile, la cual solamente permite incorporar un shape a la vez, generando perdidas de tiempo innecesarias al usuario. Adicionalmente, se ha notado deficiencias en la herramienta de edición de tablas correspondiente al botón "Abrir tabla de atributos de tema activo". Esta tabla se abre de manera muy lenta, haciendo una comparación con otros softwares tales Arcview 3.x (cuando los temas poseen gran cantidad de registros asociados, por ej. mas de 5.000 registros), además de la necesidad de incorporar nuevas funciones complementarias, tales como ordenar de manera ascendente o descendente, opciones de búsqueda e incorporar la opción de realizar consultas de selección.

Con respecto a la generación topológica del modelo que leerá MAGIC, la interfaz SIG MAGIC posee una ventana que concentra herramientas particulares para la construcción de la malla de modelación, generación automática de la topología y su verificación correspondiente. Esta ventana denominada "Ventana de Modelación", integra las herramientas que permiten el llenado de parámetros de todos los objetos considerados y la definición de las conectividades entre objetos específicos, que finalmente determinan la topología característica del modelo a implementar.

Se ha revisado la operatividad de la carga de los seis objetos básicos a partir de los shapes generados en la "Ventana de Preparación de Cartografía y Estadística Base", realizándose adecuadamente el proceso. Al momento de definir los conectores entre los objetos cargados, la Interfaz SIG MAGIC presenta algunos problemas con la desactivación del conector establecido, fuera de la ventana de trabajo. Esto se observa al activar un tipo de conector que mantiene su operatividad incluso en el sector del menú colgante de la ventana principal, lo cual evidentemente genera problemas al usuario al no poder desactivar la opción seleccionada hasta hacer doble click en la ventana de trabajo. Se propone restringir la operatividad del conector seleccionado a la ventana activa del momento. Adicionalmente, se sugiere incorporar herramientas de apoyo a la definición de conectores, del tipo funciones de desplazamiento y acercamiento (alejamiento) que puedan ser utilizadas simultáneamente con los conectores, asociadas por ejemplo al botón derecho del "ratón". Esto permitirá establecer los conectores con una mayor facilidad y rapidez.

Otro gran problema detectado en este modulo, tiene relación con la edición gráfica - tabular de conectores y la eliminación de objetos. Para el caso de la edición de los conectores, se ha detectado que es posible modificar gráficamente el origen o destino de un conector, cambio que no se refleja en la base de datos. De igual manera, es posible modificar en la base de datos el origen y destino de cualquiera de los conectores, cambio que tampoco se refleja gráficamente en la malla definida. Esto genera una incoherencia de la base de datos con la información gráfica dispuesta, lo que evidentemente induce a errores.

En cuanto a la eliminación de objetos, se ha detectado que al eliminar nodos con la función especial para este fin (borrar nodo seleccionado), no todos los conectores son eliminados, quedando por ejemplo los correspondientes a *tramo de canal*. De igual manera, la función "Borrar Conectores seleccionados" no está restringida exclusivamente a los conectores, pudiendo también ser utilizada para borrar nodos, dejando conectores inconexos (sin nodo de origen o destino). Esta situación se repite tubularmente, ya que el sistema actual permite borrar nodos en la base de datos respectiva, manteniendo los conectores vinculados a los nodos eliminados (conectores inconexos).

Dando cumplimiento a los objetivos de la interfaz SIG MAGIC, el sistema también incorpora un modulo de visualización y análisis de resultados, donde es posible analizar hasta dos escenarios de simulación. La interfaz presenta tres opciones de

análisis: Balance de Caudales Superficiales, Balance de Caudales Subterráneo y Análisis de Caudales por Objeto MAGIC. Como herramientas complementarias al análisis de resultados, este módulo incorpora la posibilidad de realizar comparaciones de los dos escenarios de simulación y salidas cartográficas predefinidas. Para verificar la funcionalidad de este módulo, se realizó un ejercicio a partir de los resultados de la malla aplicada en la cuenca del Maipo y siguiendo los pasos especificados en el Manual de Usuario de la Interfaz SIG MAGIC, se encontró que no se carga la bases de datos ACCESS que debiese generarse y que se ubicaría en el mismo directorio de simulación que contiene los resultados de la corrida del MAGIC. Tampoco se encontró la base datos ACCESS de referencia con que el código fuente se comunica para posteriormente llenarla a partir de los datos de resultados (particularmente desde el archivo "caudales.txt"). Se revisaron los códigos fuente, no encontrando una consistencia con lo que indica el manual de usuario, dando la impresión que este módulo está incompleto. Se debe realizar una revisión exhaustiva de los códigos para determinar el problema existente. Todo lo anteriormente indicado, impide analizar las funcionalidades de visualización de los caudales resultantes, tanto superficiales, subterráneos o por objetos.

c. Programación de la interfaz

Desde este punto de vista, se debe mencionar que casi todas las herramientas desarrolladas e incorporadas en la Interfaz SIG MAGIC, se encuentran con su código fuente respectivo, a excepción de las funciones de manejo de imágenes, cambio de Datum y lectura de datos desde un GPS Garmin. Todas las anteriores se ejecutan por aplicaciones externas a la interfaz, de las cuales no se tiene acceso a los códigos fuentes.

Un problema frecuente y necesario destacar, es la ausencia del manejo de errores desde el punto de vista de la programación, ya que estos se presentan abundantemente en las funciones desarrolladas, induciendo a que el programa termine su ejecución. Esto evidentemente genera un gran inconveniente en el usuario, teniendo que volver a abrir las ventanas y cargando todos los layers para retomar el estado que se tenía antes del error.

d. Modelo de datos

La interfaz SIG MAGIC no utiliza un modelo de datos relacional, sino que más bien maneja las tablas que están dentro de bases de datos Microsoft Access, correspondientes a la entrada y salida del simulador MAGIC. La base de datos de entrada corresponde a las 43 tablas que requiere MAGIC, mientras que la de salida corresponde a una tabla que contiene la distribución de caudales mensuales estimados en cada año simulado, relacionados a todos los objetos definidos en el modelo implementado.

La información se genera en la interfaz a partir de las seis capas de información base (Acuíferos, zonas de riego, cuencas, pozos, embalses y nodos) a través de sus shapes correspondientes, cuyos campos predefinidos en su base de datos son compatibles con las tablas que MAGIC requiere. Esta información, más el shapes de conectores generado en el módulo de "Modelación", es relacionada y llevada a la base de datos ACCESS de entrada, mediante especificaciones en los códigos Visual Basic de cada elemento en la tabla que corresponde. Esto significa que todas las relaciones de los datos tabulares y espaciales, con las tablas MAGIC fueron programadas. Los resultados del MAGIC corresponden a archivos de texto que la interfaz SIG MAGIC debería identificar automáticamente, para luego llenar una base de datos ACCESS que luego utiliza para el análisis de caudales superficiales, subterráneos y por nodo. Esta situación no pudo ser comprobada ya que la interfaz no lee la información de resultados MAGIC.

Para la comunicación de la interfaz con la base de datos ACCESS se utiliza un componente de Visual Basic llamado "Visual Basic DataEnvironment", permite manejar en forma más sencilla los despliegues y la actualización de la base de datos.

En ese sentido, este consultor piensa que no es conveniente hacer modificaciones a la forma en que se manejan los datos, siendo necesario eso si, una descripción a través de diagramas de flujo, de la **relación incorporada en los códigos** del programa, entre los datos que maneja la interfaz y las base de datos de entrada y salida. Esto resulta relevante al momento de realizar modificaciones a las tablas MAGIC o a las relaciones establecidas, entre otras.

I.3.2. ASPECTOS DE FORMA

Al revisar la interfaz SIG MAGIC se ha encontrado con situaciones visuales que deben ser corregidas y que se encuentran relacionadas con el valor intuitivo de la interfaz, con variados errores de presentación, además de la falta de información en el menú de ayuda correspondiente. A continuación se detalla estos aspectos.

e. Manejo de ventanas

Desde el punto de vista del usuario, la Interfaz SIG MAGIC presenta una distribución de los principales módulos de la aplicación poco "intuitiva", como lo son los módulos de "Ventana de Preparación de Cartografía y Estadística Base", "Ventana de Modelación" y "Escenarios". Estos, a juicio de este consultor, deben quedar dispuestos en un nivel de presentación superior a cualquier otro comando u opción que el usuario pueda desarrollar, pudiendo ser una alternativa incorporar una ventana especial que contenga el ingreso a estos módulos como aspecto principal.

Se plantea estudiar de mejor manera el orden de los menús de la ventana principal, de tal manera de facilitar al usuario su identificación y uso.

Otros aspectos que tienen relación con ventanas, son aquellas funciones que permiten ingresar o visualizar información, en las cuales se debe normalizar sus títulos y ordenar de mejor manera la información que se presenta, ya que en algunos casos éstas se encuentran demasiado cargadas y cuesta entender lo que se quiere mostrar en ellas. Otro punto importante, es que algunas ventanas aparecen en la barra de tareas de Windows (sector inferior), lo cual hace pensar que no son parte de la aplicación, ya que quedan escondidas detrás de la ventana principal del programa. También es preciso corregir el hecho de que algunas ventanas quedan siempre encima de otras ventanas activas, incluso si se minimiza la ventana principal o se trata de ver otro programa, como por ejemplo una planilla Excel. Finalmente, se debería uniformar el tamaño de los íconos de la herramientas y corregir el corte de los combobox de la herramienta "tool tip" con el marco exterior de la ventana.

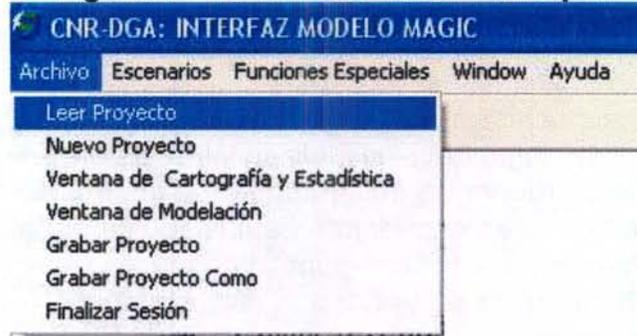
Ejemplos de los problemas mencionados y de otros aspectos, se muestran a continuación:

- **Con respecto a lo que dice el manual de procedimientos con el programa ejecutable**

Uso de la Interfaz por Primera Vez

Al activar la Interfaz por primera vez, aparecerá la pantalla de inicio con una barra de menú en la parte superior (ver Figura 1-1). La única opción válida que puede seleccionar el usuario para comenzar a preparar la información a utilizar en una simulación con MAGIC es "Nuevo Proyecto" o "Leer Proyecto". Sin embargo, las otras opciones existentes están disponibles aunque no sea lógico aquello, tal como grabar proyecto, ingresar al menú de análisis de resultados, entre otros. En este mismo menú, ocurre que al abrir un proyecto existente (o generar un nuevo proyecto), no se deshabilita la posibilidad de activar otras funciones simultáneamente, lo cual genera confusión en el usuario.

Figura 1 - 1. Barra de Menú Principal



- Con respecto a la uniformidad de despliegue de la ventana

Figura 1 - 2. Ventana con formato CNR-DGA y Mayúsculas

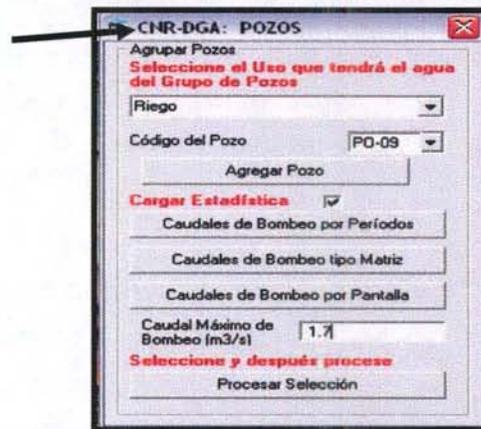


Figura 1 - 3. Ventana con formato CNR-DGA y Minúsculas

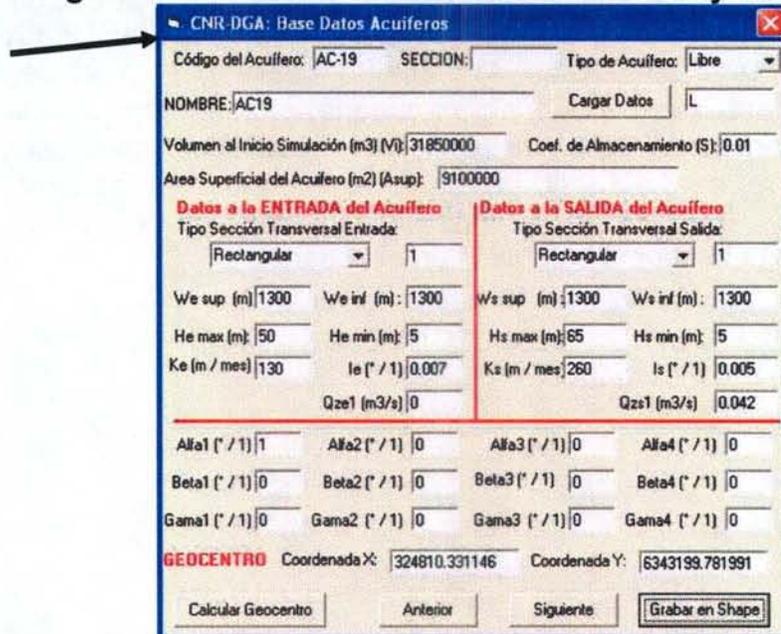
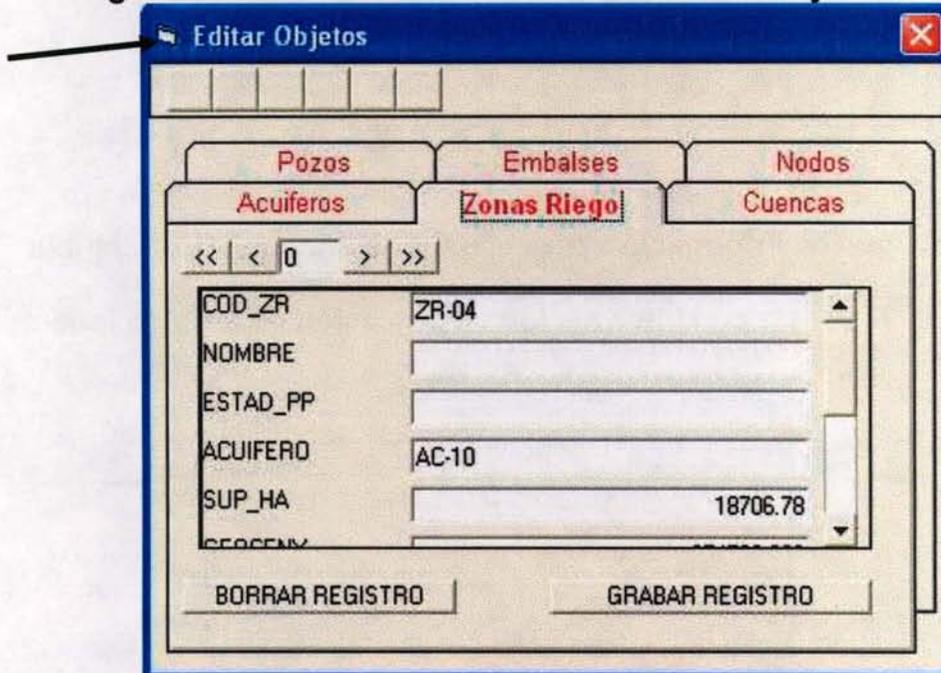


Figura 1 - 4. Ventana con formato sin CNR-DGA y Minúsculas



- Ventanas de despliegue estáticas sin poder cambiar su tamaño y su forma

Figura 1 - 5. Ventana despliegue normal

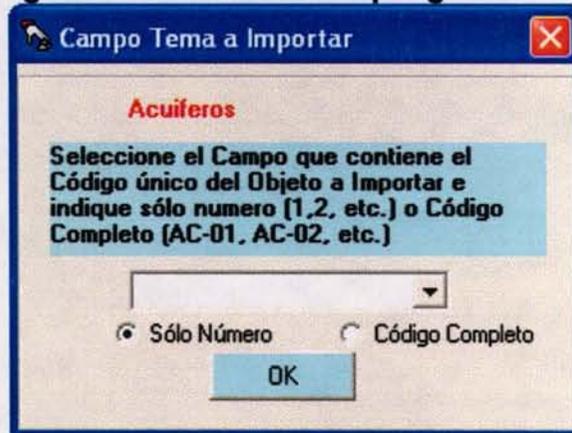
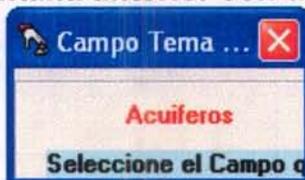
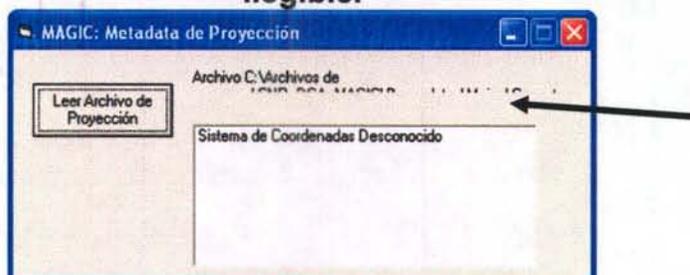


Figura 1 - 6. Igual Ventana anterior con despliegue modificado



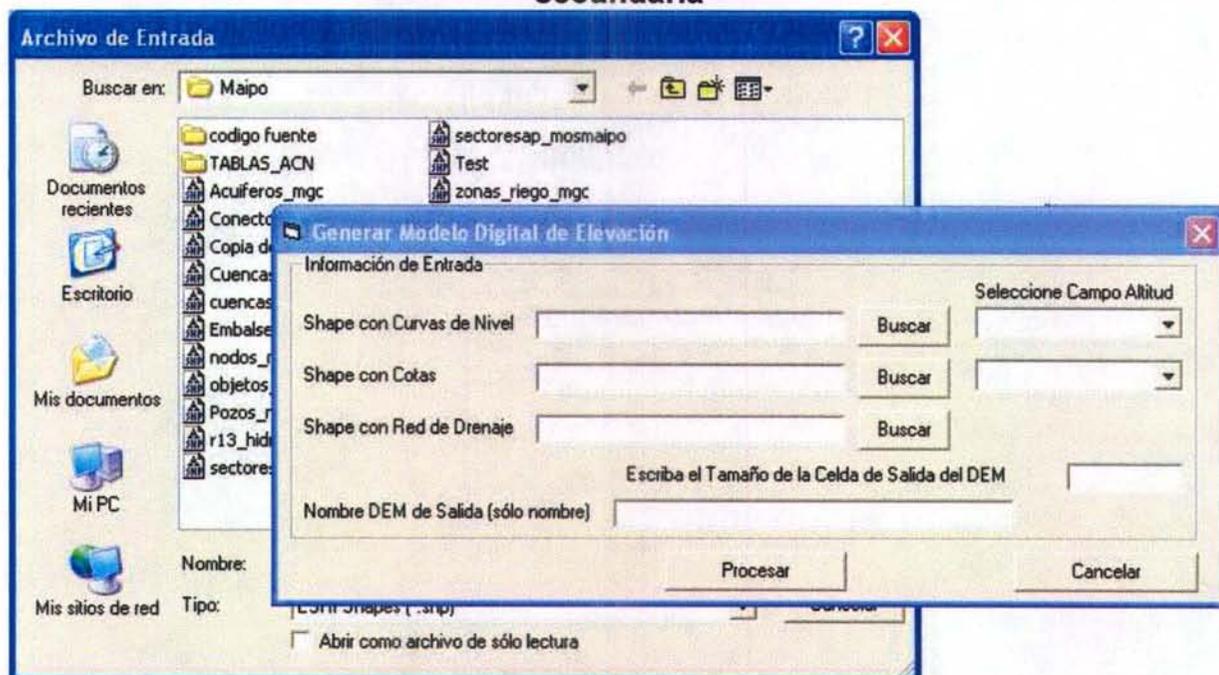
- Despliegue de información para el usuario, incompleta e ilegible

Figura 1 - 7. Sector con información de ubicación de archivo incompleta ilegible.



- Ventana principal en plano de fondo con respecto a ventana secundaria.

Figura 1 - 8. Ventana principal en plano de fondo con respecto a ventana secundaria

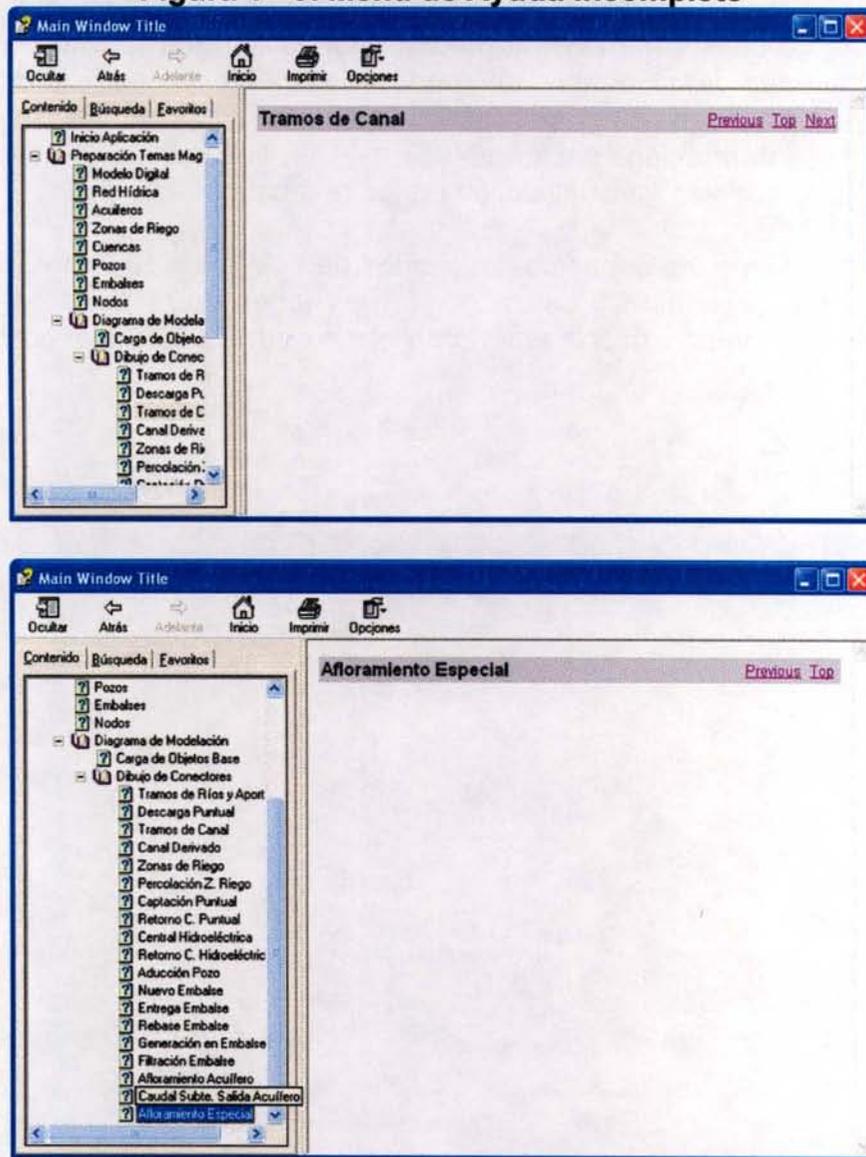


En algunos casos la ventana principal es más grande que la ventana secundaria, quedando esta última al frente de todas ventanas activas, no pudiendo trabajar con la información que se desea buscar.

- **Problemas de información en la Ayuda**

El archivo HTML Help, que contiene la información de ayuda de la interfaz SIG MAGIC, se encuentra incompleto, desde las referencias de Tramos de Canal hasta Afloramiento especial, apareciendo tal como se muestra en las siguientes imágenes. Relacionado con el mismo tema, los códigos fuentes del archivo de ayuda no se han encontrado junto a los códigos fuente de la Interfaz SIG MAGIC.

Figura 1 - 9. Menú de Ayuda Incompleto



I.3.3. ANÁLISIS CRÍTICO DEFICIENCIAS DE LA INTERFAZ SIG MAGIC

De acuerdo al análisis realizado en el punto anterior, se han encontrado deficiencias de la actual interfaz SIG MAGIC, que hacen necesario agruparlas en dos tipos:

- **Correcciones:** son de responsabilidad de la consultoría anterior, ya que se relacionan con aspectos de fondo que apuntan a errores o deficiencias de funciones importantes que se suponían operativas en la actual Interfaz SIG MAGIC.
- **Mejoramientos:** se relaciona con el mejoramiento de aspectos técnicos menores y modificaciones, tal que la Interfaz SIG MAGIC sea más robusta en fondo y amigable en su forma. Esto con la finalidad de que facilite aún mas el trabajo de ingreso de información, implementación y generación de la topología de los modelos y visualización de los resultados.

El Cuadro 1.5 resume los aspectos deficitarios de la interfaz SIG MAGIC, que fueron identificados en el análisis realizado y que deben ser resueltos, ya sea de responsabilidad de la consultoría anterior, o como parte de la actual consultoría.

Cuadro 1 - 5. Aspectos Deficitarios Interfaz SIG MAGIC V.1.4.7

Nº	Tipo de Deficiencias	Aspecto	Item	Descripción
1	Correcciones	Técnico	Funcionalidades Interfaz SIG MAGIC Módulo Modelación	Mejorar "borrar nodo seleccionado", de tal manera que también se borren todos los conectores asociados
2				Restringir la opción de borrar registro desde tabla de nodos y conectores, tal que no se genere incoherencia entre la base de datos con la información gráfica.
3				Restringir la opción de "borrar conector seleccionado" exclusivamente a los conectores ya que actualmente permite también borrar nodos.
4				Restringir opción de edición de nodos y conectores, tal que no se genere incoherencia entre la base de datos con la información gráfica.
5		Técnico	Funcionalidades Interfaz SIG MAGIC Módulo Analisis y Visualización de resultados	Dejar operativo módulo de Análisis y Visualización de Resultados, ya que al momento de la revisión este módulo no funcionaba.
6		de Forma	Manejo de Ventanas	Completar menú de ayuda de la Interfaz SIG MAGIC
7	Mejoramientos	Técnico	Instalación de la aplicación	Extraer Herramienta de conexión con GPS Navegador Garmin, ya que no se posee la licencia para su uso.
8				Modificar el programa de instalación de la interfaz, ya que actualmente se realiza a través de una batería que podría confundir al usuario.
9		Técnico	Funcionalidades Interfaz SIG MAGIC Módulo de Preparación de Cartografía y Estadística Base y Módulo de Modelación	Agregar función de "Zoom a lo seleccionado"
10				Agregar en tabla ordenar de manera ascendente o descendente
11				Agregar en tabla opciones de búsqueda
12				Agregar en tabla consultas de selección. . Asociar a icono.
13				Mejorar agregar dos o más shapes simultáneamente
14				Restringir operatividad de conectores, a la ventana de uso e incorporar funciones simultaneas de paneo y zoom, a la generación y edición de información gráfica.
15		Técnico	Programación Interfaz SIG MAGIC	Complementar manejo de errores
16		Técnico	Modelo de Datos	Agregar tablas nuevas de la última versión MAGIC 2.0
17		de Forma	Manejo de Ventanas	Corregir distribución de Principales Módulos de la Interfaz SIG MAGIC, de tal manera que sea de fácil comprensión para un usuario inicial
18				Normalizar Títulos y aspecto de Ventanas
19				Corregir presentación de ventanas

Adicionalmente, la inspección de este estudio ha manifestado la conveniencia de incorporar otras mejoras, que tienen relación principalmente con aspectos de forma. A continuación se detalla las sugerencias realizadas:

- *Sentido de líneas conectoras.* Se sugiere modificar la simbología de tal manera que el usuario tenga la opción de tematizar el shape de conectores, incorporando el sentido de cada conector. Esto ayuda a hacer un seguimiento a la topología del modelo especificado.
- *Apagar y encender tematización de shape de nodos y de conectores.* Se comenta que sería útil la posibilidad de que la simbología tuviese la propiedad de apagar (dejar invisible) la visualización de ciertas clases de nodos y de conectores, de tal manera que si se requiera visualizar nodos específicos, por ejemplo "Sectores de riego", y conectores particulares, tal como "canales", esto pueda hacerse.
- *Grabar y cargar Simbología.* Actualmente la interfaz posee la simbología fija, la cual no es posible cargar ni grabar en caso que sea modificada.
- *Mejorar la opción de etiquetado.* Se sugiere corregir la herramienta de etiquetado que actualmente posee la interfaz, con la cual resulta engorroso la edición y el desplazamiento de los textos.
- *Remover Grabado automático.* Se sugiere inhabilitar la opción de grabado automático, opción que se ejecuta cuando el usuario cierra una ventana de trabajo. Al existir la función de "Guardar" y "Guardar Como", esta se hace innecesaria e incluso inconveniente.

II. MEJORAS A LA APLICACIÓN ACTUAL: INTERFAZ SIG MAGIC

II.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo corresponde a la proposición e implementación de las mejoras necesarias que potencien esta aplicación. Adicionalmente, se considera el desarrollo de un módulo de calibración, que permita dar facilidades al usuario en la manipulación de los parámetros a calibrar del modelo MAGIC, así como también entregue estadígrafos de ajuste y gráficos necesarios, para encontrar la mejor representación de los caudales medios mensuales observados. Finalmente, también se contempla el análisis de modelos de cálculo precipitación escorrentía alternativos o complementarios al actual MPL, de tal forma que tanto su metodología de cálculo como su aplicación y calibración, posean mejor definición física y discretización.

II.2. PROPOSICIÓN Y DESARROLLO CONCEPTUAL DE MEJORAS A INTERFAZ SIG MAGIC.

De acuerdo al análisis crítico de la interfaz realizado en el punto anterior, y a lo estipulado en los términos de referencia, respecto al requerimiento de incorporar un módulo de calibración y un módulo de cálculo de precipitación escorrentía en cuencas no controladas, a continuación se desarrolla la proposición conceptual de las mejoras contempladas para implementar en la Interfaz SIG MAGIC.

II.2.1. Mejoras de Deficiencias en la Actual Interfaz SIG MAGIC

En concordancia con el análisis crítico realizado en el capítulo anterior, se llevó a cabo una reunión de coordinación en la cual se acordó con la inspección y con la consultora que realizó el desarrollo inicial de la Interfaz SIG MAGIC, que esta última se hiciese cargo de las deficiencias identificadas como de su responsabilidad, las cuales fueron detalladas en el Cuadro 1-5, agrupadas bajo el tipo "Correcciones". Por otro lado, aquellas correspondientes a las agrupadas bajo el tipo "Mejoramientos", se propone acogerlas íntegramente como parte de esta consultoría y que serán abordadas una vez que las deficiencias tipo "Correcciones" sean acogidas de parte de la consultora responsable y aprobadas por la inspección.

Durante el desarrollo de la consultoría se detectaron nuevas deficiencias que fue necesario corregir debido a que tenían relación directa con los objetivos de la consultoría. Sin embargo, nuevas mejoras identificadas se plantean realizarlas en una siguiente etapa de mejoramiento, ya que el trabajo realizado en esta consultoría en el contexto de la programación, excede lo contemplado al inicio del estudio.

Finalmente, los mejoramientos realizados durante el desarrollo de esta consultoría fueron los siguientes:

- Se compatibilizó la interfaz con las nuevas tablas incorporadas en la última versión MAGIC 2.0
- Se agregó el código necesario para el control de los errores detectados.
- Se mejoró la importación y creación de los shapes del sistema, agregando la funcionalidad de traspasar la información de los campos que contienen información de los archivos de entrada, y se mejoraron las rutinas de llenado de los atributos de los shapes para que el sistema automáticamente reconozca la información requerida por el sistema.
- En el manejo de estadísticas se corrigieron funciones relacionadas con la lectura de los archivos de entrada y se agregó la funcionalidad de desplegar en una tabla los registros de la estación consultada.
- Se modificó la forma de despliegue de todas las ventanas o formularios del sistema, además se modificó también la distribución de los controles de todos los formularios, ordenándolos de una manera más fácil de entender por parte del usuario.
- Se agregó la funcionalidad de abrir más de un shape a la vez
- Se mejoró el manejo de apertura y cambio de ventana de modelación a cartografía base y escenarios.
- Se agregaron botones de acceso directo a los módulos de modelación, cartografía base y escenarios.
- Se dejó operativa la función de grabar la topología y llenado de la base de datos de todas las tablas, incluyendo las nuevas y los nuevos campos.
- Se mejoró la funcionalidad de leer archivos csv de todas las tablas que requieren cargado masivo.
- Se agregó el módulo de calibración.
- Se revisaron y corrigieron todas las herramientas gráficas del sistema, en los formularios de cartografía base, modelación y escenarios.
- Se mejoró el manejo de tablas de los shapes del sistema.
- Se quitó la función de grabar automático que tenían las ventanas al cerrarse.
- Se modificaron todos los formularios del módulo de Modelación de manejo de base de datos y se crearon nuevos para las tablas que se agregaron.
- Se agregó la funcionalidad de apagar algunos objetos y conectores de la simbología.
- Se cambió completamente el programa instalador de la aplicación. Este nuevo instalador es un solo archivo ejecutable que instala y registra todos los componentes de la aplicación, y se crean los accesos directos a la aplicación.
- Se quitó herramienta de conexión con GPS Navegador Garmin, ya que no se posee la licencia para su uso.
- Se revisó y mejoró el proceso de lectura y carga de información en la base de datos de Salidas.
- Se reordenaron todos los menús colgantes de la aplicación, manteniendo el orden en todas las ventanas de la aplicación.
- Se incorporó la opción de ver la dirección de los flujos en todos los conectores.

- Se incorporó la opción de encender o apagar layers de la tematización de conectores y nodos.
- Mejora de simbología.

Respecto a las mejoras que deben ser atendidas en una siguiente etapa de desarrollo de la Interfaz SIG MAGIC, son las siguientes:

- Agregar más funcionalidades a tabla de datos de los mapas (ordenar ascendente -descendente, opción de consultas de selección mediante ícono, agregar ícono de "Zoom a lo seleccionado, etc.).
- Grabar y cargar Simbología. Actualmente la interfaz posee la simbología fija, la cual no es posible cargar ni grabar en caso que sea modificada.
- Mejorar la opción de etiquetado. Se debe corregir la herramienta de etiquetado que actualmente posee la interfaz, con la cual resulta engorroso la edición y el desplazamiento de los textos.
- Restringir operatividad de conectores, a la ventana de uso e incorporar funciones simultaneas de paneo y zoom, a la generación y edición de información gráfica.
- Otra mejora importante es definir algunos procedimientos que están como privados y repetidos en diferentes formularios, a públicos y definirlos en un módulo una vez.
- Eliminar repetividad de formularios que asocian funciones diferentes. En el código fuente se detectó la existencia de formularios que se repiten hasta tres veces, a los cuales se le asocian diferentes funciones que resultan complementarias y contribuyen a un objetivo común. Se debe unificar estas funciones en un solo formulario.
- Se detectó la necesidad de normalizar la conectividad de la información que se realiza en algunos formularios de la interfaz, con la base de datos access. Normalmente esta se realiza mediante el código fuente, pero sin embargo en algunos casos también se realiza mediante un link directo a algún campo de una tabla de la base datos.
- Una importante restricción que presenta la interfaz SIG MAGIC, se refiere a la imposibilidad de mantener la información de la base datos durante la definición de un nuevo escenario de modelación, posterior a la confección del escenario base. Esto se debe a que la aplicación cada vez que graba una nueva topología de modelación, borra todos los registros de la base de datos.

II.2.2. Modulo de Calibración

II.2.2.1. Introducción

Como es sabido, la interfaz SIG MAGIC se presenta como el complemento del modelo hidrológico MAGIC, y que surgió producto de la necesidad de facilitar la preparación de la base de datos de entrada al MAGIC, la cual es muy engorrosa de generar de manera manual. Actualmente, la interfaz SIG MAGIC se plantea como una herramienta que cumple tres objetivos específicos, los cuales son preparar datos, generar la malla de modelación y visualizar los resultados que MAGIC genera. Por otro lado, el modelo hidrológico MAGIC funciona como un software independiente a la interfaz, que toma la base de datos preparada por esta última, para posteriormente a través de opciones que el usuario especifica (asociadas a la lectura de datos y a la caracterización del escenario de simulación), correr y generar los resultados que son vertidos en archivos ASCII y EXCEL (este último si el usuario lo especifica). Como parte de los mejoramientos a la versión actual de la interfaz SIG MAGIC, se contempla el desarrollo de un módulo de calibración que ayude al usuario en la definición del modelo hidrológico que posea mejor ajuste entre los datos estimados y los datos observados. Para esto se ha realizado un análisis de una serie de variables que son determinantes en la concepción de este módulo y que finalmente permiten generar y evaluar las distintas opciones existentes, de las cuales se ha seleccionado aquella que de acuerdo a los recursos disponibles y a los beneficios entregados, es la de mayor conveniencia.

A continuación se presenta el desarrollo de los aspectos considerados en el diseño del módulo de calibración, así como la explicación del funcionamiento y alcances de las partes que constituyen este módulo.

II.2.2.2. Elementos Considerados

El módulo de calibración del MAGIC es concebido como una interfaz de ayuda en la calibración manual del modelo hidrológico, donde es el usuario quien debe especificar las variaciones en los parámetros sensibles, tal que se genere un ajuste adecuado de la variable objetivo. Por lo tanto, la responsabilidad de la calibración del modelo se le atribuye exclusivamente al usuario, para lo cual se contempla algunos estadígrafos de bondad de ajuste que el módulo calculará automáticamente.

Se han determinado las siguientes consideraciones en este módulo:

- a. Variable Objetivo: Caudal Medio Mensual

Dado que el modelo MAGIC permite la estimación de caudales medios mensuales a partir de precipitaciones mensuales observadas, se ha

definido como única y consistente variable a calibrar el *caudal medio mensual*. La serie de caudales medios mensuales estimados será la que se contraste con la serie de caudales medios mensuales observados. Por otro lado, se ha determinado que efectivamente existen otras variables que pueden ser utilizadas para evaluar el comportamiento del modelo especificado, tal como la variación de los desniveles en los acuíferos, sin que esto sea necesario incorporarlo explícita y sistemáticamente en el módulo de calibración. Esto, por lo tanto, se deja como una verificación externa que el modelador puede y debe realizar.

b. Estadígrafos y gráficos de Ajuste.

Se ha definido una serie de estadígrafos y gráficos, que serán incorporados explícitamente en el módulo de calibración, tal que a partir de los resultados de la ejecución de MAGIC, automáticamente se calculen los estadígrafos y se generen los gráficos, para que el usuario evalúe el ajuste del modelo de simulación con respecto a los datos observados. Los estimadores de bondad de ajuste y los gráficos considerados son los siguientes:

- i. R^2
- ii. RMS
- iii. RMS normalizado
- iv. Otro estimador. Se evaluará otro indicador de bondad de ajuste sugerido por la inspección, que compara el área comprendida bajo las curvas de caudales medios mensuales estimados con los caudales medios mensuales observados. El código fuente de este estimador, fue aportado por la inspección siendo incorporado en el Anexo 2.2.
- v. Promedio de los errores $\mu(error)$
- vi. Desviación Estándar de los errores $\sigma(error)$
- vii. Gráficos de Dispersión $Q_{estimado}$ v/s $Q_{observado}$. Se consideran gráficos de este tipo para las series completas y para las series promediadas por mes y año.
- viii. Gráfico de las series de Caudales (Q_o y Q_e) v/s tiempo
- ix. Gráfico de residuos v/s tiempo
- x. Gráficos de frecuencia de Q_e , Q_o y residuos

El Anexo 2.1, presenta las fórmulas de los estadígrafos anteriormente indicados, así como un ejemplo de los gráficos mencionados.

c. Parámetros de Calibración

Se ha definido los siguientes parámetros del MAGIC que son sensibles a su ajuste y que serán implementados en el módulo de calibración:

- i. Eficiencia de distribución del agua de riego [%]. Pertenece a la tabla ZR_SR que forma parte de la definición de las zonas de riego e indica como se realiza la distribución del agua desde la entrada de la zona de riego hasta el punto de aplicación del agua de riego. En general se adoptan valores entre 0,8 y 1,0.
- ii. Coeficiente de derrame. Pertenece a la tabla ZR_SR y permite el cálculo de las pérdidas asociadas a una zona de riego determinada. Está directamente relacionado con el coeficiente de percolación y la eficiencia del método de riego utilizado, tal que por condición de continuidad, la suma de los tres debe ser 1. En general, este último parámetro es conocido a partir de información de terreno, por lo que se deja la opción al usuario de calibrar este parámetro o el coeficiente de percolación, tal que el parámetro no calibrado sea calculado automáticamente.
- iii. Coeficiente de percolación. También pertenece a la tabla ZR_SR y permite el cálculo de las pérdidas asociadas a una zona de riego determinada. Está directamente relacionado con el coeficiente de derrame y la eficiencia del método de riego utilizado, tal que por condición de continuidad, la suma de los tres debe ser 1. En general, este último parámetro es conocido a partir de información de terreno, por lo que se deja la opción al usuario de calibrar este parámetro o el coeficiente de derrame, tal que el parámetro no calibrado sea calculado automáticamente.
- iv. Eficiencia de Conducción en Canales [%]. Pertenece a la tabla CA_TRAMOS y se utiliza para calcular la pérdida de caudal en el tramo correspondiente, quedando este último como caudal de percolación.
- v. Coeficiente de Almacenamiento Acuíferos. Pertenece a la tabla AC_PARAM y tiene directa relación con el cálculo del volumen de agua máximo posible de almacenar en un acuífero determinado. Es adimensional. Por defecto se considerará un valor de 0.1.
- vi. Coeficiente de permeabilidad de entrada y salida Acuíferos. También pertenece a la tabla AC_PARAM y se asocia con el cálculo del caudal máximo admisible en la sección de entrada y salida. Este cálculo se realiza a través de la ley de Darcy, siendo su unidad [m/mes].

- vii. Espesor del estrato permeable Rio [m]. Forma parte de la tabla RI_TRAMOS y junto al coeficiente de permeabilidad vertical (además de otros parámetros, tales como el coef. de rugosidad y el ancho superficial del cauce), permite el cálculo de la percolación profunda asociado a un tramo de río determinado. Se considerará un valor por defecto de 1.0 metro.
- viii. Coeficiente de permeabilidad vertical (m/s). También forma parte de la tabla RI_TRAMOS y junto a otros parámetros permite el cálculo de la percolación profunda asociado a un tramo de río determinado. Se considerará un valor por defecto de 1E-6 m/s.

II.2.2.3. Criterio de Calibración

Se considera que durante la calibración del modelo hidrológico MAGIC, la evaluación del ajuste de los caudales estimados se hará contra los registros observados en las estaciones fluviométricas existentes en la cuenca de implementación del modelo. Cada una de estas estaciones, tienen una determinada subcuenca asociada que, por lo tanto, define el área de referencia sobre la cual se deberán ajustar los parámetros a calibrar. Este criterio se afina al considerar que la calibración se hará desde la subcuenca ubicada aguas arriba hacia las que se ubican aguas abajo, en cuyos casos se desprende que el área de referencia, sobre las cuales se ajustarán los parámetros a calibrar, quedará restringida a la diferencia del área asociada a la subcuenca de la estación fluviométrica en evaluación, con respecto a la subcuenca de la estación fluviométrica ubicada aguas arriba.

Por otro lado, los ocho parámetros definidos de calibración, están relacionados a los objetos MAGIC del tipo zonas de riego, canales, acuíferos y tramos de río, respectivamente, y que evidentemente poseen una distribución espacial diferenciada. De lo anteriormente expuesto, se plantea dos alternativas de cómo los parámetros a calibrar pueden ser ajustados:

- a. Definición homogénea por área de referencia.

Esta opción se justifica por dos razones: de manera de tener una aproximación inicial del efecto que podría tener aplicar un único valor a un determinado parámetro en todo el área de referencia de la calibración realizada, y en la eventualidad que no se tenga antecedentes que detallen los valores de un determinado parámetro para cada elemento existente en el área de referencia de la calibración.

b. Definición diferenciada por área de referencia.

Esta opción replica en cierta forma la opción que la actual interfaz SIG MAGIC posee en el *Módulo de Modelación*, a través del menú colgante *Base de Datos*, donde es posible editar elemento a elemento, de todos los objetos MAGIC, cada una de sus características asociadas. Sin embargo, se plantea que la función a desarrollar en el módulo de calibración tenga específicamente relación con los parámetros a calibrar, de tal manera que se desplieguen sólo estos parámetros de los objetos MAGIC correspondientes.

Con respecto a la forma en que será sistematizado los puntos anteriores, se considera que el usuario defina el nodo de la malla de modelación correspondiente y automáticamente asocie la estación pluviométrica asociada. Con respecto a la definición de las áreas de referencia sobre las cuales se ajustarán los parámetros a calibrar, se consideró que el shape de polígono "Cuencas_Calib" defina la cuenca asociada a las estaciones fluviométricas de calibración. Su asociación se hará a través de códigos en su base de datos.

Una vez que haya sido especificada el nodo relacionado con la estación en evaluación y el área de referencia correspondiente, el módulo automáticamente seleccionará todos los objetos MAGIC contenidos en el área de referencia definida, de tal manera que sea sobre estos elementos que aplique los cambios de los parámetros de calibración que el usuario especificará.

II.2.2.4. Interacción con MAGIC y Operación Módulo de Calibración

La operación del módulo de calibración del MAGIC, desde el punto de vista de interacción con este último, fue analizada conjuntamente con la inspección, determinando dos opciones a desarrollar:

a. Interacción con MAGIC actual.

Como ya se mencionó anteriormente, MAGIC funciona como un software independiente a la interfaz SIG MAGIC, que a partir de la base de datos ACCESS preparada por esta última, y a través de opciones que el usuario especifica, se ejecuta y genera los resultados correspondientes. MAGIC para cada base de datos ACCESS de entrada, realiza el proceso de verificación de la topología de la malla de modelación y la lectura de la información entregada.

Esta forma de operar, limita importantemente el módulo de calibración en desarrollo, ya que la interacción con el usuario requerida por MAGIC imposibilita la opción de automatizar la ejecución de MAGIC con varias

opciones de parámetros de calibración. Adicionalmente, los procesos de lectura y verificación de la topología, contribuyen a esta misma limitación, truncando el desarrollo de una opción de análisis de sensibilidad de los parámetros de calibración, lo cual evidentemente ofrece importantes ventajas para el modelador.

b. Interacción con MAGIC modificado.

Las limitaciones asociadas a la actual operación del MAGIC, detalladas en el punto anterior, pueden ser resultas modificando los aspectos que generan ineficiencias en la interacción del módulo de calibración con MAGIC y dejando este último en un formato tipo consola ejecutable, donde el archivo de entrada y los parámetros de calibración sean especificados mediante archivo interno. De esa manera, la adaptación del MAGIC podría verificar la topología y leer la base de datos de entrada sólo una vez, para luego sólo ser ejecutado con las distintas alternativas de los parámetros de calibración indicadas por el usuario en la interfaz SIG MAGIC y traspasadas a MAGIC internamente.

De las opciones mencionadas, fue desechada la segunda línea de trabajo, debido a la gran demanda de recursos que la inspección debiese incurrir, al ser de su responsabilidad las modificaciones necesarias a realizar en el MAGIC. Por esto, se contempla que la operación del módulo de calibración, se hará mediante la especificación de los valores de los parámetros por parte del usuario, generando la correspondiente base de datos ACCESS de entrada al MAGIC. El usuario será responsable de ejecutarlo y especificar las opciones para que se generen los resultados correspondientes. Posteriormente, a través de una opción del módulo de calibración, estos resultados serán leídos para luego calcular los estadígrafos y generar los gráficos de ajuste.

II.2.2.5. Resultados Esperados

Del análisis conceptual anteriormente expuesto, se evidencia que el módulo de calibración en desarrollo, generará un importante aporte al modelador, primero, al entregar consistentes y variados indicadores de la bondad de ajuste del modelo hidrológico MAGIC, y segundo, al incorporar funciones específicas para lograr una adecuada calibración en cada una de las estaciones fluviométricas consideradas.

II.2.3. Modulo de Generación de Caudales

II.2.3.1. Generalidades

De acuerdo al análisis comparativo de distintos modelos de generación de caudales en cuencas pluviales, incluido en el Anexo 2.3 "Base Conceptual Generación de Caudales", se concluyó que el modelo pluvial mensual o MPL, actualmente incorporado en la herramienta SIG-MAGIC, es adecuado para la generación de caudales a nivel mensual.

No obstante lo anterior, existen algunos aspectos del MPL que pueden ser modificados y mejorados.

En los siguientes puntos se presenta una metodología basada en el MPL hasta hoy utilizado (en adelante MPL_A), que permite simplificar el proceso de calibración de parámetros, mejorar el ajuste entre datos medidos y simulados y asociar a cada parámetro usado, un valor dentro de su rango de variación posible.

II.2.3.2. MPL_A mensual o MPL_A diario

La ecuación principal del método es:

$$S_f = S_i + (I - PP - ET) / H_{max} \quad (1)$$

Donde

S_f: Grado de saturación final

S_i: Grado de saturación inicial

I: Intensidad de la lluvia

PP: Percolación profunda

ET: Evapotranspiración

H_{max}: Máxima lámina saturada de agua contenida en el suelo saturado

S_f y S_i son adimensionales. I, PP, ET están en mm por la unidad de tiempo usada (mm/día o mm/mes) y H_{max} es una lámina de agua en mm.

Si se utiliza la versión diaria, la expresión cambia a:

$$S_f = S_i + (I - PP - ET) / (30 \cdot H_{max}) \quad (2)$$

Por lo tanto, la diferencia entre el caso diario y el mensual es que para el primero:

$$(H_{max})_{mes} = H_{max}$$

y para el caso diario:

$$(H_{\max})_{\text{diario}} = 30 \cdot H_{\max}$$

Es decir, la única diferencia entre aplicar un método u otro, es que para el caso diario para un mismo H_{\max} se utiliza un volumen de suelo saturado 30 veces más grande. Por lo tanto, si no se cuenta con lluvias diarias, el usar un modelo diario en vez de uno mensual, no genera aporte alguno a la precisión del cálculo.

II.2.3.3. Parámetros a calibrar en el MPL_A

Entre los parámetros que incluye el MPL_A se cuentan:

A: Coeficiente que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca.

B: Coeficiente que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca.

FC: Tasa de infiltración correspondiente a suelo saturado ($s=1$), en [mm/día].

α : Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad, es decir, $\alpha = -df/ds$.

S_{min}: Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente.

S_{crit}: Grado de humedad crítico bajo el cual la tasa de evapotranspiración real decrece linealmente.

S_{cc}: Grado de humedad correspondiente a capacidad de campo.

H_{max}: Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado, en mm.

k: Constante de tiempo del embalse subterráneo, en días.

P_{min}: Porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata.

Área: Superficie de la cuenca, en km².

La mayoría de estos parámetros habitualmente se calibran, procurando minimizar la diferencia entre caudales medidos y simulados.

Todos los parámetros anteriores tienen una interpretación física y por consiguiente, un rango de variación. Pero en la utilización generalizada del MPL_A, se han perdido las asociaciones físicas correspondientes, priorizándose el ajuste de caudales medidos con simulados, por sobre la coherencia física de los valores de los parámetros.

Ese proceder ha posibilitado el adecuado cálculo de escorrentía total, pero al separar entre la escorrentía superficial y la subterránea, se dan casos en que ambas escorrentías resultan del mismo orden de magnitud. Lo anterior se aleja de la realidad, puesto que habitualmente la escorrentía subterránea es de un orden de magnitud menor que el de la superficial.

Otra limitación, es la expresión exponencial usada para el flujo saliente del acuífero; esta ecuación y el parámetro temporal k a menudo determinan escorrentías subterráneas nulas. En la mayoría de los sistemas acuíferos los flujos pasantes son muy estables y los caudales varían muy poco. Luego, una escorrentía subterránea nula, en la práctica, no ocurre.

Finalmente, existe un aspecto práctico en el uso del MPL_A , donde se deben ajustar varios parámetros, lo que generalmente lleva asociado un proceso iterativo bastante largo.

II.2.3.4. MPL_{GCF}

Dadas las limitaciones antes detalladas:

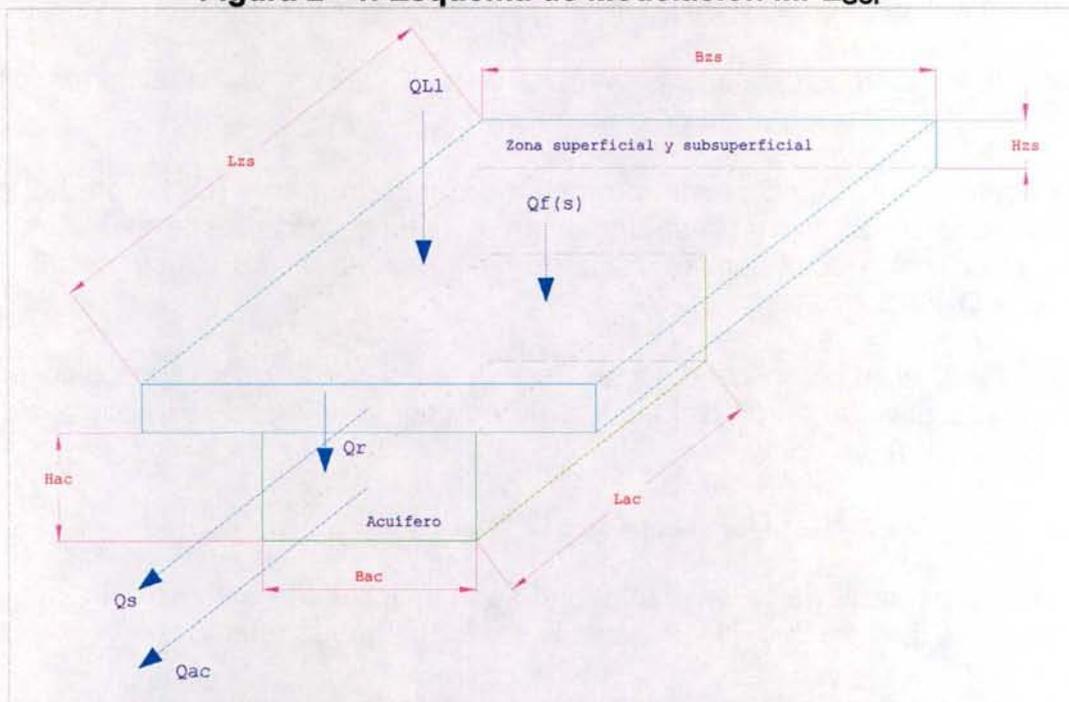
- i) Inutilidad de versión diaria frente a mensual
- ii) Parámetros calibrados que escapan a la realidad física
- iii) Representación poco realista de acuíferos
- iv) Exceso de parámetros de calibración

Se ha elaborado una versión modificada del MPL_A (en adelante MPL_{GCF}) que resuelve en gran medida dichas limitaciones y que es posible calibrar de igual o mejor manera que el MPL_A .

El MPL_{GCF} se ha planteado en términos de caudales (m^3/s), para que resulte independiente de la temporalidad de la estadística de precipitaciones y para que el volumen de suelo saturado máximo (H_{max}) del MPL_A , sea asociable a una característica física del suelo de la cuenca e independiente del intervalo de tiempo usado.

En la Figura 2 -1 se muestra un esquema de los volúmenes de control usados en el MPL_{GCF} y de las principales magnitudes involucradas.

Figura 2 - 1. Esquema de Modelación MPL_{GCF}



Los elementos geográficos de la cuenca se han representado simplificadaamente en el esquema anterior. Éstos son:

H_{ac} : Espesor promedio del acuífero.

B_{ac} : Ancho promedio del acuífero.

L_{ac} : Largo promedio del acuífero.

H_{zs} : Espesor promedio de la zona de retención superficial y subsuperficial (zrzs), el equivalente al H_{max} del MPL convencional.

B_{zs} : Ancho promedio de zrzs.

L_{zs} : Largo promedio de zrzs.

Q_{Ll} : Caudal de lluvia, puede ser promedio diario, mensual u otro.

Q_r : Caudal de recarga desde la superficie al acuífero, equivalente a la percolación profunda del MPL convencional.

Q_s : Caudal de escorrentía superficial (resultado del modelo).

Q_{ac} : Caudal de escorrentía subterránea (resultado del modelo).

$Q_f(s)$: Tasa de infiltración en la zrzs, depende del grado de saturación de ésta (s).

$$Q_f(s) = Q_{FC} + Q_{\alpha} \cdot (1-s) \quad (3)$$

Cuando la zona de retención superficial y subsuperficial (en adelante zrzs) está completamente saturada ($s=1$), $Q_f(s=1)=Q_{FC}$; Q_{FC} corresponde al máximo caudal de

recarga admitido por el acuífero y coincide con el caudal pasante por este cuando escurre a plena capacidad ($(Q_{ac})_{max}$).

Por otro lado, si z_{rss} está vacía ($s=0$), entonces $Q_f(s) = Q_{\alpha}$, que corresponde al máximo caudal instantáneo de entrada a z_{rss} .

Se ha definido el máximo caudal promedio de entrada a z_{rss} (Q_{fp}), como el caudal promedio que se obtendría al saturarse gradualmente z_{rss} , desde $s=0$ a $s=1$. Este caudal está ligado a la lámina H_{max} que se usa en el MPL_A se calcula como $Q_{fp}=(Q_{FC}+ Q_{\alpha})/2$.

Por otro lado, el máximo caudal que en promedio puede quedar retenido en z_{rss} (Q_{fp}), es igual al volumen de dicha zona dividido por la unidad de tiempo considerada (un mes o un día), es decir:

$$Q_{fp} = H_{zs} \cdot B_{zs} \cdot L_{zs} / \Delta t = \Omega \cdot H_{zs} / \Delta t \quad (4)$$

Si se considera parte de la lluvia total que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata (P_{min}), entonces, $(1 - P_{min})$ es la parte que queda retenida.

Si el caudal asociado a la máxima precipitación de la estadística queda retenido en una parte $(1 - P_{min})$, entonces, el máximo caudal promedio que puede quedar retenido en z_{rss} es $Q_{fp} = [(1 - P_{min}) \cdot (Q_{LI})_{max}]$

Por lo tanto, $Q_{fp} = \Omega \cdot H_{zs} / \Delta t = [(1 - P_{inm}) \cdot (Q_{LI})_{max}]$, de donde se puede despejar:

$$H_{zs} = H_{max} = [(1 - P_{inm}) \cdot (Q_{LI})_{max}] \cdot \Delta t / \Omega \quad (5)$$

y

$$Q_{\alpha} = 2 \cdot [(1 - P_{inm}) \cdot (Q_{LI})_{max}] - Q_{FC} \quad (6)$$

Con las expresiones anteriores es posible determinar, a través de cálculos sencillos, las magnitudes Q_{FC} , Q_{α} y Q_{fp} del MPL_{GCF} , que equivalen a FC , α y H_{max} , respectivamente, en el MPL_A .

II.2.3.5. Modelación de Acuíferos con MPL_{GCF}

Como se indicó anteriormente, la forma en la que se ha modelado la escorrentía subterránea en el MPL_A , no es representativa de muchos casos reales. Con ese esquema de modelación se obtienen escorrentías subterráneas nulas y caudales de orden de magnitud similar a los caudales superficiales. Esto se debe a que no existe un límite a la capacidad del acuífero que se imponga como condición de cálculo y

tampoco se ha incorporado una restricción de permeabilidad que evite que el acuífero se desagüe aceleradamente (escorrentía subterránea nula).

Dicha limitación se ha solucionado incorporando en el cálculo las características físicas y geométricas del acuífero y calculando la escorrentía subterránea, en función de estas y de la percolación profunda.

Los parámetros necesarios para representar un acuífero son los siguientes:

H_{ac} : Espesor saturado equivalente máximo, representa el espesor promedio del acuífero al estar a plena capacidad.

B_{ac} : Ancho promedio del acuífero.

k : permeabilidad media equivalente

i : gradiente hidráulico promedio del flujo subterráneo, que puede reemplazarse simplifícadamente por la pendiente del cauce principal de la cuenca.

Con esos parámetros se calcula la capacidad máxima del acuífero, según la ecuación de Darcy:

$$Q_{ac-max} = k \cdot i \cdot B_{ac} \cdot H_{ac} \quad (7)$$

La escorrentía subterránea final se calcula como:

$$\begin{aligned} \text{Si } (Q_{ac}^i + Q_r - \Delta Q) < Q_{ac-max} &\rightarrow Q_{ac}^f = Q_{ac}^i + Q_r - \Delta Q \\ \text{Si } (Q_{ac}^i + Q_r - \Delta Q) \geq Q_{ac-max} &\rightarrow Q_{ac}^f = Q_{ac-max} \end{aligned} \quad (8)$$

Con Q_r : caudal de recarga desde la superficie al acuífero (equivalente a percolación profunda del MPL_A).

En el segundo caso ($(Q_{ac}^i + Q_r) \geq Q_{ac-max}$), se asume que parte de la percolación profunda ($(Q_{ac}^i + Q_r) - Q_{ac-max}$) se recupera o aflora sumándose a la escorrentía superficial.

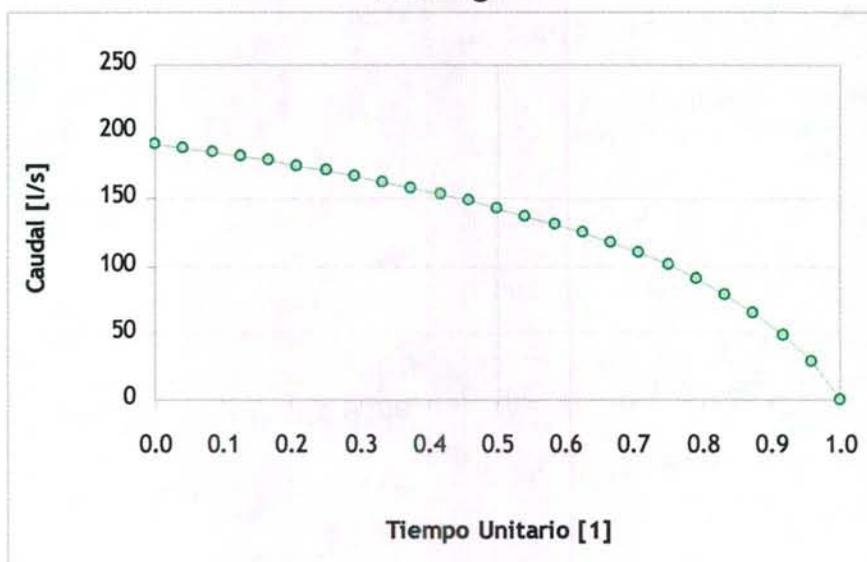
Con la modificación indicada, se obtienen caudales subterráneos más cercanos a los que se desarrollan en sistemas reales y la forma de cálculo resulta totalmente compatible con Magic, puesto que éste incorpora esos parámetros en sus bases de datos.

El término ΔQ considera el desagüe natural del acuífero, es decir, si en un cierto período de tiempo, éste no recibe recarga, el flujo subterráneo pasante tiende a cero. Esto no significa que el acuífero se ha drenado completamente, sino que el gradiente

hidráulico de la napa tiende a 0 y queda sólo un volumen mínimo embalsado y la escorrentía subterránea de salida de la cuenca es nula.

Se ha supuesto que mientras el acuífero no recibe recarga, su caudal de salida se reduce según la expresión logarítmica que se muestra en la Figura 2 -2.

Figura 2 - 2. Caudal de Escorrentía Subterránea para el Acuífero sin recibir Recarga



La expresión graficada tiene la siguiente forma:

$$Q(t_u) = (Q_{ac})_{max} + a \cdot \ln (1.1-t_u) + b \quad (9)$$

donde:

$Q(t_u)$: Caudal de escorrentía subterránea del acuífero en tiempo unitario t_u (sin recibir recarga).

$(Q_{ac})_{max}$: Caudal de escorrentía subterránea con acuífero lleno.

a : Parámetro $a = - b / \ln (1.1)$

t_u : tiempo unitario. Si el acuífero de desagua en N meses, el t_u correspondiente al mes n es n/N .

b : Parámetro $b = [(Q_{ac})_{max} - (Q_{ac})_{min}] / [\ln (0.1) / \ln (1.1) - 1]$

$(Q_{ac})_{min}$: Caudal mínimo de escorrentía subterránea; el acuífero podría, teóricamente, desaguarse completamente ($(Q_{ac})_{min} = 0$) o parcialmente, en los N meses considerados.

El término ΔQ corresponde a la función definida por la primera derivada de la curva del Gráfico 1, integrada entre $t_u(Q_{ac}^i)$ y $t_u(Q_{ac}^i) + \Delta t$ (con $\Delta t = 1$ mes, 1 día u otro intervalo de tiempo)

$t_u(Q_{ac}^i)$ es la función inversa de $Q(t_u)$ del Gráfico 1.

El tiempo **N** se puede estimar como el cociente entre la dimensión longitudinal del acuífero y la permeabilidad promedio (L_{ac}/k).

II.2.3.6. Calibración de parámetros del MPL_{GCF}

El coeficiente **A**, que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca, se obtiene dividiendo la lluvia promedio anual sobre la cuenca con el promedio anual de la estadística base utilizada. La lluvia promedio sobre la cuenca se calcula generando una curva de precipitación en función de la elevación, que permite calcular la lluvia promedio de la cuenca en función de su hipsometría.

Los caudales simulados son muy sensibles a este parámetro. Si la función Lluvia-Elevación no es tan representativa de la cuenca, el parámetro **A** no es adecuado y se restringe la posibilidad de calibrar adecuadamente. Por ello, se ha definido

$$A = A_1 \cdot A_2 \quad (10)$$

A₁: Cuociente entre la lluvia media de la cuenca, según curva $L(z)$, y la lluvia media anual de la estación base.

A₂: Parámetro que se debe calibrar contrastando niveles medidos con simulados.

El coeficiente **B**, que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca, se puede mantiene fijo (**B=1**), si se utilizan directamente las evapotranspiraciones potenciales del Atlas Agroclimático, calculando un promedio ponderado, asociable a la cuenca, según las intersecciones de los distritos agroclimáticos que cubren ésta.

Como se vio anteriormente, los parámetros **FC**, α y H_{max} del MPL_A adaptados en el MPL_{GCF} , se pueden calcular. En MPL_{GCF} corresponden a Q_{FC} , Q_α y Q_{fp} , respectivamente.

El parámetro **k** (constante de tiempo del embalse subterráneo) no se usa, ya que se cambió la forma de modelar los acuíferos (ver punto 5).

El grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente (S_{min}) se puede estimar en función del grado de humedad correspondiente a capacidad de campo ($S_{min} = S_{cc} / 1.85$).

El grado de humedad crítico, bajo el cual la tasa de evapotranspiración real decrece linealmente, debe encontrarse entre S_{min} y S_{cc} .

En la bibliografía se han recopilado los siguientes rangos para S_{min} , S_{cc} y S_{crit} .

Cuadro 2 - 1. Rangos de Variación de Parámetros

Parámetro	Mínimo	Máximo
S_{\min}	0.010	0.299
S_{cc}	0.019	0.553
S_{crit}	0.010	0.553

Fuente: Soil Water Characteristics, Keith E. Saxton

Con esos rangos de variación definidos, calibración del MPL_{GCF} se reduce a ajustar los siguientes 4 parámetros:

A_2 : Factor que pondera las lluvias mensuales.

P_{\min} : Porcentaje de la lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata.

S_{crit} : Grado de humedad crítico bajo el cual la tasa de evapotranspiración real decrece linealmente, sujeto a: $S_{\min} < S_{crit} < S_{cc}$ y $0.010 < S_{crit} < 0.553$

S_{cc} : Grado de humedad correspondiente a capacidad de campo, sujeto a: $0.019 < S_{cc} < 0.553$.

II.2.3.7. Metodología de cálculo de MPL_{GCF}

La metodología de cálculo es análoga a la del MPL_A .

a. Caudal de infiltración

El caudal de infiltración en zrss es:

$$Q_l = Q_{Tp}, \text{ si } Q_{Tp} < Q_f \quad \text{ó} \quad Q_l = Q_f, \text{ si } Q_{Tp} > Q_f \quad (11)$$

Donde:

Q_f : Caudal de infiltración del suelo, varía linealmente con el grado de saturación de acuerdo a la relación:

$$Q_f = Q_{FC} + Q_{\alpha} \cdot (1 - s) \quad (12)$$

Q_{FC} corresponde al máximo caudal de recarga admitido por el acuífero y coincide con el caudal pasante por este cuando escurre a plena capacidad ($(Q_{ac})_{\max}$).

Q_{α} : máximo caudal instantáneo de entrada a zrss.

Q_{Tp} : Caudal de lluvia que infiltra en zrss, es equivalente a TP del MPL_A .

b. Estimación de la Evapotranspiración

El caudal evapotranspirado Q_{ET} se estima a partir del grado de saturación del suelo, para lo cual se supone una tasa de evapotranspiración igual a la potencial (ETP) para humedades mayores a S_{crit} y una tasa de evapotranspiración decreciente en forma lineal hasta anularse, para una humedad equivalente al punto de marchitez permanente S_{min} .

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} Q_{ET} &= 0 \text{ si } s < S_{min} \\ Q_{ET} &= Q_{ETP} \cdot (s - S_{min}) / (S_{crit} - S_{min}) \text{ si } S_{min} < s < S_{crit} \\ (13) \\ Q_{ET} &= Q_{ETP} \text{ si } S_{crit} < s \end{aligned}$$

S_{min} y S_{crit} son parámetros del modelo y Q_{ETP} (evapotranspiración potencial), es dato de entrada.

c. Caudal de recarga desde la superficie al acuífero (percolación profunda)

Para evaluar el caudal de recarga desde la superficie al acuífero (percolación profunda PP, en MPLA), se supone que ésta ocurre sólo para humedades mayores a un nivel umbral equivalente a la capacidad de campo S_{cc} y que aumenta en relación cúbica con la humedad, hasta alcanzar el estado de saturación en equilibrio, con el caudal Q_{FC} .

$$\begin{aligned} Q_r &= 0 && \text{si } s < S_{cc} \\ Q_r &= Q_{FC} \cdot [(s - S_{cc}) / (1 - S_{cc})]^3 && \text{si } s > S_{cc} \end{aligned} \quad (14)$$

d. Balance

El procedimiento consiste en calcular para cada intervalo de tiempo (día, mes u otro), el grado de saturación final s_f conocido el grado de saturación al inicio del intervalo s_i y los caudales de infiltración, recarga al acuífero y evapotranspiración:

s_f se calcula como:

$$s_f = s_i + (Q_i - Q_r - Q_{ET}) / Q_{fp} \quad (15)$$

Donde:

$$\begin{aligned} Q_l &= Q_l (s_p) \\ Q_r &= Q_r (s_p) \\ Q_{ET} &= Q_{ET}(s_p) \\ s_p &= (s_i + s) / 2 \end{aligned} \quad (16)$$

Con:

$$s = s_i + (Q_l^i - Q_r^i - Q_{ET}^i) / Q_{fp} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Q_l^i &= Q_l^i (s_i) \\ Q_r^i &= Q_r^i (s_i) \\ Q_{ET}^i &= Q_{ET}^i (s_i) \end{aligned} \quad (18)$$

III. IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE

III.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo corresponde a la implementación de la interfaz SIG MAGIC en la cuenca del Río Maule, para lo cual se ha generado la información necesaria a partir del análisis de suficiencia de información realizado en el capítulo I. En este análisis se ha especificado los antecedentes que son de utilidad para el estudio, ya sea de manera directa o a través de modificaciones, procediendo a organizar y procesar la información existente, tal que cumpla con los requerimientos para la implementación del MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC.

Los principales estudios utilizados como referencia para la implementación en la cuenca del Maule, corresponden al estudio "*Asesoría para el Complemento y Actualización de la Modelación Hidrológica de la Cuenca del Río Maule*" desarrollado por Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda. el 2004, que en adelante se le denominará **estudio Rodhos**, el "*Estudio de Bases para el Plan Director de la cuenca del Río Maule*"; elaborado por Ayala, Cabrera y Asociados para la DGA el 2003, en adelante **estudio PD Maule**, el estudio "*Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del Río Maule, VII Región*" desarrollado por CONIC-BF para la DGA el 1998, que en adelante se le denominará **estudio ModMaule** y el "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Maule". CEDEC 1977, en adelante **estudio Integral**. Los anteriores estudios, sumados a las otras fuentes de información identificados en el capítulo I, se consideran como el punto partida en la preparación de los datos, a partir de los cuales se identifican aquellos antecedentes que es necesario verificar, actualizar, complementar o levantar desde terreno.

III.2 GENERALIDADES

El área correspondiente a la cuenca hidrográfica del río Maule se localiza casi completamente en la VII Región del país. Se ubica entre los paralelos 35°05' y 36°30' de latitud sur y los meridianos 70°25' y 72°30' de longitud oeste. Tiene sus nacientes en la cordillera de Los andes, sobre los 3.800 metros sobre el nivel del mar.

Los principales tributarios al Río Maule son los ríos Loncomilla, Melado, Perquilauquén, Claro, Putagán, Achibueno, Longaví, Ancoa y Cauquenes.

En sus primeros tramos, el río Maule escurre en dirección noroeste. Luego, a unos 40 Km de su nacimiento, recibe por el norte al río Cipreses que nace en la laguna Invernada. Más abajo, a unos 30 Km del punto anterior recibe su principal afluente cordillerano, el Melado, el cual le entrega los aportes de toda la zona alta de la parte sur de la cuenca.

El río Melado nace en la laguna del Dial y a través de los ríos Troncoso y de La Puente capta las aguas del cordón divisorio, de modo que su caudal es poco menor

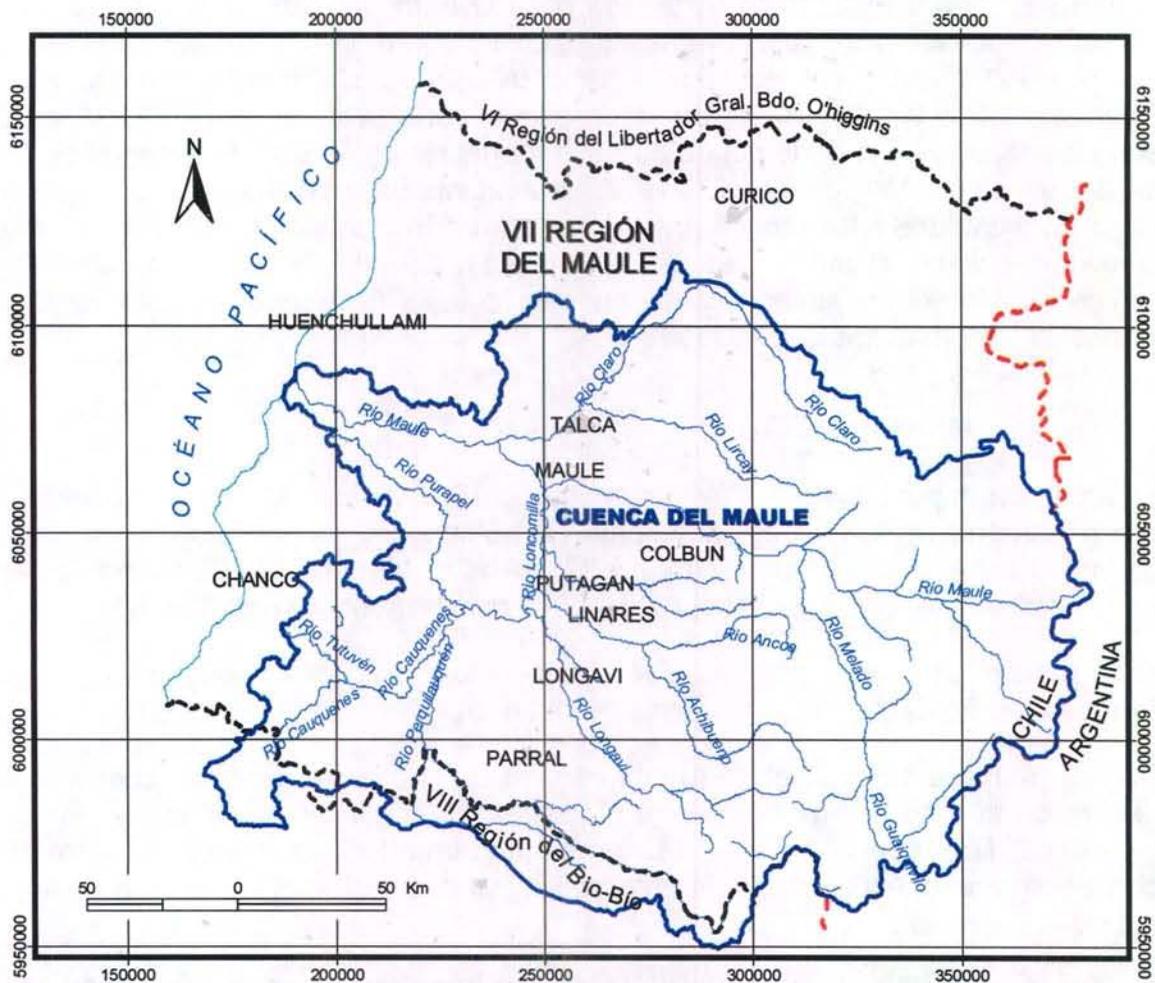
al Maule mismo. Luego de atravesar la depresión intermedia y junto a las primeras estribaciones de la Cordillera de la Costa, el Maule recibe como afluentes al río Loncomilla desde el sur y al río Claro desde el norte.

El Loncomilla se forma por la unión de los ríos Longaví y Perquillauquén, siendo este último el que se ubica más al sur en el sistema hidrográfico. A su vez, el Perquillauquén capta las aguas de los contrafuertes de la Cordillera de la Costa a través de los ríos Cauquenes y Purapel. El río Loncomilla recibe más tarde los aportes de los ríos Achibueno, que a su vez recibe los aportes del río Ancoa, y Putagán.

Otro tributario del Maule en la depresión intermedia es el río Claro, que capta las aguas del sector norte de la cuenca.

La Figura 3-1 muestra la ubicación de la cuenca del Río Maule con respecto a los límites político - administrativos y los principales tributarios antes mencionados.

Figura 3 - 1. Ubicación Cuenca del Río Maule y sus principales Tributarios.



III.3 BASE DE DATOS MAGIC

El Departamento de Estudios y Planificación de la Dirección General de Aguas ha suministrado la nueva versión de la base de datos que alimenta el modelo MAGIC v2.0, razón por lo cual la labor de actualización de las tablas correspondientes se realizará de manera que el poblamiento de los datos para la cuenca del Maule, sea compatible con esta nueva versión. El número de tablas presentes en esta Base de Datos son 51, las cuales han sido agrupadas por temas de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 3-1.

Esta nueva versión de la estructura de datos, modifica una serie de campos (nombres, formatos, etc.) y agrega 5 nuevas tablas con respecto a la versión del modelo MAGIC V1.4.7, el cual es compatible con la *Interfaz SIG MAGIC V1.0*. Todos los cambios de la nueva versión de la base de datos, han sido considerados en la actualización de la Interfaz SIG MAGIC.

Con respecto a las tablas que fueron preparadas por el *estudio de Rodhos*, es necesario mencionar que esta nueva versión de la base de datos modifica gran parte de las trabajadas en dicha consultoría, siendo las principales aquellas asociadas al tema de zonas de riego. Detalles respecto a las modificaciones y/o complementos necesarios para generar los datos compatibles con MAGIC V2.0, se presentan en un análisis por tema en el punto III.4.

Cuadro 3 - 1. Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas

N°	Elemento MAGIC	TABLAS MAGIC											
		1	2	3	4								
1	Acuíferos	AC_PARAM	AC_QZS	AC_QZV	AC_QZVE								
		30	31	32									
2	Pozos	PO_PARAM	PO_Q	PO_USOS									
		6	7	8	36								
3	Canales	CA_DER	CA_PARAM	CA_TRAMOS	SECCIONES								
		12	27	37	38	39	40	41	42	43	47	48	51
4	Zonas de riego	CULT_TIPOS	MR_TIPOS	ZR_CULT_ETP	ZR_CULT_PAR	ZR_CULT_PEF	ZR_RET	ZR_AC_NnM	ZR_PARAM	ZR_SR	ZR_QPR	ZR_CULT_SC	ZR_ANC_NNM
		9	10										
5	Centrales hidroeléctricas	CH_PARAM	CH_Q										
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
6	Embalses	EM_CA	EM_DEMGE	EM_FV	EM_NODOS	EM_PARAM	EM_QGENMAX	EM_QV	EM_SALIDAS	EM_SVH	EM_TASEV		
		5	26										
7	Cuencas no controladas	AN_PARAM	CL_PARAM										
		13	49										
8	Descargas puntuales	DP_PARAM	DP_Q										
		33											
9	Caudales ecológicos	QE_PARAM											
		28	29	34	35	46	50						
10	Topología	NO_DIST	NO_PARAM	RI_PARAM	RI_TRAMOS	NO_DIST_Q	EST_CALIB						
		25											
11	Fluviometría	ESTAD_Q											
		24											
12	Pluviometría	ESTAD_PP											
		11	44	45									
13	Captaciones Puntuales	CP_PARAM	CP_RETORNOS	CP_Q									

Fuente: Elaboración Propia

III.4 ANTECEDENTES PARA POBLAMIENTO DE MAGIC V2.0

A continuación se presenta los antecedentes existentes que son requeridos para la implementación de MAGIC en la Cuenca del Maule, detallando las labores desarrolladas de manera de complementar adecuadamente los datos para que sean compatibles con MAGIC V2.0.

III.4.1 Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica

Una de las labores relevantes en la preparación de la información para la aplicación del modelo, tiene relación con la generación del Modelo Digital Elevación (MDE), el cual resulta fundamental para la generación de las características de subcuencas aportantes a través del modelo morfométrico desarrollado por el MOP e incorporado en la interfaz SIG-MAGIC. Para definir el MDE a utilizar, se realizó una comparación entre uno generado a partir de curvas de nivel existentes v/s el generado a partir del modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Misión) de la NASA disponible a una resolución de 90m. Para la generación del MDE se utilizó como punto de partida las coberturas de curvas de nivel y de la red hidrográfica, incorporadas en el SIIR-CNR. Las curvas de nivel, las cuales mayoritariamente se presentan cada 25 metros, fueron editadas para corregir los problemas de atributos y de empalme existentes, además de complementar aquellos sectores con problemas de cobertura.

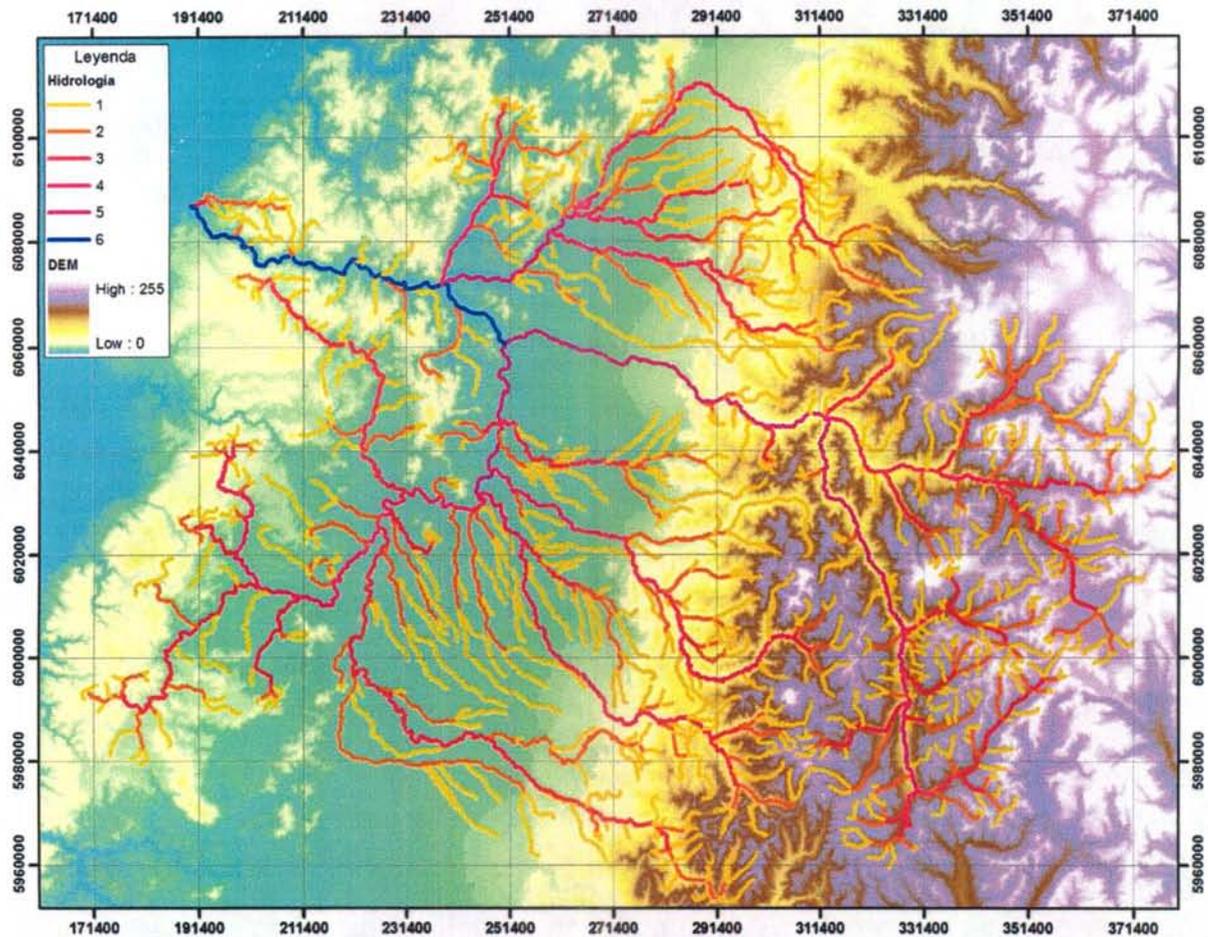
De igual manera la red hidrológica, se editó con la finalidad de generar la topología definida para dicha cobertura. Cabe mencionar que las herramientas presentes en el módulo de preparación de datos existente en la Interfaz SIG-MAGIC resultan insuficientes para preparar la cobertura de la red hídrica, siendo necesario acudir a otras herramientas comerciales, tal como ARCINFO.

La Figura 3-2 muestra el MDE y la red hídrica topológica generada. A continuación se presenta detalles respecto al procesamiento de MDE y de la Red Hídrica.

- **Procesamiento de la Red Hídrica**

La capa de hidrografía presente en el SIIR-CNR corresponde a una digitalización detallada de todo cauce superficial presente en el área de estudio y dado que su finalidad es la representación de los cauces naturales, no es posible utilizarla en el correspondiente análisis y procesamiento topológico. Para ello se requirió editar dicha hidrografía de tal modo de contar con una red topológica de arcos simples y nodos conectados, incorporando además la propiedad de "flujo" que indica el sentido de escurrimiento.

Figura 3 - 2. MDE y Red Hídrica Topológica Cuenca del Río Maule.



Si bien la interfaz del SIG MAGIC posee herramientas para crear y editar una red hídrica, se ha detectado que la herramienta "Junta 2 Elementos Seleccionados" no funciona bien, entregando continuamente el mensaje: "Los Arcos no se pueden unir, direcciones opuestas". También se detectó que para un gran volumen de información (cantidad de elementos), como es el caso de la red de la cuenca del Río Maule, la respuesta de edición es lenta y engorrosa. Adicionalmente, se requiere una herramienta que permita el desplazamiento (paneo) mientras se dibuja un arco, además de incorporar una opción para configurar tolerancia ocupada en el snap (unión automática de nodos), ya que actualmente esta incerteza podría generar que intersecciones de cauces se produjeran en lugares inadecuados.

Por las razones antes mencionadas, se definió editar la red hidrológica con ArcGIS ArcInfo, tomando como base la estructura de la tabla generada por el SIG MAGIC para su red hidrológica, y así contar con la capa deseada para el posterior procesamiento del MDE. Posteriormente, se continuó con el procedimiento correspondiente en el SIG MAGIC, agregando el identificador único y realizando la validación del tema. Este último proceso se hizo de manera iterativa en función de la

identificación de los errores mediante la herramienta "Crear/Verificar red topológica", y la corrección de ellos con ARGINFO, hasta que la red quedara completamente validada. Es importante mencionar que el SIG MAGIC al correr la herramienta de verificación de la red hidrológica, exige que la tabla de contenidos incorpore únicamente este tema, ya que el proceso requiere mucha memoria y otro tema en la vista anula la operación.

- **Preparación del MDE (Modelo digital de Elevación)**

Cómo se ha descrito anteriormente, el objetivo buscado es realizar la comparación entre un MDE a partir de curvas de nivel existentes y otro MDE que fue descargado del sitio Web de la NASA que cuenta con una resolución de 90 m.

El MDE generado con datos existentes, se realizó a partir de curvas de nivel incorporadas en el SIIR-CNR, siendo necesario realizar un trabajo de edición ya que algunos sectores presentaban curvas con diferentes ordenes de escala, es decir, se detectaron sectores con curvas cada 25m y otros con curvas cada 50m. Se revisó cada carta IGM escala 1:50.000 para verificar que el hecho se asociaba a información original, encontrando que efectivamente algunas cartas a pesar de estar a escala 1:50.000 fueron publicadas con curvas cada 50m. En otros casos se digitalizó las curvas intermedias faltantes. Adicionalmente se editó las curvas de nivel en relación a su información de cota y a la disposición gráfica en sectores de empalme con cartas adyacentes.

Otro problema detectado fue la ausencia de curvas de nivel en el sector cordillerano del territorio trasandino, lo cual genera una mala definición de las alturas en los límites del área de estudio. Esto configura un importante problema para la utilización de las curvas existentes en la generación del MDE de la cuenca del Maule.

Finalmente, con toda la información formateada y revisada se procedió a generar el MDE con la herramienta incorporada en la Interfaz SIG MAGIC, siendo imposible que esta finalice el proceso. Cabe mencionar que esta aplicación fue probada con un sector pequeño del área de interés, obteniéndose un resultado satisfactorio, razón por la cual se atribuye el problema al gran consumo de recursos computacionales que requiere hacerla funcionar con una resolución de 50 metros cada píxel. Esto fue verificado encontrando que la herramienta para toda del área de estudio funciona con 500 metros pero no con 50 metros. Por otro lado, es necesario comentar que esta aplicación fue instalada y probada en distintos computadores encontrando que en un 60% no corrió adecuadamente. Por todo lo anterior, no fue posible la generación del MDE a partir de curvas de nivel y la red hídrica específicamente preparada para estos efectos.

Con respecto al MDE SRTM, este corresponde a imágenes de radar restituidas que pueden ser descargadas gratuitamente desde el centro de datos EROS del USGS

(Geological Survey de los Estados Unidos) y enmarcado en las políticas de la misión **Topografía de Radar** de la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration). La resolución para Latinoamérica es de 3 segundos de arco, que para la latitud de las cuencas en cuestión no sobrepasa los 90m. Dicho de otra manera, cada píxel con cota mide aproximadamente 90x90 m. El formato de estas imágenes son Bil, Tiff y Grid de ESRI y se encuentran proyectadas en el sistema WGS 84, en adelante serán llamadas Grid.

Estos datos presentan mayor cobertura de las áreas de estudio que la cartografía regular del IGM. Sin embargo fue necesario transformar el sistema de proyección de estos Grid y realizar un ajuste en ArcGis ArcInfo con el método Shift para que queden georreferenciados en el mismo sistema del resto de la cartografía base a utilizar en la modelación, es decir, Huso 19 Datum PSAD 56.

Por otro lado las imágenes SRTM deben utilizarse considerando algunas limitaciones, tales como la presencia de diferencias en datos altimétricos respecto de la cartografía del IGM, con una variación entre 10 y 90 m., la ausencia de información en los sectores montañosos y la necesidad de una rectificación con puntos de control debido a que el eje de los valles no son colineales con los cauces que se disponen en la cartografía regular. Para realizar el llenado de los sectores sin información, se utilizó datos interpolados a partir de la cartografía Regular del IGM escala 1:50.000.

A través de los siguientes link se puede acceder a los datos de la misión de Topografía de Radar.

<http://edc.usgs.gov/srtm/data/obtainingdata.html>

<http://seamless.usgs.gov/>

Finalmente, con el MDE definitivo se revisó el funcionamiento del proceso de definición de subcuencas haciendo uso de la función específica incorporada en la Interfaz SIG MAGIC, de lo cual se detectaron las siguientes consideraciones:

- La definición de subcuencas se realiza considerando la red hídrica topológica y su resultado es directamente dependiente del nivel de detalle de esta red hídrica y de la resolución del MDE. En efecto, una red hídrica poco densa generará incluso definiciones de subcuencas erróneas por lo cual se tener especial cuidado con los resultados de esta función.
- Al seleccionar el cauce de interés, el usuario debe tener una vista a una escala superior a 1:40.000, (1:1-1:35.000 aprox.) para que el sistema no arroje mensajes de error por la ausencia de la selección.
- La cuenca generada se inicia en torno a un cauce completo y se traza aguas arriba de este. Esto implica que no es posible generar cuencas automáticas para el primer cauce aportante (el que se encuentre aguas arriba, o bien, el que en su tabla tenga el valor del orden 1).

III.4.2 Acuíferos

Este elemento permite la representación de embalses subterráneos existentes en la cuenca, pudiéndose estimar la escorrentía subterránea, la extracción a través de pozos, la percolación de elementos superficiales, afloramientos presentes y variación del volumen de almacenamiento para ciertos períodos. Para esto MAGIC considera acuíferos regulares (con secciones de entrada y salida rectangulares, trapezoidales, triangulares o semicirculares) con simplificaciones y limitaciones que obliga a definir los acuíferos en serie, pudiendo descargar a único acuífero en el sentido longitudinal del escurrimiento.

La información requerida por MAGIC se asocia principalmente a la definición de los acuíferos (considerando las limitantes presentes), su topología, las características geométricas y parámetros elásticos. Este tema fue abordado en el estudio de Rodhos, pudiendo desarrollar principalmente la división en 26 subsistemas acuíferos, algunas conectividades asociadas (zonas de riego y canales) y la identificación de afloramientos.

III.4.2.1 Exploración Geofísica

Con la finalidad de mejorar y complementar la información existente, se contrató la realización de exploración geofísica, la cual permite determinar el espesor del relleno sedimentario y, por lo tanto, la profundidad del basamento rocoso. Durante el mes de Noviembre del 2005, se realizaron las labores de terreno asociadas a la obtención de tres perfiles gravimétricos: uno paralelo a la ruta 5 sur con una extensión de 163 Km. que se extiende aproximadamente entre el Río Claro por el norte y el Río Perquilauquén por el sur (L1), con puntos cada 3,0 km equivalentes a 53 estaciones gravimétricas; un segundo perfil en el valle con orientación oriente – poniente en el sector de Bobadilla (L2), muy cercano al río Maule, con una extensión de 34 Km con 14 estaciones gravimétricas; y un tercer perfil también con trazado oriente – poniente en el sector de Parral (L3) con una extensión de 89 Km con 33 estaciones gravimétricas. En el sector Norte de la cuenca no se consideró perfil gravimétrico con orientación oriente – poniente debido a que recientemente, en el estudio de calidad de aguas subterráneas de la cuenca del Mataquito, se ha realizado un perfil en el sector limítrofe entre la cuenca del Maule y la cuenca del Mataquito por lo que resulta un antecedente perfectamente complementario con los perfiles realizados. La Figura 3-3 presenta el trazado de los perfiles gravimétricos realizados, a escala 1:250.000 sobre una imagen topográfica. Las Figuras 3-4, 3-5 y 3-6 muestran el resultado del modelamiento geofísico de los tres perfiles realizados. El informe detallado de la geofísica realizado por la empresa GEODATOS S.A., se entrega en el Anexo 3.1

La información de la exploración geofísica, ha sido utilizada para validar y/o corregir la definición interfaz sedimento – basamento rocoso considerado por el *estudio de*

Rodhos, además de utilizarse para completar las características geométricas de cada acuífero definido.

Figura 3 - 3. Trazado Perfiles Gravimétricos Valle del Maule.

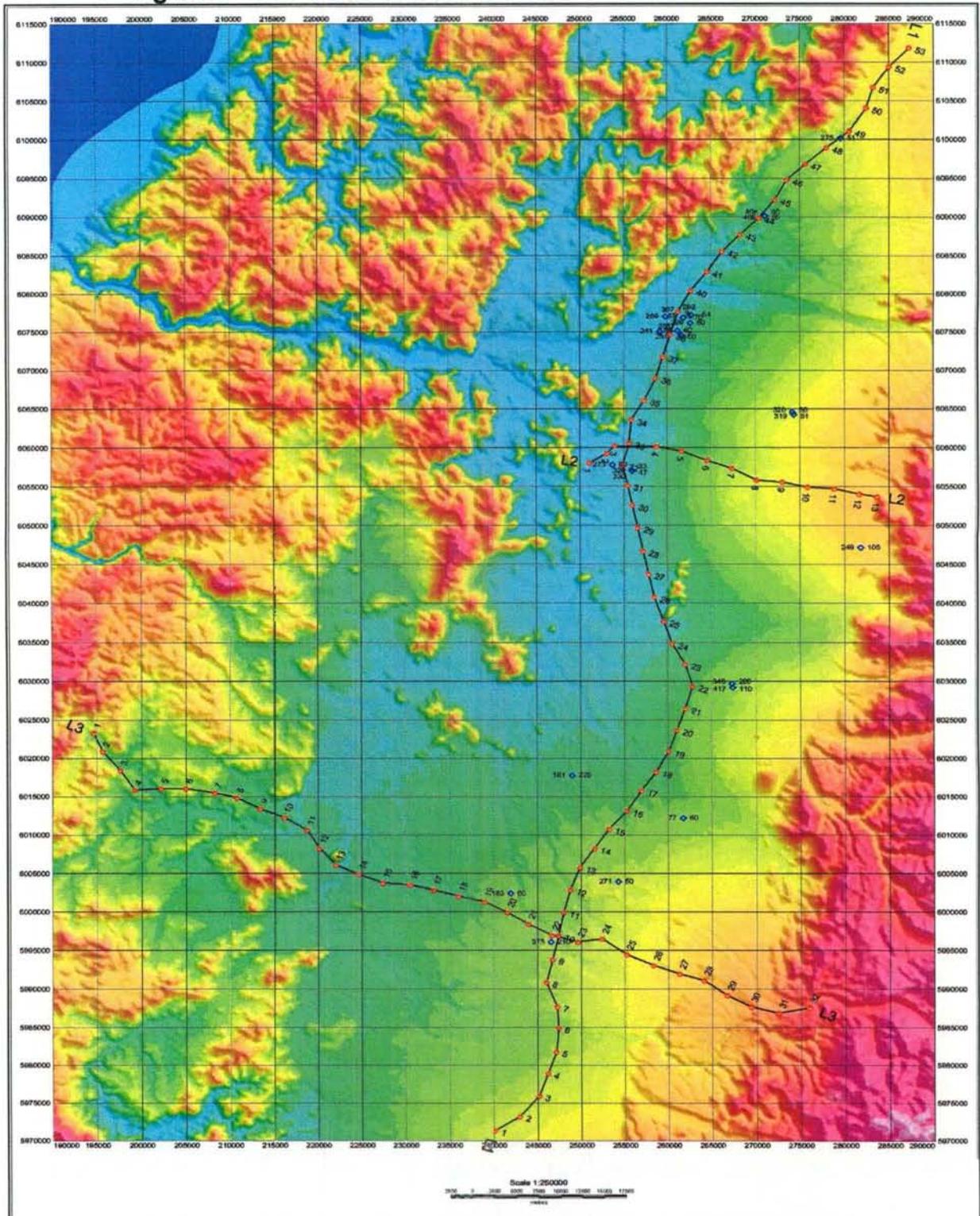
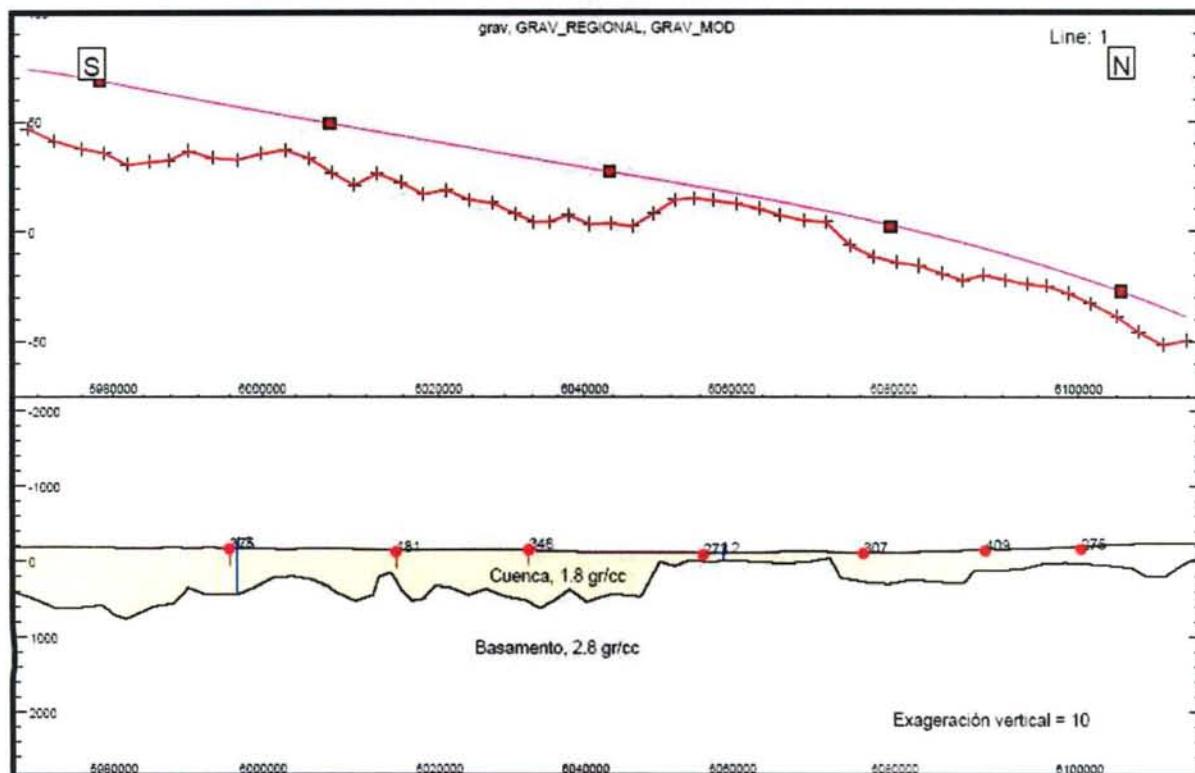


Figura 3 - 4. Perfil Longitudinal L1. Valle del Maule

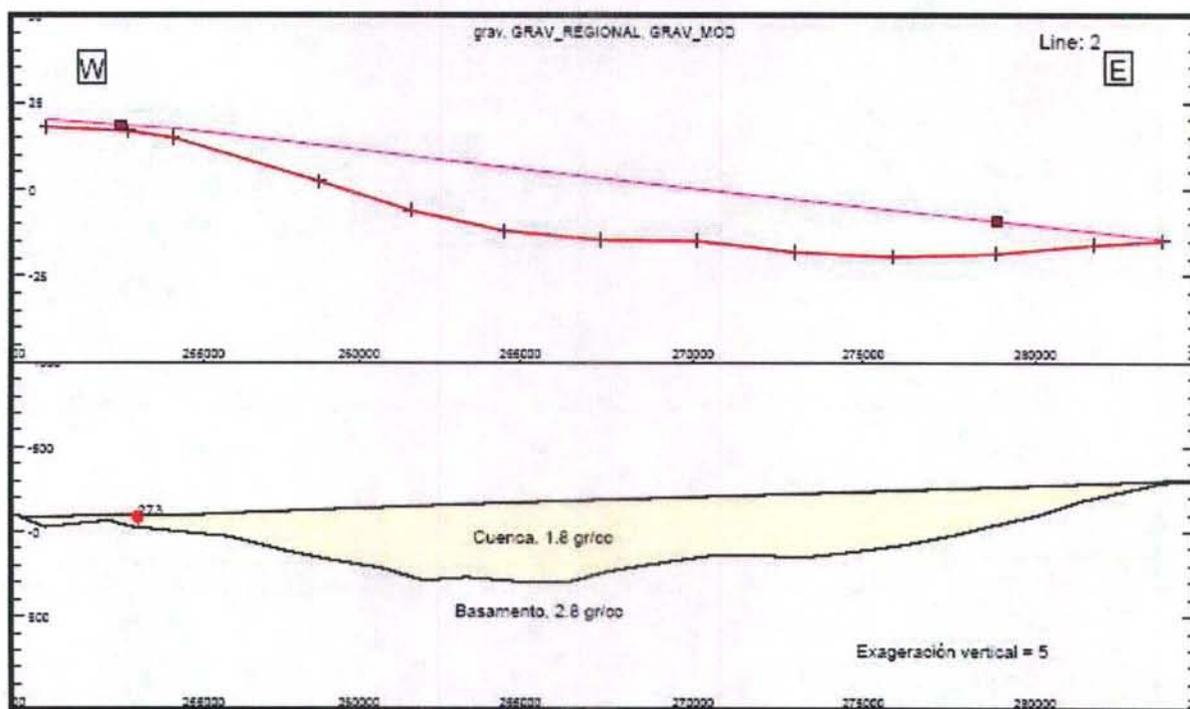
GCF INGENIEROS CONSULTORES
GRAVIMETRÍA CUENCA RÍO MAULE
PERFIL LONGITUDINAL 1 (SUR-NORTE)



IATOS Model/Vision Pro - Thu Dec 15 16:36:17 2006

Figura 3 - 5. Perfil Transversal L2. Valle del Maule

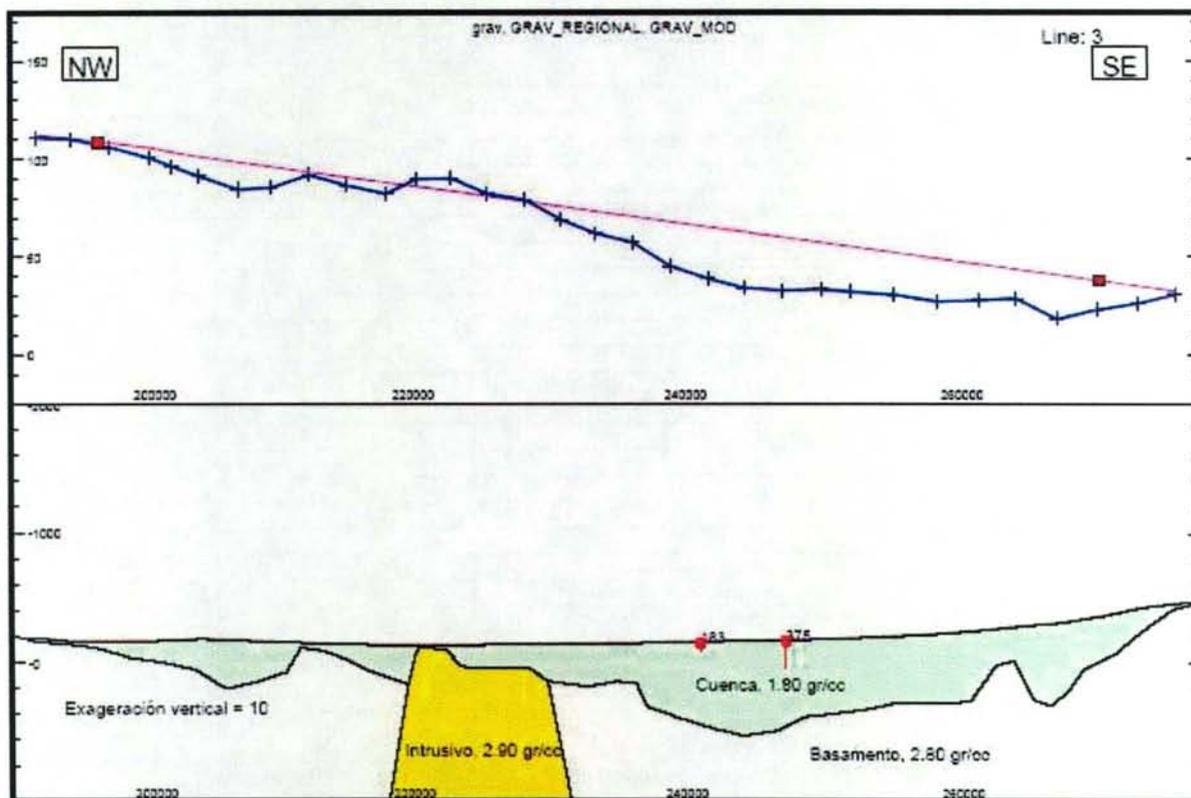
GCF INGENIEROS CONSULTORES
GRAVIMETRÍA CUENCA MAULE
PERFIL TRANSVERSAL 2 (NORTE)



DB ModelVision Pro - Fri Dec 05 16:38:49 2008

Figura 3 - 6. Perfil Transversal L3. Valle del Maule

GCF INGENIEROS CONSULTORES
GRAVIMETRÍA CUENCA MAULE
PERFIL TRANSVERSAL 3 (SUR)



TCB ModelVision Pro - Fri Dec 09 16:51:49 2005

III.4.2.2 Parámetros Hidrogeológicos

Con respecto a antecedentes de parámetros elásticos de la cuenca del Maule, cabe mencionar los incorporados en el estudio Integral, donde se presentan coeficientes elásticos determinados por sectores de la cuenca. El Cuadro 3-2 muestra estos coeficientes.

La sectorización mencionada, se obtuvo a través de la interpretación de pruebas de bombeo existentes y algunas desarrolladas particularmente en dicho estudio, completando un total de 64 pruebas. Dada la baja densidad de puntos considerados en la sectorización de los parámetros elásticos en toda la cuenca del Maule, se ha definido complementar los datos a través de una correlación entre la Transmisibilidad (T) y el Gasto específico (Ge) de todos aquellos pozos que posean esta información.

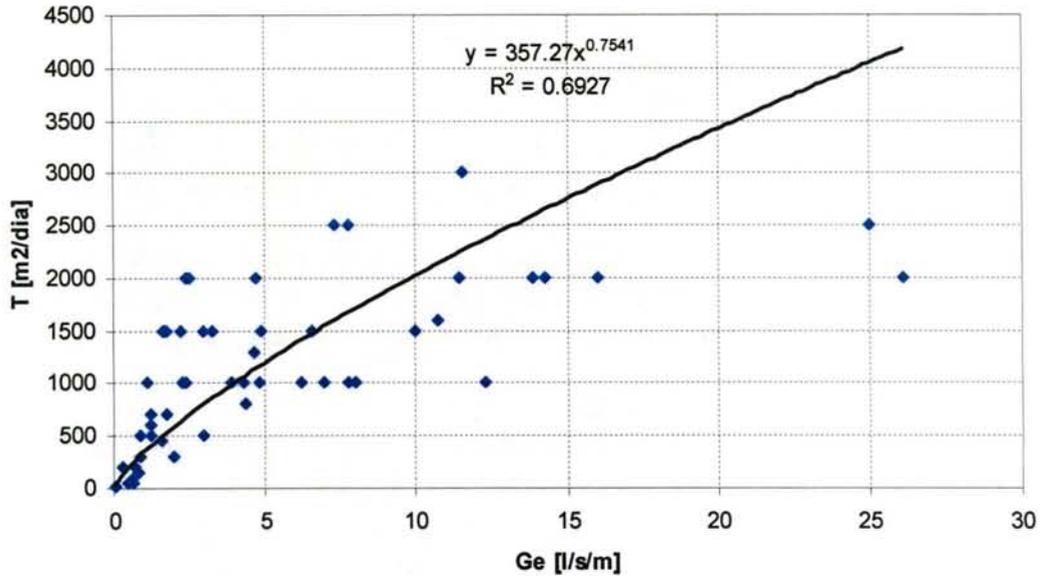
Se seleccionaron 52 pozos contemplados en la estimación de los parámetros elásticos, encontrando una correlación del 65% entre T y Ge. La Figura 3-7 indica el gráfico de dispersión de ambos parámetros, además de la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores usados.

Cuadro 3 - 2. Coeficientes Elásticos Cuenca del Maule por Sectores

ÁREA	SUB-ÁREA	T (m ² /día)	K (m/s)	S
ÁREA NORTE				
Cumpeo	Panguilemo	400	$4,6 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
	Cumpeo	1.500	$1,7 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}
	Pelarlo	2.000	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
San Clemente		2.000	$2,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
Talca		2.000	$2,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
ÁREA CENTRAL				
Maule Sur		3.500	$4,1 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
Linares	Rari	200	$3,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Yerbas Buenas	200	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
	Linares	1.700	$7,9 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	San Antonio	1.700	$7,9 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Terminal Enap - Miraflores	1.000-3.500	$5,8 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-2}$
	Putagán	200	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
San Javier-Villa Alegre		3.500	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$
Melozal		500	$5,8 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
Villaseca		1.500	$1,7 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
ÁREA SUR				
	Área Longaví-Niquén	3.000	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$10^{-2} - 10^{-4}$
	Área Perquillauquén Superior	4.500	$1,7 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
	Área Quella	1.500	$8,7 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Área Purapel	500	$1,2 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
	Área Valles Cordillera Costa	100	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Área Perquillauquén Inferior	2.500	$9,6 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Área Vaquería	100	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
	Área de Valles Andinos	7.800	-	10^{-3}

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Maule". CEDEC 1977

Figura 3 - 7. Dispersión T v/s Ge Cuenca del Maule



De acuerdo a lo anterior y utilizando el catastro de pozos preparado en el estudio PD Maule, se ha estimado valores de T para todos los pozos con datos de gasto específico, logrando extender a una cantidad superior a 300 pozos con estimaciones de transmisibilidad. A estos valores estimados se sumaron valores incorporados en el estudio PD Maule, correspondientes a la interpretación de 33 pruebas de bombeo obtenidas de expedientes de constitución de derechos de aprovechamiento. Los valores correspondientes se presentan el Cuadro 3-3.

Cuadro 3 - 3. Otros Coeficientes Elásticos en la VII Región

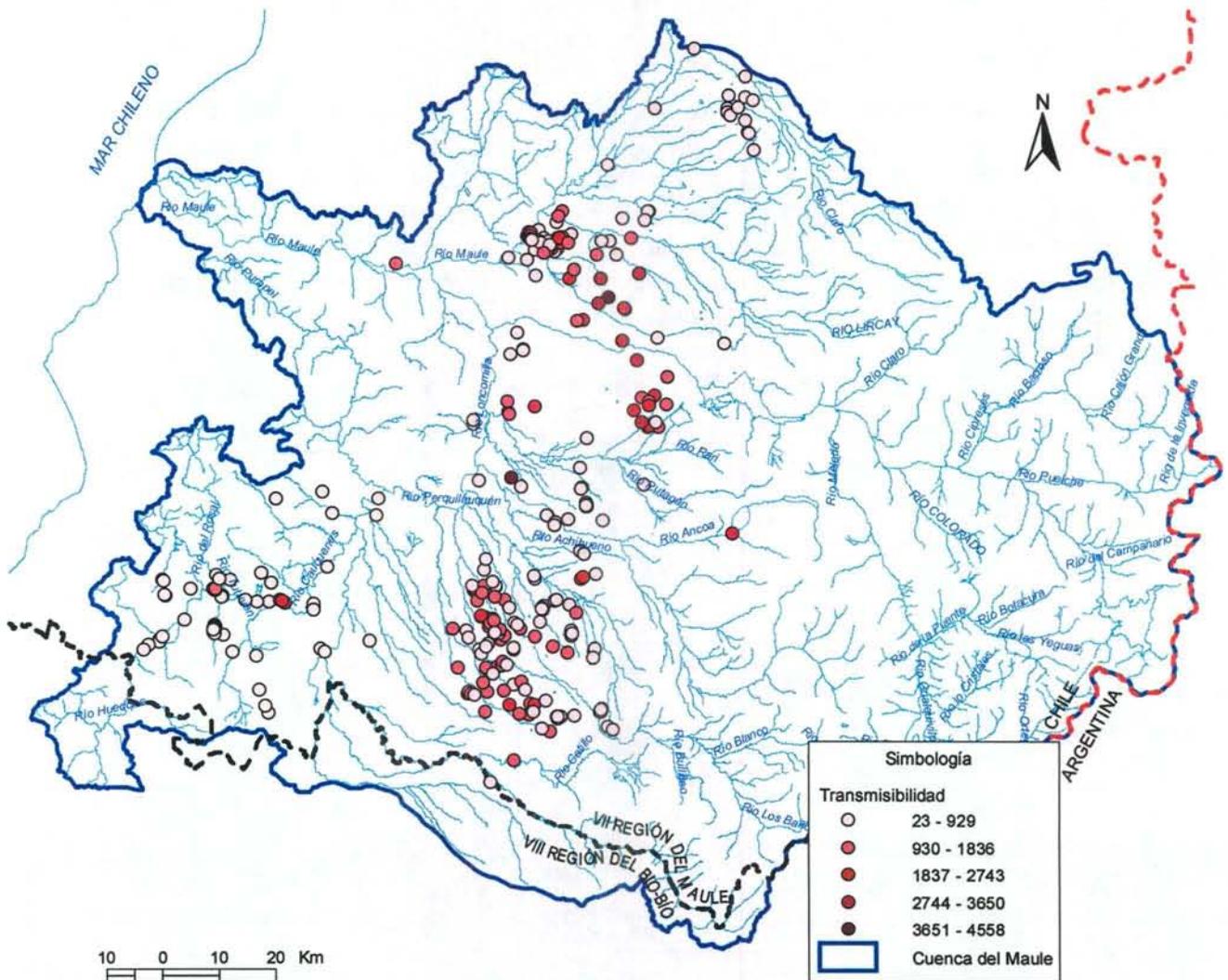
ZONA	SECTOR	EXPEDIENTE	T (m ² /día)	k (m/s)	H (m)
Norte	Pelarlo	ND-702-1224	170	$5,5 \cdot 10^{-5}$	36,0
	Pencahue	ND-702-1376	171	$6,8 \cdot 10^{-5}$	29,0
	Talca	ND-702-1381	1.589	$4,6 \cdot 10^{-4}$	40,0
	Talca	ND-702-1386	207	$8,0 \cdot 10^{-5}$	30,0
	Talca	ND-702-1388	49	$1,6 \cdot 10^{-5}$	36,6
	Maule	ND-702-1436	240	$5,1 \cdot 10^{-5}$	54,2
	Linares de Perales	ND-702-1375	113	$3,2 \cdot 10^{-5}$	41,0
	Curtiduría	ND-702-957	1904	$9,2 \cdot 10^{-4}$	24,0
	Paso Nevado	ND-702-1175	212	$6,5 \cdot 10^{-5}$	38,0
	Porvenir (Molina)	ND-702-940	2178	$3,2 \cdot 10^{-3}$	8,0
	San Rafael	ND-702-946	632	$6,1 \cdot 10^{-4}$	12,0
Centro	Yerbas Buenas	ND-703-1212	514	$2,0 \cdot 10^{-4}$	30,2
	Yerbas Buenas	ND-703-1372	449	$1,4 \cdot 10^{-4}$	38,0
	Los Maitenes (Linares)	ND-703-1382	186	$1,4 \cdot 10^{-4}$	15,0
	San Antonio Encina	ND-703-1208	100	$6,4 \cdot 10^{-5}$	18,0
Sur	San Juan (Linares)	ND-703-904	1765	$1,7 \cdot 10^{-3}$	12,0
	Colbún	ND-703-928	1067	$1,0 \cdot 10^{-3}$	12,3
	Constitución	ND-702-1243	247	$1,4 \cdot 10^{-4}$	21,0
	Piedra de Lobo	ND-702-1245	66	$7,6 \cdot 10^{-4}$	1,0
	La Tercera (Longavi)	ND-703-1210	625	$1,4 \cdot 10^{-4}$	52,2
	Retiro	ND-703-1217	30	$1,8 \cdot 10^{-5}$	20,0
	Bodega	ND-703-1250	135	$1,3 \cdot 10^{-4}$	12,0
	San Isidro (Retiro)	ND-703-1341	340	$3,6 \cdot 10^{-4}$	11,0
	Llano las Piedras (Longavi)	ND-703-1369	863	$2,0 \cdot 10^{-4}$	50,0
	San Gabriel (Linares)	ND-703-1371	39	$4,5 \cdot 10^{-5}$	10,0

ZONA	SECTOR	EXPEDIENTE	T (m ² /día)	k (m/s)	H (m)
	Mesamávida	ND-703-1385	73	$3,8 \cdot 10^{-5}$	22,0
	Higuerillas (Retiro)	ND-703-1421	287	$1,2 \cdot 10^{-4}$	28,0
	Santa Inés (Retiro)	ND-703-1422	343	$8,3 \cdot 10^{-5}$	48,0
	Maitenes (Retiro)	ND-703-1426	89	$3,3 \cdot 10^{-5}$	31,0
	Marimaura	ND-703-1440	64	$6,4 \cdot 10^{-5}$	11,5
	Santo Tomás (Retiro)	ND-703-964	340	$2,8 \cdot 10^{-4}$	14,0
	El Tunal (Parral)	ND-703-1182	380	$1,1 \cdot 10^{-4}$	39,0
	Villa Reina (Parral)	ND-703-1425	795	$2,3 \cdot 10^{-4}$	40,0

Fuente: "Bases Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Maule, Diagnóstico" (DGA, 2003)

La distribución espacial de las transmisibilidades en los acuíferos de la cuenca del Maule es la que se muestra en la Figura 3-8, la cual fue utilizada para determinar los parámetros característicos requeridos por MAGIC para cada uno de los 25 acuíferos considerados en la cuenca.

Figura 3 - 8. Transmisibilidades en acuíferos de la Cuenca del Río Maule (m²/día)

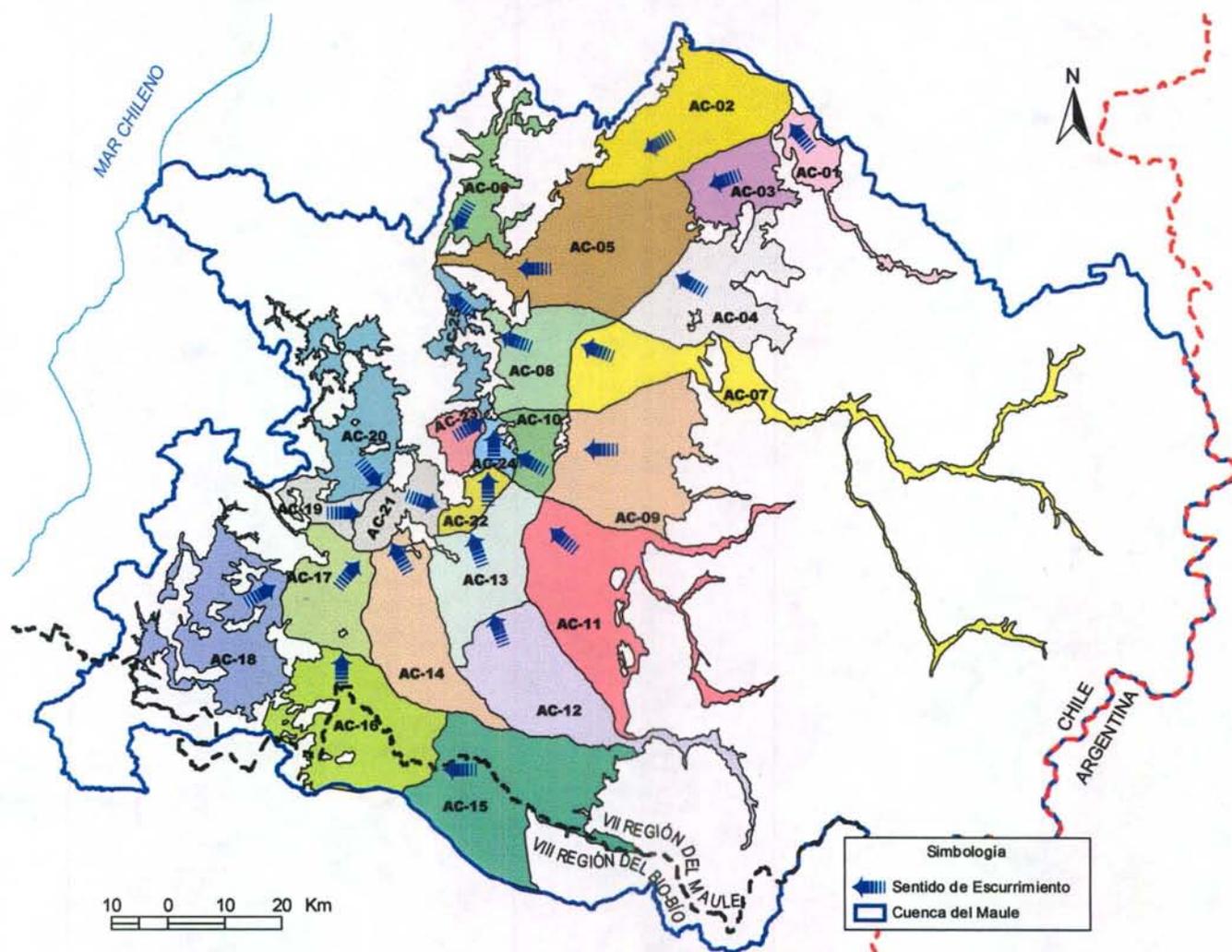


de afloramientos, a su vez, ha dado lugar a la definición de nuevos sistemas, con dirección predominante de escurrimiento sur- norte.

III.4.2.4 Preparación Información para Interfaz SIG-MAGIC

Para efecto del llenado de la información a través de la interfaz SIG-MAGIC, se generaron las características físicas de los acuíferos definidos, considerándose 25 acuíferos en la cuenca del Maule. Esta división se ha realizado en concordancia a la hidrología presente en la cuenca. En la figura 3-10 se aprecian los acuíferos definidos con sus respectivos códigos y nombres distintivos.

Figura 3 - 10. Acuíferos de la Cuenca del Río Maule



Para cada uno de los acuíferos definidos, se ha analizado y detallado sus características físicas y parámetros asociados, en base a los antecedentes existentes, lo cual se describe a continuación.

i. Determinación del coeficiente de permeabilidad (k).

Según el sentido de las aguas subterráneas considerado, indicado mediante flechas en la Figura 3-10, se identificaron las secciones de entrada y salida de los acuíferos existentes, en función de las cuales y con la información recopilada, se determinó la geometría y parámetros característicos.

La determinación de los valores característicos de transmisibilidad (T) para cada acuífero, se realizó considerando sólo los valores consistentes, es decir, que presentaran una misma tendencia y de un orden de magnitud similar. Para aquellos acuíferos que no poseían información de transmisibilidad, se usaron valores informados en el estudio "Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero VII a VIII Región", CNR, realizado por este consultor. Particularmente los acuíferos donde se obtuvo información de dicho estudio son: Estero Los Puercos, Río Purapel, Estero Belco y Río Perquillauquen Bajo.

ii. Determinación del coeficiente de almacenamiento (S).

Para la determinación del coeficiente de almacenamiento se estimó un valor para cada acuífero considerando los pozos de exploración existentes. En aquellos casos en que no había pozos de exploración o la información existente era deficiente, se asumió que los valores de los S son similares a los de los acuíferos más cercanos de características equivalentes.

iii. Gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico se determinó considerando los valores de profundidad del nivel freático y las cotas del terreno de los obtenidos de los pozos de exploración existentes, mediante lo cual se determinó los desniveles entre la entrada y salida de cada acuífero. Así se cuantificó el gradiente hidráulico además de verificar el sentido de las aguas subterráneas.

iv. Características geométricas

Los 25 acuíferos de la zona se consideraron rectangulares y con los antecedentes del manto rocoso determinados por la geofísica y la superficie del terreno determinada por las curvas de nivel, se calculó el espesor y el ancho a la entrada y a la salida de cada acuífero definido.

En el cuadro 3-4 se muestra un resumen de las características geométricas y elásticas para cada acuífero.

Cuadro 3 - 4. Resumen Características de Acuíferos en la Cuenca del Río Maule

Nombre Acuífero	Código	S	We(m)	Ws(m)	Zemax(m)	Zemin(m)	Zsmax(m)	Zsmin(m)	ke(m/mes)	ks(m/mes)	i(%)
Río Claro Alto (1)	AC-01	0.0001	5500	3500	575	560	475	445	413.4	500.0	0.012
Río Claro Medio (2)	AC-02	0.0001	10000	10000	325	261	125	-56	233.5	82.8	0.006
Norte Río Lircay (3)	AC-03	0.0001	13000	10000	350	312	200	-55	159.9	23.5	0.008
Río Lircay Alto (4)	AC-04	0.0100	15000	19000	300	269	200	-82	1457.3	159.8	0.008
Río Lircay Bajo (5)	AC-05	0.0001	21000	23500	175	-139	100	-189	143.3	103.9	0.002
Estero Los Puercos (6)	AC-06	0.0001	4500	6500	75	73	100	83	25.9	25.9	0.003
Río Maule Alto (7)	AC-07	0.0023	4500	13000	275	176	175	-306	604.7	124.8	0.011
Río Maule Bajo (8)	AC-08	0.0100	19000	19000	150	-285	100	-43	138.1	73.5	0.004
Río Putagán Alto (9)	AC-09	0.0023	27000	17000	225	183	125	-422	1059.1	27.4	0.002
Río Putagán Bajo (10)	AC-10	0.0023	15500	13500	125	-508	100	-332	85.4	125.0	0.002
Río Achibueno (11)	AC-11	0.0001	28000	19000	125	42	175	-481	290.3	22.9	0.002
Río Longaví - Estero Parral Alto (12)	AC-12	0.0001	7000	18000	175	-15	325	-337	190.0	45.3	0.005
Río Longaví - Estero Parral Bajo (13)	AC-13	0.0001	15000	10000	150	-343	125	-369	79.0	60.8	0.002
Estero Curipeumo (14)	AC-14	0.0001	10000	10000	150	-438	125	35	25.5	66.3	0.002
Río Perquillauquén Alto (15)	AC-15	0.0001	15000	19000	250	108	175	-481	274.7	59.5	0.005
Río Ñiquén (16)	AC-16	0.0001	16000	11000	150	-267	125	61	14.4	611.0	0.001
Río Cauquenes Bajo-Perquillauquén Medio (17)	AC-17	0.0001	10500	8000	125	-20	125	111	414.5	735.6	0.001
Río Cauquenes Alto (18)	AC-18	0.0100	20000	9500	150	136	150	31	5.2	5.2	0.001
Estero Belco (19)	AC-19	0.0100	3000	8000	150	144	125	123	7.8	7.8	0.003
Río Purapel (20)	AC-20	0.0100	7000	9000	175	165	175	153	300.0	134.1	0.003
Río Perquillauquén Bajo (21)	AC-21	0.0100	8000	6000	125	124	150	135	5.2	5.2	0.002
Río Loncomilla (22)	AC-22	0.0023	7000	6000	125	48	125	-82	194.6	72.4	0.005
Estero Quesería (23)	AC-23	0.0023	10500	5500	175	171	125	118	2535.0	1320.6	0.006
Río Loncomilla Bajo (24)	AC-24	0.0023	6000	3000	125	-206	125	-26	45.3	398.5	0.001
Estero Cachipivil (25)	AC-25	0.0100	5000	2000	75	70	50	46	2094.4	103.9	0.005

Donde:

S= Coef. Almacenamiento

We,Ws=ancho de entrada y salida de de la sección del acuífero

Zemax, Zsmax= Cota terreno de entrada y salida del acuífero

Zemin, Zsmin= Cota basamento rocoso de entrada y salida del acuífero

ke, ks = Permeabilidad de entrada y salida del acuífero

i = Gradiente hidráulico de entrada y salida del acuífero

III.4.3 Pozos

La representación de estos objetos por MAGIC, permite especificar la demanda de un determinado caudal mensual a algún acuífero de la cuenca en estudio. Para su implementación en MAGIC, se requiere antecedentes respecto a la ubicación de los pozos (por ende la identificación de los acuíferos desde donde se extrae el caudal), el uso del caudal extraído (asociados a los factores de uso considerados normalmente por la DGA) y la distribución mensual de los caudales que se extraen.

Dada la inexistencia de antecedentes respecto a encuestas de demandas de agua asociadas a catastros captaciones subterráneas, se ha definido trabajar con los derechos de agua constituidos en la cuenca del Maule. Para esto se ha solicitado antecedentes al Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la DGA en los cuales se especifica la ubicación de los pozos de bombeo y el caudal del derecho subterráneo otorgado, entre otros. La información recibida ha sido procesada y complementada con el uso de cada pozo (industrial, agua potable, riego y minería) tomando como referencia información del propietario del pozo. Para el caso de aquellos derechos que no se encuentran georeferenciados, se ha definido ubicarlos en el centroide de la comuna de referencia, siendo agrupados según su uso. El Anexo 3.2 presenta los derechos subterráneos existentes en la cuenca del Río Maule.

Con respecto a los factores de uso de los pozos, se consideraron los valores entregados en el informe Técnico SDT-160 "Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos, VI Región" elaborado por la DGA. Los valores de los factores dependiendo del tipo de uso se muestran en el Cuadro 3-5.

Cuadro 3 - 5. Factores de Uso

Tipo Uso	Factor
<i>Agua Potable</i>	0.75
<i>Riego</i>	0.20
<i>Industrial</i>	0.30
<i>Minero</i>	0.75

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos Subterráneos Sexta Región, DGA, Noviembre 2003.

III.4.4 Canales

Este elemento permite la representación de elementos de conducción de un determinado caudal máximo entre un nodo y una zona de riego, o bien, entre dos nodos. El modelo MAGIC permite definir tramos dentro de cada canal matriz, cada uno de los cuales puede tener diferentes capacidades, eficiencias de conducción y percolar a distintos acuíferos (esto último se consideró a partir de la versión 2.0 de MAGIC). Así mismo, es posible definir canales derivados, cada uno de los cuales también puede tener distintas capacidades y eficiencias. En rigor, para el modelo, el

canal derivado es un objeto independiente del canal matriz, sólo unidos por un nodo en común. Cabe señalar que MAGIC no incluye la modelación de canales subderivados, razón por lo cual la DGA recomienda representarlos a través de los canales derivados, indicando una capacidad y eficiencia de conducción equivalente desde el punto de vista del balance hídrico.

Los antecedentes necesarios para la implementación de este objeto en la cuenca de estudio, tiene relación con la identificación de las características generales (capacidad, eficiencia, etc.), topología (origen, destino, acuífero destino de percolación, etc.), porcentaje de distribución con respecto al caudal en bocatoma del matriz, entre otros.

Cabe mencionar que en la cuenca del Maule, los canales no sólo se vinculan al abastecimiento de agua a las zonas de riego existentes, sino que además han sido concebidos con el objetivo de realizar trasvases desde cuencas vecinas.

Como punto de partida en la preparación de información de canales para la implementación del MAGIC en la cuenca del Maule, se considera el *estudio Rhodos*. En este estudio se ha asociado, en general y para efectos de modelación, un canal matriz o un derivado para cada zona de riego, lo cual al ser verificado evidenció que no todas las zonas de riego tienen asociado algún canal afluente. Para algunas de estas zonas de riego, lo anterior se ha justificado al estar abastecidas sólo por caudales de derrame o retornos de otras zonas de riego. En otros casos, el *estudio Rhodos* señala que no ha sido posible encontrar un canal que alimentase a la zona de riego. Esto generó la necesidad de revisar la condición de abastecimiento de dichas zonas de riego a partir de los catastros de usuarios de agua de la cuenca del Maule, y por lo tanto, redefinir la malla de canales.

Para determinar las capacidades de los canales, el *estudio Rhodos* entrega valores de Q_{MAX} para algunos de los canales, obtenidos de la información contenida en la base de datos del catastro de bocatomas. La información de las capacidades para el resto de los canales, se ha obtenido de los catastros de usuarios realizados por la DGA, además de la información proporcionada por las Organizaciones de Usuarios y Juntas de Vigilancia de los cauces de la cuenca. Para los canales derivados, su capacidad se estimó considerando un factor proporcional calculado a partir de los derechos que posee o en su defecto proporcional a la superficie de riego, en ambos casos, relativo a los derechos o superficie de riego del canal matriz respectivo.

Para el caso de los porcentajes de entrega en cada canal matriz o derivado, lo cual se basa en los derechos de agua que poseen, se ha contrastado la información de derechos obtenidas en el estudio "Evaluación de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Maule" realizado por el Departamento de Recursos Hídricos de la DGA Regional del Maule, VII Región, con la información obtenida con las Juntas de Vigilancia de la cuenca. Un análisis de esta información ha evidenciado algunas diferencias en las acciones asociadas a algunos de los canales, en especial en aquellos asociados a la

Junta de Vigilancia del Río Maule. Como criterio a considerar en la distribución de los caudales en los canales derivados y matrices, se considera adoptar la proporción de los derechos que posee los derivados sobre el canal matriz y el canal matriz sobre los derechos en bocatoma, siendo corregidos estos últimos de acuerdo a lo establecido en el estudio de la DGA regional. Detalles respecto a los antecedentes incorporados en este último estudio, se presentan en el punto III.4.11 del presente informe. Un criterio complementario al anterior, en caso que los antecedentes de derechos sea escasa o insuficiente, fue utilizar los valores de superficie de riego de cada canal matriz relativo al total que se riega en cada sistema. Esta información forma parte de los catastros de usuarios realizados en la cuenca del Río Maule.

Para definir la malla de nodos principales y secundarios (recordando que los principales definen inicio y fin de canales matrices, y los secundarios inicio y fin de tramos de canal), el estudio *Rhodos* se basó en la malla definida por la DGA, a la que debido a la caracterización topológica de los canales matrices, tuvo que agregar nuevos nodos principales de manera de obtener una estructura compatible con MAGIC y que represente de mejor forma la topología de la red de canales de la cuenca. Esta información ha sido actualizada identificándose los canales matrices para la modelación de la cuenca, que abastecerán a la red de canales derivados y a las zonas de riego.

Por último, para el caso de las eficiencias de conducción de los canales, se utilizó información descriptiva del estudio *PD Maule* donde indirectamente a partir de la información sobre las características de los canales existentes (estado, revestimiento, etc.), o bien a partir de valores específicos estimados para los canales más importantes de la cuenca, se realizó una estimación de la eficiencia de conducción de la red de riego analizada. El Anexo 3.3 muestra algunas características de los canales y singularidades existentes en el sistema de Riego de Longaví.

III.4.5 Zonas de Riego

Este elemento permite la representación de un conjunto de subsectores de riego, donde cada uno posee un tipo de cultivo y un método de riego determinado, pudiéndose estimar el caudal total afluente, tanto superficial como subterráneo; la fracción de dicho caudal utilizada efectivamente para riego; la demanda de riego suplida; la seguridad de riego; el retorno superficial hacia otras zonas; la percolación hacia la zona acuífera y su variación en ciertos períodos de tiempo. Para esto MAGIC considera zonas de riego independientes, con caudales afluentes representados por canales matrices o derivados y un único pozo de bombeo asociado, tranque de regulación nocturna, subsectores de riego que poseen cultivo y método de riego únicos para cada uno.

La información requerida para la implementación de MAGIC, se asocia principalmente a la definición e identificación de las zonas de riego existentes, tipo de cultivo, método de riego asociado, evapotranspiración de los cultivos, precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, derrames o retornos desde o hacia zonas de riego adyacentes y áreas cultivables y no cultivables.

Este tema fue abordado por el estudio *Rodhos*, identificando 104 zonas de riego definidas en base a la cobertura de áreas cultivadas, incorporadas en el estudio *PD Maule*, contrastadas con coberturas de la DGA y fotografías aéreas de la cuenca publicadas por el SINIA. Dicho estudio concluye, en base al análisis de la información señalada, que el área total potencialmente cultivable de la cuenca corresponde a 546.000 hectáreas.

La versión 2.0 de MAGIC incorpora, a diferencia de la anterior, la diferenciación entre áreas cultivables y no cultivables y el cálculo matemático de los coeficientes equivalentes de eficiencia de riego, percolación y derrame para cada zona de riego. Estos cambios han hecho necesario modificar las tablas realizadas en el estudio *Rodhos*, ya que se debió cambiar el formato de la información o el contenido de los datos de algunas matrices.

En particular, las modificaciones esenciales que esta nueva versión contempló para este tema son las siguientes:

- i. Se eliminó el campo 'ZR_CULT_ED' de la Tabla 'ZR_CULT_PAR', pues ese campo que representaba la eficiencia de distribución del agua de riego desde la entrada de la zona de riego hasta este cultivo, [%/1], jamás se utiliza en la práctica.
- ii. En la Tabla 'MR_TIPOS' se agregaron, como valores por defecto, los siguientes 8 métodos de riego, de acuerdo a lo sugerido en la Publicación N° 2 de la FAO y complementado por el cuadro C.1.10-2 del estudio del Aconcagua:

- b.1 MR-01: Tendido, con una eficiencia de riego entre 30 y 33%. Su valor por defecto es 0,315.
 - b.2 MR-02: Surco, con una eficiencia de riego entre 43 y 45%. Su valor por defecto es 0,445.
 - b.3 MR-03: Tazas, con una eficiencia de riego entre 55 y 60%. Su valor por defecto es 0,575.
 - b.4 MR-04: Curvas de nivel (Tablero), con una eficiencia de riego entre 50 y 53%. Su valor por defecto es 0,515.
 - b.5 MR-05: Platabanda (mangas), con una eficiencia de riego entre 55 y 60%. Su valor por defecto es 0,575.
 - b.6 MR-06: Goteo, con una eficiencia de riego entre 85 y 85%. Su valor por defecto es 0,85.
 - b.7 MR-07: Aspersión, con una eficiencia de riego entre 75 y 75%. Su valor por defecto es 0,75.
 - b.8 MR-08: Microaspersión, con una eficiencia de riego entre 85 y 85%. Su valor por defecto es 0,85.
- iii. El campo 'ZR_CULT_MR_COD' de la Tabla 'ZR_CULT_PAR', fue reemplazado por los campos 'ZR_CULT_MR', 'ZR_CULT_MR1', 'ZR_CULT_MR2', 'ZR_CULT_MR3', 'ZR_CULT_MR4', 'ZR_CULT_MR5', 'ZR_CULT_MR6', 'ZR_CULT_MR7' y 'ZR_CULT_MR8', que indican el porcentaje ([%/1] del área ocupada por el cultivo que está regada con cada uno de los 8 métodos de riego incluidos en la Tabla 'MR_TIPOS'.
- iv. Se automatizó el cálculo de los coeficientes equivalentes de eficiencia de riego (efp), percolación (p) y derrame (d) para cada zona de riego, evitando así que el usuario deba ingresar: las áreas ocupadas por cada uno de los cultivos individuales, el método de riego utilizado para cada cultivo y las eficiencias de aplicación de cada método tantas veces por cultivo como métodos de riego distintos se aplicasen sobre él. Además, la versión anterior exigía al usuario ingresar los coeficientes 'efp', 'p' y 'd' calculados para cada ZR, debiendo verificar que los valores de 'p' y 'd' ingresados en la Tabla 'ZR_SR' estaban de acuerdo al 'efp' calculado por MAGIC, en caso contrario, debían ser corregidos. Para lo anterior, se calculan los coeficientes equivalentes de eficiencia de riego, percolación y derrame para cada cultivo dentro de cada ZR, considerando la incidencia de cada uno de los 8 métodos de riego posibles sobre ese cultivo y luego los coeficientes equivalentes respectivos para cada ZR como un promedio ponderado de los coeficientes de cada uno de los cultivos involucrados.
- v. Se modificó el contenido de los datos de la tabla ZR_CULT_PAR, al incluir la textura del suelo por ZR (no considerada en *estudio de Rhodos*) y la distribución porcentual de los sistemas de riego aplicado por cultivo.
- vi. Se modificó la Tabla ZR_PARAM, al eliminar en ésta el destino (acuífero) de las percolaciones e incorporando parámetros del MPL que no varían con el tiempo.

A su vez, los destinos del caudal percolado (acuíferos) se incluyen en la nueva tabla ZR_QPR, donde se indica el acuífero al que descarga cada zona de riego. A diferencia de la versión anterior, ésta es capaz de establecer más de un acuífero al caudal percolado generado por una zona de riego, lo que era una limitante no despreciable al estar una zona de riego comúnmente asociada a más de un acuífero.

- vii. Esta nueva versión distingue dentro de las zonas de riego Áreas No Cultivadas de Áreas Cultivadas, modificando las áreas definidas en la Tabla 41, que para esta versión se ha redefinido como ZR_AC_NNM, y se ha agregado la Tabla 51, ZR_ANC_NNM, homóloga a la anterior, pero considerando las áreas no cultivadas. Por lo tanto, se debe discretizar los subsectores de riego en AC y ANC, y recalcular las NNM para cada una de éstas.
- viii. Se han agregado tres nuevas tablas asociados a las zonas de riego, en comparación con la versión implementada por Rodhos. Estas tablas son
 - a) Tabla 47 (ZR_QPR), que permite distribuir la percolación de una ZR a uno o más acuíferos, como se explicó anteriormente. Se necesita conocer la fracción de la percolación que va a dar a cada acuífero de llegada.
 - b) Tabla 48 (ZR_CULT_SC), que permite definir una variación de cultivos asociados a las ZR en función del tiempo.
 - c) Tabla 51 (ZR_ANC_NNM), que define las necesidades netas mensuales de las áreas no cultivadas, tal como se explicó anteriormente.

III.4.5.1 Definición e Identificación Zonas de Riego

Como se explicó anteriormente, las zonas de riego a incorporar en el modelo MAGIC de la cuenca del Maule, fueron las consideradas en el *estudio Rodhos*, es decir, asumiendo que existe en la cuenca un área potencialmente cultivable de 546.000 hectáreas, alcanzando la superficie real de riego un valor de 247.000 hectáreas basándose en el Censo Agropecuario de 1996/1997.

La definición de la cobertura de las zonas de riego realizada en el *estudio Rhodos* se realizó, entre otros criterios, en base a la posibilidad de MAGIC de definir sólo canales alimentadores matrices y derivados, por lo que se ha agrupado las zonas de riego que son regadas por un mismo derivado, pero por diferentes subderivados.

En cuanto a la información existente, ha sido necesario contrastar la información de canales y zonas de riego, con los catastros de usuarios existentes en la cuenca. Esto particularmente para complementar o corregir la información sobre las zonas de riego que según el shapefile de canales y tablas respectivas, no poseen canales matrices o derivados que los alimentan.

Otro aspecto importante es el cambio del manejo de información que se ha efectuado para esta versión de MAGIC, asociado entre otros, al tipo de cultivo y al método de riego asociados a los subsectores de cada zona de riego.

III.4.5.2 Identificación de Acuíferos Adyacentes

En el punto III.4.2 del presente informe explica los alcances respecto a la definición y características de los acuíferos que forman parte del flujo subterráneo de la cuenca. La asociación entre las zonas de riego identificadas y la información de acuíferos existentes, se definió mediante Arcview 3.2, obteniéndose el porcentaje de la zona de riego que forma parte de cada uno de los acuíferos circundantes. Esta distribución es importante de conocer, al permitir esta nueva versión de MAGIC asociar una zona de riego a más de un acuífero existente, de tal manera de conocer qué parte del agua demandada percola hacia cada acuífero y poder estimar así el coeficiente equivalente de percolación asociado a cada zona de riego.

III.4.5.3 Identificación de Cultivos

Los cultivos existentes en cada zona de riego son necesarios para el cálculo de la evapotranspiración correspondiente, y finalmente, las necesidades netas mensuales (NNM) asociadas a cada zona. La identificación de la información fue obtenida directamente del *estudio Rhodos*.

III.4.5.4 Identificación de Métodos de Riego

Los métodos de riego, particularmente sus eficiencias, asociados a cada cultivo existente en las zonas de riego definidas, son necesarios para que MAGIC calcule internamente las NNM. Como se mencionó anteriormente, la versión 2.0 de MAGIC incorpora valores de eficiencias por defecto de acuerdo a lo sugerido en la Publicación N° 2 de la FAO y complementado por el cuadro C.1.10-2 del estudio del Aconcagua. Dicha información puede modificarse si el usuario así lo desea.

La distribución porcentual de la aplicación de ciertos métodos de riego asociada a cada cultivo identificado, fue calculada a partir de la información levantada en el *estudio PD Maule*.

III.4.5.5 Evapotranspiración de Cultivos

La determinación de la evapotranspiración potencial de los cultivos ha sido obtenida directamente de los valores indicados en el *estudio Rhodos*. Para la determinación

de Eto, el estudio *Rhodos* al igual que el estudio *PD Maule*, se basa en los valores especificados en el Atlas Agroclimático de Chile, los cuales fueron obtenidos por el método de Penman. Estos valores están agrupados por distrito agroclimático, estando las zonas de riego emplazadas en varios de estos distritos, por lo que fue necesario ponderar el valor de Eto para cada zona de riego, por la superficie perteneciente a cada distrito agroclimático. Dicha ponderación fue realizada mediante una aplicación en Arcview intersectando la cobertura de las zonas de riego con la cobertura de los distritos agroclimáticos.

III.4.5.6 Precipitación Efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, se utilizó la información estadística correspondiente a 17 estaciones pluviométricas correspondientes a la cuenca del Maule y asociadas a las zonas de riego según su ubicación geográfica. Dicha información fue corregida y rellenada en el estudio *PD Maule*, y fue utilizada en el presente estudio para el cálculo de la precipitación efectiva mensual asociada a una probabilidad de excedencia del 50%. Dicha precipitación fue obtenida mediante un análisis de frecuencia de Weibull sobre la información pluviométrica ya mencionada. Detalles respecto a las estaciones pluviométricas consideradas, es posible consultarlos en el punto III.4.13 del presente informe.

III.4.5.7 Percolaciones

La estimación del caudal percolado, que forma parte del balance hídrico del acuífero y de la zona de riego correspondiente, se realiza mediante el coeficiente de percolación obtenido directamente por la nueva versión de MAGIC, a partir de antecedentes de textura del suelo y de la relación que posee con los coeficientes de riego (eficiencias de métodos de riego) y de derrame.

Adicionalmente, la textura del suelo permite estimar los valores que permiten el cálculo de la fracción percolada hacia el acuífero, en función de parámetros del modelo pluvial MPL tales como la porosidad efectiva, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La porosidad efectiva se obtuvo de la Tabla 4.3.1 de "Hidrología Aplicada" Chow et al. 1994 (Figura 3-11), mientras que el resto de los parámetros mencionados fueron obtenidos mediante el software de cálculo de propiedades hidráulicas "Soil Water Characteristics", desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de EEUU (USDA) en conjunto con la Universidad del Estado de Washington.

Figura 3 - 11. Parámetros de Infiltración

TABLA 4.3.1
Parámetros de infiltración de Green–Ampt para varias clases de suelos

Clase de suelo	Porosidad	Porosidad efectiva	Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado	Conductividad hidráulica
	η	θ_e	ψ (cm)	K (cm/h)
Arena	0.437 (0.374–0.500)	0.417 (0.354–0.480)	4.95 (0.97–25.36)	11.78
Arena margosa	0.437 (0.363–0.506)	0.401 (0.329–0.473)	6.13 (1.35–27.94)	2.99
Marga arenosa	0.453 (0.351–0.555)	0.412 (0.283–0.541)	11.01 (2.67–45.47)	1.09
Marga	0.463 (0.375–0.551)	0.434 (0.334–0.534)	8.89 (1.33–59.38)	0.34
Marga limosa	0.501 (0.420–0.582)	0.486 (0.394–0.578)	16.68 (2.92–95.39)	0.65
Marga arenarcillosa	0.398 (0.332–0.464)	0.330 (0.235–0.425)	21.85 (4.42–108.0)	0.15
Marga arcillosa	0.464 (0.409–0.519)	0.309 (0.279–0.501)	20.88 (4.79–91.10)	0.10
Marga limo arcillosa	0.471 (0.418–0.524)	0.432 (0.347–0.517)	27.30 (5.67–131.50)	0.10
Arcilla arenosa	0.430 (0.370–0.490)	0.321 (0.207–0.435)	23.90 (4.08–140.2)	0.06
Arcilla limosa	0.479 (0.425–0.533)	0.423 (0.334–0.512)	29.22 (6.13–139.4)	0.05
Arcilla	0.475 (0.427–0.523)	0.385 (0.269–0.501)	31.63 (6.39–156.5)	0.03

Los números entre parentesis debajo de cada parametro son una desviación estándar alrededor del valor del parámetro dado. Fuente: Rawls, Brakensiek y Miller, 1983

La identificación de la textura de los suelos, se realizó haciendo uso de la clasificación de suelos contenido en el *estudio integral*, donde asociado a las variaciones de serie identificadas se incorpora la textura predominante de cada una. Esta información fue preparada obteniéndose una cobertura de gran parte del valle del Maule y que se incorpora en el respaldo digital correspondiente.

III.4.5.8 Derrames o Retornos

Los derrames o retornos se entienden como aquellas aguas que se aplicaron en la zona de riego pero que no fueron aprovechadas durante el riego ni percolaron hacia el acuífero. Dichas aguas se trasladan en forma superficial o subsuperficial hacia aguas abajo hasta volver a aparecer en la superficie.

Las características geomorfológicas de la cuenca como suelos orgánicos-finos, limosos y limo-arcillosos favorecen una mayor escorrentía superficial por sobre la percolación. Si a esto se agrega que los métodos usados en general son de muy baja eficiencia (según el *estudio Rhodos*, sólo un 2% de los cultivos son regados con

sistemas tecnificados) y que en las zonas bajas de la cuenca la napa subterránea se ubica muy cerca de la superficie, se entiende la importancia de una buena estimación del caudal que es derramado hacia otras zonas.

El estudio *Rhodos* recopiló mediante una revisión a los catastros de usuarios de la DGA los lugares con mayor derrame que permiten reuso de agua en sectores aguas abajo o incluso dentro del mismo sector de riego. Lo anterior permitió definir zonas que son regadas solamente con caudales proveniente de derrames de otras zonas.

Para la estimación del coeficiente equivalente de derrame, MAGIC requiere los parámetros del suelo explicados en el punto de percolación, puesto que dicho coeficiente se obtiene mediante continuidad entre la eficiencia de riego, el derrame y la percolación asociada a cada cultivo.

Como se explicó anteriormente, esta nueva versión de MAGIC calcula de manera automática los coeficientes de derrame asociados a cada sector de cada zona de riego y para cada mes, estimando con los parámetros anteriores la cantidad de agua aplicada que fluye como escorrentía superficial o subsuperficial.

III.4.5.9 Identificación de Zonas Cultivables y No Cultivables.

La versión 2.0 de MAGIC distingue dentro de las zonas de riego las Áreas Cultivadas de las Áreas No Cultivadas, calculando para ambas la Necesidad Neta Mensual demandada. Para el cálculo de la NNM se consideran los siguientes criterios, de los cuales el más adecuado será definido por el usuario:

- a) Calcular la NNM considerando datos reales, para lo cual se requieren fotografías aéreas que permitan estimar la superficie no cultivada y observar el tipo de vegetación existente en estas áreas, o bien, información actualizada sobre el uso actual del suelo en la cuenca.
- b) Calcular la NNM considerando una proyección sobre el futuro uso que se le puede otorgar a la zona de riego no cultivada, estimando así las demandas considerando escenarios futuros.
- c) Calcular la NNM considerando, para fines prácticos, que la superficie no cultivada corresponde a praderas, otorgándole así la demanda de agua asociada a este tipo de uso de suelo, lo que permite obtener una aproximación de la necesidad real.

En los dos primeros criterios se requiere información sobre el uso de suelo actual o futuro sobre las zonas no cultivadas, razón por la cual se ha considerado el último criterio indicado. De esta manera se obtuvieron valores sobre las necesidades de demanda de la superficie, así como el caudal que percola o escurre superficialmente

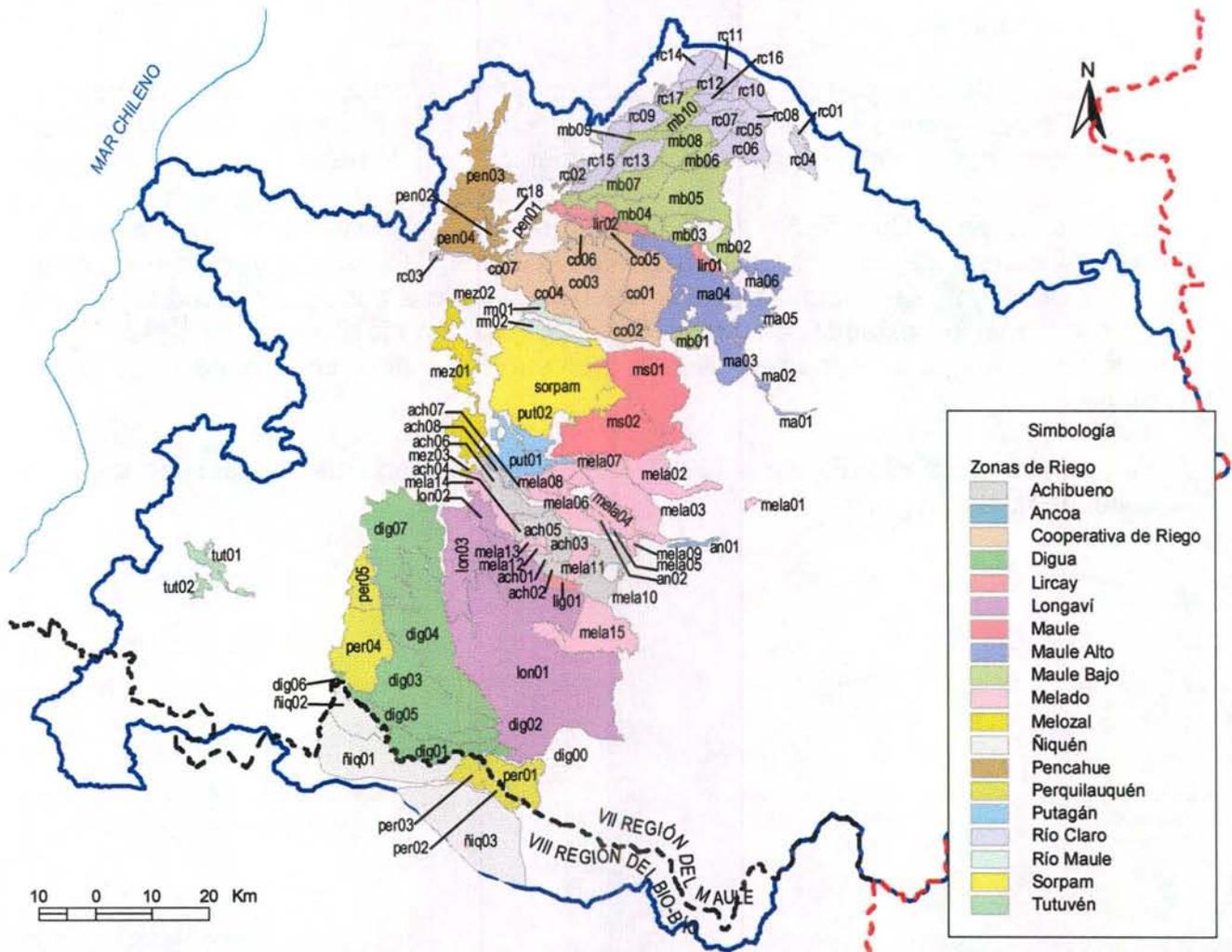
en dichas zonas producto de la precipitación que cae a la cuenca. Dicha precipitación se obtuvo del cálculo de la precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico explicado anteriormente.

La relación de la superficie cultivada con respecto a la superficie no cultivada, se obtuvo considerando los alcances indicados en el punto III.4.5.1 asociado al área potencialmente cultivable con respecto la superficie real de riego.

Finalmente, en el Cuadro 3-6 se entrega un resumen de las zonas de riego con los objetos afluentes a cada una (sean canales matrices, derivados o derrames de otras zonas de riego), así como las estaciones pluviométricas asociadas a cada una, con cuya información estadística se calculó la precipitación efectiva correspondiente. Se entrega además, los derrames afluentes provenientes directamente de otras zonas de riego.

Se muestra además la Figura 3-12 con la ubicación de cada una de estas zonas en la cuenca del Maule.

Figura 3 - 12. Ubicación de Zonas de Riego



Cuadro 3 - 6. Resumen Información Zonas de Riego

Código ZR	Nombre ZR	Est Pluv Asociada	Matriz Afluente	ZR Derrame Afluente		
ZR-0001	rc01	COLORADO	La Vega			
ZR-0002	rc02	EL GUINDO	Buena Vista			
ZR-0003	rc03	PENCAHUE	Corinto	ZR-0040		
ZR-0004	rc04	COLORADO	Los Maitenes Corinto			
ZR-0005	rc05	EL GUINDO	Las Mercedes (Río Claro)			
ZR-0006	rc06	EL GUINDO	Cumpeo	ZR-0005		
ZR-0007	rc07	EL GUINDO	Galpón o Donoso			
ZR-0008	rc08	EL GUINDO	Purísima Concepción			
ZR-0009	rc09	EL GUINDO	Purísima Concepción	ZR-0016	ZR-0034	
ZR-0010	rc10	EL GUINDO	Peñaflor			
ZR-0011	rc11	EL GUINDO	Bellavista o Porvenir	ZR-0010		
ZR-0012	rc12	EL GUINDO	Pelarco Buena Unión	ZR-0011		
ZR-0013	rc13	EL GUINDO	Pelarco Buena Unión	ZR-0032		
ZR-0014	rc14	EL GUINDO	San Luis (Río Claro)	ZR-0011		
ZR-0015	rc15	EL GUINDO	San Rafael	ZR-0009	ZR-0017	
ZR-0016	rc16	EL GUINDO		ZR-0008	ZR-0010	
ZR-0017	rc17	EL GUINDO		ZR-0012	ZR-0014	
ZR-0018	rc18	PENCAHUE				
ZR-0019	ma01	COLORADO	Maule Norte Alto			
ZR-0020	ma02	COLORADO	Maule Norte Alto			
ZR-0021	ma03	COLORADO	Maule Norte Alto			
ZR-0022	ma04	HUAPI	Maule Norte Alto	ZR-0021		
ZR-0023	ma05	HUAPI	Maule Norte Alto			
ZR-0024	ma06	HUAPI	Maule Norte Alto			
ZR-0025	mb01	COLBÚN (MAULE SUR)	Maule Norte Bajo	ZR-0021		
ZR-0026	mb02	HUAPI	Maule Norte Bajo	ZR-0024		
ZR-0027	mb03	HUAPI	Maule Norte Bajo			
ZR-0028	mb04	TALCA UC	Maule Norte Bajo	ZR-0027	ZR-0029	
ZR-0029	mb05	EL GUINDO	Maule Norte Bajo			
ZR-0030	mb06	EL GUINDO	Maule Norte Bajo	ZR-0006		
ZR-0031	mb07	EL GUINDO	Maule Norte Bajo	ZR-0029	ZR-0030	ZR-0032
ZR-0032	mb08	EL GUINDO	Maule Norte Bajo	ZR-0007		
ZR-0033	mb09	EL GUINDO	Maule Norte Bajo	ZR-0032	ZR-0034	
ZR-0034	mb10	EL GUINDO	Maule Norte Bajo			
ZR-0035	lir01	HUAPI	Bajo Lircay			

Cuadro 3 - 6. Resumen Información Zonas de Riego

Código ZR	Nombre ZR	Est Pluv Asociada	Matriz Afluente	ZR Derrame Afluente		
ZR-0036	lir02	TALCA UC	Santa Rita Lircay	ZR-0028		
ZR-0037	pen01	TALCA UC	Matriz Pencahue			
ZR-0038	pen02	PENCAHUE	Matriz Pencahue	ZR-0018		
ZR-0039	pen03	PENCAHUE	Matriz Pencahue	ZR-0038		
ZR-0040	pen04	PENCAHUE	Matriz Pencahue	ZR-0039		
ZR-0041	co01	TALCA UC	Los Maitenes	ZR-0022	ZR-0025	
ZR-0042	co02	TALCA UC	Los Maitenes			
ZR-0043	co03	TALCA UC	San Clemente	ZR-0041	ZR-0042	
ZR-0044	co04	TALCA UC	San Clemente	ZR-0043		
ZR-0045	co05	TALCA UC		ZR-0041		
ZR-0046	co06	TALCA UC		ZR-0043		
ZR-0047	co07	TALCA UC		ZR-0044		
ZR-0048	rm01	TALCA UC	Hacienda Maule	ZR-0044		
ZR-0049	rm02	TALCA UC	Chivato Loncoche			
ZR-0050	ms01	COLBÚN (MAULE SUR)	Matriz Maule Sur			
ZR-0051	ms02	COLBÚN (MAULE SUR)	San Clemente	ZR-0050		
ZR-0052	sorpam	LINARES	San Clemente	ZR-0050		
ZR-0053	put01	LINARES	Putagán	ZR-0064	ZR-0065	
ZR-0054	put02	LINARES	Viznaga Leiva	ZR-0052		
ZR-0055	mez01	MELOZAL	Melozal			
ZR-0056	mez02	MELOZAL				
ZR-0057	mez03	MELOZAL				
ZR-0058	mela01	ANCOA				
ZR-0059	mela02	LINARES	Soledad			
ZR-0060	mela03	LINARES	Alamos			
ZR-0061	mela04	LINARES	Lamas			
ZR-0062	mela05	LINARES	Almendo			
ZR-0063	mela06	LINARES	González Ibáñez	ZR-0062	ZR-0074	
ZR-0064	mela07	LINARES		ZR-0060	ZR-0061	
ZR-0065	mela08	LINARES		ZR-0063		
ZR-0066	mela09	LINARES	Alimentador Llepo			
ZR-0067	mela10	LINARES				
ZR-0068	mela11	LINARES	San Luis (Río Achibueno)	ZR-0075		
ZR-0069	mela12	LINARES	Ulisis Alarcón	ZR-0075		
ZR-0070	mela13	LINARES	Bodega o ExFiscal	ZR-0069	ZR-0077	

Cuadro 3 - 6. Resumen Información Zonas de Riego

Código ZR	Nombre ZR	Est Pluv Asociada	Matriz Afluyente	ZR Derrame Afluyente		
ZR-0071	mela14	LINARES	Liguay	ZR-0078		
ZR-0072	mela15	DIGUA EMBALSE	Longaví Melado			
ZR-0073	an01	ANCOA	Rosario Tapia			
ZR-0074	an02	LINARES	Jarabrán			
ZR-0075	ach01	LINARES	Tapia Vásquez	ZR-0067		
ZR-0076	ach02	LINARES		ZR-0068		
ZR-0077	ach03	LINARES	Vásquez	ZR-0068		
ZR-0078	ach04	LINARES	Pando o Recreo	ZR-0070		
ZR-0079	ach05	LINARES	San Gabriel			
ZR-0080	ach06	LINARES	Fuentealba	ZR-0070	ZR-0079	
ZR-0081	ach07	LINARES	González Encina			
ZR-0082	ach08	LINARES	Unión Palmilla			
ZR-0083	lig01	LINARES	Norambuena			
ZR-0084	lon01	LINARES	Todos Longaví 1ª Sección	ZR-0072		
ZR-0085	lon02	LINARES	Mantul			
ZR-0086	lon03	LINARES		ZR-0084		
ZR-0087	dig00	SAN MANUEL	Matriz Digua			
ZR-0088	dig01	SAN MANUEL	Matriz Digua			
ZR-0089	dig02	SAN MANUEL	Matriz Digua			
ZR-0090	dig03	SAN MANUEL	Matriz Digua	ZR-0089		
ZR-0091	dig04	QUELLA	Matriz Digua			
ZR-0092	dig05	QUELLA		ZR-0088		
ZR-0093	dig06	QUELLA		ZR-0090		
ZR-0094	dig07	QUELLA	Bombas entre NO-6-18 y NO-7-3	ZR-0091		
ZR-0095	per01	SAN MANUEL	Huenutil			
ZR-0096	per02	SAN MANUEL	Per2			
ZR-0097	per03	SAN MANUEL	Per3	ZR-0096		
ZR-0098	per04	QUELLA	Per Fiscal	ZR-0090		
ZR-0099	per05	QUELLA		ZR-0098		
ZR-0100	ñiq01	QUELLA	Per Ñiquén			
ZR-0101	ñiq02	QUELLA		ZR-0100		
ZR-0102	ñiq03	SAN MANUEL	Matriz Ñiquén Ñuble			
ZR-0103	tut01	TUTUVÉN EMBALSE	Tronco			
ZR-0104	tut02	TUTUVÉN EMBALSE				

Fuente: "Asesoría para el Complemento y Actualización de la Modelación Hidrológica de la Cuenca del Río Maule" Rhodos Asesorías y Proyectos Ltda.

III.4.6 Centrales Hidroeléctricas

Este objeto permite la representación de las centrales hidroeléctricas de pasada existentes de la cuenca de estudio, las cuales demandan un cierto caudal mensual para la generación eléctrica que luego es restituido completamente en un determinado punto del cauce correspondiente. La información necesaria para su implementación, se refiere principalmente a las características específicas de cada central (nombre, capacidad, eficiencias, altura caída, potencia, turbinas, año inicio, etc.) y la distribución de los caudales demandados mensualmente.

Para la incorporación de las centrales hidroeléctricas en el modelo de la cuenca del Maule, se empleó la información contenida en el *estudio PD Maule*, el *estudio ModMaule*, además de los antecedentes publicados periódicamente por el Centro de Despacho de Económico de Carga – Sistema Interconectado Central (CDEC-SIC), a través de su página www.cdec-sic.cl.

Las centrales hidroeléctricas existentes en la Cuenca del Maule son 8, correspondientes a Cipreses, Isla, Loma Alta, Pehuenche, Colbún, Machicura, Currilique y San Ignacio, las que generan en conjunto del orden de un tercio de la energía hidroeléctrica del país. Las principales características de cada una de ellas, se presentan en el Cuadro 3-7.

Cuadro 3 - 7. Centrales Hidroeléctricas en la Cuenca del Maule

N°	Nombre Central	Propietario	Año puesta en servicio	Mes puesta en servicio	Tipo de Central	Demanda Central (m3/s)	Gasto Central (m3/s)	Altura Bruta Caída (m)	Potencia Instalada (kw)	Tipo Turbina Instalada	N° Turbinas
1	Cipreses	ENDESA	1955	-	Embalse	23,8	36,4	370,0	105900	Pelton	3
2	Isla	ENDESA	1963-64	-	Pasada	68,7	84,0	93,0	68000	Francis	2
3	Currilique	PEHUENCHE S.A	1993	-	Pasada	70,1	84,5	121,0	89000	Francis	1
4	Loma Alta	PEHUENCHE S.A	1997	-	Pasada	66,5	90,0	50,08	40000	Francis	1
5	Pehuenche	PEHUENCHE S.A	1991	-	Embalse	211,5	300,0	191,1	566000	Francis	2
6	Colbún	COLBÚN S.A	1985	Abril	Embalse	233,5	280,0	168,0	400000	Francis	2
7	Machicura	COLBÚN S.A	1985	Junio	Embalse	217,6	280,0	37,0	90000	Kaplán	2
8	San Ignacio	COLBÚN S.A	1996	Agosto	Pasada	148,3	194,0	21,0	33000	Kaplán	1

Fuente: "Bases Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Maule" y página www.cdec-sic.cl

La laguna La Invernada abastece a la central Los Cipreses. Las aguas son conducidas hasta las unidades generadoras mediante un túnel de aducción capaz de conducir 36 m³/s. Los caudales utilizados por la central son descargados al canal de aducción de la rama Cipreses de la Central Isla.

La rama Cipreses tiene una capacidad de conducción de 50 m³/s. La rama Maule de la misma central cuenta con una bocatoma en el río del mismo nombre, ubicada 5.5 Km aguas arriba de la confluencia de los ríos Cipreses y Maule, la que permite captar

las aguas de la cuenca intermedia que se extiende desde la bocatoma hasta la laguna del Maule más las extracciones que se hagan desde dicha laguna

Los dos ramales de la central Isla, confluyen en una única aducción constituida por un túnel de 912 m de longitud, que permite conducir un caudal máximo de 84 m³/s hasta la zona de caída. La totalidad de las aguas descargada por la central Isla es aprovechada por la central Currilínque. La aducción de esta central está compuesta por una obra de toma que está ubicada inmediatamente al lado del canal de evacuación de la Central Isla.

Los caudales utilizados por la central Currilínque son descargados mediante un canal de 632 m. para su posterior aprovechamiento por la central Loma Alta.

La central Loma Alta se encuentra en serie con la central Curilínque y aprovecha la totalidad de los recursos evacuados por ésta. Las aguas son posteriormente restituidas al río Maule aguas arriba del canal aducción Maule, que alimenta el embalse Melado.

La central Pehuenche cuenta con un embalse de regulación horaria y de fin de semana, que se ubica en el valle del río Melado y al cual también son transvasados caudales desde la cuenca del río Maule mediante un túnel de aproximadamente 6.550 m capaz de conducir 300 m³/s. Los caudales evacuados por la central Pehuenche son entregados al río Maule aguas arriba del embalse Colbún.

Por su parte la central Colbún cuenta con un embalse de regulación de 550 millones de m³ útiles, que está constituido por una presa principal de 116 m de altura, y de tres pretils menores Colorado, Centinela y Sur.

La central Machicura posee un embalse de regulación de 13 millones de m³ que opera como estanque de compensación de la central Colbún, haciendo posible el abastecimiento de los sistemas de riego existentes aguas abajo, sin variaciones bruscas del caudal a lo largo del día. Los caudales son restituidos al río Maule mediante un canal de 23.8 km de longitud, que también tiene por función satisfacer las demandas de riego aguas abajo del embalse.

Finalmente, la central San Ignacio se ubica en el tramo final del canal de devolución de la central Machicura y aprovecha parte de los recursos transportados por este canal.

De acuerdo al estudio *ModMaule*, los derechos de agua otorgados a cada una de ellas para su operación, son los indicados en el Cuadro 3-8.

Cuadro 3 - 8. Derechos de Agua de Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Maule

Nombre	Capacidad Máxima [m ³ /s]	Derechos de agua [m ³ /s]	
		Caudal Medio	Caudal Máximo
Cipreses	39.3	39 del río Cipreses	
Isla	84	42 del río Maule y 48 del río Cipreses	
Curillínque	84	84 provenientes Central Isla	
Loma Alta	99	84 de Central Isla, +20 río Colorado, + 2.03 estero Corrientes	
Pehuenche	300	140 río Maule,	104.5 río Melado
Colbún	295	190 río Maule	
Machicura	295	190 río Maule	
San Ignacio	295	-	

Fuente: "Modelo de Simulación Hidrológico Operación Cuenca del Río Maule", 1997.

Por otro lado, el estudio *PD Maule*, elaboró una recopilación de antecedentes relativo a derechos superficiales constituidos, presentado un extracto relativo a las centrales mencionadas que se presentan en el Cuadro 3-9.

Cuadro 3 - 9. Derechos de Agua Constituidos de Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Maule

Propietario	Central	Caudal [m ³ /s]		Fuente	Tipo	Ejercicio	Resolución	
		Medio	Máx.				N°	Fecha
ENDESA	Isla	23		Río Cipreses	NC		609	18-Jul-67
ENDESA	Isla	25		Río Cipreses	NC		609	18-Jul-67
ENDESA	Isla	12		Río Maule	NC		609	18-Jul-67
ENDESA	Colbún - Machicura	190	280	Río Maule	NC	PC	105	19-Abr-83
Pehuenche S.A.	Pehuenche	140		Río Maule	NC	PC	312	10-Oct-84
Pehuenche S.A.	Pehuenche	104,5		Río Melado	NC	PC	312	10-Oct-84
ENDESA (ahora Pehuenche S.A.)	Curillínque	84		Canal de evacuación de central Isla	NC		409	28-Oct-88
ENDESA (ahora Pehuenche S.A.)	Loma Alta	84		Canal de Evacuación de Central Curillínque	NC		409	28-Oct-88
ENDESA (ahora Pehuenche S.A.)	Loma Alta	20		Río Colorado	NC		409	28-Oct-88
Pehuenche S.A.	Loma Alta	2,03		Est. Las Corrientes	NC	ED	4	04-Ene-95

Fuente: "Bases Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Maule", 2003.

De acuerdo a la producción de energía de las centrales hidroeléctricas de la cuenca del Maule observadas desde 1992 al 2002, información incorporada en el estudio *PD Maule*, se ha determinado el caudal demandado por mes de cada central existente. Esta estimación se realizó considerando los valores medios mensuales de todos los años que se posee información, resultando la estimación de caudales indicada en el Cuadro 3-10. Esta información será utilizada en la eventualidad que la solicitud de antecedentes realizada mediante la DGA, respecto a demandas reales de agua para cada central, no provea información que pueda ser útil para los objetivos definidos.

Cuadro 3 - 10. Caudal Demandado por Centrales Hidroeléctricas

Cód. Central	Nombre Central	Q.dem Enero (m3/s)	Q.dem Febrero (m3/s)	Q.dem Marzo (m3/s)	Q.dem Abril (m3/s)	Q.dem Mayo (m3/s)	Q.dem Junio (m3/s)	Q.dem Julio (m3/s)	Q.dem Agosto (m3/s)	Q.dem Septiembre (m3/s)	Q.dem Octubre (m3/s)	Q.dem Noviembre (m3/s)	Q.dem Diciembre (m3/s)
1	Cipreses	21.6	17.9	16.9	13.7	13.9	11.2	13.7	13.9	10.2	14.5	16.6	21.0
2	Isla	58.5	49.5	45.5	42.1	42.0	41.0	46.5	47.6	47.1	55.0	51.9	58.6
3	Curillinque	60.5	51.9	45.9	41.9	41.5	38.8	45.2	48.1	47.5	50.4	46.7	57.1
4	Loma Alta	56.2	47.5	40.1	34.2	33.3	32.5	31.6	42.9	45.2	43.9	43.6	52.7
5	Pehuenche	125.5	82.9	69.1	79.3	105.7	146.2	146.0	143.2	165.7	193.7	180.1	182.7
6	Colbun	114.3	75.7	108.1	117.0	124.9	154.2	182.8	191.1	183.1	192.9	178.3	161.0
7	Machicura	115.9	77.3	113.4	127.1	139.5	169.5	182.7	190.9	170.7	173.8	156.8	141.9
8	San Ignacio	51.4	30.8	71.3	70.6	69.2	96.7	94.6	103.5	102.0	102.8	93.7	99.2

Fuente: Elaboración Propia

Otros antecedentes relevantes y que están vinculados a las centrales hidroeléctricas, tienen relación con las aducciones que permiten portear el caudal para la generación eléctrica, ya sea desde embalses o directamente desde la captación correspondiente. A continuación se detalla las aducciones existentes en la cuenca del Maule en relación a las centrales ya mencionadas.

i. Túnel de Aducción de la Central Cipreses

Este túnel conduce las aguas desde la laguna La Invernada hasta la casa de máquinas, cuyas unidades generadoras tienen una potencia instalada total de 101,4 MW. Posee unos 8.650 m de longitud, está diseñado para conducir un caudal máximo de 36 m³/s y permite aprovechar una altura neta de caída de 349,5 m.

ii. Rama Cipreses de la Central Isla

Se origina en la central Cipreses, conduciendo las descargas de aquella y de las filtraciones de la laguna La Invernada. Posee un tramo como canal, de 1.590 m de longitud, y otro como túnel, de 625 m de longitud; tiene una capacidad de conducción máxima de 50 m³/s.

iii. Rama Maule de la Central Isla

Cuenta con una bocatoma en el río Maule, 5,5 Km aguas arriba de la confluencia del río Cipreses con el río Maule, la que permite captar las aguas de la cuenca intermedia que se extiende desde la bocatoma hasta la laguna del Maule más las extracciones que se hagan desde dicha laguna. Esta rama se desarrolla en dos tramos, siendo el primero una aducción superficial de 300 m de longitud y el segundo un túnel de 3.960 m de longitud, los que permiten conducir un caudal máximo de 48 m³/s.

iv. Aducción Común de la Central Isla

Las dos ramas anteriormente descritas confluyen en una aducción común constituida por un túnel de 912 m de longitud, que permite conducir un caudal máximo de 84 m³/s hasta la zona de caída, de una altura igual a 92 metros y que permite generar una potencia nominal de 68 MW.

v. Canal de Aducción de la Central Curillínque

Nace mediante una obra de toma ubicada inmediatamente aguas abajo del canal de evacuación de la central Isla, seguida de una aducción de escurrimiento libre de 6.290 m de longitud, y una aducción en presión, de 4.133 m de longitud, que permiten conducir un máximo de 84 m³/s hasta la zona de caída de la central Curillínque, de 114,3 m. La potencia instalada de la central es de 85 MW.

vi. Canal de Evacuación de la Central Curillinque

Los caudales utilizados por la central Curillinque son descargados, mediante un canal de 632 m, para su posterior aprovechamiento por la central Loma Alta, ubicada en serie con la primera. Para estos efectos se cuenta con una barrera móvil antes de la descarga al río que conduce las aguas al canal de aducción de la central Loma Alta.

vii. Canal de Aducción Central Loma Alta

Posterior al uso de los recursos por la central Curillinque, la totalidad de las aguas son aprovechadas por la central Loma Alta. Esto se realiza mediante una bocatoma ubicada cien metros aguas arriba de su antigua confluencia con el río Maule, donde se dispone de una obra de toma y una barrera móvil (compuerta de clapeta), que da origen a un canal de aducción (escurrimiento libre) de 3876 metros, y a continuación una aducción en presión de 70 metros de longitud. Esta conduce un caudal máximo de $84 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta la zona de caída, igual a 50,4 metros, que genera una potencia nominal de 38 MW.

viii. Canal de Evacuación de la Central Loma Alta

Los recursos utilizados son restituidos al río Maule, unos 80 metros aguas arriba del canal Aducción Maule, que alimenta al embalse Melado. Esto se realiza mediante un canal de 963 metros de longitud, de los cuales los últimos 130 metros no son revestidos.

ix. Aducción Maule Embalse Melado

Obra de conducción de 7.200 m de longitud que permite portear un caudal máximo de $140 \text{ m}^3/\text{s}$ desde el río Maule al embalse Melado.

x. Aducción Común Central Pehuenche

Obra de conducción que permite alimentar la central Pehuenche, cuya obra de toma se encuentra en el embalse Melado. Se trata de un túnel de unos 6.550 m de longitud, diseñado para conducir un caudal máximo de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta la caverna de máquinas. La central Pehuenche utiliza una altura de caída de 206 m y posee una potencia instalada de 500 MW.

xi. Canal de Evacuación de la Central Pehuenche

Los recursos utilizados para generación eléctrica en la central Pehuenche son entregados al río Maule aguas arriba del embalse Colbún.

xii. Túnel de Alimentación de la Central Colbún

Las aguas son llevadas desde el embalse Colbún a la central Colbún mediante un túnel de aducción de 2.650 m de longitud que lleva a un pique en presión vertical de

168 m de caída y mediante un túnel blindado, a la caverna de máquinas, excavada en los cerros vecinos. Esta obra tiene un caudal de 280 m³/s y permite generar una potencia instalada de 400 MW.

xiii. Canal de Evacuación de la Central Colbún

Tras pasar por las unidades generadoras de la central Colbún, las aguas son conducidas por dos túneles de descarga que confluyen a un túnel acueducto que desemboca en el canal de evacuación, de 1.500 de longitud. El agua evacuada alimenta directamente al embalse Machicura.

xiv. Alimentación de la Central Machicura

Desde el embalse Machicura las aguas son conducidas mediante dos túneles de 205 metros, con un caudal de 280 m³/s, y a través de tuberías las conduce a la casa de máquinas con una caída de 37 metros de altura, que permite generar una potencia de 90 MW.

xv. Canal de Devolución Machicura

Esta obra de un caudal de 280 m³/s conduce al río Maule el agua evacuada por la central Machicura. Está construido con una sección trapecial y posee 23,8 km de largo. Además, tiene la función de abastecer las demandas de riego afectadas por la construcción del complejo Colbún-Machicura.

xvi. Aducción Central San Ignacio

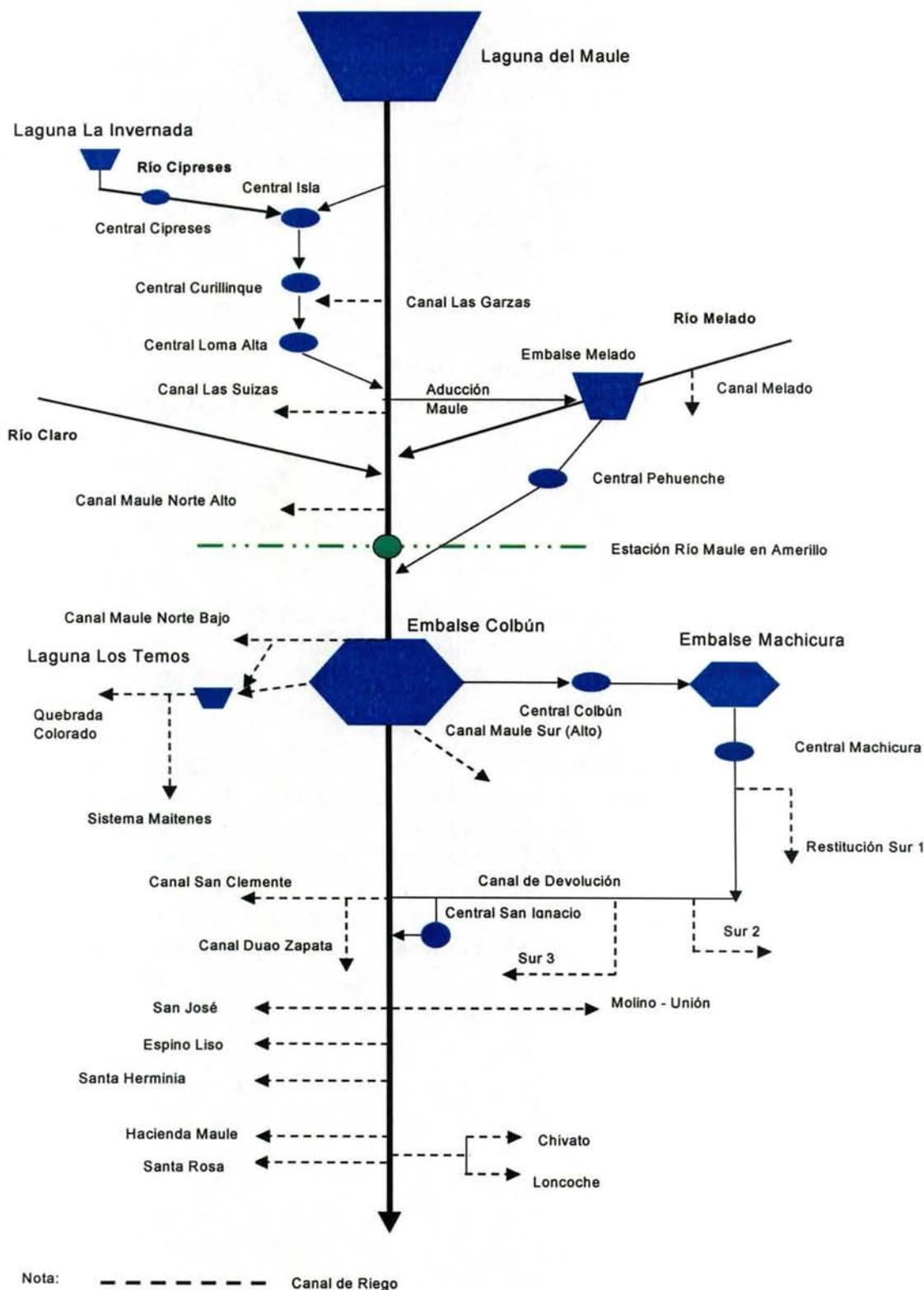
Utiliza parte de las aguas que entrega el canal de devolución Machicura, ubicándose en la parte final del mismo. Posee una sección rectangular con 248,6 metros de longitud. El diseño considera un caudal de 194 m³/s y una caída de 21 metros de altura que generan una potencia nominal de 37 MW.

xvii. Canal de Evacuación Central San Ignacio

Las aguas son restituidas al río Maule mediante un canal de 180 m³/s de capacidad y 2858 metros de longitud.

La Figura 3-13. presenta un diagrama de flujo esquemático de la distribución de las aducciones destinadas a hidroelectricidad y su relación con las centrales hidroeléctricas

Figura 3 - 13. Diagrama de Flujo Operación Centrales Hidroeléctricas



Fuente: Estudio "Bases Plan Director Cuenca del Maule" proporcionada por la Junta Vigilancia Río Maule.

III.4.7 Embalses

Este objeto posibilita la representación de una obra de regulación de caudal ubicada en cualquier lugar de la cuenca de estudio, que recibe agua de acuerdo a los aportes definidos mediante la topología y entregan agua de acuerdo a cierta regla de operación característica. Las entradas al embalse corresponden a los caudales afluentes desde cuencas (cabecera o intermedias) y desde canales alimentadores. Las salidas pueden ser las entregas para riego y/o generación eléctrica (para energía con o sin generación), rebases, evaporación y filtración.

La información necesaria para la incorporación de estos elementos se asocia a características generales (inicio operación, volúmenes, cotas, etc.), reglas de operación (curva de alerta), caudales de demandas, caudales de filtraciones, caudales de entregas, volumen embalsado, caudal de rebases, curvas de embalse y tasa de evaporación.

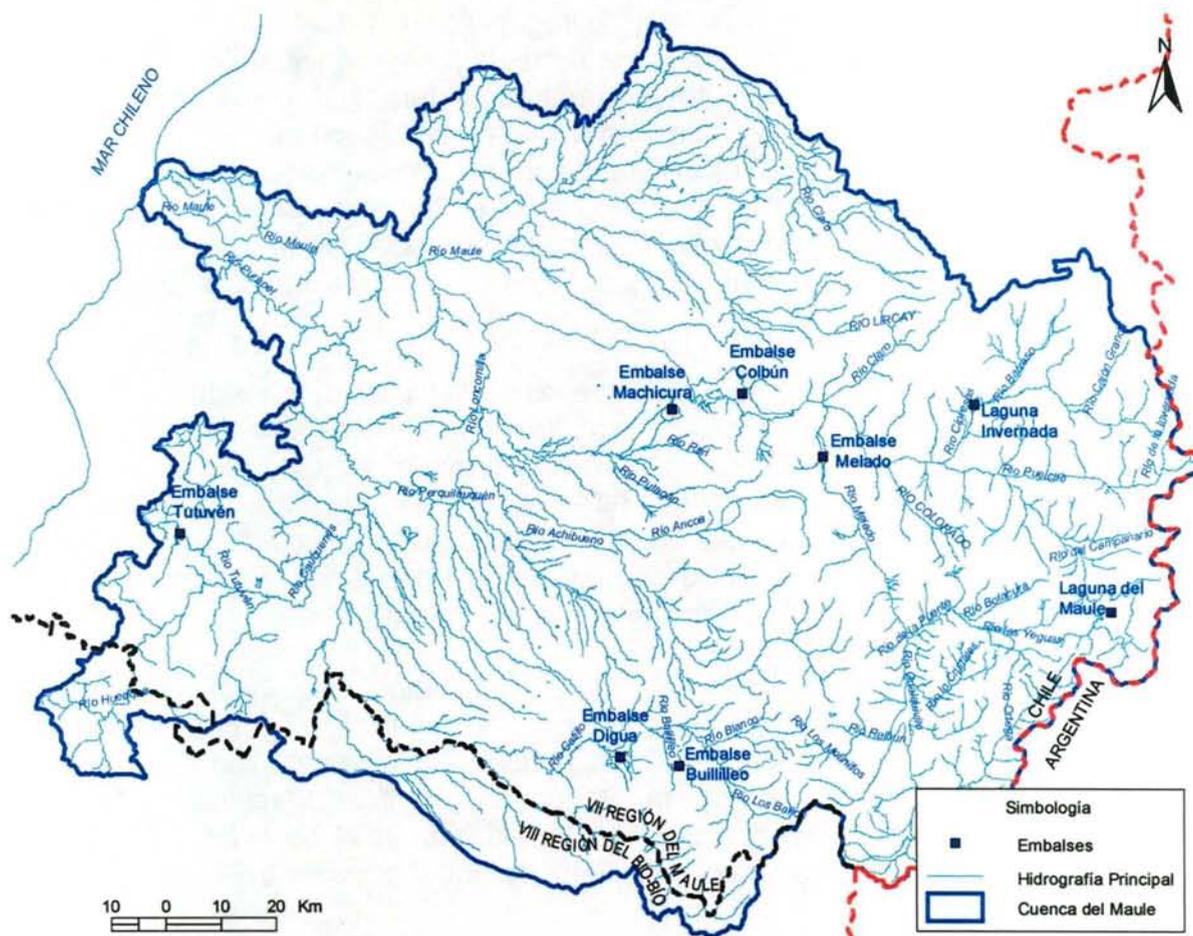
Para la implementación de los embalses en el modelo MAGIC en la cuenca del Maule, se utilizó como información base la incorporada en el *estudio PD Maule* y el *estudio ModMaule*.

Los embalses existentes en la cuenca del Maule poseen distintos destinos pudiendo distinguir aquellos asociados a la generación hidroeléctrica, al riego y a ambos. A continuación se mencionan algunas de las principales características de los 8 embalses existentes en la cuenca.

La Laguna del Maule es el único embalse de uso mixto, estando orientado al riego y a la hidroelectricidad. Su operación varía entre las cotas 2.152,1 y 2.180,0 m.s.n.m., con un volumen de regulación de 1.416 millones de m³. Su uso se realiza conforme al convenio entre ENDESA y la Dirección de Riego que data desde 1947. La operación de este embalse permite regular interanualmente los recursos de la cuenca alta del río Maule, supliendo, a través de las entregas del embalse, el déficit que se producen en los canales del sistema Maule durante la época de riego.

La Figura 3-14 muestra la ubicación en planta de los 8 embalses existentes en la cuenca del Maule.

Figura 3 - 14. Ubicación de Embases



- **Embases Destinados a la Generación Hidroeléctrica**

El embalse Colbún construido por ENDESA, tiene una capacidad total de 1.500 Mm³, con capacidad útil de 1.116 millones de m³ y con su operación variable entre la cota 397 y la cota 436 m.s.n.m. Alimenta a la central hidroeléctrica Colbún, diseñada para un caudal de 280 m³/s y potencia instalada nominal de 400 MW. Para formar la cubeta del embalse se construyeron una presa principal (muro de tierra) de 116 m de altura y 550 m de longitud a la cota de coronamiento, y tres presas menores: los pretils Colorado, Centinela y Sur. Este embalse corresponde fundamentalmente a una obra de regulación destinada a la generación de energía eléctrica, pero también está estrechamente ligada con el abastecimiento de las demandas de riego, ya que desde él se realizan la mayor parte de las entregas destinadas a satisfacer los requerimientos de los usuarios del sistema Maule. Este embalse tiene restricciones de riego conforme a lo establecido en la resolución DGA 105/83.

El embalse Machicura, también construida por ENDESA, tiene una capacidad máxima de 55 Mm^3 , con un volumen de regulación útil de 13 Mm^3 . La cubeta del embalse está formada por tres presas de tierra: la presa principal de 32 m de altura y 540 m de longitud de coronamiento, la presa secundaria y el pretil poniente de 2.360 m de longitud. Los recursos acumulados alimentan la central de generación de energía eléctrica Machicura, diseñada para un caudal de $280 \text{ m}^3/\text{s}$ y potencia instalada nominal de 90 MW. Además, este embalse actúa como estanque de compensación de la central Colbún, haciendo posible el abastecimiento de los sistemas de riego existentes aguas abajo, sin variaciones bruscas de caudal a lo largo del día.

El embalse Melado se trata de un embalse de regulación horaria y de fin de semana, construido por ENDESA en el valle del río Melado mediante una presa de tierra de 90 m de altura máxima y 310 m de longitud en su coronamiento. Las aguas acumuladas alimentan a la central hidroeléctrica Pehuenche, diseñada para un caudal de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ y una potencia nominal de 500 MW. Los límites de operación del embalse Melado son la cota 639.5 y 648.0 m.s.n.m., con un volumen de regulación de 33 millones de m^3 , Capacidad 135 millones de m^3 (según modmaule).

El embalse Laguna de La Invernada es de regulación estacional, varía entre las cotas 1.280 y 1.319 m.s.n.m., con un volumen de regulación de 179 millones de m^3 que equivale a una energía de 380 GWh a través de la generación de las centrales Cipreses, Isla, Curillinque, Loma Alta, Pehuenche, Colbún, Machicura y S. Ignacio. La laguna fue construida en el año 1948, posee una presa de tierra, con una altura de 28 metros y una longitud de coronamiento de 350 metros.

- **Embalses Destinados al Riego**

El embalse Bullileo corresponde a la obra principal del sistema de riego Bullileo-Longaví; estando formado por una presa de tierra de 73 m de altura máxima y que acumula los recursos de una cuenca afluente de 85 Km^2 . La capacidad de regulación útil de este embalse es de unos 60 Mm^3 , abasteciendo a una superficie de riego de 25.000 has aproximadamente. Este embalse no tiene capacidad para efectuar regulaciones interanuales; prácticamente todos los años rebalsa durante el invierno y se agota al fin de la temporada de riego.

El embalse Digua es la obra principal del sistema de riego Digua-Perquillauquén, ubicado unos 37 Km. al suroriente de Parral, sobre el río Cato afluente al río Perquillauquén. Este embalse comenzó a operar en 1971, tiene una capacidad de 220 Mm^3 , de regulación anual y abastece de agua a una superficie de riego aproximado de 35000 has.

El embalse Tutuvén, ubicado a unos 10 Km al Noroeste de Cauquenes, tiene una capacidad útil de unos 16 Mm^3 , permite una regulación anual y posibilita el riego de

2500 has aproximadamente. Está formado por dos muros de tierra, siendo el primero el que cierra el valle del río Tutuvén y el segundo el que cierra un portezuelo lateral. El muro principal tiene 183 m de longitud y 31,85 m de altura máxima, mientras que el muro lateral tiene una longitud de 628 m y 16,15 m de altura máxima. Las obras de toma tienen una capacidad de 2 m³/s y entregan al canal matriz del sistema de riego a través de un sifón que atraviesa bajo el vertedero de descarga de crecidas. La estructura de evacuación de crecidas está constituida por un vertedero de superficie de dos vanos, con capacidad para 600 m³/s.

Como parte de la definición de las reglas de operación de los embalses, el modelo permite la definición de una curva de alerta, que consiste en definir un volumen mínimo que debe tener el embalse en cada mes. De esta forma, el embalse puede restringir o aumentar sus entregas de agua cada mes. En el Cuadro 3-11 se presentan los valores Alerta de Embalse, obtenidos del estudio *ModMaule*. De la misma fuente de información, se extrajeron datos de evaporación mensual de cada embalse obtenidos a partir del método de evaporación de bandeja, los cuales se presentan en el Cuadro 3-12.

De acuerdo a información incorporada en el estudio *PD Maule*, el Banco Nacional de Aguas (BNA) del MOP, cuenta con registros de evaporación en la estación Ancoa Embalse y en la estación Tutuvén Embalse, los cuales se presentan en el Cuadro 3-13 y en el Cuadro 3-14, respectivamente.

Cuadro 3 - 11. Curva de Alerta de Embalses (mill m3)

EMBALSES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Laguna del Maule*	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0
Laguna Invernada*	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	71.2	92.2	67.6	45.1	13.0
Melado**	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0
Colbún*	900.5	802.1	839.7	837.7	999.2	1037.1	1037.1	1390.4	1375.0	1359.6	1239.6	1239.1
Bullilleo**	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
Digua**	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
Machicura***	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
Tutuvén**	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

* MODMAULE, CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda.

** V Alerta = min de los promedios anuales

*** Dado su bajo volumen de regulación se consideró el vol muerto

Cuadro 3 - 12. Tasas de Evaporación Mensuales de Embalses

Nombre Embalse	Tasa Evap. Abr mm/mes	Tasa Evap. May mm/mes	Tasa Evap. Jun mm/mes	Tasa Evap. Jul mm/mes	Tasa Evap. Agos mm/mes	Tasa Evap. Sept mm/mes	Tasa Evap. Oct mm/mes	Tasa Evap. Nov mm/mes	Tasa Evap. Dic mm/mes	Tasa Evap. Ene mm/mes	Tasa Evap. Feb mm/mes	Tasa Evap. Mar mm/mes
Laguna del Maule	102.80	59.30	31.00	37.70	54.60	79.60	104.50	147.00	194.00	200.70	178.60	158.50
Laguna Invernada	102.80	59.30	31.00	37.70	54.60	79.60	104.50	147.00	194.00	200.70	178.60	158.50
Melado	87.10	49.60	32.00	42.80	62.70	78.10	101.00	137.70	180.40	200.50	162.60	140.60
Colbún	87.10	49.60	32.00	42.80	62.70	78.10	101.00	137.70	180.40	200.50	162.60	140.60
Bullilleo	34.00	25.00	17.00	14.00	25.00	46.00	67.00	94.00	118.00	138.00	101.00	74.00
Digua	34.00	25.00	17.00	14.00	25.00	46.00	67.00	94.00	118.00	138.00	101.00	74.00
Machicura	87.10	49.60	32.00	42.80	62.70	78.10	101.00	137.70	180.40	200.50	162.60	140.60
Tutuvén	62.90	40.00	27.70	35.30	44.60	63.60	100.60	133.70	181.20	192.00	159.10	120.90

Fuente: Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del Río Maule, CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda.

Cuadro 3 - 13. Registros Observados de Evaporación (mm) - Estación Ancoa Embalse

ANO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1964/65											170.0	153.0	
1965/66	55.2	28.4	20.9	22.1	33.8	68.3	94.2	150.3	162.5	227.9	182.8	136.2	1,182.6
1966/67	45.0	40.5	10.0	20.9	37.4	79.9	110.8	148.0	165.9	197.0	172.4	148.6	1,176.4
1967/68	92.4	27.1	19.8	25.7	45.3	71.0	85.7	155.2	250.0	248.1	169.8		
1968/69	71.1	51.5	31.1	29.5	53.0	59.0	100.0	114.0	132.4	198.0	187.0	164.0	1,190.6
1969/70	91.0	31.2	3.3	14.9	16.3	43.7	114.0	162.5	249.2	246.1	190.0	166.5	1,328.7
1970/71	137.6	26.4	25.0	33.2		46.0	98.8	139.8		140.9	153.0	107.0	
1971/72	73.1	18.5	10.6	8.8	31.6	56.9	99.1	158.0	166.6	215.5	202.6	116.2	1,157.5
1972/73	28.0												
1973/74	13.9	29.2	24.9	29.1	40.9	50.7	112.3	155.5	223.0	231.5	176.0	154.5	1,241.5
1974/75	80.0	52.0	31.5	50.9	58.8	55.0	98.5	156.0	195.7	244.5	204.3	153.3	1,380.5
1975/76	65.9	23.2	8.1	2.7	25.6			158.6	201.2	232.1	170.5	147.8	
1976/77	77.4	24.0	16.1	12.2	41.9	27.1	52.2	120.6	181.7	209.9	155.9	120.6	1,039.6
1977/78	65.3	20.1	24.6	14.5	18.6	36.7	140.3	115.0	155.1	227.9	119.1	132.9	1,070.1
1978/79	23.5	8.2	13.1	16.5	30.5	54.5	133.4	139.4	193.1	176.0	171.7	121.6	1,081.5
1979/80	52.9	7.8	20.5	45.7	48.0	83.1	93.6	142.5	204.9	189.2	151.3	100.9	1,140.4
1980/81	60.1	27.0	24.0	32.0	43.8	51.2	87.6	122.6	196.0	178.4	161.2	121.8	1,105.7
1981/82	57.4	30.7	21.1	19.9	40.7	56.6	102.7	166.4	213.8	231.5	166.2	123.0	1,230.0
1982/83	66.4	27.1	42.5	48.9	45.7	51.1	69.4	105.0	172.6	165.8	160.0	98.8	1,053.3
1983/84	35.0	19.4	11.1	34.4	39.3	53.0	58.0	117.1	180.0	193.1	144.1	105.3	989.8
1984/85	42.5	31.1	25.0	29.5	30.0	70.1	88.6	103.1	200.4	240.4	192.0	123.0	1,175.7
1985/86	48.4	36.4	21.1	30.5	36.3	53.1	75.9	162.7	220.2	233.0	190.1	113.6	1,221.3
1986/87	58.6	31.5	22.3	34.8	31.6	59.9	112.3	154.2	168.9	210.0	177.0	131.0	1,192.1
1987/88	62.8	26.4	11.7	21.4	26.3	51.0	102.3	151.9	156.4	196.8	143.9	132.3	1,083.2
1988/89	46.9	27.3	21.3	25.7	36.9	46.4	91.3	138.8	198.3	222.9	175.2	115.4	1,146.4
1989/90	43.9	24.3	16.6	19.1	36.9	36.1	98.9	125.0	109.9	186.4	145.6	87.4	930.1
1990/91	35.2	15.1	10.7	18.7	28.6	58.1	80.6	88.9	169.1	188.9	148.0	132.7	974.6
1991/92	47.6	21.2	11.1	20.5	31.3	48.7	70.9	112.2	155.9	178.5	134.6	110.2	942.7
1992/93	48.8	24.4	15.8	27.5	33.6	32.2	77.1	130.8	168.0	193.0	137.5	126.9	1,015.6
1993/94	45.3	23.7	18.9	14.6	22.7	51.8	79.2	118.7	190.5	200.3	156.2	111.2	1,033.1
1994/95	39.5	27.8	17.5	26.0	31.8	69.8	89.2	148.8	197.5	207.5	154.9	108.2	1,118.5
1995/96	59.0	24.1	19.4	16.5	31.7	65.9	35.1	97.5	126.2	209.7	184.2	174.4	1,043.7
1996/97	114.5	56.5	39.1	39.1	51.3	55.9	126.6	129.0	189.5	200.0	166.1	109.3	1,276.9
1997/98	65.5	30.1	17.1	21.4	23.9	47.4	87.9	154.5	183.1	194.2	119.8	98.2	1,043.1
1998/99	51.7	24.5	21.3	25.0	31.5	39.8		107.3	169.9	166.6	140.3	115.6	
1999/00	49.9	17.8	24.3	13.6	18.7	44.6	83.5	117.6	215.9	214.3	159.1	91.2	1,050.5
2000/01	36.8	24.6	13.6	10.7	16.8		35.3						
2001/02													
Promedio	58.0	27.4	19.6	24.5	34.4	53.8	90.5	134.3	183.7	205.8	163.8	125.1	1120.5
Desv. Est.	24.2	10.4	8.3	11.0	10.4	12.8	24.0	21.7	31.2	25.7	21.2	22.1	110.3
Máx	137.6	56.5	42.5	50.9	58.8	83.1	140.3	166.4	250.0	248.1	204.3	174.4	1380.5
Mín	13.9	7.8	3.3	2.7	16.3	27.1	35.1	88.9	109.9	140.9	119.1	87.4	930.1

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule" mediante datos proporcionados por el BNA.

Cuadro 3 - 14. Registros Observados de Evaporación (mm) - Estación Tutuvén Embalse

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1975/76						74.9	146.2	157.0					
1976/77		34.4											
1977/78								151.0	207.0				
1978/79	40.3		11.8	25.4			62.4	151.8	205.5	181.8	145.5	118.8	
1979/80	57.7		11.0	20.4	30.6	74.1	93.3	175.9	220.4	194.5	160.7	120.3	
1980/81	62.9	29.9	16.6	15.2	27.0	36.0	109.0	148.3	227.6	184.5	166.8		
1981/82	68.8	33.2	35.2	39.1	47.3	63.9	119.3			171.5	139.7	102.7	
1982/83	56.0	46.7	34.1	35.1	37.6	40.0	76.0	117.9	183.5	146.4	152.5	90.7	1,016.5
1983/84	60.8	43.5	25.8	40.3	71.6	88.9	91.1	141.3	207.1	260.4	202.0	136.4	1,369.2
1984/85	58.4	35.0	8.1	47.5	49.6	77.8	117.4	125.5	150.5	211.9	151.0	100.8	1,133.5
1985/86	50.6	39.9	32.4	40.1	48.0	93.2	115.9	133.6	189.9	173.4	157.2	110.0	1,184.2
1986/87	77.5	40.0	37.8	33.7	40.3	56.8	114.9	119.9	171.9	224.2	163.0	117.4	1,197.4
1987/88	78.9	43.6	39.4	41.2	47.4	68.5	115.7	109.2	150.5	230.1	147.6	119.0	1,191.1
1988/89	56.7	37.4	39.9	38.5	42.8	37.3	66.3	139.4	172.4	177.3	164.5	142.4	1,114.9
1989/90		61.6		42.1	58.9	75.3	105.2	133.6	131.2	176.4	164.3	141.5	
1990/91	67.0	39.4	34.3	36.4	35.6	51.2		66.3	136.8	163.5	153.2	150.1	
1991/92	81.5	35.1	33.0	38.1	42.3	52.4	74.5	111.6	149.9	171.7	139.2	124.9	1,054.2
1992/93	69.3	56.8	33.0	45.9	71.8	73.8	101.3	115.2	117.3		123.0	121.2	
1993/94	90.8	77.6	44.3	37.7	38.9	55.6	67.9	96.6	138.4	198.6	150.4	124.9	1,121.7
1994/95	50.9	41.2	36.4	37.3	32.0	55.3	94.2	130.8	166.2	200.9	155.7	176.0	1,176.9
1995/96	111.8	44.7	28.5	30.8	50.3	45.6	66.3	83.5	128.1	169.3	110.1	104.4	973.4
1996/97	71.1	49.7	41.4	40.8	40.3	62.8	145.1	149.8	179.7	174.3	139.3	113.1	1,207.4
1997/98	63.9	53.6	42.2	41.9	65.5	63.5	99.6	137.1	170.3	189.0	105.7	112.0	1,144.3
1998/99	62.7	40.6	40.7	34.8	42.9	49.6	97.5	128.5	171.7	151.5	151.3	130.6	1,102.4
1999/00	83.9	58.4	54.8	36.2	48.4	67.1	87.1	99.7	177.2	179.8	121.3	85.7	1,099.6
2000/01	48.2	45.3	43.1	40.9	42.2								
2001/02													
Promedio	66.8	44.9	32.9	36.5	46.0	62.0	98.5	127.1	170.6	187.2	148.4	121.1	1128.8
Desv. Est.	16.1	11.2	11.8	7.5	12.0	15.7	23.8	25.3	30.8	26.9	20.9	20.7	99.3
Máx	111.8	77.6	54.8	47.5	71.8	93.2	146.2	175.9	227.6	260.4	202.0	176.0	1369.2
Mín	40.3	29.9	8.1	15.2	27.0	36.0	62.4	66.3	117.3	146.4	105.7	85.7	943.3

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule" mediante datos proporcionados por el BNA.

En cuanto a las Curvas de Embalse, MAGIC requiere de 4 curvas para definir cada embalse. Estas corresponden a:

- Volumen almacenado en función de la cota
- Superficie del espejo de agua en función de la cota
- Caudal de filtración en función del volumen embalsado
- Caudal máximo de entrega en función del volumen embalsado

En el estudio PD Maule, dichos puntos han sido parametrizados a través de relaciones polinomiales de grado 3. Los parámetros considerados se presentan desde el Cuadro 3-15 al Cuadro 3-18.

Cuadro 3 - 15. Curva Volumen Embalsado (mill m³) v/s Cota (msnm)

Embalse	Curva
Lag. Maule	$4,1099e-03 \cdot h^3 - 2,6484e+01 \cdot h^2 + 5,6931e+04 \cdot h - 4,082706e+07$
Lag. Invernada	$2,6739e-04 \cdot h^3 - 9,6352e-01 \cdot h^2 + 1,1542+03 \cdot h - 4,5952e+05$
Melado	$-7,5112E-04 \cdot h^3 + 1,4868E+00 \cdot h^2 - 9,7668E+02 \cdot h + 2,1306E+05$
Colbún	$6,8054e-03 \cdot h^3 - 8,0351e+00 \cdot h^2 + 3,1781e+03 \cdot h - 4,2073e+05$
Bullileo	$1,2005e-05 \cdot h^3 + 7,2092e-04 \cdot h^2 - 1,4967e+01 \cdot h + 6,1423e+03$
Digua	$1,4948e-04 \cdot h^3 - 1,2178e-01 \cdot h^2 + 3,1297e+01 \cdot h - 2,4377e+03$
Tutuvén	$1,1276e-03 \cdot h^3 - 4,7988e-01 \cdot h^2 + 6,7594e+01 \cdot h - 3,1472e+03$
Machicura	Sin Información

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 16. Curva Superficie Espejo de Agua (km²) v/s Cota (msnm)

Embalse	Curva
Lag. Maule	$3,7929e-02 \cdot h^3 - 2,4726e+02 \cdot h^2 + 5,3736e+05 \cdot h - 3,892979e+08$
Lag. Invernada	$3,2146e-03 \cdot h^3 - 1,2581e+01 \cdot h^2 + 1,6429e+04 \cdot h - 7,15743e+06$
Melado	Sin Información
Colbún	$-2,5997e-02 \cdot h^3 + 3,3960e+01 \cdot h^2 - 1,4665e+04 \cdot h + 2,09765e+06$
Bullileo	$-5,5345e-04 \cdot h^3 + 1,1223e+00 \cdot h^2 - 7,5299e+02 \cdot h + 1,67345e+05$
Digua	$-6,4761e-04 \cdot h^3 + 7,9449e-01 \cdot h^2 - 3,1238e+02 \cdot h + 3,98384e+04$
Tutuvén	$3,5997e-02 \cdot h^3 - 1,7559e+01 \cdot h^2 + 2,8688e+03 \cdot h - 1,56875e+05$
Machicura	Sin Información

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 17. Curva Filtración (m³/s) v/s Vol (mill m³)

Embalse	Curva
Lag. Maule	Sin Información
Lag. Invernada	Sin Información
Melado	Sin Información
Colbún	$1,13568e-02 \cdot v - 7,46103e+00 (*)$
Bullileo	$7,54042e-05 \cdot v^2 + 8,0106e-03 \cdot v - 2,2882e-02$
Digua	Sin Información
Tutuvén	Sin Información
Machicura	Sin Información

(*) v >= 665 mill m³ (en caso contrario filtración es nula)

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 18. Curva Q máx (m³/s) v/s Vol (mill m³)

Embalse	Curva
Lag. Maule	$6,498806e-08 \cdot v^3 - 2,0367e-04 \cdot v^2 + 2,6258e-01 \cdot v + 1,6454e+01$
Lag. Invernada	$9,5243e-04 \cdot v^3 - 9,0658e-02 \cdot v^2 + 2,807e+00 \cdot v + 9,994e+00$ (v <= 35 mill m ³) $- 3,9339e-05 \cdot v^2 + 1,7111e-02 \cdot v + 3,7632e+01$ (35 < v < 150 mill m ³) 39,3 (v >= 150 mill m ³)
Melado	$0,9375 \cdot v$
Colbún	$0,3559 \cdot v - 132,02$
Bullileo	Sin Información
Digua	$0,1256 \cdot v$
Tutuvén	$2,2193 \cdot v$
Machicura	Sin Información

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

En relación con la Curva de Filtración de la Laguna del Maule, de acuerdo a antecedentes del estudio PD Maule, ENDESA S.A. no lleva un control que permita evaluar y/o determinar este parámetro. Particularmente el control que se lleva de la Laguna del Maule corresponde a las extracciones, el cual es llevado en forma conjunta con la Dirección de Obras Hidráulicas, y a la fecha no se han realizado estudios y/o evaluaciones de las filtraciones que pudiesen producirse.

En cuanto al estado de los embalses existentes en la cuenca del Maule, el Cuadro 3-19 presenta los volúmenes mensuales embalsados de acuerdo a datos extraídos del estudio PD Maule.

Cuadro 3 - 19. Volúmenes Embalsados (Mm³)

Laguna La Invernada												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1998	173.43	173.74	169.36	165.67	113.54	62.17	10.21	2.54	2.24	12.3	7.84	8.01
1999	5.78	3.49	2.4	2.62	3.43	8.75	13.06	21.7	29.49	35.55	101.32	134.32
2000	110.31	70.22	25.95	6.22	6.77	34.98	44.67	28.2	34.19	68.57	138.92	169.18
2001	169.93	156.48	115.47	67.65	51.53	47.61	88.79	88.63	70.61	89.07	143.59	169.33
2002	167.6	147.78	143.8	124.2	110.01	87.76	78.55	118.53	163.5	169.33	170.16	169.03
ND: Valor correspondiente al último día del mes												
Embalse Melado												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1998	124.83	115.84	115.46	109.2	129.59	121.76	109.05	119.36	113.9	111.67	116.22	111.52
1999	119.78	108.76	102.22	103.49	107.01	125.62	114.28	125.03	124.16	133.38	134.33	119.94
2000	123.61	121.1	125.54	110.85	123.92	133.42	123.92	116.56	124.59	132.93	135.54	125.42
2001	130.57	115.27	108.14	109.01	133.06	113.35	133.22	135.87	119.36	115.46	121.56	114.66
2002	121.02	121.52	127.98	109.23	115	124.24	120.67	136.04	130.16	136.49	133.18	134.87
ND: Valor correspondiente al último día del mes												
Embalse Colbún												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1998									547.51	518.27	452.02	429.26
1999	387.36	358.52	344.54								1550.9	1404.5
2000	1252.99	1311.2	1101.5	786.01	752.24	1485.8	1390.7	1245.5	1414.4	1544.7	1552.3	1556.6
2001	1546.58	1479.3	1255.5	1062.6	1363.7	1332.7	1497.5	1506.4	1472.4	1487.7	1433.9	1515.3
2002	1378.68	1277.2	1182.8	926.04	1021.5	1168.6	1254.7	1513.4	1513.9	1546.6	1541.8	1549.9
ND: Valor correspondiente al último día del mes												
Laguna del Maule												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	1255.44	1214.4	1156.6	987.65	900.94	880.17	831.42	801.91	774.77	798.26	789.39	683.27
1997	517.21	372.52	282.98	219.84	200.36	232.22	249.18	280.19	314.73	349.67	383.98	465.15
1998	522.66	556.9	582.41	587.42	608.55	627.77	616.13	554.89	506.33	479.82	434.03	351.57
1999	246.43	153.79	115.59	77.4	84.15	103.96	118.61	140.1	167.48	187.29	234.97	283.91
2000	308.6	327.94	341.14	356.34	373.02	407.92	437.41	463.68	492.05	510.29	553.39	631.31
2001	682.24	709.44	730.62	750.25	787.82	813.5	866.86	898.27	912.68	937.95	987.11	1055.9
2002	1092.77	1062.4	1090	1101.6	1133.2	1166.7	1171.1	1212.1	1238.6	1257.3	1301.1	1394.3
ND: Valor correspondiente al último día del mes												

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 20. Volúmenes Embalsados (Mm³) (Continuación)

Embalse Digua												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1994	23.91	81.24	156.89	207.73	222.97	227.4	200.44	154.32	80.65	19.8	2.61	5.65
1995	10.42	82.42	171.08	211.23	227.81	228.69	218.28	183.31	87.8	22.9	7.95	9.38
1996	16.18	56.66	103.68	158.1	205.77	166.24	132.87	83.51	29.08	2.75	2.58	15.91
1997	55.81	135.52	180.26	217.67	227.41	229.09	227.89	195.31	123.12	51.31	15	20.05
1998	41.91	83.39	124.99	164.09	193.68	162.65	128	83.95	36.05	10.23	3.37	3.63
1999	11.58	63.07	116.12	178.33	227.09	228.13	204.67	146.08	71.08	24.46	10.24	3.79
2000	21.26	111.03	167.46	224.39	226.77	228.77	215.78	162.87	104.72	40.71	16.66	16.81
2001	67.55	125.77	204.54	215.29	227.01	217.95	182.55	124.34	51.66	40.71	30.21	56.14
2002	88.54	116.03	165.53	225.86	226.07	229.49	228.61	210.67	145.86	77.37	36.14	
ND: Valor correspondiente al último día del mes												
Embalse Tutuvén												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1995	8.3	6	2.4		0.6	2	14	14	14	14	14	12
1996	8.4	5.4	2.4	0.7		2.9	6.9	11		12	9.3	9
1997	8.7	5.1	1.2	2.3	1.7	11	13	13	13	13	13	13
1998	8.3	7	6.1	2.7	1.7	2.3	3.6	5.1	6.6	6.8	6	4.3
1999	3.1	0.9	0	0	0	2.8	4.2	9.8	13	13	12	10
2000	6.8	4.1	2.8	1.5	1.8	13	13	13	13	13	12	11
2001	8.2	4.5	2.8	2.7	5.4	11	14	13	13	13	12	9
2002	6.6	2.7	1.8	7.9	3.5	10	14	13	15	15	15	15
ND: Valor correspondiente al último día del mes												
Embalse Bullileo												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1976									50.12	25	1.85	0.35
1977	0	22.7	60	60	60	60	60	60	48.52	19.97	2.11	0.15
1978	5.91	21.56	60	60.55	60.45	61.23	60.58	60.13	49.77	26.48	3.2	0
1979	0	4.98	39.7	62.68	60.63	60.15	60.13	60.05	46.41	27.65	10.47	22.04
1980	51.28	60	60	60.3	60.38	60.08	60	58.02	44.72	15.75	1.84	0
1981	60.8	60.3	60.4	60.3	60.35	60.1	60	49.27	30.69	12.85	0	0
1982	8.22	61.05	60.7	60.9	s/inf	33.3	38.06	41.03	40.6	21.53	2.36	0
1983	0	3.43	1.1	8.89	24.62	36.12	39.72	40.05	27.69	8.51	0	0
1984	0	0	26.8	45.24	48.89	58.55	60.18	59.98	56.54	35.05	8.52	1.4
1985	0	5.29	31.53	41.36	57.38	60.58	60.15	60	39.58	14.74	2.23	0
1986	30.12	60.5	60.93	60.68	60.3	60.2	60.7	60.03	40.33	11.52	0	0
1987	0	11.06	60.93	60.45	60.65	60.3	60.08	56.1	31.92	6.38	0	0
1988	3.12	21.84	55.36	60.83	60.33	60.25	60.03	56.22	33.46	8.59	0	0
1989	2.69	7.17	20.34	56.7	60.53	60.18	59.88	58.26	37.08	12.92	0	1.2
1990	2.73	10.62	18.13	30.87	60.68	60.23	60.08	50.42	28.8	8.71	0.42	0
1991	56.16	60.95	60.65	60.4	60.4	60.3	60.08	60.08	49.5	22.17	5.52	0
1992	29.92	54.37	60.2	61.05	60.8	60.45	60.28	59.98	46.28	20.79	0	0
1993	1.68	54.18	55.46	60.85	60.48	60.53	60.2	59.98	45.14	16.78	2.64	1.37
1994	0	28.27	60.85	60.35	60.8	60.3	60.08	58.29	36.97	15.23	0.95	0
1995	2.55	45.01	60.8	61.03	60.4	60.25	60.08	59.88	42.1	17.97	2.34	0
1996	0	12.78	21.98	33.63	41.78	45.18	46.3	36.9	19.98	5.96	1.12	7.98
1997	12.51	61.05	61.43	59.7	59.44	59.32	60.15	60.05	49.26	22.6	1.19	1.52
1998	1.68	7.15	15.5	22.37	28.4	30.58	30.43	24.61	15.13	4.43	0.86	1.55
1999	4.14	16.49	31.53	51.52	60.4	60.15	60.03	57.2	38.76	26.9	7.6	1.4
2000	3.76	62.8	60.68			60.2	60.08	59.95	49.52	26.7	5.7	2.55
2001	36.94	32.98	60.93	61.18	60.3	60.13	60.05	56.44	37.18	14.92	16.4	16.29
2002	31.97	30.43	57.2	61.3	60.48	60.43	60.2	60.05	53.09	26.99		
ND: Valor correspondiente al último día del mes												

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Con respecto a los embalses Laguna del Maule, Laguna Invernada, Melado, Bullileo y Digua, se presentan otros antecedentes recopilados en el estudio PD Maule y que resultan de interés para contrastar los valores resultantes de la implementación de MAGIC en la cuenca del Maule. Esta información se indica desde el cuadro 3-20 al Cuadro 3-24.

Cuadro 3 - 21. Otros Flujos Embalse Laguna del Maule

Caudal de Entrega (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1993					1.71	0.59	0.00	0.00	0.61	0.04	0.00	0.00
1994	11.99	34.20	17.22	16.73	7.93	21.45	14.32	5.61	7.57	0.42	0.00	0.00
1995	29.22	35.87	13.24	13.53	22.15	4.73	4.26	4.89	0.00	0.00		0.00
1996	15.30	26.77	29.75	79.99	44.84	18.10	26.56	20.96	16.61	0.00	11.89	50.11
1997	74.77	74.01	43.05	38.51	18.54	1.47	0.66	0.00	0.00		0.00	0.00
1998	0.00	0.00	0.00	8.77	0.67	0.00	10.99	31.60	28.60	17.63	23.98	38.85
1999	47.36	44.34	19.06	20.50	2.56	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	0.00	23.39	0.00	2.81	1.41	0.00	7.96	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	17.83	7.02										

Caudal de Evaporación (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1993												
1994	4.16	3.30	2.82	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78
1995	4.29	3.32	2.77	1.10								4.04
1996	3.94	3.59	2.61								3.45	3.95
1997	3.22	3.15	2.69	1.39								
1998	3.75	2.69	2.43	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	0.00											
2000												
2001												
2002												
2003												

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 22. Otros Flujos Embalse Laguna Invernada

Caudal Generado (m3/s)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	30.37	23.52	16.26	9.35	31.67	19.97	23.86	16.95	14.05	23.50	27.78	15.20
1997	11.19	8.19	6.26	6.87	8.04	7.74	23.02	7.92	5.13	s/inf	s/inf	33.45
1998	31.75	35.68	24.68	19.06	33.63	33.23	32.34	13.83	9.83	8.81	12.89	8.40
1999	7.57	6.33	5.11	3.57	3.26	1.94	1.43	0.13	3.65	21.36	25.42	32.22
2000	32.28	33.85	31.16	19.03	9.18	5.75	11.51	21.54	13.03	13.22	24.54	30.49
2001	36.23	35.62	34.26	35.53	29.17	21.39	7.55	23.23	30.84	28.13	33.89	33.85
2002	34.72	31.79	22.19	21.11	23.29	26.58	18.14	12.58	8.69	24.76	29.27	32.77
2003	35.10	35.56	30.82									

Caudal de Filtraciones (m3/s)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	16.44	17.09	15.34	14.57	13.88	12.29	11.77	11.11	10.39	9.75	s/inf	s/inf
1997	8.90	8.55	8.23	7.58	9.47	11.71	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf
1998	s/inf	17.18	16.56	16.33	15.32	13.60	11.72	9.46	8.77	8.29	8.40	8.41
1999	8.37	8.25	8.08	7.92	8.17	8.50	8.92	9.50	11.82	12.32	12.84	13.99
2000	15.11	13.81	11.39	9.88	8.74	10.47	10.89	11.39	12.12	12.97	14.24	1.75
2001	10.36	17.19	15.69	13.50	12.27	12.39	14.57	16.04	15.43	13.83	14.68	1.30
2002	15.69	15.53	15.13	14.26	13.44	14.83	14.21	16.55	18.16	3.02	0.00	0.00
2003	0.00	4.63	16.55									

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 22. Otros Flujos Embalse Melado

Caudal Aducción Maule (m3/s)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	117.06	99.49	81.14								78.71	90.16
1997	102.13	97.58	62.00	67.83	70.88	41.33	82.70	70.97	82.49	104.67	24.78	36.40
1998	130.20	107.35	75.52	73.49	75.48	71.96	73.63	68.77	63.36	44.40	43.07	48.54
1999	49.64	47.71	31.13	38.62	28.00	30.60	31.58	41.38	75.05	94.27	110.69	129.96
2000	80.87	72.39	60.86	46.40	35.64	56.71	86.21	87.08	85.19	96.74	99.57	108.80
2001	133.23	94.69	77.13	70.48	70.74	84.92	107.87	111.60	120.49	128.26	140.44	146.38
2002	107.28	100.98	72.89	65.14	79.17	97.15	92.23	99.78	113.21	102.40	137.06	111.66
2003	133.45	130.02	95.75									

Caudal Generado (m3/s)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	158.21	113.87	97.71								127.47	103.62
1997	109.70	100.12	60.70	108.19	152.89	225.75	196.29	241.21	239.99	266.22	197.02	219.63
1998	230.24	154.77	94.45	119.23	100.54	116.97	110.89	86.26	100.18	75.80	50.20	59.54
1999	53.17	55.80	38.84	48.44	47.90	77.00	87.07	119.84	221.46	275.69	305.24	240.86
2000	112.78	109.44	74.93	66.79	54.93	195.40	213.67	200.06	221.17	282.02	304.81	302.96
2001	220.58	138.88	96.37	93.63	143.42	214.06	264.16	255.36	260.32	294.02	297.08	281.91
2002	148.77	117.78	121.12	108.50	187.21	218.17	196.49	239.87	253.63	250.92	248.20	285.12
2003	284.69	182.19	118.35									

Caudal Vertido (m3/s)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	0.17	0.17	0.20								0.77	0.76
1997	0.96	0.72	0.40	24.74	1.54	62.59	10.91	56.72	101.62	30.78	98.07	50.40
1998	11.44	0.81	0.52	0.61	0.54	0.67	0.62	0.59	0.63	0.38	0.32	0.32
1999	0.27	0.38	0.28	0.26	0.26	0.73	1.10	1.56	3.88	12.81	9.59	0.80
2000	0.29	0.43	0.29	0.35	0.34	62.03	34.56	7.67	2.47	5.61	5.02	8.77
2001	0.68	0.41	0.38	0.38	40.42	10.06	70.27	31.44	3.35	1.47	0.85	0.80
2002	0.67	0.37	10.76	0.37	3.97	3.05	1.69	102.98	30.36	77.82	181.16	105.63
2003	1.03	0.14	0.13									

Caudal Afluente (m3/s) (calculado por diferencia)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1991									256.00	252.50	293.50	253.30
1992	188.20	116.40	92.80	111.30	234.40	232.80	188.50	154.30	232.20	290.00	315.30	250.40
1993	223.10	131.90	94.50	129.70	208.30	255.70	219.40	206.50	223.60	267.70	210.00	219.30
1994	162.60	113.80	85.20	102.30	119.60	213.90	212.90	192.20	222.10	287.90	306.70	254.50
1995	153.40	116.80	87.30	109.60	129.50	240.10	220.30	185.80	267.20	334.50	278.50	297.20
1996	166.20	118.17	98.30	149.20	120.90						126.69	104.34
1997	108.97	102.32	65.76	132.97	156.31	261.50	208.51	270.13	331.84	305.67	285.01	263.60
1998	245.72	157.23	99.96	118.71	109.28	115.63	107.43	90.58	98.23	76.31	54.62	58.10
1999	56.53	51.62	36.69	49.08	49.21	84.18	82.83	123.86	221.13	279.14	305.61	235.49
2000	114.15	108.44	76.59	61.12	59.81	199.06	210.12	197.31	224.27	285.13	305.81	299.18
2001	222.50	132.56	93.71	93.97	152.40	206.46	271.58	256.35	253.95	292.56	299.44	279.33
2002	151.15	117.99	123.53	101.27	189.37	221.74	195.16	245.61	251.36	253.28	246.93	285.75
2003	277.54	181.81	122.41									

Caudal Melado en La Lancha (m3/s)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1996	48.18	17.57	12.50	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	40.22	11.30
1997	4.86	3.00	2.23	53.05	64.29	200.41	109.88	177.54	248.86	199.91	259.08	226.11
1998	115.52	49.05	22.84	39.78	30.98	40.45	29.56	15.79	28.76	28.87	9.71	7.84
1999	4.05	2.18	5.30	7.06	19.03	40.98	42.58	69.36	126.33	207.22	212.86	103.93
2000	31.48	26.99	12.59	12.31	19.56	213.12	166.68	116.66	139.18	201.98	225.87	225.61
2001	99.23	41.14	20.46	22.40	103.16	101.79	142.40	109.01	99.46	118.66	120.08	108.84
2002	61.19	27.90	55.36	37.82	106.64	112.12	102.03	217.67	57.95	163.44	257.94	244.12
2003	146.52	121.52	33.35									

Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 23. Otros Flujos Embalse Bullileo (m3/s)

Caudal Entrante (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1994												
1995									7.62	9.86	0.16	0.07
1996	0.00							1.28	0.69	0.18		
1997									1.34	0.19	0.10	
1998								0.21	0.15	0.15	0.21	
1999									0.37	1.13	0.25	
2000		22.77	27.55			9.02	4.33	2.57	1.61	1.02	0.70	0.82
2001			44.61	20.12	10.77	5.53	3.47	1.76	1.15	0.94	2.69	1.92
2002	6.12	14.22	10.19	37.33	13.63	17.39	7.31	3.81	2.43			
Caudal Vertido (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1994												
1995									0.57	0.23	6.02	0.52
1996	0.00							4.90	7.15	6.01	2.43	
1997			17.52	8.01	7.21	10.91		3.14	5.65	11.27	8.08	
1998								2.45	3.75	4.50	1.55	
1999					23.09	5.57	3.03	2.39	7.38	6.08	7.76	
2000			27.55			9.02	4.33	2.57	5.56	10.52	8.59	3.00
2001			39.94	19.19	10.32	4.82	2.83	1.04	0.15	0.10	0.08	0.49
2002	0.26		0.53	35.78	13.11	16.64	6.70	3.18		0.14		
Caudal Entregado a Riego (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1994												
1995									7.75	9.92	5.99	0.52
1996	0.00							4.80	7.07	5.97	2.41	
1997									6.76	11.21	8.03	
1998								2.38	3.64	4.57	1.84	
1999									7.25	8.56	7.72	
2000									6.78	10.77	8.54	2.99
2001		15.63						5.13	8.15	9.99		
2002		15.84							7.18	10.70		

Nota: los valores en blanco corresponden a meses sin información. es muy probable que muchos de ellos sean ceros
Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

Cuadro 3 - 24. Otros Flujos Embalse Digua

Caudal Vertido (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1994					12.04	10.23	3.14					
1995					7.61	18.62	13.35					
1996												
1997					5.33	18.62	18.53	3.27				
1998												
1999					2.74	17.93	2.94					
2000					11.66	10.52	3.92					
2001					3.90	13.91						
2002				8.27	0.25	15.68	23.45	10.75				
Caudal Entregado a Riego (m3/s)												
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1994						6.74	13.00	19.42	27.65	24.41	5.88	0.55
1995	0.33						5.08	22.17	27.97	24.81	5.59	0.17
1996	1.28					15.64	13.60	18.00	19.50	10.20	0.47	0.29
1997							0.29	15.69	28.13	27.44	13.37	1.25
1998					0.19	11.76	13.69	16.19	18.16	10.61	2.42	0.36
1999							12.41	22.57	28.30	19.84	5.61	2.55
2000					7.56		8.04	23.99	25.94	26.19	8.94	1.25
2001				8.65		3.81	15.31	22.66	27.52	16.39	0.09	
2002				1.72	7.52			9.69	25.58	27.43	14.87	

Nota: los valores en blanco corresponden a meses sin información. es muy probable que muchos de ellos sean ceros
Fuente: Estudio "Bases Plan Director de la Cuenca del Maule"

III.4.8 Cuencas No Controladas

En esta área temática es posible identificar dos tipos de cuencas que MAGIC incorpora como objetos, las cuales corresponden al aporte natural y las cuencas laterales. El primero representa el aporte de caudal de una cuenca de cabecera del sistema en estudio hacia su punto de salida. Este caudal puede ser originado mediante datos observados en alguna estación fluviométrica, o bien, mediante generación sintética de caudales a través de algún modelo apropiado al tipo de cuenca (pluvial, nival o pluvio-nival). Las cuencas laterales en tanto, representan el aporte de caudal de una o más subcuencas ubicadas en el sistema descontando el área correspondiente de la zona de riego que pudiese existir en el sector. Esta caudal normalmente se obtiene a través de algún modelo sintético pluvial, y en casos excepcionales se obtiene a través de alguna estación fluviométrica. Para ambos casos, la información requerida para la implementación de MAGIC básicamente consiste en la definición de las cuencas y la serie de caudales mensuales en todo el período que será modelado.

Como base de trabajo se consideran los antecedentes existentes de subcuencas entregados por la DGA, correspondientes a las incorporadas en el *estudio ModMaule* más algunos cambios realizados por el Departamento de Estudios y Planificación. Estas subcuencas se adecuaron al concepto de cuencas laterales que considera MAGIC, para lo cual fueron restados los sectores de riego ya definidos.

Por otro lado, con respecto a las series de caudales, en el estudio PD Maule se realizó un análisis respecto a la actualización de los caudales hasta el período 2001/2002, definido como válido para la implementación del MAGIC en la cuenca del Maule. Se indica que en el desarrollo del *estudio ModMaule*, para generar las series de caudales de aporte natural en las cuencas de cabecera de la malla, así como en las hoyas intermedias, se implementaron modelos de generación sintética.

En el Cuadro 3-25 se indican las cuencas de cabecera que se consideraron en la generación de escorrentía.

Cuadro 3 - 25. Cuencas de Cabecera Cuenca del Río Maule

Código	Denominación	Régimen
AN-4	Río Claro en Cabecera	Pluvial
AN-13	Río Purapel en Nirivilo	Pluvial
AN-16	Río Claro en San Carlos	Nivopluvial
AN-29	Estero Corrientes en cota 820	Nivopluvial
AN-39	Río Puelche en cota 1.400	Nivopluvial
AN-44	Río Putagán	Pluvial
AN-54	Río Colorado en cota 800	Nivopluvial
AN-59	Río Tutuvén	Pluvial
AN-62	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	Nivopluvial
AN-70	Río Achibueno en Los Peñascos	Nivopluvial
AN-71	Río Cauquenes en el Arrayán	Pluvial
AN-72	Afluente Laguna del Maule	Nivopluvial

Cuadro 3 - 25. Cuencas de Cabecera Cuenca del Río Maule

Código	Denominación	Régimen
AN-73	Río De La Puente en cota 1.220	Nivopluvial
AN-83	Río Longavi en la Quiriquina	Nivopluvial
AN-85	Río Catillo	Nivopluvial
AN-88	Afluente Embalse Bullileo	Pluvial
AN-92	Río Perquilauquén en San Manuel	Nivopluvial
AN-93	Afluente a Laguna El Dial	Nivopluvial
AN-94	Afluente Laguna La Invernada	Nivopluvial
AN-95	Río Maule en Forel	Pluvial

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 3-26 se muestra un resumen con las hojas intermedias asociadas a cada uno de los ríos modelados con MAGIC y que han sido adecuados al nuevo concepto de cuencas laterales de MAGIC.

Cuadro 3 - 26. Cuencas Laterales Cuenca del Río Maule

Código	Denominación	Régimen
CL-1	Río Claro entre Camarico y Puente Talca	Pluvial
CL-2	Río Claro entre sección de cabecera y Camarico	Pluvial
CL-3	Río Maule en junta con río Claro	Pluvial
CL-5	Río Maule entre Río Claro y Estación Maule en Forel	Pluvial
CL-6	Río Maule en junta con río Claro	Pluvial
CL-7	Río Lircay entre Bocatoma Pencahue y Río Claro	Pluvial
CL-8	Río Lircay entre Puente Las Rastras y Bocatoma Pencahue	Pluvial
CL-9	Río Lircay en Bocatoma Pencahue	Pluvial
CL-10	Río Claro entre Puente Talca y Río Maule	Pluvial
CL-11	Río Piduco	Pluvial
CL-12	Río Piduco	Pluvial
CL-14	Río Maule entre Loncomilla y Río Claro	Pluvial
CL-15	Río Lircay en Puente Las Rastras	Pluvial
CL-17	Río Purapel entre Nirivilo y Río Perquilauquén	Pluvial
CL-18	Río Maule entre Longitudinal y Río Loncomilla	Pluvial
CL-19	Embalse Colbún	Pluvial
CL-20	Río Loncomilla entre Río Putagán y Río Maule	Pluvial
CL-21	Embalse Colbún	Pluvial
CL-22	Hoya intermedia río Maule	Nivopluvial
CL-23	Río Maule entre Armerillo y Colbún	Pluvial
CL-24	Río Rari entre puente Rari y río Putagán	Pluvial
CL-25	Río Putagán entre Bocatoma Canal Melozal y Río Loncomilla	Pluvial
CL-26	Río Putagán entre Estación Yervas Buenas y Bocatoma Canal Melozal	Pluvial
CL-27	Río Maule en bocatoma Aducción C. Melado	Nivopluvial
CL-28	Descarga Central Chiburgo	Pluvial
CL-30	Río Cipreses entre Laguna La Invernada y Canal Alimentador Cipreses Central Isla	Nivopluvial
CL-31	Río Melado en junta con río Maule	Nivopluvial
CL-32	Río Maule entre Río Puelche y Canal Alimentador Maule Central Isla	Nivopluvial
CL-33	Río Loncomilla entre Río Achibueno y Río Putagán	Pluvial
CL-34	Río Rari en Rari	Pluvial

Cuadro 3 - 26. Cuencas Laterales Cuenca del Río Maule

Código	Denominación	Régimen
CL-35	Río Colorado entre Cota 800 y Río Maule en Canal Alimentador C. Pehuenche	Nivopluvial
CL-36	Río Puelche entre Cota 1.400 y Río Maule	Nivopluvial
CL-37	Río Rari en Rari	Pluvial
CL-38	Río Melado entre Bocatoma Canal Melado y Embalse Melado	Nivopluvial
CL-40	Río Cipreses entre Canal Alimentador Cipreses Central Isla y Río Maule	Nivopluvial
CL-41	Río Perquilauquén entre Río Purapel y Estero Parral	Pluvial
CL-42	Río Maule entre Río Cipreses y Canal Alimentador C. Pehuenche	Nivopluvial
CL-43	Río Maule entre Canal Alimentador Maule Central Isla y Río Cipreses	Nivopluvial
CL-45	Río Cauquenes entre Río Tutuvén y Río Perquilauquén	Pluvial
CL-46	Río Putagán entre Bocatoma Roblería y Río Rari	Pluvial
CL-47	Río Tutuvén entre Embalse Tutuvén y Río Cauquenes	Pluvial
CL-48	Río Achibueno entre Estero Curiceco y Río Perquilauquén	Pluvial
CL-49	Río Loncomilla entre Río Longaví y Río Achibueno	Pluvial
CL-50	Río Perquilauquén entre Quella y Río Purapel	Pluvial
CL-51	Río Colorado en cota 800	Nivopluvial
CL-52	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	Nivopluvial
CL-53	Río Maule entre Laguna del Maule y Río Puelche	Nivopluvial
CL-55	Río Achibueno entre Río Ancoa Estero Curiceco	Pluvial
CL-56	Río Longaví entre Río Liguay y Río Loncomilla	Pluvial
CL-57	Río Ancoa entre Canal Melado y Ancoa en el Morro	Pluvial
CL-58	Río Loncomilla entre Estero Parral y Río Longaví	Pluvial
CL-60	Río Ancoa entre Ancoa en el Morro y Río Achibueno	Pluvial
CL-61	Estero Parral entre Canal Calivoro y Río Perquilauquén	Pluvial
CL-63	Río Perquilauquén entre Quella y Río Purapel	Pluvial
CL-64	Río Achibueno entre Los Peñascos y Río Ancoa	Pluvial
CL-65	Estero Parral entre Panamericana y Canal Calivoro	Pluvial
CL-66	Río Liguay entre Longitudinal y Río Longaví	Pluvial
CL-67	Río Longaví entre Longitudinal y Río Liguay	Pluvial
CL-68	Río Melado entre Río De La Puente y Bocatoma Canal Melado	Nivopluvial
CL-69	Río Liguay en Panamericana	Pluvial
CL-74	Río Cauquenes entre El Arrayán y Río Tutuvén	Pluvial
CL-75	Río De La Puente entre Cota 1.220 y Río Guaiquivilo	Nivopluvial
CL-76	Río Longaví entre La Quiriquina y Longitudinal	Pluvial
CL-77	Río Guaiquivilo entre Embalse Guaiquivilo y Río De La Puente	Nivopluvial
CL-78	Río Perquilauquén entre Bocatoma Canal Per – Ñiquén y Quella	Pluvial
CL-79	Río Guaiquivilo entre Laguna del Dial y Embalse Guaiquivilo	Nivopluvial
CL-80	Río Perquilauquén entre Bocatoma Canal Per – Ñiquén y Quella	Pluvial
CL-81	Río Ñiquén entre llegada Canal Per – Ñiquén y Río Perquilauquén	Pluvial
CL-82	Estero Parral en Panamericana	Pluvial
CL-84	Río Catillo entre Bocatoma Canal Per – Cato y Río Perquilauquén	Pluvial
CL-86	Río Bullileo entre muro embalse Bullileo y río Longaví	Nivopluvial
CL-87	Río Catillo entre Embalse Digua y Bocatoma Canal Per – Cato	Pluvial
CL-89	Río Perquilauquén entre San Manuel y Bocatoma Canal Per – Ñiquén	Pluvial
CL-90	Río Ñiquén entre San Gregorio y llegada Canal Per – Ñiquén	Pluvial
CL-91	Río Ñiquén en San Gregorio	Pluvial

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3-15 se muestran las diferentes subcuencas del Maule, diferenciándose cada una de ellas entre Aporte Natural (Cuenca de Cabecera) y Cuenca Lateral, mientras que en la Figura 3-16 se muestra el régimen que posee cada una de las subcuencas.

Figura 3 - 15. Tipos de SubCuenca consideradas en la Cuenca del Río Maule

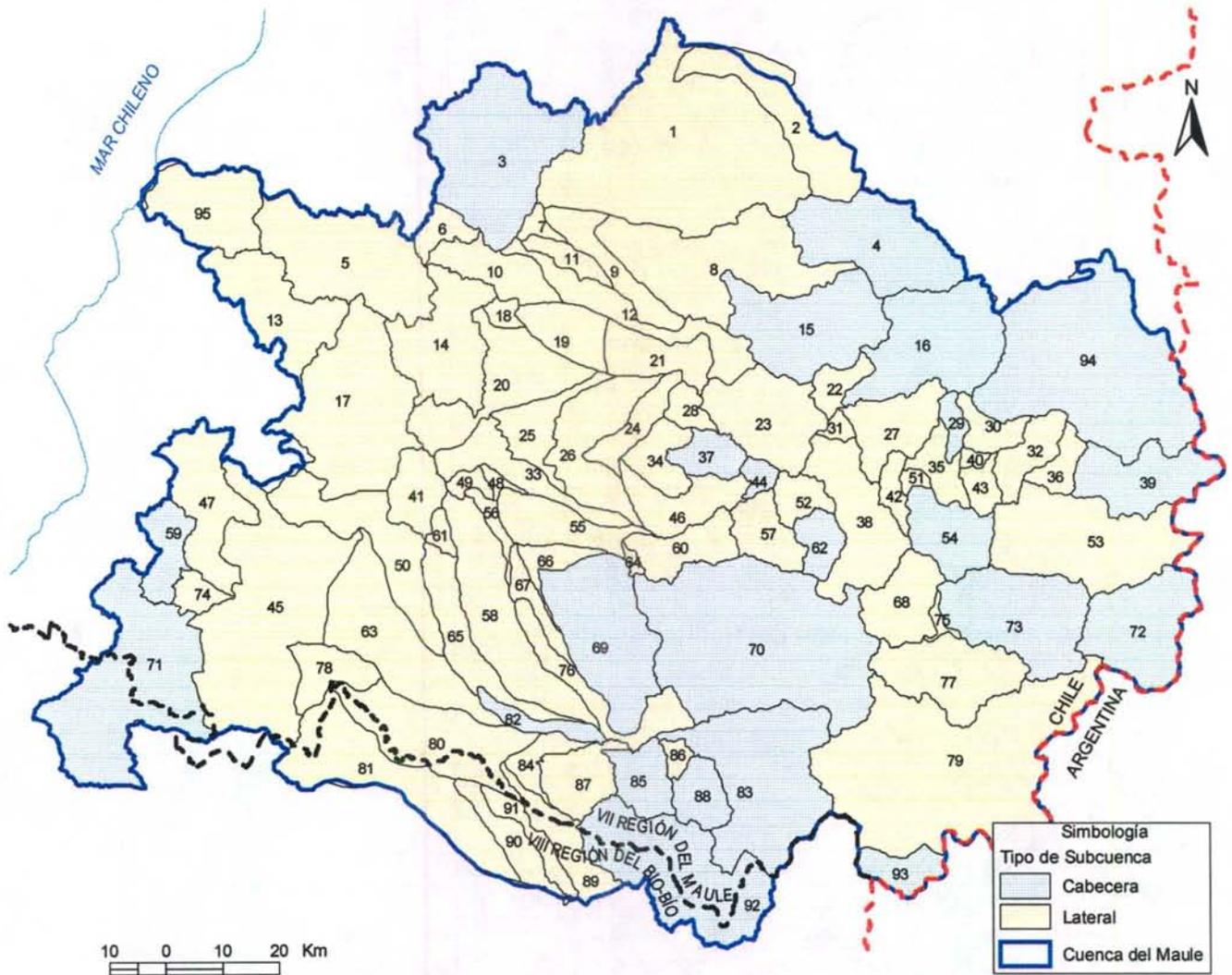
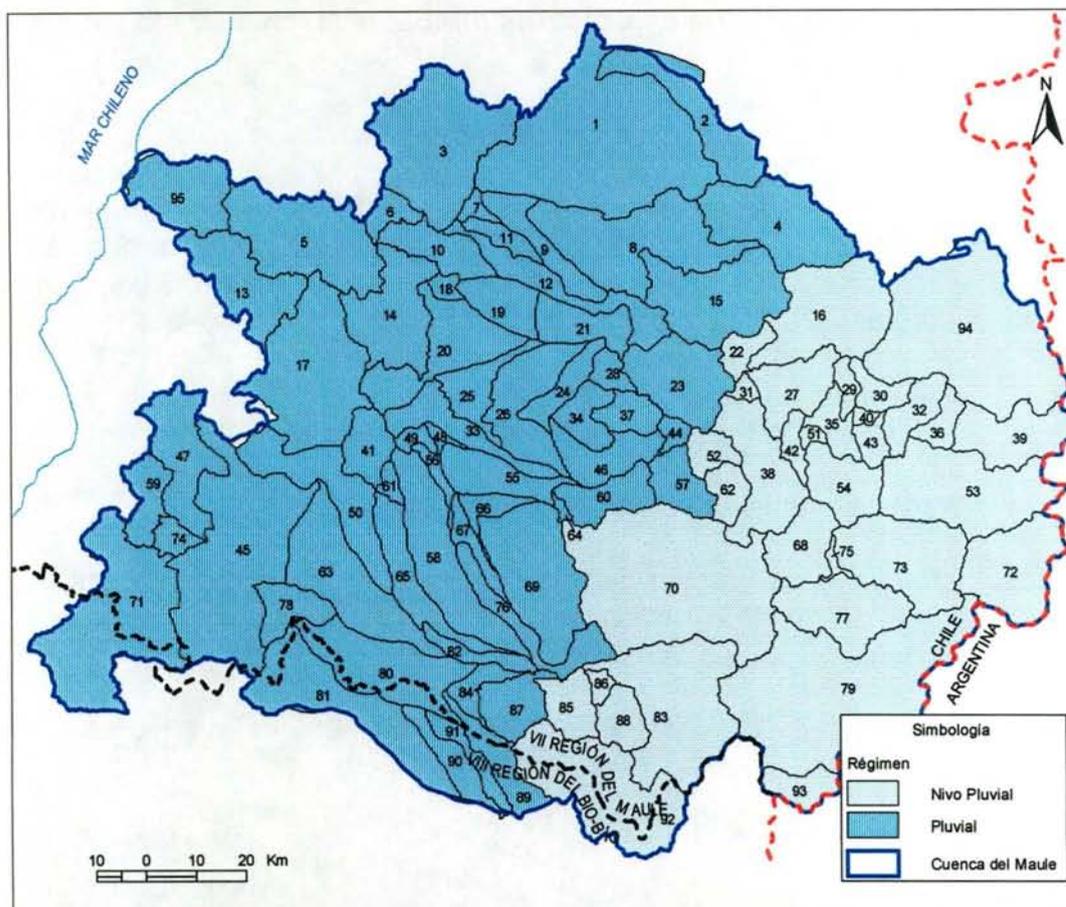


Figura 3 - 16. Tipos de Régimen considerados en la Cuenca del Río Maule



Para la parte alta de la cuenca modelada, esto es aproximadamente, desde la estación fluviométrica Maule en Armerillo hacia cotas superiores, se utilizó un modelo nivopluvial formado por dos componentes: una pluvial y otra nival. Se utilizó el modelo de generación de escorrentía MPL para la determinación de la componente pluvial de la cuenca en la cual se deseaba generar caudales, y un modelo analítico de generación de caudales en cuencas nivales, para la componente nival. El MPL corresponde a un modelo de simulación hidrológico basado en la generación de escorrentía superficial y subterránea, a partir de estadística pluviométrica, propiedades físicas de suelos, acuíferos y parámetros a calibrar en función de datos observados. El modelo nivopluvial corresponde a un modelo compuesto entre el mencionado MPL y un modelo de regresión estadístico basado en los registros de alturas de nieve, el cual mediante parámetros analíticos genera caudales de escorrentía superficial. Dicha composición está parametrizada por factores que ponderan a cada una de las componentes (pluvial y nival), los cuales se han determinado por criterios estadísticos, es decir, que entreguen el mejor ajuste para las cuencas de calibración.

Para la parte baja de la cuenca del río Maule, se implementó exclusivamente el modelo pluvial de generación de escorrentía MPL, también utilizado para las cuencas altas.

• **Generación de Caudales con Modelo MPL**

Considerando las modificaciones realizadas al MPL y que son detalladas en el Capítulo 2 del presente estudio, se realizó la calibración del MPL entregando como resultados los parámetros A_2 , P_{MIN} , S_{CC} a utilizar en el resto de las cuencas. Para esto, se calibró el MPL_{GCF} en las siguientes cuencas:

- a) Purapel en Nirivilo
- b) Estero Los Puercos en Puente Los Puercos

La ubicación de las cuencas se aprecia en la Figura 3-17.

Los resultados de la calibración para la cuenca del Estero Los Puercos, se muestra en los cuadros 3-27 y 3-28, mientras que para la cuenca del Estero Purapel, se indica en los cuadro 3-29 y 3-30.

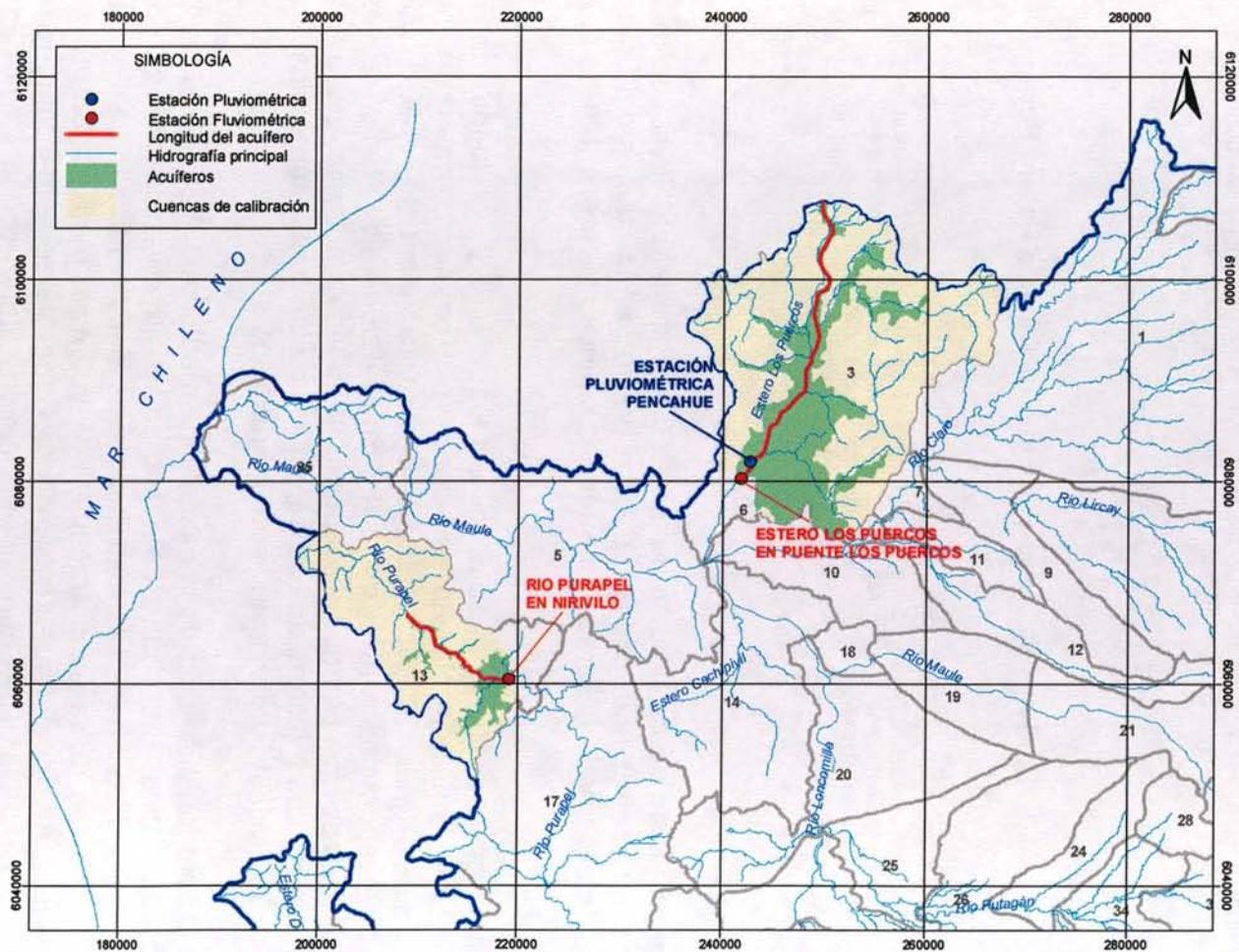
Cuadro 3 - 27. Ajuste Estadístico Cuenca Estero Los Puercos

$\sigma_{abs(dif)}$ [m ³ /s]	$P_{abs(dif)}$ [m ³ /s]	r^2 $r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$
Desviación estándar	Promedio de las diferencias entre caudales medidos y simulados	Cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson. X: caudales medidos; Y: caudales simulados
2.71	2.05	0.80

Cuadro 3 - 28. Caudales Medidos y Simulados Cuenca Estero Los Puercos

$(Q_{s-sim})_{max}$ [m ³ /s]	$(Q_{s-med})_{max}$ [m ³ /s]	$(Q_{s-sim})_{pro}$ [m ³ /s]	$(Q_{s-med})_{pro}$ [m ³ /s]	Q_{LI-max} [m ³ /s]
Caudal de escorrentía superficial simulado máximo	Caudal de escorrentía superficial medido máximo	Caudal de escorrentía superficial simulado promedio	Caudal de escorrentía superficial medido promedio	Caudal de lluvia máximo
36.28	38.02	3.67	3.70	64.22

Figura 3 - 17. Ubicación Cuencas de Calibración de MPL GCF



Cuadro 3 - 29. Ajuste Estadístico Cuenca Estero Purapel

$\sigma_{\text{abs(dif)}} [m^3/s]$	$P_{\text{abs(dif)}} [m^3/s]$	$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$
Desviación estándar	Promedio de las diferencias entre caudales medidos y simulados	Cuadrado del coeficiente de correlación de momento del producto Pearson. X: caudales medidos; Y: caudales simulados
1.60	1.33	0.75

Cuadro 3 - 30. Caudales Medidos y Simulados Cuenca Estero Purapel

$(Q_{s\text{-sim}})_{\text{max}} [m^3/s]$	$(Q_{s\text{-med}})_{\text{max}} [m^3/s]$	$(Q_{s\text{-sim}})_{\text{pro}} [m^3/s]$	$(Q_{s\text{-med}})_{\text{pro}} [m^3/s]$	$Q_{\text{LI-max}} [m^3/s]$
Caudal de escorrentía superficial simulado máximo	Caudal de escorrentía superficial medido máximo	Caudal de escorrentía superficial simulado promedio	Caudal de escorrentía superficial medido promedio	Caudal de lluvia máximo
28.696	28.710	2.521	2.601	43.334

Debido al menor ajuste de calibración de la estación Purapel en Nirvilo, se utilizaron finalmente los parámetros entregados por la calibración en la cuenca del Estero Los Puercos. Los detalles de la calibración de ambas cuencas se presentan en el Anexo 3.4.

Posterior al proceso de calibración, se aplicó el modelo MPL_{GCF} en la totalidad de las cuencas definidas, considerando las estaciones pluviométricas más cercanas de acuerdo a lo que se indica en el Cuadro 3 - 31. Adicionalmente, el MPL requiere estadísticas de evaporación a nivel mensual. En el estudio *PD Maule*, se indica la existencia de registros observados de evaporación en las estaciones Ancoa Embalse y Tutuvén Embalse. Los registros de dichas estaciones se presentan en los Cuadros 3-13 y 3-14 del punto III.4.7 correspondiente a Embalses.

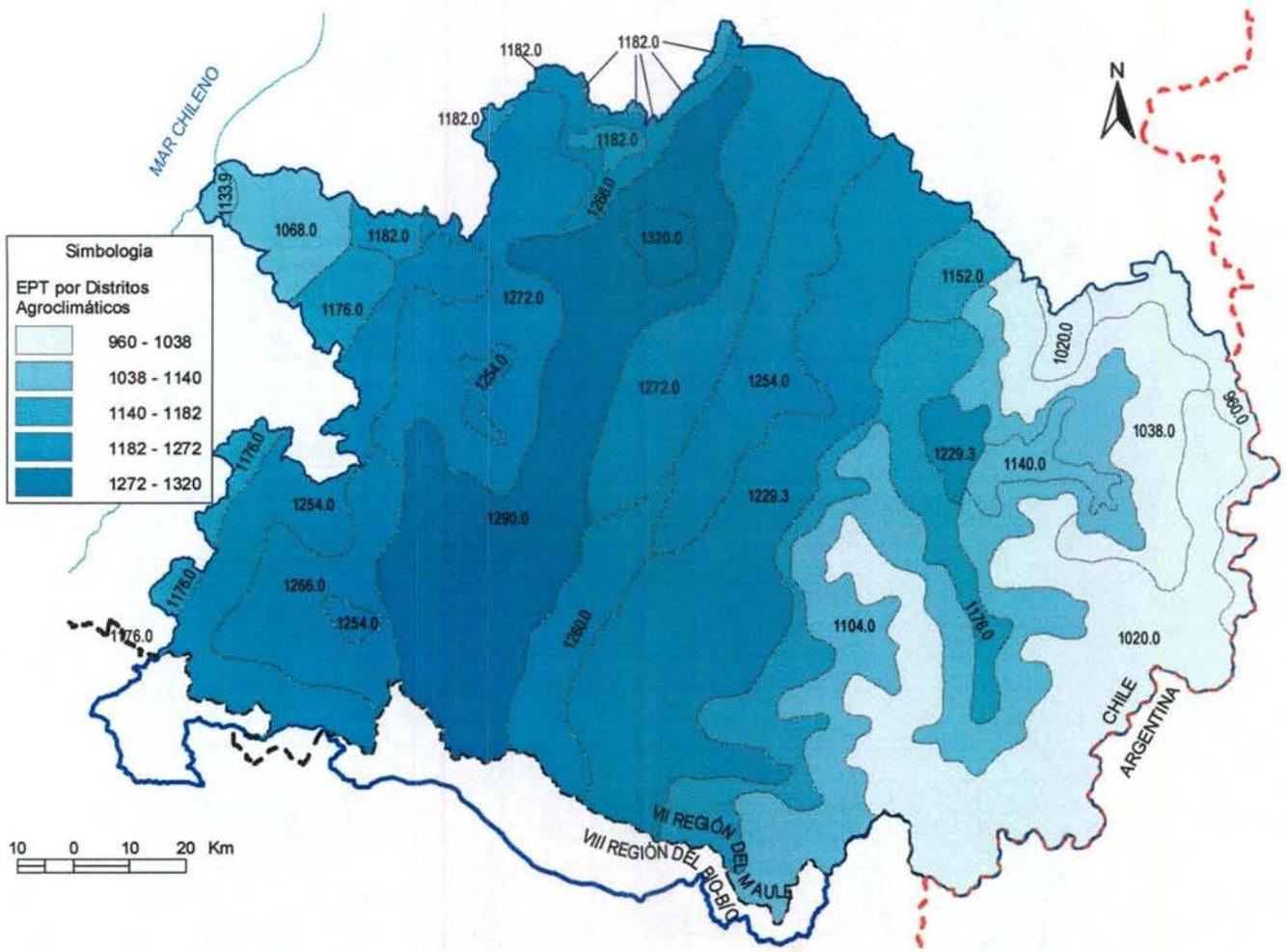
No obstante lo anterior, el cálculo de la escorrentía mediante el MPL_{GCF} fue realizado utilizando las estadísticas mensuales de evaporación que se encuentran disponibles en el Atlas Agroclimático para las distintas zonas del río Maule. La Figura 3-18 muestra la distribución de la evapotranspiración potencial media anual en toda la cuenca del Maule. Adicionalmente se consideró Como ya se señaló anteriormente, los parámetros A_2 , P_{MIN} , S_{CC} han sido obtenidos del proceso de calibración, correspondientes al ajuste realizado a la Cuenca Estero Los Puercos.

Cuadro 3 - 31. Estaciones Pluviométricas Utilizadas para la Generación de Escorrentía

CUENCA	EST. ASOCIADA	CUENCA	EST. ASOCIADA
CL-1	El Guindo	CL-2	El Guindo
CL-3	Pencahue	AN-4	El Guindo
CL-5	Pencahue	CL-6	Pencahue
CL-7	El Guindo	CL-8	El Guindo
CL-9	El Guindo	CL-10	Pencahue
CL-11	El Guindo	CL-12	Colorado
AN-13	Pencahue	CL-14	Pencahue
CL-15	Colorado	AN-16	Colorado
CL-17	Pencahue	CL-18	San Javier
CL-19	San Javier	CL-20	San Javier
CL-21	San Javier	CL-22	Colorado
CL-23	Colorado	CL-24	San Javier
CL-25	San Javier	CL-26	San Javier
CL-27	Hornillo	CL-28	San Javier
AN-29	Hornillo	CL-30	Hornillo
CL-31	Colorado	CL-32	Hornillo
CL-33	Melozal	CL-34	San Javier
CL-35	Hornillo	CL-36	Hornillo
CL-37	San Javier	CL-38	Hornillo
AN-39	Hornillo	CL-40	Hornillo
CL-41	Melozal	CL-42	Hornillo
CL-43	Hornillo	AN-44	Ancoa
CL-45	Tutuvén Embalse	CL-46	San Javier
CL-47	Tutuvén Embalse	CL-48	Melozal
CL-49	Melozal	CL-50	Quella
CL-51	Hornillo	CL-52	Hornillo
CL-53	Hornillo	AN-54	Hornillo
CL-55	Melozal	CL-56	Melozal
CL-57	Ancoa	CL-58	Melozal
AN-59	Tutuvén Embalse	CL-60	Ancoa
CL-61	Melozal	AN-62	Hornillo
CL-63	Quella	CL-64	Ancoa
CL-65	Quella	CL-66	Melozal
CL-67	Melozal	CL-68	Hornillo
CL-69	Melozal	AN-70	Ancoa
AN-71	Tutuvén Embalse	AN-72	Hornillo
AN-73	Hornillo	CL-74	Tutuvén Embalse
CL-75	Hornillo	CL-76	Melozal
CL-77	Hornillo	CL-78	Quella
CL-79	Hornillo	CL-80	Quella
CL-81	Quella	CL-82	Digua Embalse
AN-83	Digua Embalse	CL-84	Digua Embalse
AN-85	Digua Embalse	CL-86	Digua Embalse
CL-87	Digua Embalse	AN-88	Digua Embalse
CL-89	Digua Embalse	CL-90	Digua Embalse
CL-91	Digua Embalse	AN-92	Digua Embalse
AN-93	Hornillo	AN-94	Hornillo
AN-95	Pencahue		

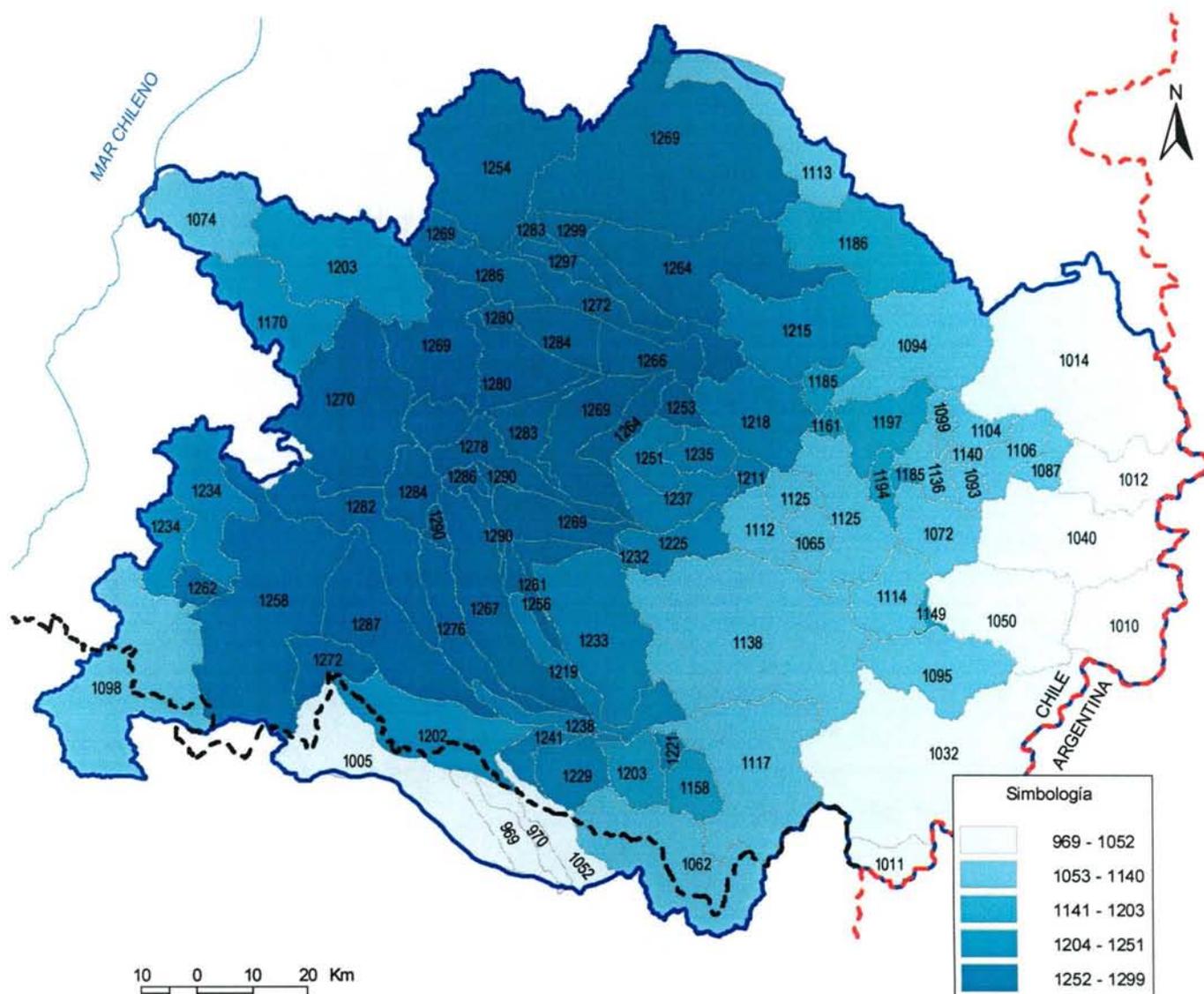
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3 - 18. Evapotranspiración Potencial por Distritos Agroclimáticos Cuenca del Río Maule



En la Figura 3-19 se muestra la evapotranspiración potencial media anual por subcuenca.

Figura 3 - 19. Evapotranspiración Potencial por Subcuenca y Estaciones Pluviométricas. Cuenca del Río Maule



Los resultados de la modelación de todas las cuencas se presentan en el respaldo digital adjunto al presente estudio. Para efectos del manejo de información, en la codificación de las cuencas, se ha omitido el prefijo "AN" o "CL", siendo denominadas solamente por su número; por ejemplo, la cuenca "AN-83" se identifica como "83"

Para el caso de cuencas intervenidas que incorporan en su superficie una o más zonas de riego, se realizó el cálculo de la escorrentía que aportaría efectivamente la superficie correspondiente a todas las zonas de riego que abastece cada cuenca. En el respaldo digital indicado, a cada "subcuenca" que represente la suma de las zonas de riego involucradas, se le denominó según la nomenclatura definida en el párrafo

anterior, agregándole el apéndice “b”. A modo de ejemplo, la escorrentía que se genera en las zonas de riego pertenecientes a la cuenca “AN-16” se identifica en el respaldo indicado como la cuenca “16b”. Posteriormente se determinaron los parámetros equivalentes del MPL para cada zona de riego, de manera de poder completar las tablas correspondientes de la base de datos MAGIC. Detalles de los cálculos realizados para cada cuenca, se presentan en el respaldo digital ya mencionado.

- **Generación de Caudales con Modelo Nivopluvial**

- a) **Metodología**

Como se indicó anteriormente, el modelo nivopluvial corresponde a un modelo compuesto entre el mencionado MPL y un modelo de regresión estadístico basado en los registros de alturas de nieve. Dicha composición está parametrizada por factores que ponderan a cada una de las componentes (pluvial y nival), los cuales se han determinado por criterios estadísticos.

Para la estimación de la componente nival se realizó una regresión estadística multivariable, cuyos argumentos corresponden a alturas de nieve mensuales rezagadas hasta en 24 meses. Estas alturas de nieve son registradas en estaciones meteorológicas ubicadas en áreas de gran elevación, donde la precipitación es predominantemente nival.

La regresión construida, fue definida de manera de reproducir estadísticas de caudales correspondientes a estaciones fluviométricas ubicadas a la salida de cuencas nivales controladas.

Las relaciones lineales usadas son del tipo:

$$Q_j = \sum c_k \cdot h_k$$

Donde:

Q_j : caudal generado en el mes j

c_k : coeficiente ponderador de la altura de nieve del mes k

h_k : altura de nieve del mes k

$k = j, j-1, \dots, j-23$

Es decir, el caudal de deshielo de cada mes se estima en función de las alturas de nieve caídas en los 24 meses anteriores a éste.

Se definen los coeficientes c_k para una cuenca con control fluviométrico, que en este caso corresponde a la cuenca con mayor cota o mayor componente nival en su

escorrentía, mediante un procedimiento de minimización de errores, al diferenciar el caudal generado con los caudales observados. Tras lo anterior, se procedió a determinar el caudal total generado por la cuenca mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{GENERADO}} = \lambda_{\text{PLUVIAL}} \cdot Q_{\text{MPL}} + \lambda_{\text{NIVAL}} \cdot Q_{\text{NIVAL}}$$

El proceso de calibración del modelo nivopluvial fue realizada mediante ajuste estadístico de los parámetros λ_{PLUVIAL} y λ_{NIVAL} , según se explica en el ítem de calibración.

b) Alturas de Nieve

Se cuenta con las alturas de nieve medidas en la estación DGA Lo Aguirre (ver Figura 3-20), entre 1972 y 1996. Además, se dispone de mediciones diarias de la misma estación, para el período 1999 a 2005.

Se dispone también de datos registrados en las estaciones Volcán Chillán, La Gloria, Exp. Volcán Chillán y La Dormida, ubicadas fuera de la cuenca del río Maule. Esos datos fueron correlacionados con los registrados en la estación Lo Aguirre y se usaron para rellenar valores faltantes. Los datos correspondientes a los meses en los que no se midieron alturas de nieve en alguna de las estaciones, fueron rellenados interpolando.

Entre noviembre y abril, por lo general, no queda nieve, se rellenaron linealmente los meses entre mayo y octubre, suponiendo que $H_{\text{nieve-nov}}=0$ y $H_{\text{nieve-abr}}=0$.

Integrando los datos antes mencionados, presentados en el Anexo 3.5, y rellenando según lo explicado, se generó una estadística de alturas de nieve mensuales entre abril de 1966 y marzo de 2006. Se consideró cada valor medido en la estación Lo Aguirre como representativo del mes en el cual fue registrado. La estadística resultante se presenta en el Anexo 3.5.

c) Calibración

La calibración de la componente nival del modelo (es decir, la estimación de los coeficientes c_k) se realizó para la cuenca AN-72, por ser la más alta dentro de la cuenca, y por ende, poseer la mayor componente nival en la escorrentía que genera, pudiendo comparar de esta manera los caudales entregados por la expresión anterior con el caudal observado afluente al embalse Laguna del Maule. Los coeficientes resultantes de este proceso se presentan en la Figura 3-21, de manera gráfica, en función de los meses anteriores.

Figura 3 - 20. Ubicación Estación Nival Lo Aguirre

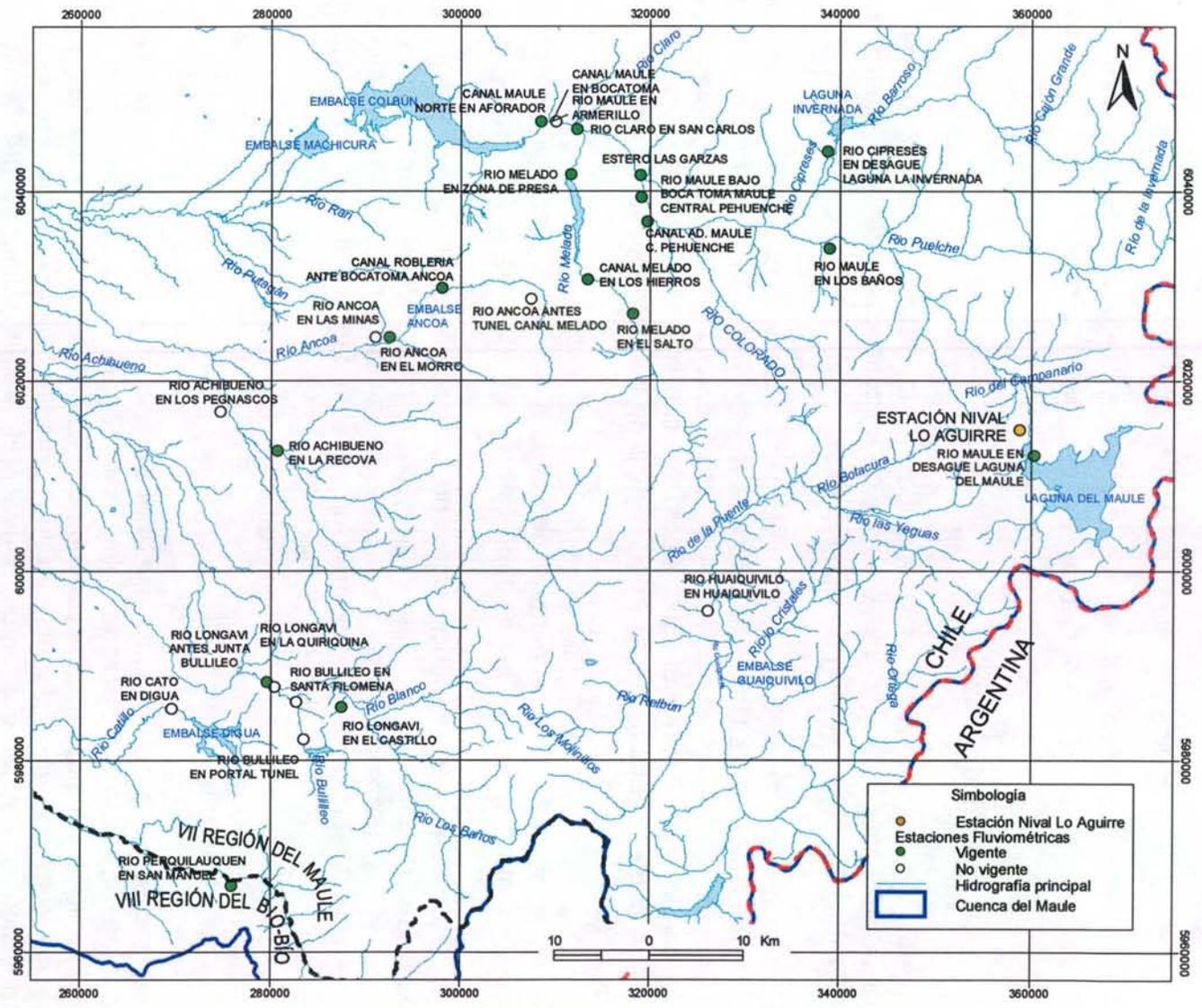
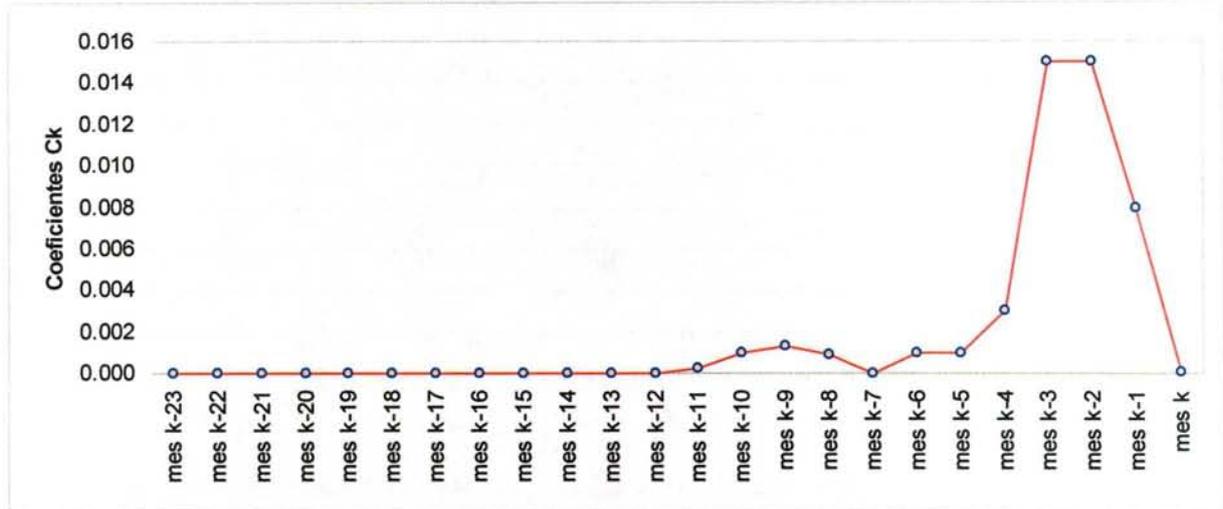


Figura 3 - 21. Resultados de ajuste de coeficientes Ck para estimación de componente nival de escorrentía



La escorrentía generada por este método se proyectó al resto de las cuencas mediante una transposición de caudales en función de la cota media y la superficie de la cuenca, según se presenta en la siguiente expresión:

$$QN_i = QN_{72} \cdot \frac{A_i}{A_{72}} \cdot \left(\frac{Z_i - Z_{QN=0}}{Z_{72} - Z_{QN=0}} \right)$$

Donde:

- QNi : Escorrentía superficial generada por derretimiento de nieve en cuenca i.
- QN₇₂ : Escorrentía superficial generada por derretimiento de nieve en cuenca AN-72 o cuenca de calibración.
- A_i : Superficie cuenca i.
- A₇₂ : Superficie cuenca AN-72.
- Z_i : Cota promedio de cuenca i.
- Z₇₂ : Cota promedio de cuenca AN-72.
- Z_{QN=0} : Cota bajo la cual no se genera componente nival de escorrentía.

Luego de este procedimiento, se realizó la calibración del modelo nivopluvial, que integra las componentes nival y pluvial ponderadas por factores a determinar mediante ajuste estadístico.

Dichos factores o parámetros, λ_{PLUVIAL} y λ_{NIVAL}, se han calibrado utilizando controles fluviométricos a la salida de ciertas cuencas; en particular, se han utilizado las estaciones Maule en Armerillo, Achibueno en La Recova y Longaví en La Quiriquina y los caudales entregados por el modelo para todas las cuencas que están aguas arriba de dichos controles.

El procedimiento de calibración consistió en realizar un ajuste estadístico de la siguiente regresión multivariada:

$$Q_{\text{ESTACIÓN } j} = \lambda_{\text{PLUVIAL } j} \cdot \Sigma Q_{\text{MPL } ij} + \lambda_{\text{NIVAL } j} \cdot \Sigma Q_{\text{NIVAL } ij}$$

Donde:

$Q_{\text{ESTACIÓN } j}$: Caudal observado en el control fluviométrico "j".

$\Sigma Q_{\text{MPL } ij}$: Suma de componente pluvial de escorrentía superficial de todas las cuencas ubicadas aguas arriba del control fluviométrico "j", generados por modelo MPL.

$\Sigma Q_{\text{NIVAL } ij}$: Suma de componente nival de escorrentía superficial de todas las cuencas ubicadas aguas arriba del control fluviométrico "j", generados por regresión lineal en función de alturas de nieve.

El resultado del ajuste estadístico entrega los parámetros $\lambda_{\text{PLUVIAL } j}$ y $\lambda_{\text{NIVAL } j}$ que se han de utilizar en todas las cuencas involucradas en el control fluviométrico "j". Para el resto de las cuencas que no tiene asociada una estación fluviométrica en su salida se han promediado los valores obtenidos de dichos parámetros en cuencas vecinas. En el Cuadro 3 - 32 se presenta un resumen de la asociación de cada una de las cuencas nivopluviales existentes en la cuenca del Río Maule, con las estaciones de calibración consideradas.

Cuadro 3 - 32. Control Fluviométrico asociado a cada cuenca en proceso de calibración modelo nivo pluvial.

Cuenca	Estación Fluviométrica Asociada
AN-16	MAULE EN ARMERILLO
CL-22	MAULE EN ARMERILLO
CL-27	MAULE EN ARMERILLO
AN-29	MAULE EN ARMERILLO
CL-30	MAULE EN ARMERILLO
CL-31	MAULE EN ARMERILLO
CL-32	MAULE EN ARMERILLO
CL-35	MAULE EN ARMERILLO
CL-36	MAULE EN ARMERILLO
CL-38	MAULE EN ARMERILLO
AN-39	MAULE EN ARMERILLO
CL-40	MAULE EN ARMERILLO
CL-42	MAULE EN ARMERILLO
CL-43	MAULE EN ARMERILLO
CL-51	MAULE EN ARMERILLO
CL-52	PROMEDIO AN-70 y AN-83
CL-53	MAULE EN ARMERILLO
AN-54	MAULE EN ARMERILLO
AN-62	PROMEDIO AN-70 y AN-83
CL-68	MAULE EN ARMERILLO
AN-70	ACHIBUENO EN LA RECOVA
AN-72	MAULE EN ARMERILLO
AN-73	MAULE EN ARMERILLO
CL-75	MAULE EN ARMERILLO
CL-77	MAULE EN ARMERILLO
CL-79	MAULE EN ARMERILLO
AN-83	LONGAVÍ EN LA QUIRIQUINA
AN-85	PROMEDIO AN-70 y AN-83
CL-86	PROMEDIO AN-70 y AN-83
AN-88	PROMEDIO AN-70 y AN-83
AN-92	PROMEDIO AN-70 y AN-83
AN-93	MAULE EN ARMERILLO
AN-94	MAULE EN ARMERILLO

Fuente: Elaboración Propia

El resultado detallado del proceso de calibración se presenta íntegramente en el Anexo 3.6.

III.4.9 Descargas Puntuales

Este objeto permite la representación de una o varias descargas de caudales en cualquier punto del sistema, lo que se traduce en un aporte mensual de caudal en dicho punto. La información requerida para la implementación de las descargas puntuales se refiere principalmente a su identificación y a la distribución de caudales mensuales descargados.

El estudio PD Maule incorpora las descargas de riles en algunos cauces de la cuenca. Su ubicación además del tipo de descarga y caudal descargado se detallan en el Cuadro 3-33

Cuadro 3 - 33. Descarga de Riles en la cuenca del Maule

Comuna	Norte [UTM]	Este [UTM]	Industria	Actividad	Volumen [m3/mes]
Constitución	6078441	258338	Soc. fabrica de papel y carton Schorr y Concha S.A.	Fabricación de papel y Carton	12000
Curicó	6123402	293613	Francisco Corta y Cia. Ltda.	Curtiduría y Talleres de Acabado	5500
	6126107	297849	Jaime Soler e Hijo Ltda.	Industria de alimentos (Matanza de animales y frigoríficos)	1500
Molina	6119858	294970	Sociedad Anonima Viña Santa Rita	Fabricación de vinos	220
Romeral	6132191	301581	David del Curto S.A.	Elaboración y envasado de frutas y legumbres	2150
Linares	6026086	265803	Cobra Chila S.A.	Elaboración de pescado, crustáceos y otros productos marinos	N/A
	6035642	260249	Agroindustrial Nacional S.A.	N/A	N/A

Con respecto a las descargas de aguas servidas por localidades, se revisó la información existente en los planes de desarrollo elaborados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), con el fin de identificar las descargas que se producen en los cauces naturales de la cuenca del Maule.

Además se solicitó información a la empresa de Servicios Sanitarios de la VII Región, Aguas Nuevo Sur Maule (ANSM), respecto a las plantas de tratamiento de aguas servidas existentes en la región del Maule y los caudales que estas descargan a los cauces naturales. Estos antecedentes fueron contrastados con los incorporados en los planes de desarrollo de la SISS, verificando caudales descargados y lugar de descarga. En el Cuadro 3-34 se presenta un resumen con las descargas de aguas servidas consideradas y la distribución mensual de los caudales descargados.

Cuadro 3 - 34. Descargas de Aguas Servidas en la cuenca del Maule

Localidad	Tipo de Descarga	Fuente(*)	Caudal Desacargado (l/seg)											
			ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Cauquenes	Tratada	ANSM	85.5	57.9	54.9	53.4	79.6	55.9	65.5	91.7	90.7	77.4	62.2	62.6
Linares	Sin Tratar	SISS	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0	263.0
Longaví	Tratada	ANSM	9.5	11.0	9.8	8.6	11.4	14.1	11.2	12.6	9.6	9.2	8.4	8.7
Parral	Tratada	ANSM	43.5	44.5	49.9	46.3	37.1	46.6	45.6	38.3	56.1	47.3	48.4	58.4
Pelarco	Sin Tratar	SISS	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Retiro	Tratada	ANSM	10.3	9.2	8.3	7.4	7.3	11.6	9.2	10.1	9.8	9.7	9.1	9.3
San Clemente	Tratada	ANSM	26.6	21.7	2.8	25.3	27.9	38.4	28.4	34.6	26.8	26.1	26.7	26.3
San Javier	Sin Tratar	SISS	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7
San Rafael	Tratada	ANSM	3.9	2.4	5.0	3.0	5.9	9.6	7.9	8.8	9.6	5.4	6.3	10.8
Talca	Sin Tratar	SISS	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4	339.4
Villa Alegre	Sin Tratar	SISS	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Yerbas Buenas	Tratada	ANSM	9.7	7.4	7.2	7.3	6.5	7.1	6.2	7.2	5.3	4.9	5.8	6.5

(*): ANSM: Empresa de Servicios Sanitarios Aguas Nuevo Sur Maule, año 2005.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios, año 2001.

III.4.10 Caudales Ecológicos

Un caudal ecológico representa un objeto especial que limita la extracción de agua desde un nodo perteneciente a cualquiera de los ríos del sistema. Esta restricción representa el caudal que siempre debe circular por el río, definido principalmente en base a criterios ambientales. La información que se debe disponer para especificar el caudal ecológico de un sistema, se refiere principalmente a la identificación y a la distribución de caudales mensuales a respetar.

La información existente en torno a esta área temática, se resume a través del estudio *PD Maule* y del estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule", Mayo 2005, realizado por la DGA Regional del Maule. El primero realizó una recopilación y representación cartográfica de todos los sectores donde la Dirección General de Aguas ha considerado la existencia de caudales ecológicos. Para ello, efectuó una revisión de todos los expedientes de constitución de derechos de agua superficiales, disponibles en la Dirección Regional de Aguas ubicada en la ciudad de Talca. La información recopilada cubre los ríos Loncomilla, Perquilauquén, Guaiquivilo, Colorado, Claro y Achibueno, además de los esteros La Empresa, Trapiche, Los Robles, Potrero Grande, Cuyulemu y Vaquena. Los antecedentes relativos al caudal ecológico, recopilados en los expedientes se presentan en el Cuadro 3-35.

Cuadro 3 - 35. Caudales Ecológicos Señalados en la Constitución de Derechos de Aguas Superficiales

Nº	Nº Res.	Fecha	Nombre del Titular	Tipo	Cauce	Qe [l/s]
1	149	28-Feb-90	Beatriz Cortez Torres	NC	Río Achibueno 1ª Sección	3.000,0
2	111	16-Feb-90	Empresa Nacional de Electricidad S.A. ENDESA	NC	Río Guaiquivilo	5.000,0
3	89	2-Feb-90	Andrés Pirazzoli Regis	NC	Estero Potrero Grande	28,0
4-a	119	12-Mar-91	Chilgener S.A.	NC	Río Colorado- Central Río Negro	2.600,0
4-b					Río Colorado- Central Colorado	3.400,0
4-c					Río Colorado- Central Los Retamos	3.800,0
5	578	12-Sep-90	Silvia Patricia Kamann	C	Estero Potrero Grande	70,0
6	22	21-Ene-92	Sociedad Bio Sur Ltda.	NC	Río Claro	500,0
7-a	380	26-Jul-95	Chilgener S.A.	NC	Río Puelche	1.500,0
7-b				NC	Estero del Alto	400,0
8	375	28-Jul-95	Chilgener S.A.	NC	Río Puelche	1.300,0
9	894	15-Nov-96	Empresa Eléctrica Colbún Machicura S.A.	C	Río Guaiquivilo	4.500,0
10	24	15-Ene-98	Luis Alberto Gómez Gómez	C	Río Perquilauquén	1.100,0
11	404	15-Abr-98	Juan Antonio Urra Muñoz	C	Estero Cuyulemu	47,0
12	1075	6-Nov-98	Pablo Ceroni Ferrada	C	Río Perquilauquén	1.100,0
13	77	27-Ene-99	Patricio Añejandro Torres Escobar	C	Río Perquilauquén	1.100,0
14	735	30-Ago-99	Frutícola Agrichile S.A.	C	Río Claro	1.020,0
15	552	21-Sep-01	Agropecuaria Walker Prieto Ltda.	C	Estero Los Robles	50,0
16	31	17-Ene-02	Sergio Salas Gonzales	C	Río Loncomilla	5.143,0
17	47	28-Ene-02	José Miguel Quiros	C	Río Perquilauquén	7.000,0
18	57	29-Ene-02	Jorge Guillermo Duarte	C	Río Loncomilla	5.201,0
19	62	29-Ene-02	Julio A Gonzáles y María L. Lara	C	Río Loncomilla	5.200,0
20	108	12-Feb-02	María Cristina Muñoz	C	Estero Qda La Empresa	6,0
21	329	18-Abr-02	Roberto Valderrama Schules	C	Estero Trapiche	5,9
22	332	18-Abr-02	Gonzalo del Sagrado Corazón	C	Estero Los Robles	232,0
23	763	16-Ago-02	Agrícola Viña Casas de Loncomilla	C	Estero Vaquería	13,0
24	778	22-Ago-02	Luis Guillermo Campos Vallejos	C	Río Perquilauquén	1.500,0
25	805	9-Sep-02	Sociedad Agrícola San Juan	C	Río Loncomilla	5.750,0
26	808	9-Sep-02	Gottfried Michael Gondeck	C	Estero Los Robles	120,0
27	881	24-Oct-02	Fisco, DOH	C	Río Achibueno	3.000,0
28	957	11-Nov-02	Agrícola Cerro Verde Ltda	C	Río Loncomilla	5.200,0
29	2	19-Mar-01	Claudio Borquez Malebrán	C	Vertiente	1,7

Fuente: Estudio "Bases Plan Director para la Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Maule".

Por otro lado, el estudio de la DGA regional ha definido los caudales ecológicos a respetar en cada una de las subcuencas consideradas, para lo cual realizó una revisión de la información disponible en Minutas o Informes Técnicos anteriores con el fin de utilizar los valores anteriormente definidos. En el caso en que no existiese registros de ellos, se determinó el caudal ecológico de acuerdo a lo señalado en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos.

La metodología adoptada por la Dirección Regional de Aguas para el cálculo de los caudales ecológicos, fija como valor para este parámetro alguno de los valores obtenidos mediante los siguientes 4 criterios:

- i. $Q_{ec} = 10\%Q_{medio-anual}$
- ii. $Q_{ec} = 50\%Q_{min-del-estiaje-año-95\%}$
- iii. $Q_{ec} = Q_{330}$ (caudal que es excedido al menos 330 días al año)
- iv. $Q_{ec} = Q_{347}$ (caudal que es excedido al menos 347 días al año)

El Cuadro 3-36 indica los caudales ecológicos determinados para cada tramo de río analizado.

Cuadro 3 - 36. Caudales Ecológicos Cuenca Río Maule

Punto de Control	Tramo de Río	Caudal Ecológico (l/s)
1	Río Lircay aguas arriba junta río Claro	649
2	Río Claro aguas arriba junta río Maule	5,100
3	a) Río Melado antes Junta Río La Puente	4,500
	b) Río Melado después Junta Río La Puente hasta Junta con el Río Maule	8,200
4	Río Putagan aguas arriba junta río Loncomilla	1,381
5	Río Ancoa aguas arriba junta río Achibueno	2,870
6	Río Achibueno aguas arriba junta río Loncomilla	3,000
7	Río Liguay aguas arriba junta río Longaví	634
8	a) Río Longaví aguas arriba junta río Liguay	900
	b) Río Longaví desde junta Río Liguay hasta junta río Loncomilla	1,534
9	Río Purapel aguas arriba junta río Perquilauquen	16
10	Estero Torreón aguas arriba junta río Perquilauquen	8
11	Río Tutuvén aguas arriba junta río Cauquenes	4
12	Río Cauquenes aguas arriba junta río Perquilauquen	52
13	Río Niquen aguas arriba junta río Perquilauquen	155
14	Río Perquilauquén en Quella	520
15	Río Maule en Longitudinal	1,075
16	Río Loncomilla aguas arriba río Maule	6,740
	Río Maule aguas abajo junta río Loncomilla	7,815
17	Río Maule aguas abajo junta río Claro hasta Desembocadura	12,915

Fuente :Estudio "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". DGA Regional VII región

III.4.11 Topología

Esta área temática incorpora aquellas tablas MAGIC que definen conectividades o distribución de caudales en nodos y tramos de ríos. Entre la información más relevante para completar las tablas respectivas, se encuentra los porcentajes de distribución de los caudales que llegan a un cierto punto, lo cual será completado a partir de información de derechos permanentes y eventuales solicitados en la cuenca. Para esto último, se considera el estudio "Evaluación de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Maule" realizado por el Departamento de Recursos Hídricos de la DGA Regional del Maule, VII Región. Los Cuadros 3-37 al 3-42 detallan los derechos de agua, permanentes y eventuales de los cauces y canales pertenecientes a cada junta de vigilancia.

Cuadro 3 - 37. Derechos de Agua Río Claro

Canal	Acciones	Ejercicio	Q (m3/s)
De Las Mercedes	11564	Permanente	
Galpón o Donoso	55268	Permanente	
Molino u Opaso	5730	Permanente	
Porvenir o Bellavista	21213	Permanente	
Bascuñán	6225	Permanente	
Cumpeo	-	Eventual	5.00
Pelarlo	-	Eventual	4.00
Total Junta Vigilancia Río Claro	100000		
Valor acción establecido por usuarios		1.50 l/s/acción	

Fuente: "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". Informe Técnico. Dirección Regional del Maule, VII Región, Departamento Administración de Recursos Hídricos.

Cuadro 3 - 38. Derechos de Agua Río Maule

Ribera Norte			
Canal	Acciones	Ejercicio	Q (l/s)
Las Garzas	250	Permanente	351.3
Las Suizas	150	Permanente	210.8
La Esperanza	2000	Permanente	2810.3
Maule Norte	38667	Permanente	54332.8
Riesco maitenes	700	Permanente	983.6
Mariposas-San Vicente	2635	Permanente	3702.6
Silva Henríquez Oriente	5684.82	Permanente	7988.0
Prado Interesado	502	Permanente	705.4
Lircay	2129	Permanente	2991.6
Santa Elena	1566	Permanente	2200.5
Peña-Palo Seco	1890	Permanente	2655.7
Riesco	116	Permanente	163.0
Sandoval, San Miguel y flor del Llano	4598	Permanente	6460.9
Bella Unión	486	Permanente	682.9
Quiñantú	611	Permanente	858.5
Volcán o Admiración	160	Permanente	224.8
Canal	Acciones	Ejercicio	Q (l/s)
Chequén	720	Permanente	1011.7
Huilquilemu-Armonía	2606	Permanente	3661.8
Duao-Zapata	5212	Permanente	7323.6
Montero	350	Permanente	491.8
Vista Hermosa	600	Permanente	843.1
San José	400	Permanente	562.1
Espino Liso	200	Permanente	281.0
Colín	1363	Permanente	1915.2
Santa Herminia	270	Permanente	379.4
Hacienda Maule	700	Permanente	983.6
Santa Rosa	70	Permanente	98.4
Peña Mercedes	500	Permanente	702.6

ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS HIDROLÓGICOS ACOPLADOS A SIG PARA EL MANEJO Y PLANIFICACIÓN, CUENCAS DE MAULE, MATAQUITO E ITATA. INFORME FINAL

Total Ribera Norte	75135.82		105576.9
Ribera Sur			
Canal	Acciones	Ejercicio	Q (l/s)
Melado	18000	Permanente	25292.7
Maule Sur:	33000		46369.8675
Colbún	4500	Permanente	6323.2
Santa Dolores	1250	Permanente	1756.4
El Hueso	1250	Permanente	1756.4
Santa Elena	1250	Permanente	1756.4
Caracol	1250	Permanente	1756.4
San Ramón	900	Permanente	1264.6
Porvenir	600	Permanente	843.1
San Dionisio	1200	Permanente	1686.2
Compañía	3000	Permanente	4215.4
Farto Alto	1100	Permanente	1545.7
Laurel	850	Permanente	1194.4
Esperanza Sur	2000	Permanente	2810.3
Flor María	830	Permanente	1166.3
Peñuelas	2000	Permanente	2810.3
Verdugo	200	Permanente	281.0
Benavente	1200	Permanente	1686.2
Melozal	6000	Permanente	8430.9
Nuevos Regantes	3620	Permanente	5086.6
Cauce Queri:	6133		8617.76962
Romero Patagua	2077	Permanente	2918.5
Cerda	1311	Permanente	1842.1
Flores Interesado	670	Permanente	941.4
San Pablo	1220	Permanente	1714.3
Rosas Fabry	530	Permanente	744.7
Farto Bajo	265	Permanente	372.4
Maquis	60	Permanente	84.3
Olivar San Ignacio	2565	Permanente	3604.2
Gatica	1320	Permanente	1854.8
Pando	2400	Permanente	3372.4
El Molino-La Unión	900	Permanente	1264.6
Canal	Acciones	Ejercicio	Q (l/s)
San Luis	200	Permanente	281.0
El Maquí	200	Permanente	281.0
Bobadilla	200	Permanente	281.0
Chivato-Loncoche	2120	Permanente	2978.9
Salas-Santa Elena	160	Permanente	224.8
Totral Ribera Sur	67198		94423.1

Total Junta Vigilancia Río Maule	142333.82		200000.0
Valor acción establecido por usuarios		1.41 l/s/acción	

Fuente: "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". Informe Técnico. Dirección Regional del Maule, VII Región, Departamento Administración de Recursos Hídricos.

Cuadro 3 - 39. Derechos de Agua Río Ancoa

Canal	Acciones	Ejercicio
El Molino	7.5	Permanente
Vecinal	45	Permanente
San Antonio-Álamos	1051.8201	Permanente
San Antonio-Encina	1000	Permanente
San Víctor Álamos	948.1799	Permanente
Letelier	1000	Permanente
Gaete	0.75	Permanente
Retamal Ancoa	1.5	Permanente
Espinela	1.9	Permanente
Leiva	0.75	Permanente
Vásquez Uno	49.5	Permanente
Pando-Llancaño	510	Permanente
Ibarra	100	Permanente
Barros Norte	9	Permanente
La Cañada	442.5	Permanente
Vásquez Dos	3	Permanente
Dren San Antonio	6.42	Permanente
Muñoz	100	Permanente
Derivado	200	Permanente
San Juan	10.5	Permanente
Ibáñez	600	Permanente
Fuentealba o Las Pataguas	57.6	Permanente
Villegas o Benavente	45	Permanente
Palacios	23	Permanente
San Bartolo o Ancoa	140	Permanente
Rojas o Los Robles	140	Permanente
González Ibáñez	177	Permanente
Margarita	285	Permanente
Ferrada Ibáñez	162.75	Permanente
Bomba Patagual	60	Permanente
Maitenes o Villalobos	239.33	Permanente
Total Río Ancoa	7418.0	
Valor acción establecido por usuarios		1.00 /vs/acción

Fuente: "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". Informe Técnico. Dirección Regional del Maule, VII Región, Departamento Administración de Recursos Hídricos.

Cuadro 3 - 40. Derechos de Agua Río Achibueno

Canal	Acciones	Ejercicio
Gallego-La Peña-Olate	90.0	Permanente
Molino-Urrutia	60.0	Permanente
Benítez-Llepo	140.0	Permanente
La Cuarta	1600.0	Permanente
Mesamávida	1496.54	Permanente
Castro	130.0	Permanente
San Luis	1513.0	Permanente
Tapia Vásquez	1221.75	Permanente
Quine	320.0	Permanente
Unificación Montero y Cia. Chilena de Fósforos	300.0	Permanente
Jarabrán-Llancaño	400.0	Permanente
Ulises Alarcón o Del Alto	330.0	Permanente
Almendo Abajo o Grande	1970.0	Permanente
Unificación Bodega ex Fiscal, Vásquez Sur y Recreo	1457.3	Permanente
Huapi	600.0	Permanente
Sepúlveda Campos	50.0	Permanente
Elgueta	40.0	Permanente
Vásquez Norte	60.0	Permanente
Juan I. Rojas	40.0	Permanente
Aguada	848.9	Permanente
San Gabriel	890.0	Permanente
Unificación Comunero Rojas y Yáñez Rojas	380.0	Permanente
Total Junta Vigilancia Río Achibueno	13937.49	

Fuera Junta Vigilancia

Canal	Acciones	Ejercicio
Fuentealba	S/R	Permanente
Álvarez	19.55	Permanente
Tapia	S/R	Permanente
Cuéllar	659.39	Permanente
Loyola	505.72	Permanente
Pica	120	Permanente
González Encina	863	Permanente
Unión Palmilla o Palmillano	191.5	Permanente
Total Fuera Junta Vigilancia Río Achibueno	2359.16	
Valor acción establecido por Junta de Vigilancia	1.50	l/s/acción

Fuente: "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". Informe Técnico. Dirección Regional del Maule, VII Región, Departamento Administración de Recursos Hídricos.

Cuadro 3 - 41. Derechos de Agua Río Logaví

Canal	Acciones Permanentes	Q Eventuales (l/s)
Subsistema Remulcao Sur	2366.71	1174.57
Subsistema Longaví Alto	2748.22	2182.15
Quinta Alto A	616.00	362.36
San José	687.85	404.62
Quinta Alto B	243.30	47.06
San Marcos	424.96	594.79
San Nicolás	1520.00	520.00
Subsistema La Sexta	452.85	1727.14
Subsistema La Tercera	615.11	1200.00
Subsistema Quinta Abajo	584.89	58.82
Subsistema Robles Nuevos	537.19	1374.64
Subsistema Robles Viejos	665.00	1281.85
Subsistema Nogales Molino	1718.00	92.90
Canal San Ignacio	538.00	32.10
Canal Copihue	900.00	50.00
Canal Retiro	1199.90	203.30
Canal Las Mercedes	1094.40	27.46
Canal Rosas-La Piedra	300.00	0.00
Canal Primera Arriba	647.33	2.54
Canal El Carmen	1011.29	1183.35
Subsistema Maitenes	870.60	1004.35
Canal Primera Abajo	1037.75	0.00
Canal La Cuarta	0.00	100.00
DOH		25000.00
DOH (Mayo a Octubre)		38000.00
DOH (Noviembre)		10000.00
Total Canal Junta Vigilancia Río Longaví	20779.35	86624.00
Valor acción establecido por Junta de Vigilancia		1.50 l/s/acción

Fuente: "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". Informe Técnico. Dirección Regional del Maule, VII Región, Departamento Administración de Recursos Hídricos.

Cuadro 3 - 42. Derechos de Agua Río Lircay

Canal	Acciones Permanentes	Acciones Eventuales
Canal Higuera Lircay	992.01	
Canal El Molino	8.00	
Canal Bajo Lircay	18.45	
Canal El Manzano	106.76	
Canal Santa Rita	600.00	
Canal Lagunillas	460.50	
Canal El Toqui	106.76	
Canal Providencia Particular	594.00	
Canal Los Niches	300.36	
Canal Pencahue	2918.15	1850.53
Total Canal Junta Vigilancia Río Lircay	6104.99	1850.53
Valor acción establecido por Junta de Vigilancia		1.41 l/s/acción

Fuente: "Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule". Informe Técnico. Dirección Regional del Maule, VII Región, Departamento Administración de Recursos Hídricos.

III.4.12 Fluviometría

Los registros de caudales medios mensuales requeridos para la implementación del modelo MAGIC, se asocian a la estadística fluviométrica que permite definir los Aportes Naturales y las Cuencas Laterales indicados en el punto III.4.8 *Cuencas No Controladas*. De igual manera, forman parte de este registro las estaciones fluviométricas de la cuenca que son utilizadas como contraste de la calibración del modelo MAGIC formulado. De esa forma las series de caudales observadas son

contrastadas con los caudales generados por MAGIC, que en caso de importantes diferencias se debe realizar un proceso de recalibración iterativa, hasta que los parámetros de ajuste sean aceptables.

La cuenca del Río Maule posee 45 estaciones fluviométricas de la DGA vigentes, de las cuales 9 cuentan con información anterior al año 1965. El Cuadro 3-43 presenta las estaciones existentes en la cuenca del Río Maule incorporando un detalle de la vigencia y el período con registros. La Figura 3-22 muestra la ubicación de las estaciones mencionadas.

Cuadro 3 - 43. Estaciones Fluviométricas DGA en Cuenca del Río Maule

Id	Codigo Bna	Nombre Estación	Norte	Este	Años Informados	Vigencia
1	07332001-1	Rio Perquillauquen En Ñiquen	5985931	769633	1967-2005	Vigente
2	07335001-8	Rio Perquillauquen En Quella	6006503	762752	1963-2005	Vigente
3	07335002-6	Estero Curipeumo En Lo Hernandez	6015568	769043	1968-2005	Vigente
4	07335003-4	Rio Perquillauquen En Santa Ema	6013856	764477	1968-1984	No Vigente
5	07336001-3	Rio Cauquenes En El Arrayan	6010971	735820	1945-2005	Vigente
6	07337001-9	Rio Tutuven En El Roble	6020095	740580	1945-1949	No Vigente
7	07339001-K	Rio Cauquenes En Desembocadura	6023057	766260	1986-2005	Vigente
8	07340001-5	Estero Cardo Verde En Lo Ubaldo	6024815	769326	1968-1984	No Vigente
9	07341001-0	Rio Purapel En Nirivilo	6062028	762895	1957-2005	Vigente
10	07342001-6	Rio Purapel En Purapel	6047053	768493	1951-1953	No Vigente
11	07343001-1	Rio Purapel En Sauzal	6039747	765255	1981-2005	Vigente
12	07300001-7	Rio Maule En Desague Laguna Del Maule	6012103	360334	2004-2005	Vigente
13	07303000-5	Rio Maule En Los Baños	6033930	338902	2002-2005	Vigente
14	07306001-K	Rio Cipreses En Dasague Laguna La Invernada	6044098	338717	2002-2005	Vigente
15	07308000-2	Canal Ad. Maule C. Pehuenche	6036765	319689	2002-2005	Vigente
16	07308001-0	Estero Las Garzas	6041589	318937	2003-2005	Vigente
17	07308002-9	Rio Maule Bajo Boca Toma Maule Central Pehuenche	6039341	319033	2003-2005	Vigente
18	07314001-3	Rio Huaiquivilo En Huaiquivilo	5995769	326102	1962-1976	No Vigente
19	07317001-K	Rio Melado En La Lancha Dga	6030653	313363	1916-1966	No Vigente
20	07317002-8	Canal Melado En Los Hierros	6030653	313363	2003-2005	Vigente
21	07317003-6	Rio Melado En Zona De Presa	6041714	311621	2002-2005	Vigente
22	07317005-2	Rio Melado En El Salto	6027052	318105	2003-2005	Vigente
23	07320003-2	Rio Claro En San Carlos	6046353	312277	2002-2005	Vigente
24	07321002-K	Rio Maule En Armerillo	6047229	309995	1947-2005	Vigente
25	07321003-8	Canal Maule Norte En Aforador	6047197	308487	1967-2005	Vigente
26	07321004-6	Canal Maule En Bocatoma	6047229	309995	1928-1944	No Vigente
27	07321005-4	Canal De Evacuacion C. Pehuenche	6044047	304030	2002-2005	Vigente
28	07321007-0	Canal Maule Norte Alto En Paso Nevado	6045437	302742	2004-2005	Vigente
29	07322001-7	Rio Maule En Longitudinal	6060653	253779	1962-2005	Vigente
30	07322002-5	Canal Maule Sur En Aforador	6053422	284140	1971-2005	Vigente
31	07322003-3	Canal Maule Sur En Los Lirios	6050450	288792	1982-1984	No Vigente
32	07322004-1	Rio Maule En Colbun	6050414	287283	1954-1981	No Vigente

ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS HIDROLÓGICOS ACOPLADOS A SIG PARA EL MANEJO Y PLANIFICACIÓN, CUENCAS DE MAULE, MATAQUITO E ITATA. INFORME FINAL

Id	Codigo Bna	Nombre Estación	Norte	Este	Años Informados	Vigencia
33	07322005-K	Canal De Restitucion Sur 2	6055443	270041	2004-2005	Vigente
34	07322006-8	Canal De Restitucion Sur 3	6055504	270014	2004-2005	Vigente
35	07322007-6	Canal San Clemente	6059377	270695	2004-2005	Vigente
36	07322008-4	Canal Duao Zapata	6058594	270237	2004-2005	Vigente
37	07330001-0	Rio Perquilauquen En San Manuel	5966866	275841	1930-2005	Vigente
38	07331001-6	Rio Cato En Digua	5985201	269371	1947-1985	No Vigente
39	07350001-K	Rio Longavi En La Quiriquina	5987284	278311	1937-2005	No Vigente
40	07350002-8	Rio Bullileo En Santa Filomena	5985511	281354	1926-1984	No Vigente
41	07350003-6	Rio Longavi En El Castillo	5985659	287345	1964-2005	Vigente
42	07350004-4	Rio Bullileo En Portal Tunel	5981850	282944	1940-1945	No Vigente
43	07350005-2	Rio Longavi Antes Junta Bullileo	5987284	278311	1929-1937	No Vigente
44	07351001-5	Rio Longavi En Longitudinal	6012531	253611	1963-1984	No Vigente
45	07354001-1	Rio Achibueno En Los Pagnascos	6016794	274553	1947-1986	No Vigente
46	07354002-K	Rio Achibueno En La Recova	6012629	280574	1986-2005	Vigente
47	07355001-7	Rio Ancoa En El Llepo	6024152	272859	1962-1983	No Vigente
48	07355002-5	Rio Ancoa En El Morro	6024635	292418	1952-2005	Vigente
49	07355003-3	Rio Ancoa Antes Tunel Canal Melado	6028674	307382	1961-1995	No Vigente
50	07355004-1	Rio Ancoa En Las Minas	6024599	290913	1916-1939	No Vigente
51	07355005-K	Rio Ancoa En Las Vegas	6022569	283436	1947-1952	No Vigente
52	07355008-4	Canal Robleria Ante Bocatoma Ancoa	6029820	297944	2000-2005	Vigente
53	07356001-2	Rio Achibueno En San Francisco	6029341	259167	1975-1980	No Vigente
54	07357001-8	Rio Loncomilla En En Emboque	6038546	257408	1963-1973	No Vigente
55	07357002-6	Rio Loncomilla En Bodega	6032616	244004	1967-2005	Vigente
56	07358001-3	Rio Putagan En Yervas Buenas	6036939	266499	1946-2005	Vigente
57	07358002-1	Rio Putagan En Putagan	6036737	258965	1916-1922	No Vigente
58	07358003-K	Rio Putagan En Santa Rosa	6036859	263485	1946-1949	No Vigente
59	07358010-2	Canal De Restitucion Sur 1	6041812	281003	2005	Vigente
60	07359001-9	Rio Loncomilla En Las Brisas	6054936	247893	1975-2005	Vigente
61	07359003-5	Rio Loncomilla En San Javier	6058677	249299	1948-1952	No Vigente
62	07361001-K	Rio Maule En Loncomilla	6060526	249247	1928-1931	No Vigente
63	07372001-K	Rio Claro En Camarico	6105811	282927	1936-2005	Vigente
64	07372002-8	Rio Claro En Puente Cimbra	6092491	268077	1915-1931	No Vigente
65	07374001-0	Rio Lircay En Puente Las Rastras	6070860	291335	1961-2005	Vigente
66	07374002-9	Canal Maule Norte Bajo Seccion 1	6061959	293054	1996-2005	Vigente
67	07374003-7	Canal Maule Norte Bajo Seccion 2	6067267	295956	1996-2005	Vigente
68	07378011-K	Canal Maule Norte Bajo En Puente Centinela	6053663	294304	2000-2005	Vigente
69	07378012-8	Quebrada Colorado En Desagüe Laguna Los Temos	6052690	293596	2004-2005	Vigente
70	07378013-6	Quebrada Colorado Bajo Sistema Maitenes	6056306	289988	2004-2005	Vigente
71	07379001-8	Rio Claro En Talca	6077337	254835	1958-1997	No Vigente
72	07379002-6	Rio Claro En Rauquen	6073809	252155	1999-2005	Vigente
73	07381001-9	Estero Los Puercos En Puente Los Puercos	6080652	241104	1986-2005	Vigente
74	07383001-K	Río Maule en Forel	6077251	208621	1984-2006	Vigente

Fuente: CIRH DGA

El estudio ModMaule consideró 7 estaciones fluviométricas como estaciones de calibración en la cuenca, las cuales fueron actualizadas en el estudio PD Maule, a excepción de la estación Río Claro en Talca, que se encuentra suspendida desde 1997, y la estación Río Maule en Forel, que no contaría con datos en el BNA desde 1996. El Cuadro 3-44, indica las estaciones fluviométricas que se consideraron para la calibración del Modelo MAGIC.

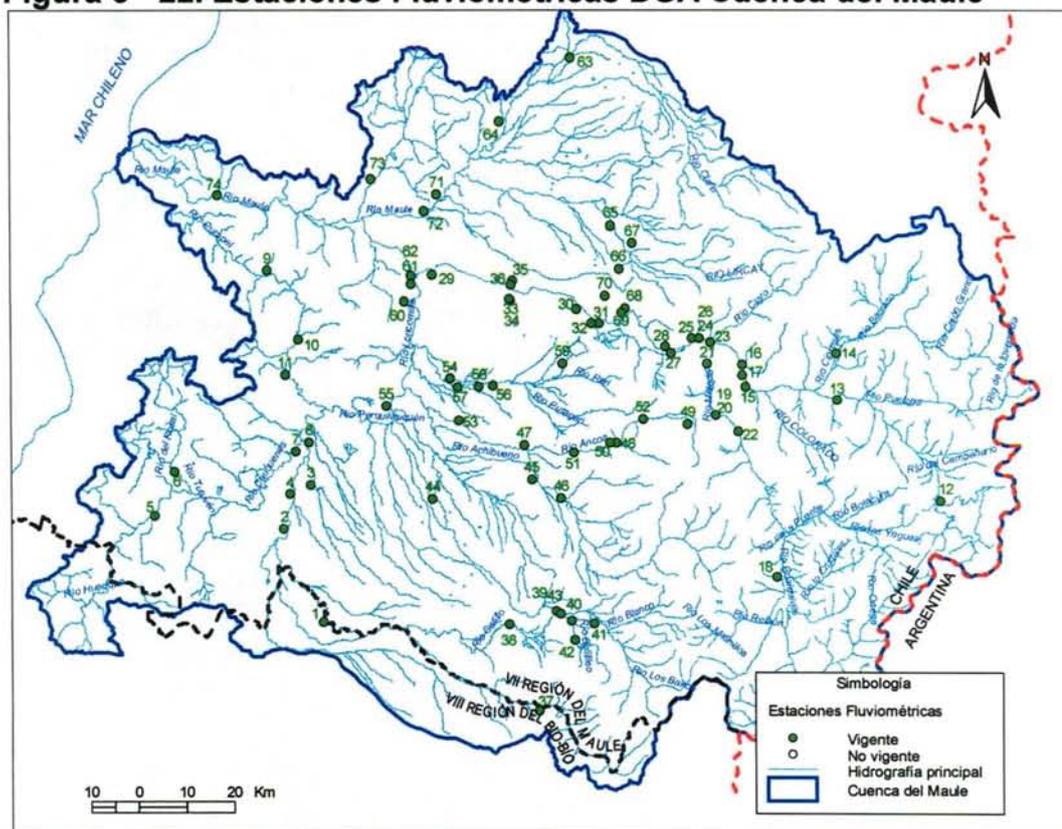
Cuadro 3 - 45. Estaciones Fluviométricas Consideradas en la Calibración ModMaule

Nombre	Código BNA	Utm Este (m)	Utm Norte (m)	Estado
Río Claro en Camarico	07372001-k	282.705	6.104.573	Vigente
Río Claro en Talca	07379001-8	252.155	6.073.809	Suspendida
Río Maule en Forel	07383001-k	208.621	6.077.251	Vigente
Río Putagán en Yervas Buenas	07358001-3	266.267	6.038.137	Vigente
Río Loncomilla en Bodega	07357002-6	245.058	6.031.783	Vigente
Río Perquilauquén en Quella	07335001-8	222.048	6.003.814	Vigente
Río Maule en Armerillo	07321001-7	309.995	6.047.229	Vigente(*)

(*) Actualmente controlada a nivel diario en las planillas de operación de Maule Alto (DOH Regional)

Fuente: Estudio "Bases Plan Director Cuenca del Maule"

Figura 3 - 22. Estaciones Fluviométricas DGA Cuenca del Maule



Los registros de caudales medios mensuales observados, ya sea en las estaciones consideradas para la calibración del modelo, como de otras estaciones que son útiles

durante la implementación del modelo MAGIC, además de estadística fluviométrica asociada a canales, se presentan en el Anexo 3.7.

III.4.13 Pluviometría

Los datos de precipitaciones medias mensuales requeridas para la implementación del modelo MAGIC, son utilizados en la estimación de la escorrentía directa y percolación profunda en las zonas de riego mediante el modelo de escorrentía MPL incorporado en el MAGIC. Indirectamente, estos antecedentes son necesarios para la generación sintética de caudales en cuencas no controladas, ya sea a través del MPL o mediante algún otro modelo dependiendo del tipo de cuenca (pluvial o nivopluvial). De igual manera, estos datos se utilizaron en la determinación de la precipitación efectiva asociada al cálculo de las necesidades netas mensuales de cada zona de riego definida.

La cuenca del Río Maule posee 37 estaciones pluviométricas de la DGA vigentes, de las cuales 13 cuentan con información anterior al año 1965. El Cuadro 3-48 presenta las estaciones existentes en la cuenca del Río Maule incorporando un detalle de la vigencia y el período con registros.

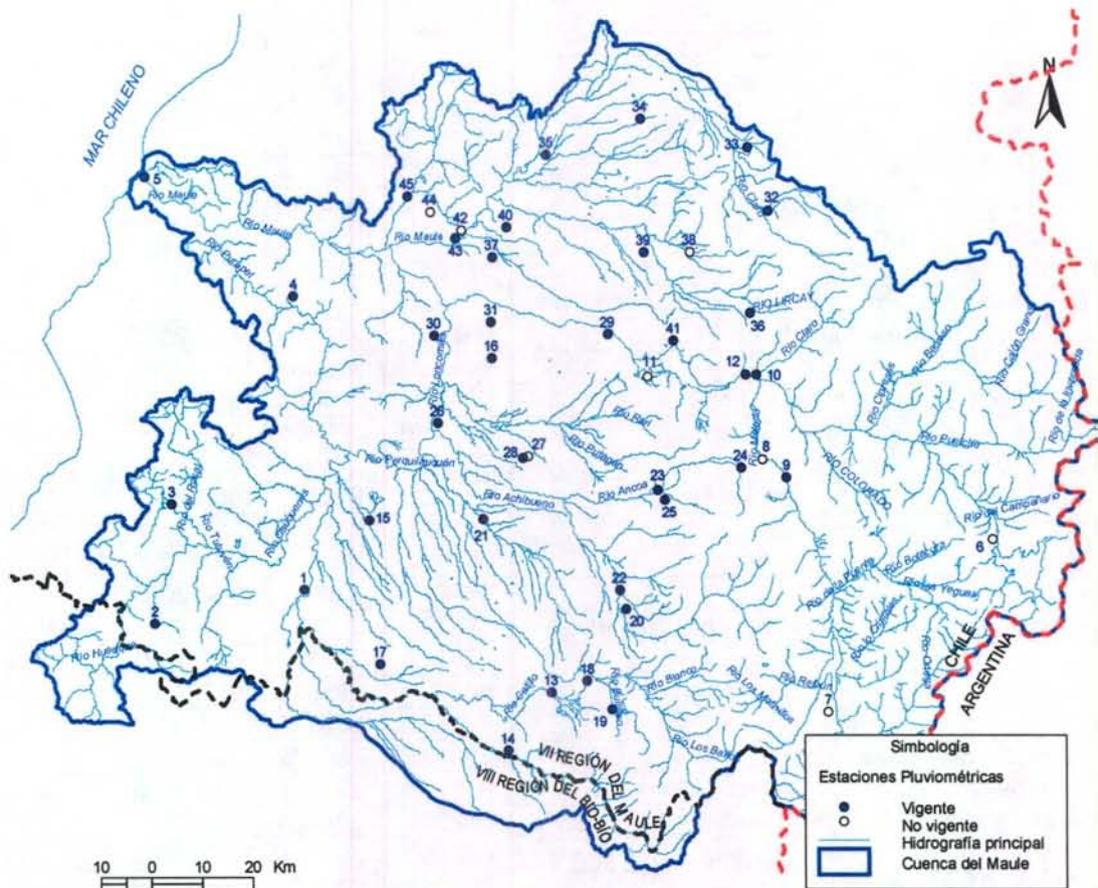
El estudio *PD Maule* recopiló registros de precipitaciones mensuales de un total de 17 estaciones, siendo 15 para el período que va desde Abril de 1995 hasta marzo de 2002, y el registro completo para las estaciones Talca UC y Linares. Los datos recopilados que presentaban vacíos en sus registros fueron rellenados por correlaciones directas con estaciones cercanas. Las estaciones consideradas se muestran el Cuadro 3-45 y su ubicación en la Figura 3-23, mientras que las series pluviométricas extendidas y homogeneizadas de las 17 estaciones, se presentan en el Anexo 3.6.

Cuadro 3 - 45. Estaciones Pluviométricas DGA en Cuenca del Río Maule

Id	Codigo Bna	Nombre Estación	Norte	Este	Años Informados	Vigencia
1	07335004-2	Quella	6005718	762203	1961-2005	Vigente
2	07336003-K	El Alamo	6001070	732375	1994-2005	Vigente
3	07337002-7	Tutuven Embalse	6024292	737081	1975-2005	Vigente
4	07341002-9	Nirivilo	6063299	763714	1956-2005	Vigente
5	07384002-3	Constitucion	6088163	735880	1992-2005	Vigente
6	07301000-4	Lo Aguirre	6014852	358788		No Vigente
7	07314002-1	Guayquivilo	5980977	326397	1960-1971	No Vigente
8	07317001-K	Rio Melado En La Lancha Dga	6030653	313363	1965-2003	No Vigente
9	07317005-2	Rio Melado En El Salto	6027052	318105	2003-2005	Vigente
10	07320002-4	Armerillo	6047242	312057	1916-2005	Vigente
11	07321001-1	Maule Bajo	6046788	290388	1961-1985	No Vigente
12	07321002-K	Rio Maule En Armerillo	6047229	309995	1957-2005	Vigente
13	07331002-4	Digua Embalse	5984910	271177	1947-2005	Vigente
14	07332003-8	San Manuel En Perquilauquen	5973480	262471	1956-2005	Vigente
15	07340003-1	Los Huiganes	6018741	234848	1994-2005	Vigente
16	07342002-4	Huerta Del Maule	6050627	259343	1992-2005	Vigente
17	07345001-2	Parral	5990514	236977	1964-2005	Vigente
18	07350001-K	Rio Longavi En La Quiriquina	5987284	278311	2001-2005	Vigente
19	07350006-0	Bullileo Embalse	5981671	283173	1930-2005	Vigente
20	07352002-9	La Sexta De Longavi	6001292	285988	1992-2005	Vigente
21	07352003-7	Liguay	6018934	257595	1975-2005	Vigente
22	07353001-6	Juan Amigo	6004993	284771	1992-2005	Vigente
23	07355002-5	Rio Ancoa En El Morro	6024635	292418	1999-2005	Vigente
24	07355006-8	Hornillo	6029050	309080	1961-2005	Vigente
25	07355007-6	Ancoa Embalse	6022663	293819	1957-2005	Vigente
26	07357003-4	Melozal	6037805	248555	1950-2005	Vigente
27	07358006-4	Santa Barbara (Linares)	6031392	266645	1979-1983	No Vigente
28	07358007-2	Linares	6030901	265579	1967-2005	Vigente
29	07358008-0	Colbun (Maule Sur)	6055076	282439	1959-2005	Vigente
30	07359001-9	Rio Loncomilla En Las Brisas	6054936	247893	2001-2005	Vigente
31	07359005-1	San Javier	6057656	259253	1970-2005	Vigente
32	07370001-9	El Radal Fundo	6078923	314518	1992-2005	Vigente
33	07371002-2	Agua Fria	6091203	310600	1992-2005	Vigente
34	07373003-1	El Guindo	6096710	289216	1964-2005	Vigente
35	07373004-K	San Rafael	6089959	270366	1992-2005	Vigente
36	07374004-5	Vilches	6059242	310947	1992-2005	Vigente
37	07374005-3	Huapi	6070091	259473	1969-2005	Vigente
38	07374006-1	Las Lomas	6071033	298896	1969-1976	No Vigente
39	07376002-K	El Durazno	6071005	289616	1992-2005	Vigente
40	07378002-0	Talca U.C.	6075875	262397	1982-2005	Vigente
41	07378003-9	Colorado	6053878	295608	1963-2005	Vigente
42	07378004-7	Talca	6075446	253372	1964-1982	No Vigente
43	07379002-6	Rio Claro En Rauquen	6073809	252155	1999-2005	Vigente
44	07381002-7	Fundo El Peral	6078976	247214	1966-1986	No Vigente
45	07381003-5	Pencahue	6081962	242658	1986-2005	Vigente

Fuente: CIRH DGA

Figura 3 - 23. Estaciones Pluviométricas



III.4.14 Captaciones Puntuales

A través de este objeto, MAGIC permite la representación de la demanda superficial de un determinado caudal mensual desde un punto del sistema en estudio, dependiendo de la disponibilidad de agua existente en dicho punto. Parte del caudal captado percola hacia el acuífero y otra parte puede retornar hacia el sistema superficial. Para implementar las captaciones puntuales se requiere antecedentes respecto a la identificación de la captación, la distribución mensual de los caudales captados, especificación de la percolación y de los retornos asociados a las captaciones existentes.

En el estudio *Modmaule* fueron incorporadas las extracciones superficiales de agua para producción de agua potable. Para ello se recopiló la información de los caudales demandados por estas fuentes así como sus puntos específicos de captación. De acuerdo con el mismo estudio, la Empresa de Servicios Sanitarios del Maule (ESSAM SA.) utiliza casi exclusivamente fuentes subterráneas para la producción de agua potable. Sólo las localidades de San Javier (12 l/s), Linares (18 l/s),

Constitución (160 l/s) y Cauquenes (15 l/s) utilizaban fuentes superficiales a la fecha de elaboración de dicho estudio.

De acuerdo al *estudio PD Maule*, las captaciones superficiales de las ciudades de Cauquenes y Linares al año 2003 han quedado fuera de operación.

Según el plan de desarrollo de la ciudad de San Javier del año 2001 elaborado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), las captaciones de aguas superficiales de la localidad de San Javier, utilizadas como fuente de agua potable, han quedado fuera de operación.

Con respecto a demandas superficiales industriales, el *estudio PD Maule* determinó que las industrias de la zona eran en general, de muy pequeño volumen de producción, por lo que sus demandas de agua no resultaron relevantes frente a los demás consumos dentro de la cuenca. Lo anterior, junto al hecho que el abastecimiento de los consumos industriales se realiza principalmente en base a aguas subterráneas, determinó que no se incluyeran demandas de este tipo en el modelo.

Por lo tanto, en la implementación de MAGIC se ha considerado sólo la captación utilizada para producción de agua potable de la localidad de Constitución, con un caudal promedio mensual de 160 l/s.

III.5 IMPLEMENTACIÓN MODELO MAGIC EN CUENCA DEL MAULE

III.5.1 Creación de Topología con Interfaz SIG MAGIC V2.0

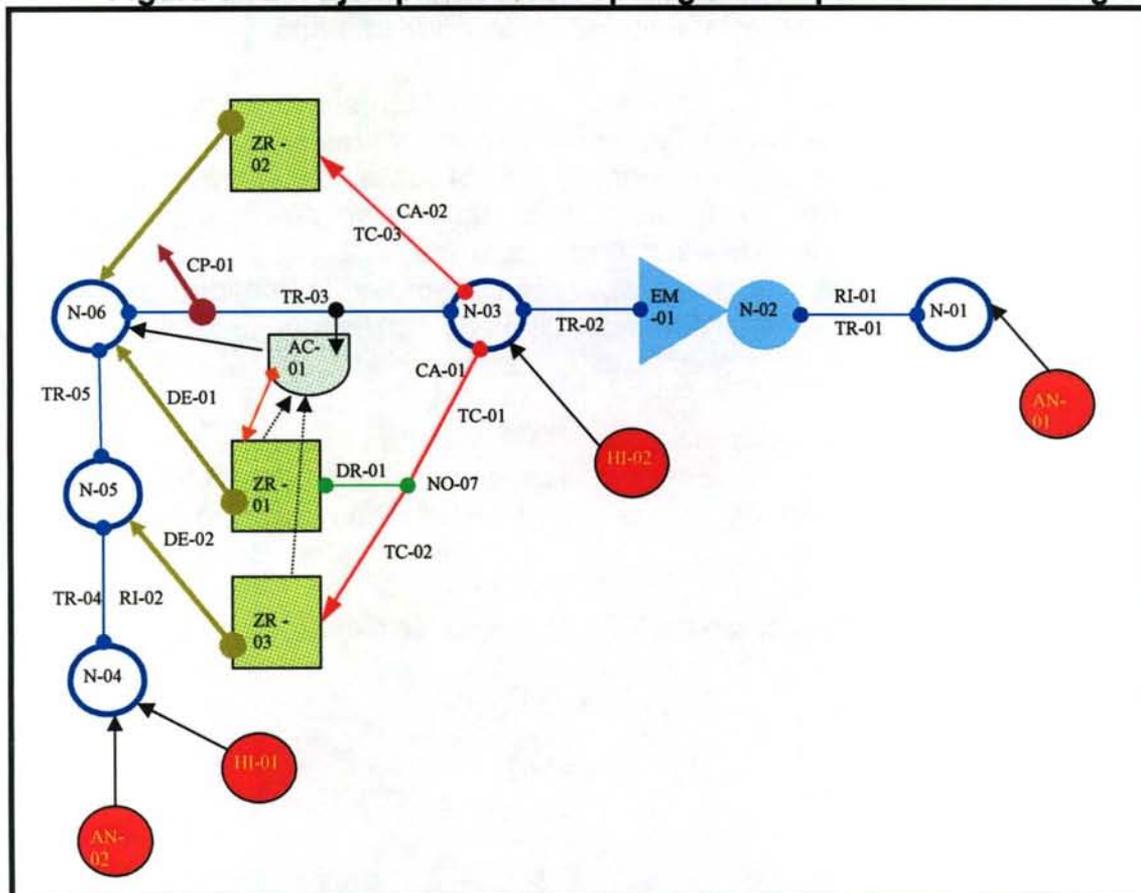
Posterior a la recopilación y procesamiento de la información necesaria, se procedió a generar la topología del modelo MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC. Para la creación de esta topología del modelo de la cuenca del Río Maule, se ha identificado y caracterizado los diversos elementos que pertenecen a dicha cuenca, y que juegan un rol en la distribución o el consumo del recurso hídrico. Estos elementos corresponden principalmente a los siguientes: aporte natural o lateral de cuencas, acuíferos, tramos de río, canales de regadío, zonas de riego, embalses y centrales hidroeléctricas, entre otros.

En la malla de modelación o red topológica, fue necesario crear un elemento que representara fielmente cada uno de las componentes que posee la cuenca en términos de interacción con el recurso hídrico. Para esto, mediante la interfaz del programa MAGIC, se creó una red de elementos topológicos, cada uno con propiedades físicas obtenidas de datos reales en su mayoría, de tal manera de representar lo más fielmente posible el papel real que juega cada uno de dichos elementos en la cuenca.

La Figura 3-24 presenta un esquema con la disposición típica que tienen los elementos en la interfaz de MAGIC. De acuerdo a esto se infiere que los principales elementos topológicos al momento de crear la red, asociados principalmente a conectores, son los siguientes:

- Alimentación desde Cuencas Laterales y Aportes Naturales.
- Tramos de Río
- Caudal subterráneo de salida de los acuíferos.
- Afloramiento de acuíferos.
- Canales Matrices.
- Canales Derivados.
- Retorno o Derrames de Zonas de Riego.
- Afluentes, Devolución, Rebase e Infiltración de Embalses.
- Afluentes y Devolución de Centrales Hidroeléctricas.
- Captaciones y Descargas Puntuales

Figura 3 - 24. Ejemplo de Red Topológica a Implementar con Magic



De todos ellos, uno de los elementos más significativos de la red de la cuenca en estudio son los canales de regadío, los cuales constituyen la red topológica más compleja del sistema, al considerar que el modelo debe permitir el abastecimiento de 104 zonas de riego a partir de más de 15 cauces principales.

MAGIC permite la creación de redes de canales para conectar los elementos asociados a tramos de río con las zonas de riego que poseen derechos de agua permanentes o eventuales en la zona. Para esto, permite establecer una red formada por un canal matriz, el cual se crea a partir de un nodo principal, que en general pertenece a un tramo de río. Este canal matriz permite a su vez la creación de diversos nodos secundarios durante su trayecto, los cuales dan origen a canales derivados, los que finalmente entregan el recurso hídrico a la zona de riego que le corresponde.

Como consideración al momento de crear la malla de canales, MAGIC sólo permite distribuir las aguas disponibles hasta la red de canales secundarios o derivados, estando éstos obligados a entregarlas al cuerpo receptor correspondiente (zona de riego) no permitiéndose la creación de una red terciaria de canales, o canales subderivados. Por otro lado, es importante señalar que todo canal matriz, desde el

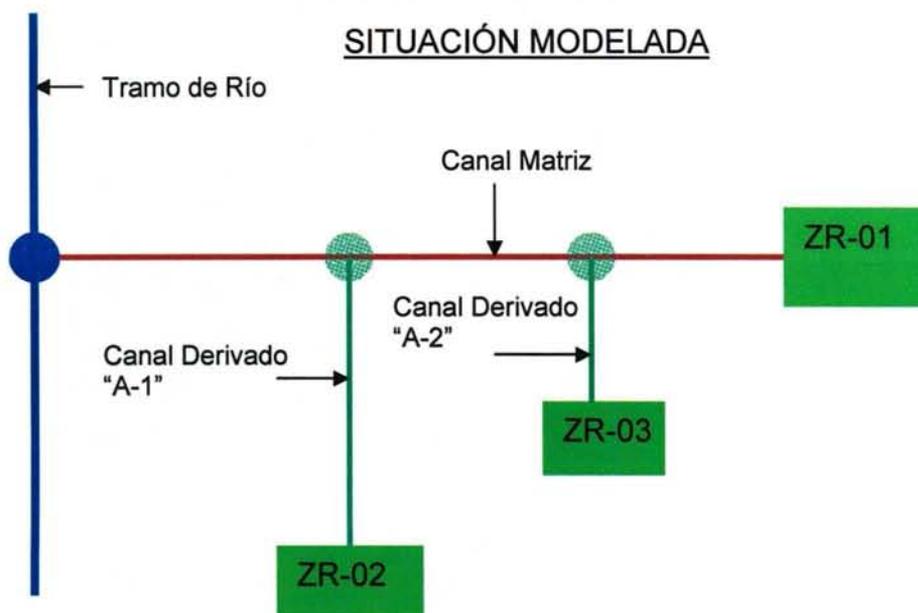
punto de vista topológico, debe estar siempre asociado a una zona de riego, u otro cuerpo receptor, el cual debe estar asociado a un nodo primario.

La limitación anteriormente descrita, impuesta a la red, respecto a que no se permite la representación de canales subderivados, generó ciertas complicaciones para el caso en que las aguas de un canal derivado en la realidad abastecen a dos o más zonas de riego por intermedio de dos o más canales subderivados, mientras que topológicamente sólo se permite asociar una zona de riego por canal derivado. Para solucionar este problema, de manera de compatibilizar la realidad con la malla creada, se han creado, en lugar del canal derivado correspondiente, tantos canales derivados como zonas de riego abastezca el canal derivado original.

El concepto anterior se entiende de mejor manera con el esquema presentado en la Figura 3-25. Hay que destacar además, que de un nodo secundario (donde nacen los canales derivados y definen los tramos de los canales matrices) sólo debe salir un canal secundario.

Figura 3 - 25. Compatibilización de Red Terciaria de Canales con Interfaz Magic





Las propiedades físicas del canal "Derivado 2" deben ser similares a las que realmente posee el canal subderivado original. Por otro lado, debe considerarse que el canal "Derivado 1" no debe poseer las idénticas propiedades físicas, en términos de capacidad de distribución, que el canal derivado original, ya que en rigor, debe compatibilizarse el hecho que la "suma" de ambos canales derivados debe ser físicamente idéntica al derivado original; es decir, idéntica capacidad, largo y eficiencia de conducción.

Para distribuir las aguas desde los tramos de río hacia los canales matrices, y desde éstos a los derivados, deben entregarse al modelo factores de distribución que repartan el recurso hídrico de la manera más fielmente a la realidad. El criterio utilizado para lo anterior consistió en distribuir las aguas en función de la superficie que riega cada uno de los canales, lo que está basado en una relación directa, o dotación constante entre la superficie de riego y el agua utilizada para regarla. Por lo tanto, existen dos tipos de factores de distribución, f_{Mi} y f_{Di} , que representan la distribución de las aguas de un sistema o río en sus matrices, o de un matriz en sus derivados. Su cálculo sería el siguiente:

$$f_{Mi} = \frac{SR_{Mi}}{\sum_j SR_{Mj}}$$

$$f_{Di} = \frac{SR_{Di}}{\sum_j SR_{Dj}}$$

SR significa superficie de riego asociada. El subíndice Mi representa todos los canales matrices pertenecientes a un sistema o río en particular (Ej: sistema Claro,

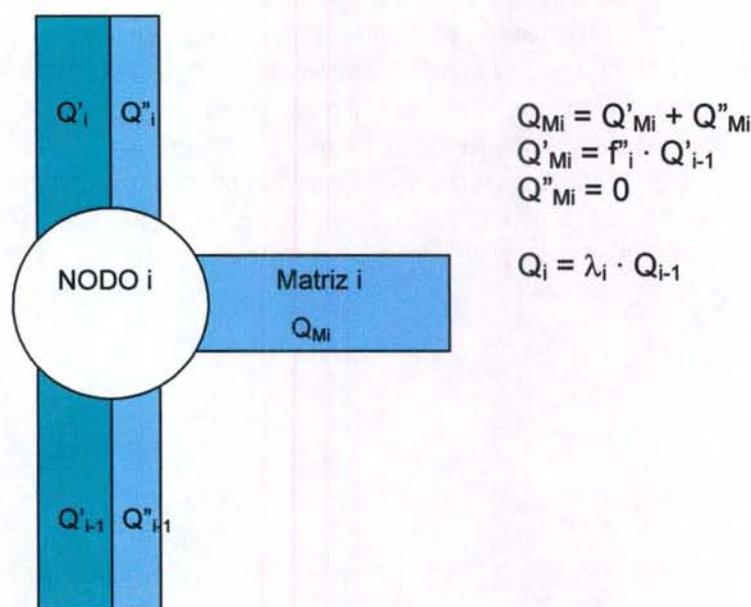
sistema Maule, sistema Melado, etc.). El subíndice Di representa todos los derivados pertenecientes a un canal matriz particular.

Otro aspecto importante es referente a aquellos canales que poseen derechos adquiridos en otras cuencas, tal es el caso de los canales Pelarco Buena Unión, Purísima Concepción y Cumpeo Lontué, los cuales poseen aguas correspondientes tanto a la cuenca del río Claro como a la cuenca del río Lontué. Para estos casos, se decidió trazar 2 canales paralelos que representen a uno de los mencionados, donde a cada uno se le asigne las aguas correspondientes a cada una de las cuencas.

Una situación particularmente compleja es la referente al Canal Melado. Este canal traslada aguas desde el Río Melado hasta en Ancoa, alimentando sus aguas a canales que poseen derechos sobre las aguas que trasvasija dicho canal.

Puesto que en este caso se trata de una red compleja para representar topológicamente como 2 redes paralelas al costado del río Ancoa (una con aguas del Canal Melado, otra con aguas del río Ancoa), se decidió calcular factores de distribución en el nodo que distribuye las aguas desde el río Ancoa hacia el canal correspondiente, de manera que dicho extraiga la cantidad de recurso requerida (y correspondiente a una de las fuentes, de las que el canal posea sus derechos) de aguas que poseen combinación de recurso de las dos fuentes. De esta forma, dichos factores serán los elementos que transforman la componente topológica en una componente más cercana a la realidad.

El cálculo del factor de distribución correspondiente se detalla a continuación.



Del esquema anterior, se deduce que el factor de distribución en el nodo i será:

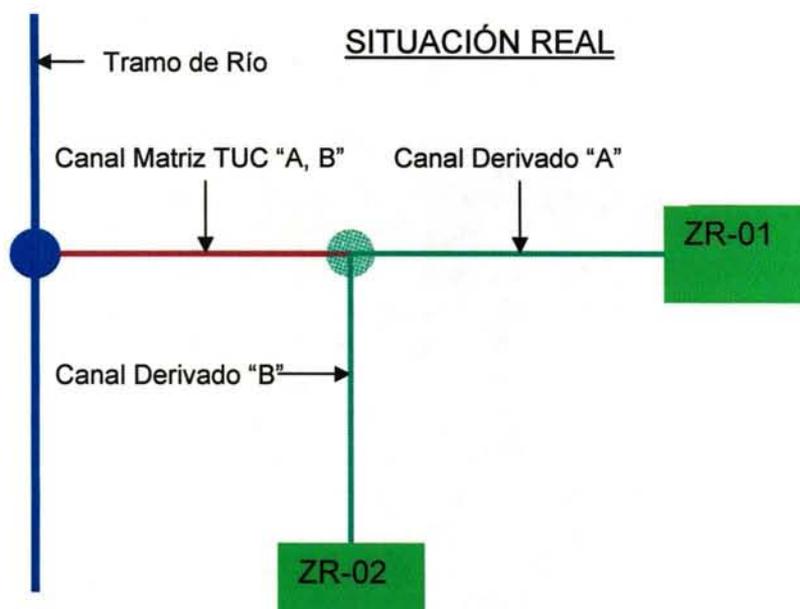
$$\lambda_i = \frac{Q''_{i-1} \cdot f''_i}{Q'_{i-1} + Q''_{i-1}}$$

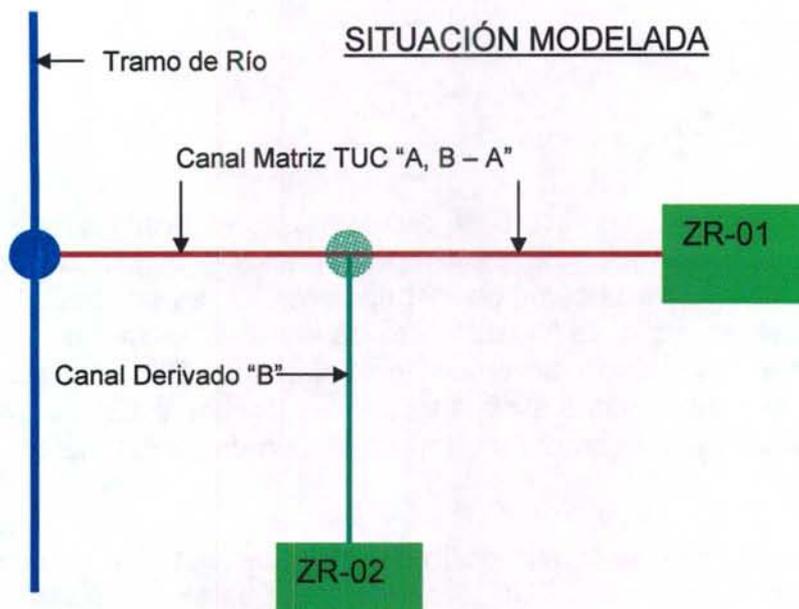
$$\lambda_i = \frac{Q''_0 \cdot (1 - f''_1) \cdots (1 - f''_{i-1}) \cdot f''_i}{Q''_0 \cdot (1 - f''_1) \cdots (1 - f''_{i-1}) + Q'_0 \cdot (1 - f''_1) \cdots (1 - f''_{i-1})}$$

En la expresión anterior, las comillas representan las aguas pertenecientes a distintas fuentes, así como los factores f_i representan a la distribución de las aguas de una de las fuentes sobre el canal correspondiente. Q_0 es el caudal total existente en el río, correspondiente a cada fuente, antes de ser distribuido. Estos caudales (Q'_0 y Q''_0), para el caso del Melado, se obtuvo de estadística fluviométrica existente en las cercanías de la confluencia del río Ancoa con el canal Melado (Estación Ancoa antes de Túnel Melado), así como del aporte histórico del canal Melado a la cuenca del Ancoa.

Otro aspecto recurrente en la construcción de la red de canales fue la existencia de los canales troncales unitarios o TUC, los cuales tienen la particularidad de ser un matriz unificador, cuyas aguas se bifurcan en dos o más derivados a partir de un nodo. Como la interfaz no permite que desde un mismo nodo secundario nazcan dos derivados, y como un canal matriz debe terminar necesariamente en un cuerpo receptor (zona de riego en general), se adoptó la nomenclatura indicada en la Figura 3-26 para todos los canales troncales unitarios.

Figura 3 - 26. Representación de Canales Troncales Unitarios en Modelo





Por último, existen canales que pertenecen a un sistema (por ejemplo, Sistema río claro), pero que son abastecidos por afluentes al cauce natural, que si bien alimentan una superficie importante, dicho afluente no fue considerado directamente en la red hídrica por su poca importancia. Es estos pocos casos, se han agrupado los canales provenientes de estos afluentes en un solo canal virtual, que realiza su saque en la confluencia entre el afluente de interés y el cauce principal. Cabe señalar que la agrupación es entre canales que riegan a una misma zona de riego.

III.5.2 Calibración MAGIC

Una vez generada la topología para la implementación del MAGIC, indicada en el plano 4-10, se procedió a calibrar el modelo utilizando el módulo de calibración desarrollado. Un aspecto relevante relacionado con este tema, se refiere a que la calibración fue realizada con los antecedentes hidrológicos, agrícolas y de operación de los sistemas de riego existentes desde 1950 hasta el año 2001, dejando los antecedentes posteriores, hasta la fecha, para realizar la validación del modelo. Por lo anterior, la estación Río Estación Río Claro en Talca no fue considerada para la validación del modelo debido a que dejó de operar durante el año 1997. De acuerdo a los problemas detectados y resultados obtenidos, se realizaron las correcciones necesarias para lograr un ajuste adecuado según los objetivos planteados. Toda la información relacionada a los resultados del modelo, datos de calibración (gráficos, cuadros, etc.) y otros, forman parte del respaldo digital adjunto al presente estudio.

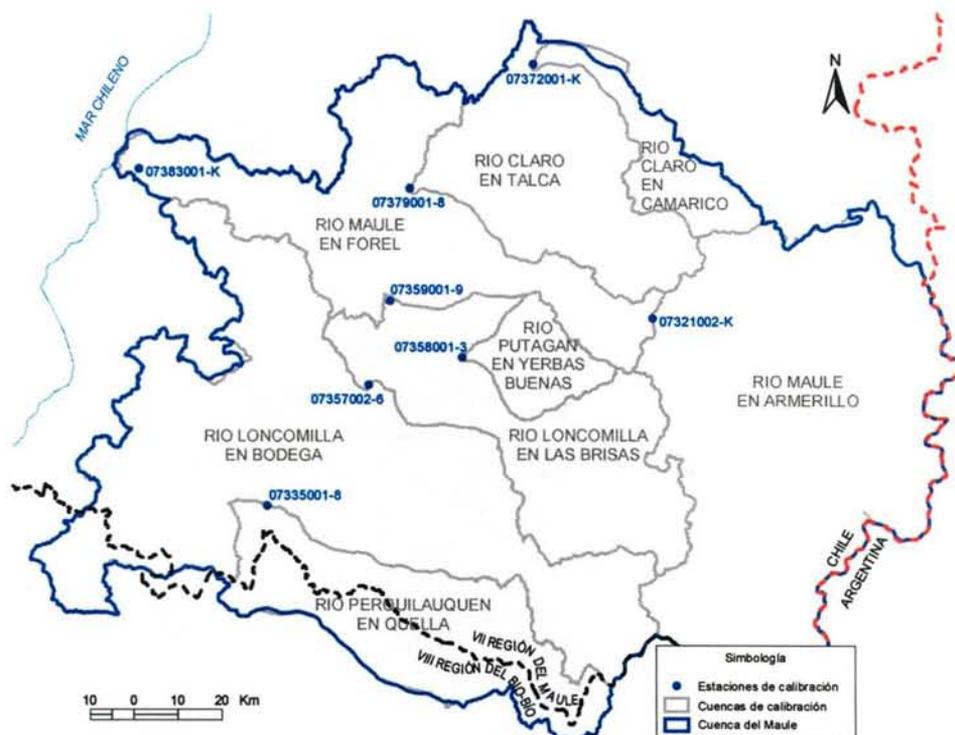
La calibración fue desarrollada considerando 8 estaciones de calibración, correspondientes a las indicadas en el Cuadro 3-46, siendo su ubicación la que se muestra en la Figura 3-27.

Los resultados y detalles del proceso de calibración se presenta en el Anexo 3.9.

Cuadro 3 - 47. Estaciones Fluviométricas de Calibración de MAGIC Maule

Nombre	Código BNA
Río Claro en Camarico	07372001-k
Río Claro en Talca	07379001-8
Río Maule en Forel	07383001-k
Río Putagán en Yervas Buenas	07358001-3
Río Loncomilla en Bodega	07357002-6
Río Loncomilla en Las Brisas	07359001-9
Río Perquilauquén en Quella	07335001-8
Río Maule en Armerillo	07321001-7

Figura 3 - 27. Cuencas de Calibración MAGIC de la Cuenca del Río Maule



IV. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

IV.1 INTRODUCCIÓN

Esta etapa corresponde a la generación de información en la cuenca del Río Mataquito, de tal manera de cumplir con los requerimientos para una futura implementación de MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC. Esta labor se ha realizado considerando el análisis de suficiencia de información realizado en la ETAPA I, en el cual se han indicado los antecedentes que son de utilidad para el estudio, ya sea de manera directa o a través de modificaciones.

Los principales estudios utilizados como referencia para la generación de información en la cuenca del Río Mataquito, corresponden a lo siguientes:

- Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas Cuencas Huasco y Mataquito, CNR, 2005., en adelante denominado “**estudio de calidad**”.
- Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito, CNR, 1978, en adelante denominado “**estudio integral de riego**”.
- Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas, Cuenca del Río Mataquito, DOH, 1998, en adelante “**estudio manejo integral**”.

Los anteriores estudios, sumados a las otras fuentes de información identificados en la Etapa I, se consideraron como el punto partida en la preparación de los datos, a partir de los cuales se han procesado aquellos antecedentes resultan compatibles con la Interfaz SIG MAGIC. De igual manera, este informe incorpora recomendaciones respecto a la necesidad de verificar, actualizar, complementar o levantar desde terreno información que es insuficiente para los fines ya mencionados.

IV.2 GENERALIDADES

La cuenca del Mataquito forma parte de la VII Región del Maule y posee una extensión de 6.190 km² y constituye la más pequeña de las cuencas andinas de esta zona.

El río Mataquito se origina de la confluencia del río Teno, que drena la porción norte del área, y del Lontué, que drena la porción sur. Dicha conjunción se produce a 12 km al W de Curicó; desde aquí el Mataquito serpentea por un valle ancho en dirección general al W hasta desembocar en mar abierto después de un recorrido de 95 km. Recibe afluentes de escasa consideración, prácticamente todos generados en depresiones de la cordillera de la Costa.

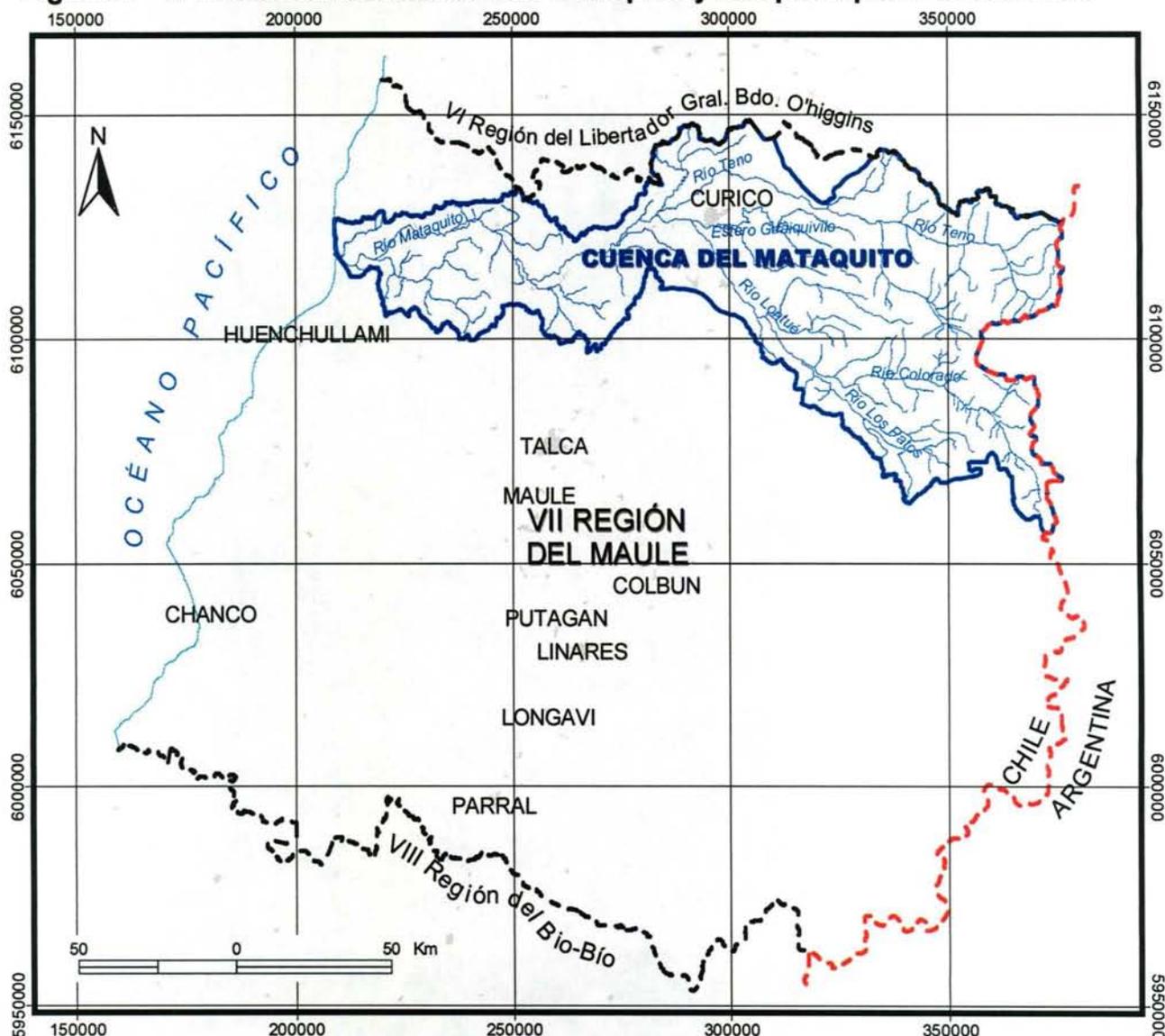
El río Teno, principal afluente del sistema, tiene las cabeceras de sus formativos en las lagunas de Teno. La divisoria interoceánica alcanza en este sector a los 2.800 y 3.800 m. Se forma el Teno de la confluencia de los ríos del Nacimiento y Malo y drena

un área de 1.870 km², con un recorrido de 102 km. Sin embargo, si se considera el formativo más alejado, su desarrollo se alcanza 120 km. El río Malo es el emisario de las dos lagunas de Teno, situadas en serie inmediatamente al norte del volcán Planchón. Las lagunas comprenden una superficie de 9 km² a 2.567 m s.n.m.; en ellas se han construido obras de regulación con fines de regadío. El más importante tributario por el sur es el Claro, que se le une en Los Queñes, a unos 30 km del nacimiento, el cual ocurre en la zona englaciada del volcán Planchón, siendo este el único embalse de consideración presente en la cuenca.

El río Lontué posee una hoya de 2.580 km² y un rumbo al NW en todo su curso. Se forma en la cordillera andina de la reunión de los ríos Colorado y Patos de San Pedro a 48 km al SE de su junta al Teno. Tomando en cuenta el Colorado, que es el más importante de sus afluentes, la longitud total del Lontué asciende a 126 km. El río Patos de San Pedro es el que drena la porción más suroriental de toda la hoya y corre con rumbo prácticamente paralelo al del Colorado, con una longitud total de 55 km. El Lontué recibe por su flanco derecho dos tributarios de cierta importancia, los esteros Upeo y Chequenlemillo, que afluyen en pleno Valle Central; el primero nace en la precordillera y se ha pensado en aprovechar parte de su caja en la implantación de un embalse.

La Figura 4-1 muestra la ubicación de la cuenca del Río Mataquito con respecto a los límites político - administrativos y los principales tributarios antes mencionados.

Figura 4 - 1. Ubicación Cuenca del Río Mataquito y sus principales Tributarios.



IV.3 BASE DE DATOS MAGIC

El procesamiento de la información compatible con la implementación de MAGIC, se realiza considerando la base de datos de MAGIC v2.0 que contiene 51 tablas, las cuales han sido agrupadas por temas de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 4-1.

A continuación en el punto IV.4, se presenta un análisis detallado por tema de la información disponible, al igual de las modificaciones y/o complementaciones necesarias para generar los datos compatibles con MAGIC V2.0.

Cuadro 4 - 1. Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas

N'	Elemento MAGIC	TABLAS MAGIC											
		1	2	3	4								
1	Acuíferos	AC_PARAM	AC_QZS	AC_QZV	AC_QZVE								
		30	31	32									
2	Pozos	PO_PARAM	PO_Q	PO_USOS									
		6	7	8	36								
3	Canales	CA_DER	CA_PARAM	CA_TRAMOS	SECCIONES								
		12	27	37	38	39	40	41	42	43	47	48	51
4	Zonas de riego	CULT_TIPOS	MR_TIPOS	ZR_CULT_ETP	ZR_CULT_PAR	ZR_CULT_PEF	ZR_RET	ZR_AC_NnM	ZR_PARAM	ZR_SR	ZR_QPR	ZR_CULT_SC	ZR_ANC_NNM
		9	10										
5	Centrales hidroeléctricas	CH_PARAM	CH_Q										
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
6	Embalses	EM_CA	EM_DEMGE	EM_FV	EM_NODOS	EM_PARAM	EM_QGENMAX	EM_QV	EM_SALIDAS	EM_SVH	EM_TASEV		
		5	26										
7	Cuencas no controladas	AN_PARAM	CL_PARAM										
		13	49										
8	Descargas puntuales	DP_PARAM	DP_Q										
		33											
9	Caudales ecológicos	QE_PARAM											
		28	29	34	35	46	50						
10	Topología	NO_DIST	NO_PARAM	RI_PARAM	RI_TRAMOS	NO_DIST_Q	EST_CALIB						
		25											
11	Fluviometría	ESTAD_Q											
		24											
12	Pluviometría	ESTAD_PP											
		11	44	45									
13	Captaciones Puntuales	CP_PARAM	CP_RETORNOS	CP_Q									

Fuente: Elaboración Propia

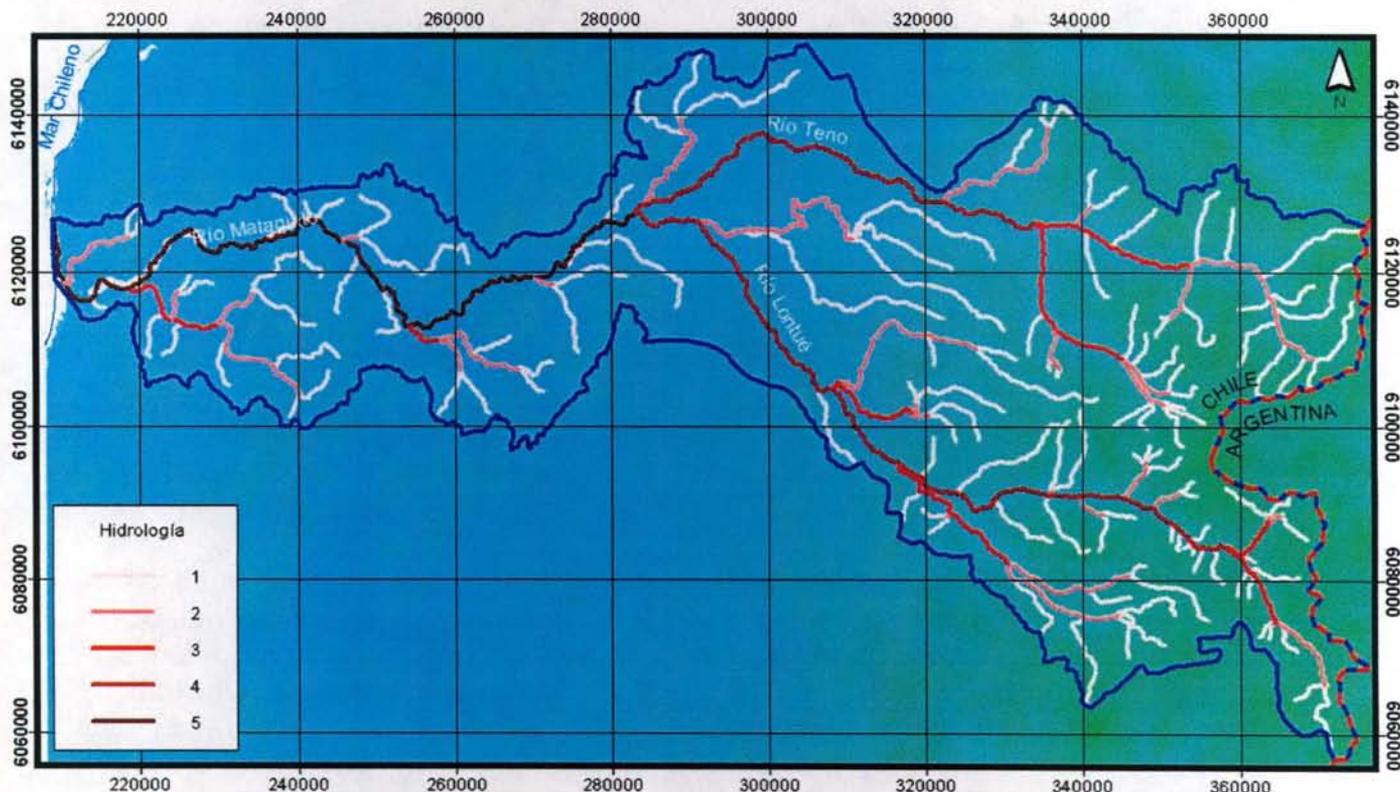
IV.4 ANTECEDENTES BÁSICOS

A continuación se presenta los antecedentes existentes que han sido procesados para una futura implementación de MAGIC en la Cuenca del Río Mataquito, detallando las labores que deben desarrollarse, de tal forma de complementar adecuadamente los datos para que sean compatibles con MAGIC V2.0.

IV.4.1 Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica

Una de las labores relevantes en la preparación de la información para la aplicación del modelo, tiene relación con la generación del Modelo Digital Elevación (MDE), el cual resulta fundamental para la generación de las características de subcuencas aportantes a través del modelo morfométrico desarrollado por el MOP e incorporado en la interfaz SIG-MAGIC. Por razones técnicas se consideró utilizar el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Misión) de la NASA disponible a una resolución de 90m. La Figura 4-2 muestra el MDE y la red hídrica topológica generada, lo cual se entrega en el respaldo digital correspondiente.

Figura 4 - 2. MDE y Red Hídrica Topológica Cuenca del Río Mataquito.



- **Procesamiento de la Red Hídrica**

La capa de hidrografía presente en el SIIR-CNR corresponde a una digitalización detallada de todo cauce superficial presente en el área de estudio y dado que su finalidad es la representación gráfica de los cauces naturales, no es posible utilizarla en la interfaz SIG MAGIC. Esto debido principalmente a que no se ajusta a la representación y topología requerida para los análisis correspondientes. Para ello se requirió editar dicha hidrografía de tal modo de contar con una red topológica de arcos simples y nodos conectados, incorporando además la propiedad de "flujo" que indica el sentido de escurrimiento.

Dada las restricciones de edición que posee la interfaz SIG MAGIC, se decidió editar la red hidrológica con ArcGIS ArcInfo, tomando como base la estructura de la tabla generada por el SIG MAGIC para su red hidrológica, y así contar con la capa deseada para el posterior procesamiento del MDE. Posteriormente, se continuó con el procedimiento correspondiente en el SIG MAGIC, agregando el identificador único y realizando la validación del tema. Este último proceso se hizo de manera iterativa en función de la identificación de los errores mediante la herramienta "Crear/Verificar red topológica", y la corrección de ellos con ARCINFO, hasta que la red quedara completamente validada. Es importante mencionar que la interfaz SIG MAGIC al correr la herramienta de verificación de la red hidrológica, exige que la tabla de contenidos incorpore únicamente este tema, ya que el proceso consume mucha memoria y otro tema en la vista anula la operación.

- **Preparación del MDE (Modelo digital de Elevación)**

Durante la generación del MDE, se detectaron ciertos problemas entre los cuales se tienen: la imposibilidad de trabajar con una precisión de 50 metros para una cuenca muy extensa, ya que consume muchos recursos computacionales provocando que la aplicación se detenga; y la ausencia de curvas de nivel en el sector cordillerano del territorio trasandino, lo cual genera una mala definición de las alturas en los límites del área de estudio. Estas razones generan una importante restricción para la utilización de la interfaz SIG MAGIC en la generación del MDE a partir de curvas de nivel existentes.

Con respecto al MDE SRTM, este corresponde a imágenes de radar restituidas que pueden ser descargadas gratuitamente desde el centro de datos EROS del USGS (Geological Survey de los Estados Unidos) y enmarcado en las políticas de la misión **Topografía de Radar** de la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration). La resolución para Latinoamérica es de 3 segundos de arco, que para la latitud de las cuencas en cuestión no sobrepasa los 90m. Dicho de otra manera, cada píxel con cota mide aproximadamente 90x90 m. El formato de estas imágenes son Bil, Tiff y Grid de ESRI y se encuentran proyectadas en el sistema WGS 84.

Estos datos presentan mayor cobertura de las áreas de estudio que la cartografía regular del IGM, siendo necesario transformar el sistema de proyección de estos Grid y realizar un ajuste en ArcGis ArcInfo con el método Shift para georreferenciarlos en el mismo sistema del resto de la cartografía base a utilizar en la modelación, es decir, Huso 19 Datum PSAD 56.

Por otro lado las imágenes SRTM deben utilizarse considerando algunas limitaciones, tales como la presencia de diferencias en datos altimétricos respecto de la cartografía del IGM, con una variación entre 10 y 90 m., la ausencia de información en los sectores montañosos y la necesidad de una rectificación con puntos de control debido a que el eje de los valles no son colineales con los cauces que se disponen en la cartografía regular.

A través de los siguientes link se puede acceder a los datos de la misión de Topografía de Radar: <http://edc.usgs.gov/srtm/data/obtainingdata.html> , <http://seamless.usgs.gov/> .

Finalmente, con el MDE definitivo se revisó el funcionamiento del proceso de definición de subcuencas haciendo uso de la función específica incorporada en la Interfaz SIG MAGIC, de lo cual se detectaron las siguientes consideraciones:

- La definición de subcuencas se realiza considerando la red hídrica topológica y su resultado es directamente dependiente del nivel de detalle de esta red hídrica y de la resolución del MDE. En efecto, una red hídrica poco densa generará incluso definiciones de subcuencas erróneas por lo cual se tener especial cuidado con los resultados de esta función.
- Al seleccionar el cauce el usuario debe estar a una escala superior a 1:40.000, (1:1-1:35.000 aprox.) para que el sistema no arroje mensajes de error por la ausencia de la selección.
- La cuenca generada se inicia en torno a un cauce completo y se traza aguas arriba de este. Esto implica que no es posible generar cuencas automáticas para el primer cauce aportante (el que se encuentre aguas arriba, o bien, el que en su tabla tenga el valor del orden 1).

IV.4.2 Acuíferos

Este elemento permite la representación de embalses subterráneos existentes en la cuenca, pudiéndose estimar la escorrentía subterránea, la extracción a través de pozos, la percolación de elementos superficiales, afloramientos presentes y variación del volumen de almacenamiento para ciertos períodos. Para esto MAGIC considera acuíferos regulares (con secciones de entrada y salida rectangulares, trapezoidales, triangulares o semicirculares) con simplificaciones y limitaciones que obligan a definir los acuíferos en serie, pudiendo descargar a un único acuífero en el sentido longitudinal del escurrimiento.

La información requerida por MAGIC se asocia principalmente a la definición de los acuíferos (considerando las limitantes presentes), su topología, las características geométricas y parámetros elásticos.

IV.4.2.1 Exploración Geofísica

El estudio de calidad incorporó exploración geofísica de la cuenca del Mataquito con la finalidad de caracterizar de mejor forma las formaciones hidrogeológicas presentes en el área de estudio, específicamente el espesor del relleno sedimentario y consecuentemente la profundidad de la roca basal, aspectos que en definitiva determinan las dimensiones de los embalses subterráneos y su funcionamiento. De acuerdo a lo antecedentes presentados, los sedimentos están compuestos principalmente por ripios, gravas, arenas, limos y arcillas, en variadas combinaciones, mientras que el basamento corresponde a rocas volcanoclásticas e intrusivas, según el sector. Por consiguiente, los datos fueron interpretados mediante un modelo de dos capas, donde la capa superior es asimilada a los materiales sedimentarios (considerando una densidad promedio de los diferentes tipos de estratos sedimentarios), mientras que la capa inferior o substrato corresponde a la roca basal.

La Figura 4-3 presenta el trazado de los perfiles gravimétricos realizados, a escala 1:250.000 sobre una imagen topográfica. Las Figuras 4-4 a la Figura 4-9 muestran el resultado del proceso de modelamiento geofísico para los 6 perfiles, en el cual las densidades consideradas fueron las siguientes:

- Sedimentos: 1,7 gr/cc
- Basamento intrusivo: 2,5 gr/cc
- Basamento volcánico-clástico: 2,1 gr/cc

En la interpretación efectuada en el estudio de calidad, para cada perfil se incluyen dos modelos de cuenca, considerando ambos tipos de basamento (intrusivo o volcánico-clástico), lo que implica contrastes o diferencias de densidad de 0.80 y 0.40 gr/cc. Luego de analizados los antecedentes de la geología así como de la información proporcionada por los pozos perforados, se optó por la primera (0,80 gr/cc), por cuanto genera profundidades compatibles con el resto de la información mencionada. En los perfiles se indica como modelo 1.

Figura 4 - 3. Trazado Perfiles Gravimétricos Valle del Mataquito

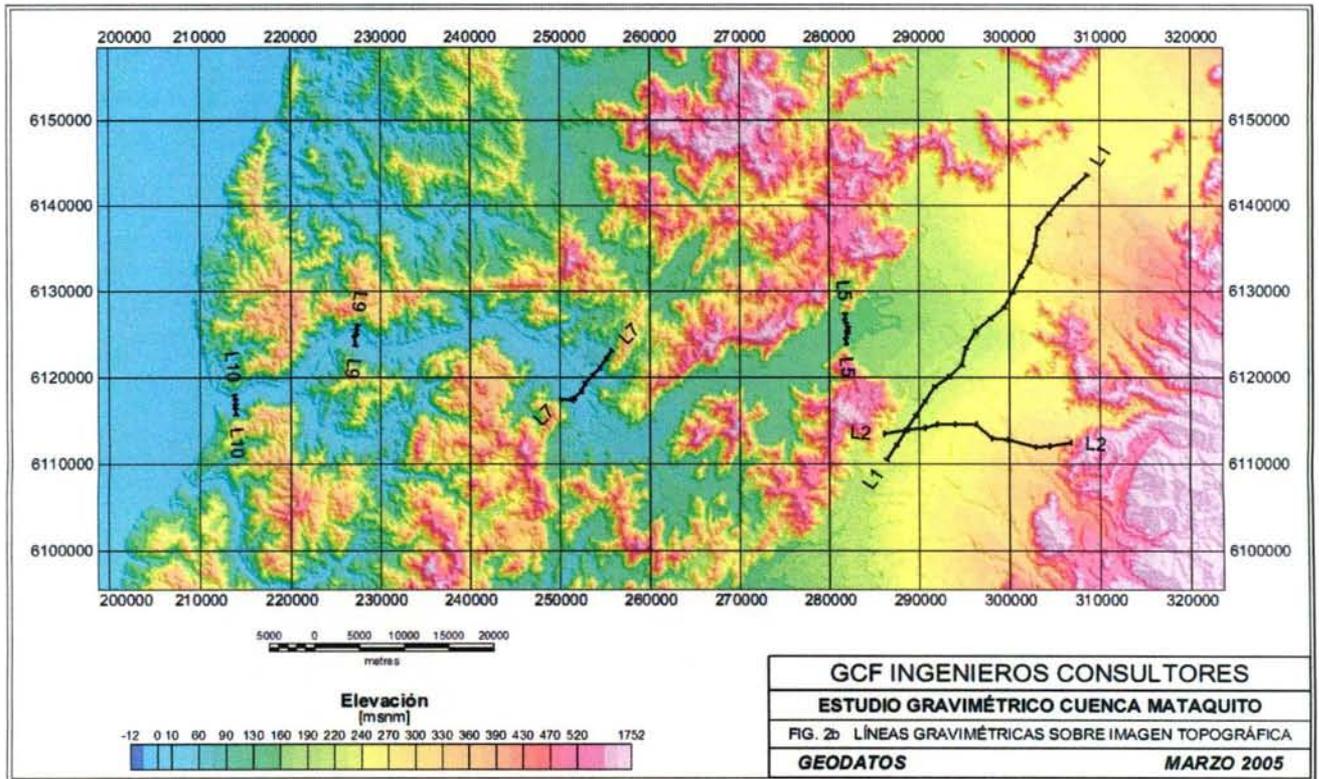
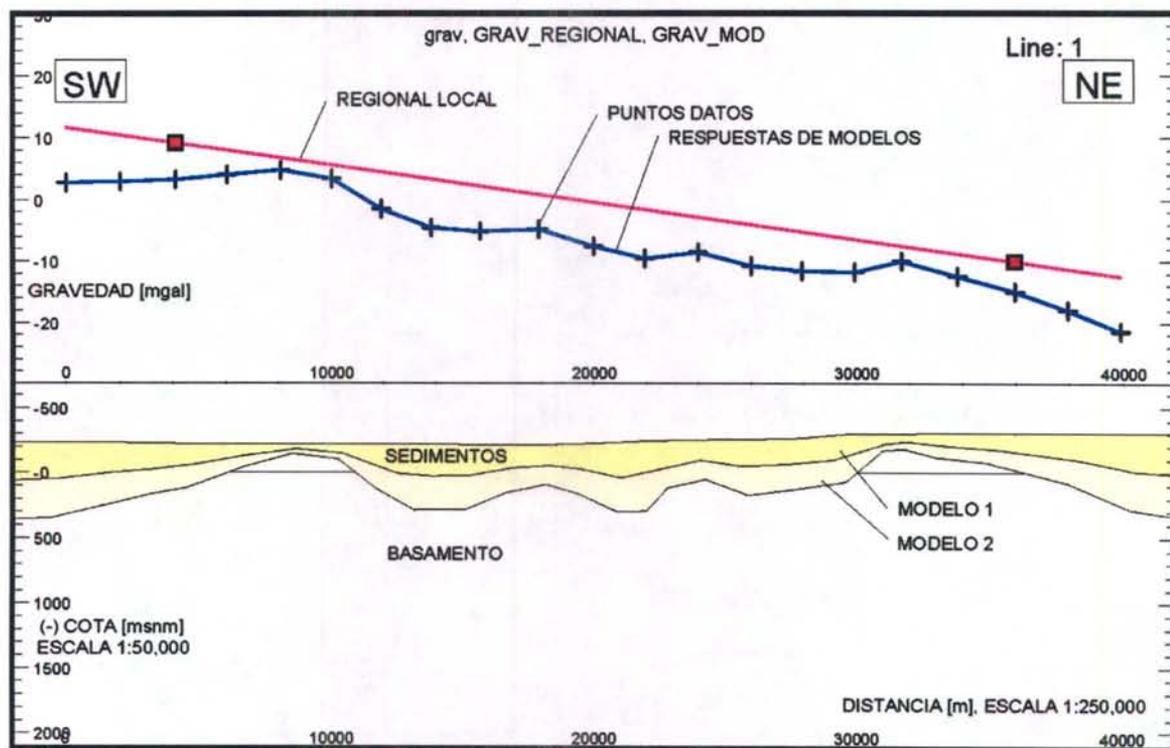


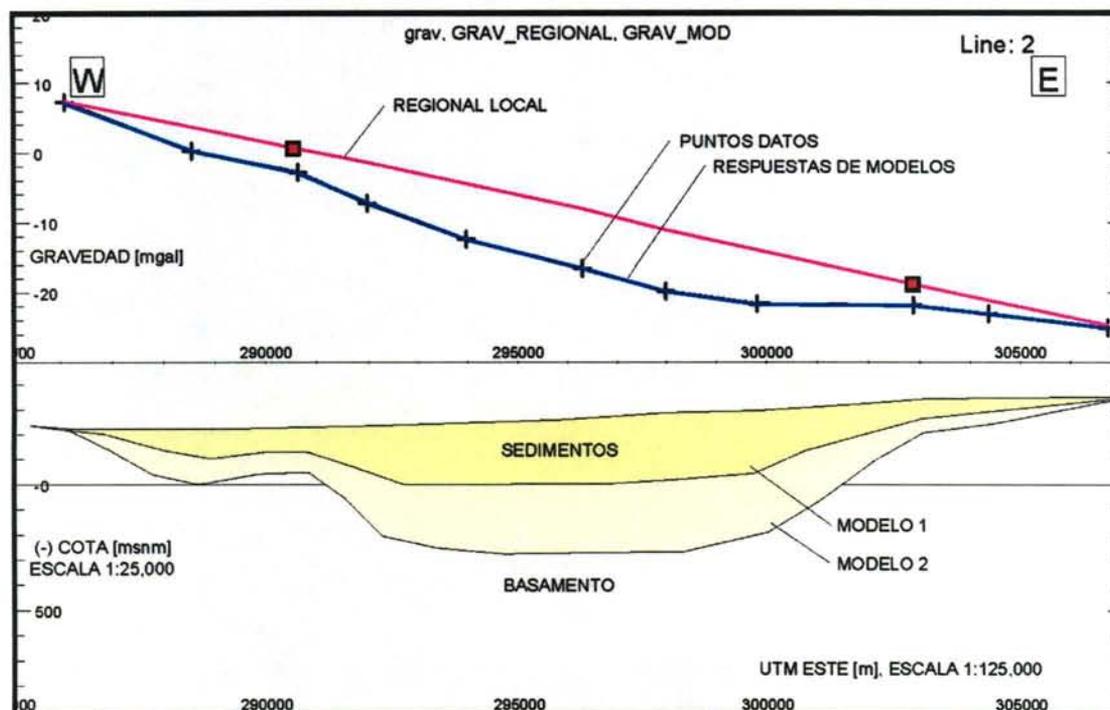
Figura 4 - 4. Perfil Longitudinal L1. Valle del Mataquito



MODELO 1: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.8 gr/cc
(DENSIDADES: BASAMENTO INTRUSIVO = 2.5 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

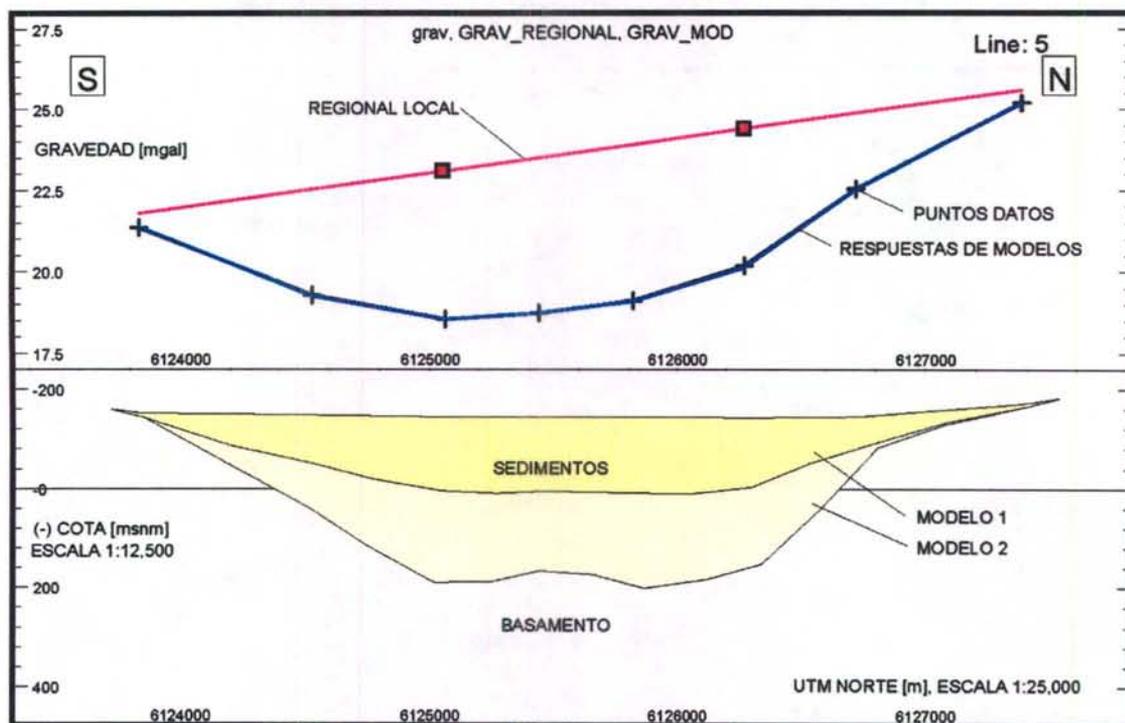
MODELO 2: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.4 gr/cc
(DENSIDADES: BASAMENTO VOLCANO-CLÁSTICO = 2.1 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

Figura 4 - 5. Perfil Transversal L2. Valle del Mataquito



- MODELO 1: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.8 gr/cc
 (DENSIDADES: BASAMENTO INTRUSIVO = 2.5 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)
- MODELO 2: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.4 gr/cc
 (DENSIDADES: BASAMENTO VOLCÁNICO-CLÁSTICO = 2.1 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

Figura 4 - 6. Perfil Transversal L5 Valle del Mataquito



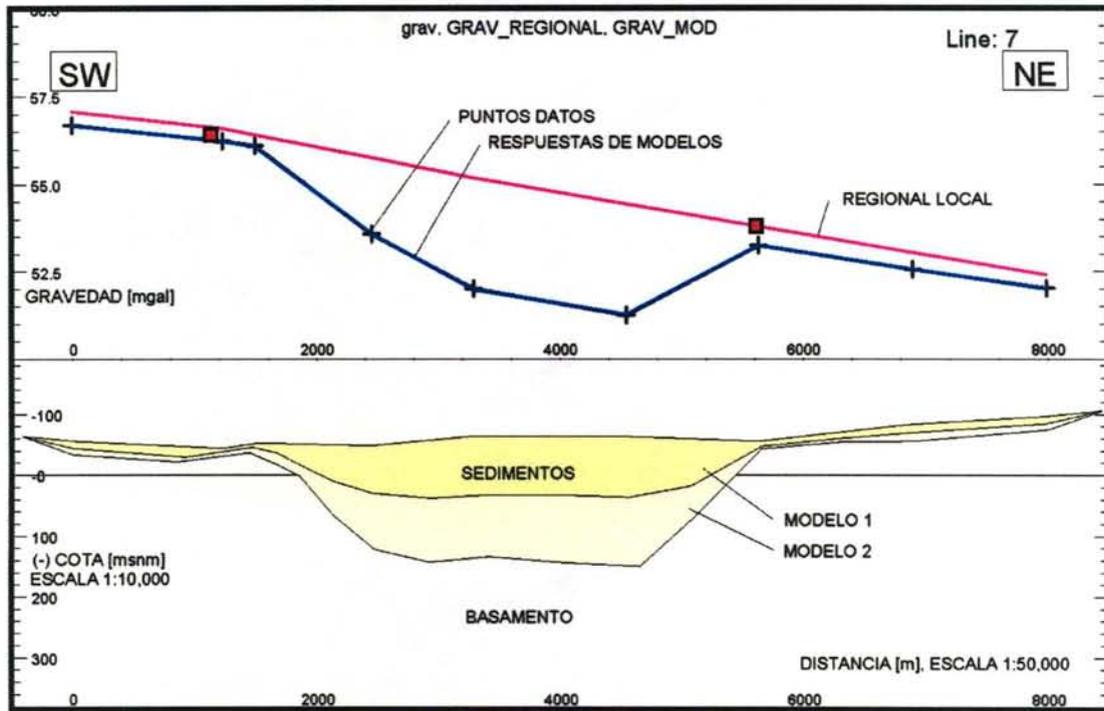
MODELO 1: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.8 gr/cc

(DENSIDADES: BASAMENTO INTRUSIVO = 2.5 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

MODELO 2: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.4 gr/cc

(DENSIDADES: BASAMENTO VOLCÁNICO-CLÁSTICO = 2.1 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

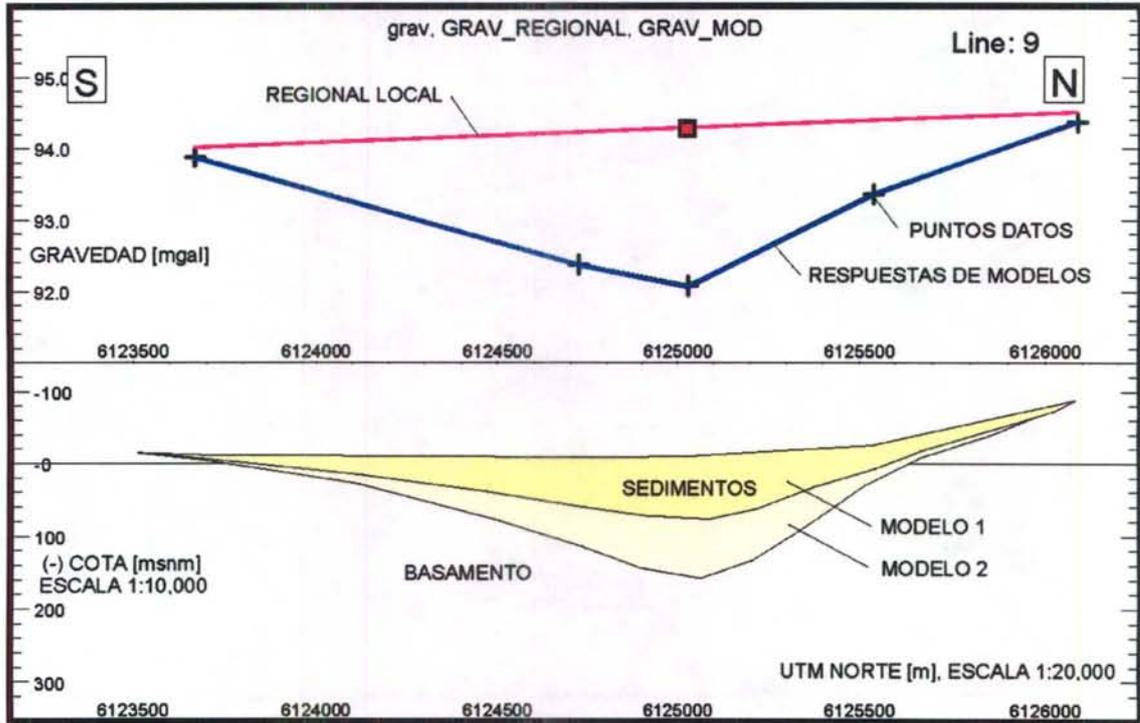
Figura 4 - 7. Perfil Transversal L7. Valle del Mataquito



MODELO 1: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.8 gr/cc
(DENSIDADES: BASAMENTO INTRUSIVO = 2.5 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

MODELO 2: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.4 gr/cc
(DENSIDADES: BASAMENTO VOLCÁNICO CLÁSTICO = 2.1 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

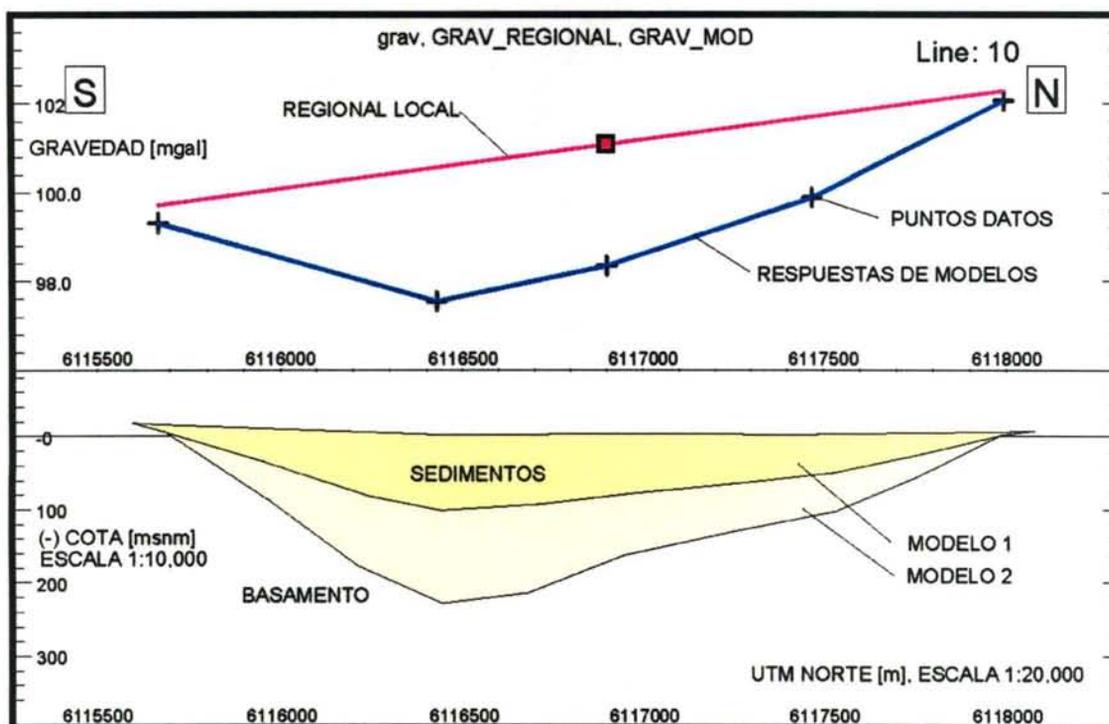
Figura 4 - 8. Perfil Transversal L9. Valle del Mataquito



MODELO 1: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.8 gr/cc
(DENSIDADES: BASAMENTO INTRUSIVO = 2.5 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

MODELO 2: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.4 gr/cc
(DENSIDADES: BASAMENTO VOLCÁNICO-CLÁSTICO = 2.1 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

Figura 4 - 9. Perfil Transversal L10. Valle del Mataquito



MODELO 1: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.8 gr/cc

(DENSIDADES: BASAMENTO INTRUSIVO = 2.5 gr/cc, SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

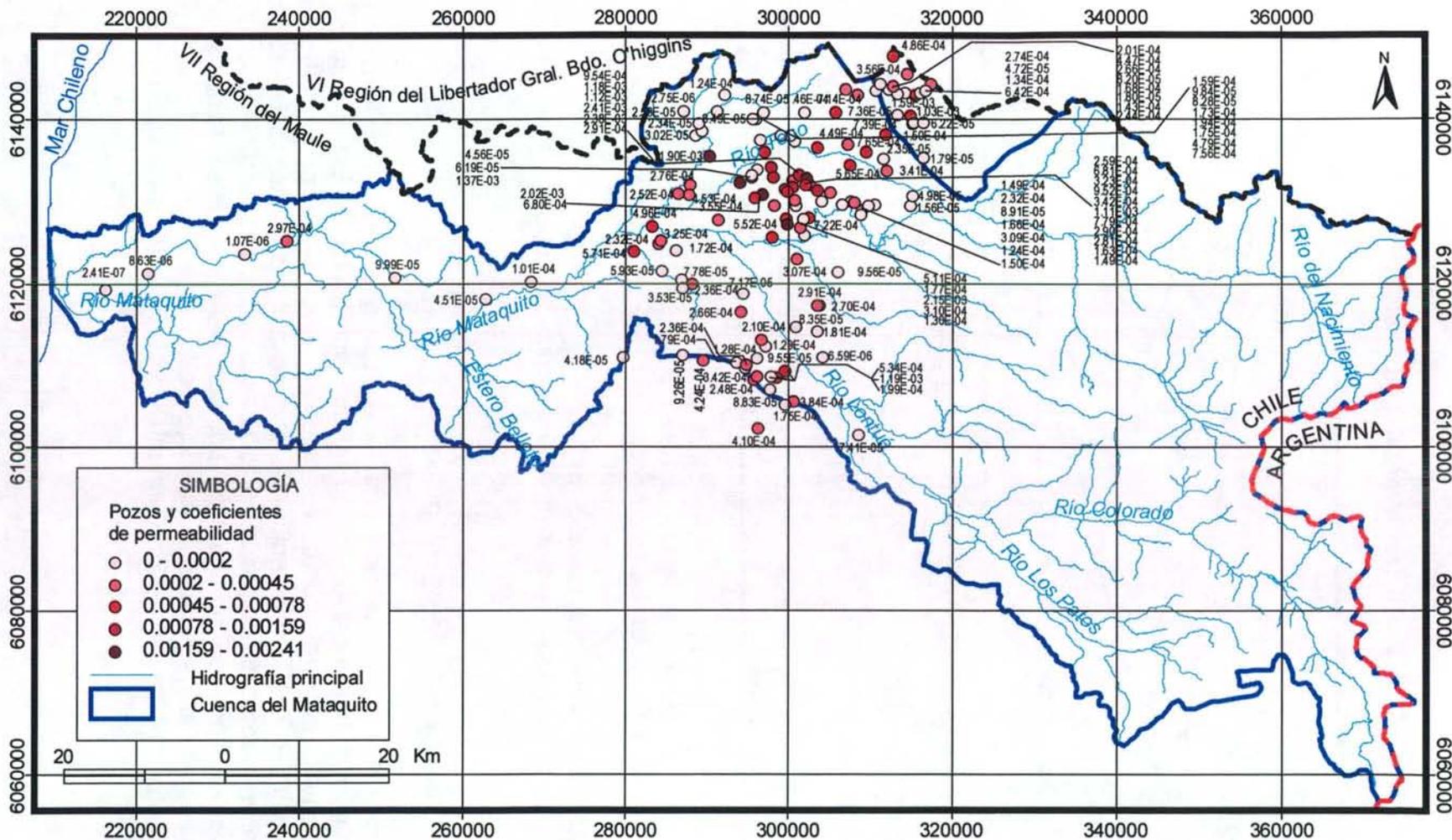
MODELO 2: CONTRASTE DE DENSIDAD = 0.4 gr/cc

(DENSIDADES: BASAMENTO VOLCÁNICO-CLÁSTICO = 2.1 gr/cc. SEDIMENTOS = 1.7 gr/cc)

IV.4.2.2 Parámetros Hidrogeológicos

Con respecto a la existencia de parámetros elásticos, el estudio de calidad incorpora la estimación del coeficiente de permeabilidad por sectores. Esta estimación se realizó mediante la interpretación de las pruebas de bombeo disponible utilizando el software AQUIFER TEST. Este software, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic Inc., es ampliamente aceptado para este tipo de labores, siendo factible de interpretar con él, diversos tipos de pruebas de bombeo para diferentes tipos de napas recurriendo a los métodos de análisis más adecuados para cada una. En la Figura 4-10 se muestran todos los valores de permeabilidad resultantes de la interpretación de las pruebas de bombeo.

Figura 4 - 10. Distribución del Coeficiente de Permeabilidad (m/s) en la Cuenca del Mataquito



En relación al coeficiente de almacenamiento, el *estudio de calidad* incorpora valores estimados en base a referencias de estudios anteriores y de la bibliografía sobre el particular, teniendo en cuenta el tipo de relleno. Esto se argumenta debido a la falta de información necesaria (pruebas de bombeo con pozos de observación) para calcularlos directamente. Por otro lado, el *estudio integral de riego* incorpora coeficientes de almacenamiento asociados a 3 sectores, resultantes de pruebas de bombeo realizadas puntualmente en los recintos de agua potable de Lontué, Teno y Molina. Estas entregan como resultado valores oscilantes entre 0,15 y 0,25.

IV.4.2.3 Afloramientos

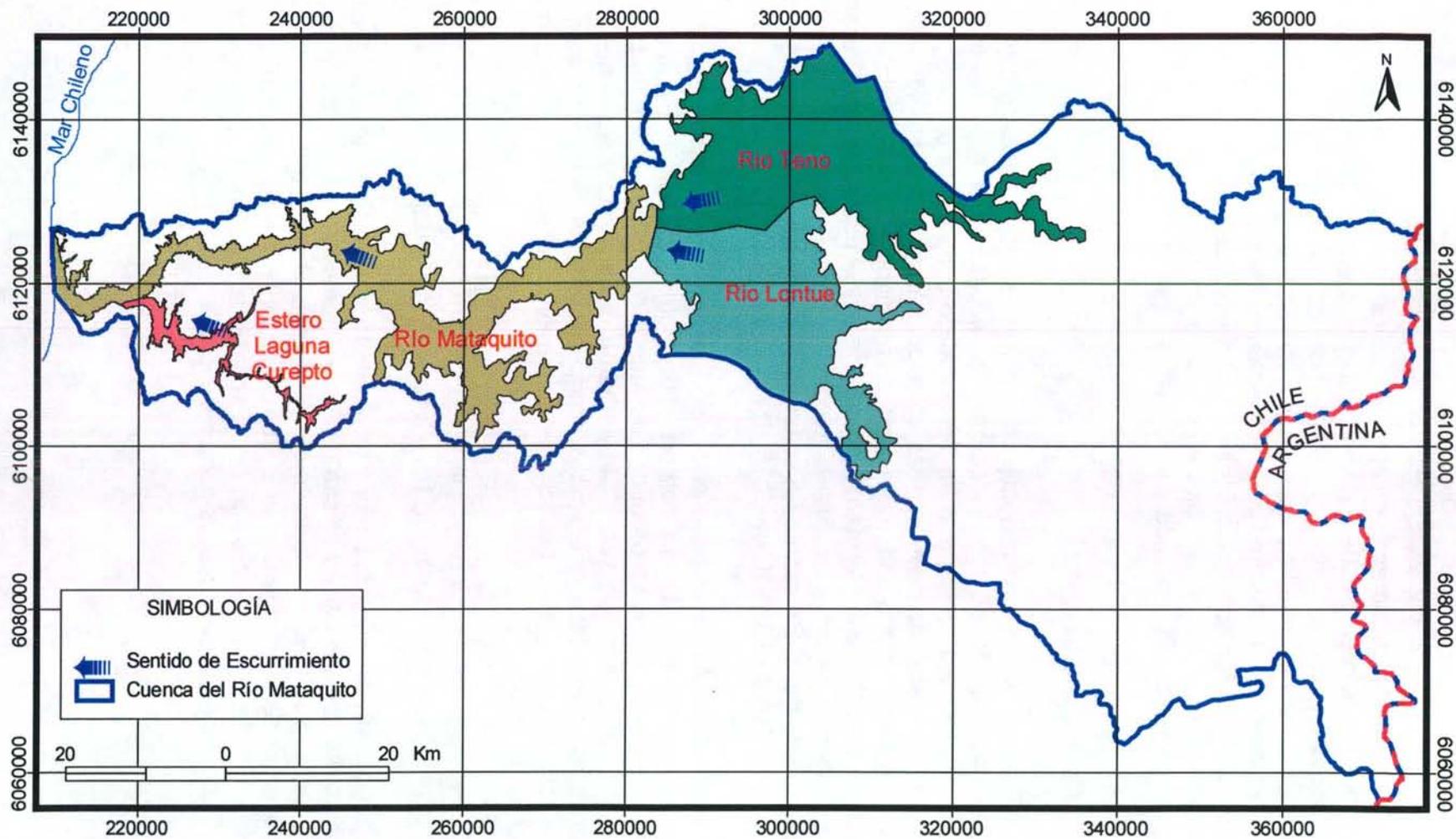
Respecto a la existencia de antecedentes de afloramientos, el *estudio integral de riego* incorpora un análisis de las descargas del acuífero. En este se indica la existencia de afloramientos en torno al río Teno y al río Lontué. El río Teno presenta un régimen de recuperaciones subterráneas coincidentes con las zonas identificadas como sectores de nivel estático en torno a 1 mt. de profundidad. Esta situación ocurre en el sector entre el inicio de la carretera Panamericana y el puente Rauco, durante el período de primavera, y entre el puente Rauco y la confluencia con el río Lontué, durante el período de riego. Se estima un volumen anual asociado a los afloramientos mencionados del orden de $73,9 \times 10^6 \text{ m}^3$.

De acuerdo al informe del *estudio integral de riego*, el río Lontué presenta importantes recuperaciones en el tramo de río comprendido entre Pichingal y Puente de la carretera Panamericana. Estos se producen durante la temporada de riego, tanto del río Lontué como del Estero Río seco. Sin embargo el estudio concluye que no es posible determinar con certeza que ambos tengan aportes subterráneos, pudiendo aseverar que sólo el primero puede asociarse a afloramientos con un volumen anual del orden de $152,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

IV.4.2.4 Preparación Información para Interfaz SIG-MAGIC

Para efecto del llenado de la información a través de la interfaz SIG-MAGIC, se deben generar primero las características físicas de los acuíferos definidos, para lo cual se consideran cuatro acuíferos en la cuenca del Mataquito. Esto se ha realizado considerando el modelo hidrogeológico desarrollado en el *estudio de calidad* y en concordancia a la hidrología presente en la cuenca. En la Figura 4-11 se aprecian los acuíferos definidos con sus respectivos nombres distintivos.

Figura 4 - 11. Acuíferos de la Cuenca del Mataquito



Para cada uno de los acuíferos definidos, se ha analizado y detallado sus características físicas y parámetros asociados, lo cual se detalla a continuación.

i. Determinación del coeficiente de permeabilidad

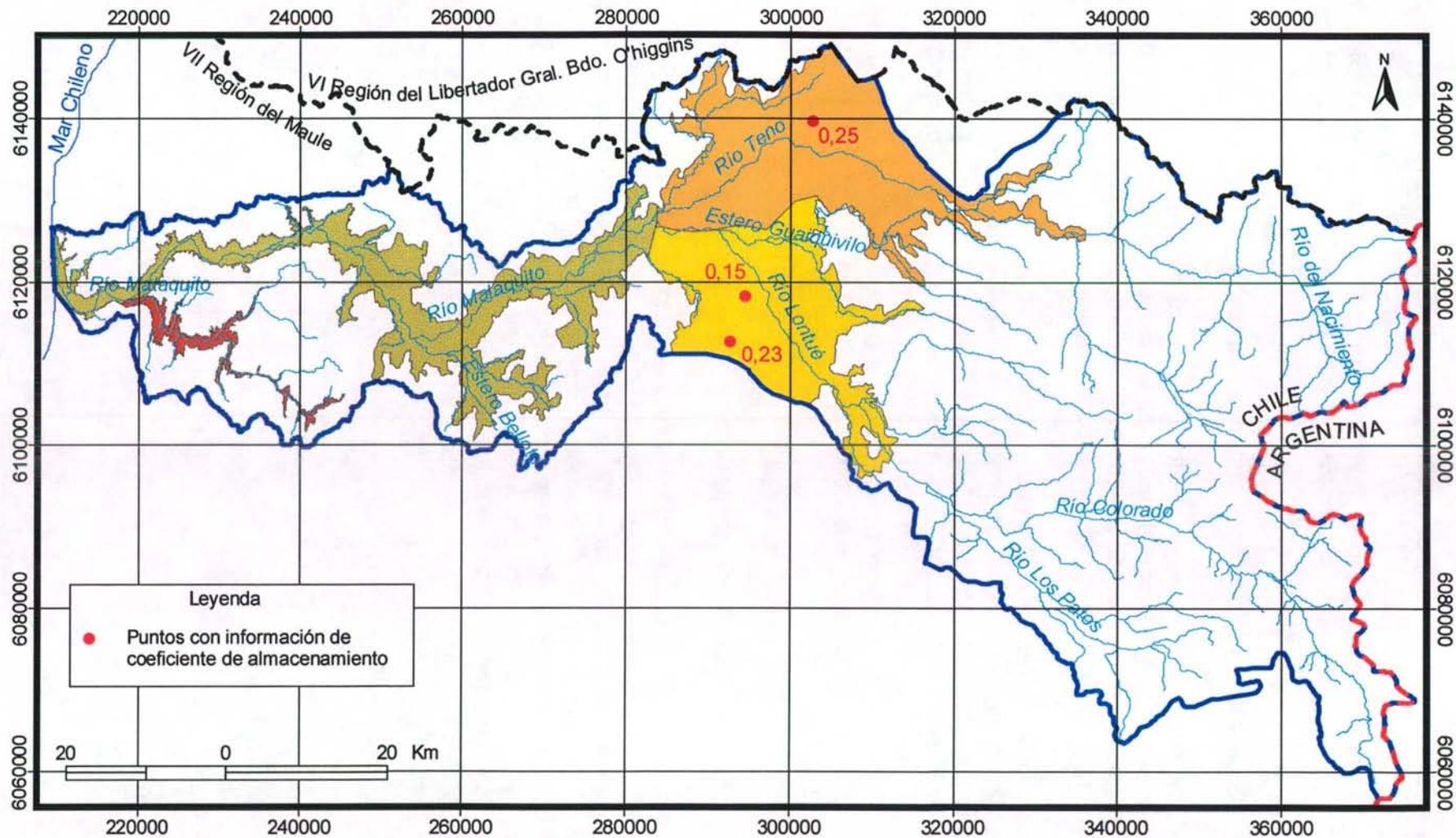
De acuerdo al sentido de las aguas subterráneas considerado, indicado mediante flechas en la Figura 4-11, se identificaron las secciones de entrada y salida de los acuíferos existentes, en función de las cuales y con la información antes mencionada, se determinó la geometría y permeabilidad característica.

Para los acuíferos río Teno y río Lontue se cuenta con un amplio registro de valores de permeabilidad, de acuerdo a lo indicado en la Figura 4-10, por lo que tanto en la entrada como en la salida de ambos acuíferos se consideró un promedio de los valores de permeabilidad mas cercanos a esos sectores. El mismo procedimiento se realizó para la entrada al acuífero del río Mataquito. En la salida del acuífero del río Mataquito y en todo el acuífero Estero Laguna Curepto se consideró los valores incorporados en el estudio del Secano Costero IICA, en el cual se caracteriza los acuíferos de interés.

ii. Determinación del coeficiente de almacenamiento.

Como se mencionó anteriormente, para este parámetro se utilizó el *estudio integral de riego* donde se entregan valores de coeficiente de almacenamiento para dos acuíferos identificados. La Figura 4-12 se aprecia la ubicación geográfica de los puntos con información de este parámetro. Tanto para los acuíferos del río Teno como del Lontué, se consideraron valores promedio o directos en base a los datos existentes, mientras que para los acuíferos Río Mataquito y Estero laguna Curepto se utilizó valores estimados en base a lo indicado en el *estudio de calidad*.

Figura 4 - 12. Coeficiente de Almacenamiento para los acuíferos de la Cuenca del Mataquito



iii. Gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico se determinó considerando las isolíneas de profundidad del nivel freático, obtenido del *estudio de calidad*, y por tanto los desniveles en la entrada y salida de cada acuífero. Así se cuantificó el gradiente hidráulico además de verificar el sentido de las aguas subterráneas.

iv. Características geométricas

Los 4 acuíferos de la zona se consideraron rectangulares, para cada uno de los acuíferos se consideró un espesor promedio a la entrada y a la salida definido por la diferencia entre cota terreno y cota basamento rocoso. Esta información se obtuvo a partir de las curvas de nivel y de la exploración geofísica respectivamente. En el cuadro 4-2 se muestra un resumen de las características geométricas y elásticas para cada acuífero.

Cuadro 4 - 2. Resumen Acuíferos Cuenca del Río Mataquito

Nombre acuífero	We	Ws	Zemax	Zemin	Zsmax	Zsmin	Ke	Ks	ie	is	S
Estero Laguna Curepto	1500	1300	25	-150	25	-150	11	11	0.0023	0.0023	0.19
Río Mataquito	4300	2300	150	-180	25	-170	885	11	0.0032	0.0006	0.19
Río Teno	10700	6300	300	130	150	-180	394	885	0.0094	0.0071	0.25
Río Lontue	13500	5600	340	180	150	-180	767	885	0.0100	0.0063	0.19

Fuente: Elaboración Propia

Donde: We y Ws: Anchos de entrada y salida, respectivamente [m].
 Zemax: Cota de terreno en la entrada [msnm].
 Zemin: Cota de Basamento rocoso en la entrada [msnm].
 Zsmax: Cota de terreno en la salida [msnm].
 Zsmin: Cota de Basamento rocoso en la salida [msnm].
 Ke y Ks: Permeabilidad de entrada y salida, respectivamente [m/mes]
 ie e is: Gradiente Hidráulico de entrada y salida, respectivamente [m/m].
 S: Coeficiente de Almacenamiento.

IV.4.3 Pozos

La representación de estos objetos por MAGIC, permite especificar la demanda de un determinado caudal mensual a algún acuífero de la cuenca en estudio. Para su implementación en MAGIC, se requiere antecedentes respecto a la ubicación de los pozos (por ende la identificación de los acuíferos desde donde se extrae el caudal), el uso del caudal extraído (asociados a los factores de uso considerados normalmente por la DGA) y la distribución mensual de los caudales que se extraen.

Se ha definido trabajar tanto con los derechos de agua constituidos en la cuenca del Mataquito, para lo cual se ha solicitado antecedentes al Centro de Información de Recursos Hídricos de la DGA donde se especifica la ubicación de los pozos de

bombeo y el caudal del derecho subterráneo otorgado. La información recibida ha sido procesada y complementada con el uso de cada pozo (industrial, agua potable, riego y minería) tomando como referencia información del propietario del pozo. Para la mayoría de los casos se consideró que el uso es de riego. Para el caso de aquellos derechos que no se encuentran georeferenciados, se ha definido ubicarlos en el centroide de la comuna de referencia y se agruparon estos pozos dependiendo del uso de manera de considerar un pozo único para cada uso en cada comuna. El anexo 4.1 indica los derechos subterráneos existentes en la cuenca del Río Mataquito.

Además se ha trabajado con el catastro de pozos de la cuenca del río Mataquito, realizada entre los meses de Marzo y Abril de 2005 para el *estudio de calidad*. Esta información se encuentra disponible en el anexo 4.2.

Con respecto a los factores de uso de los pozos se consideraron los valores entregados en el informe técnico SDT-160 elaborado por la DGA y que fue obtenido vía Internet. Los valores de los factores dependiendo del tipo de uso se muestran en el Cuadro 4-3.

Cuadro 4 - 3. Factores de Uso de los Pozos

Tipo Uso	Factor
<i>Agua Potable</i>	<i>0.75</i>
<i>Riego</i>	<i>0.20</i>
<i>Industrial</i>	<i>0.30</i>
<i>Minero</i>	<i>0.75</i>

Fuente: Evaluación de recursos hídricos subterráneos de la VI Región, DGA, Noviembre de 2003.

IV.4.4 Canales

Este elemento permite la representación de elementos de conducción de un determinado caudal máximo entre un nodo y una zona de riego, o bien, entre dos nodos. El modelo MAGIC permite definir tramos dentro de cada canal matriz, cada uno de los cuales puede tener diferentes capacidades, eficiencias de conducción y percolar a distintos acuíferos (esto último se consideró a partir de la versión 2.0 de MAGIC). Así mismo, es posible definir canales derivados, cada uno de los cuales también puede tener distintas capacidades y eficiencias. En rigor, para el modelo, el canal derivado es un objeto independiente del canal matriz, sólo unidos por un nodo en común. Cabe señalar que MAGIC no incluye la modelación de canales subderivados, razón por lo cual la DGA recomienda representarlos a través de los canales derivados, indicando una capacidad y eficiencia de conducción equivalente desde el punto de vista del balance hídrico.

Los antecedentes necesarios para la implementación de este objeto en la cuenca de estudio, tiene relación con la identificación de las características generales (capacidad, eficiencia, etc.), topología (origen, destino, acuífero destino de

percolación, etc.), porcentaje de distribución con respecto al caudal en bocatoma del matriz, entre otros.

Cabe mencionar que en la cuenca del Mataquito, los canales no sólo se vinculan al abastecimiento de agua a las zonas de riego existentes, sino que además han sido concebidos con el objetivo de realizar trasvases hacia cuencas vecinas.

La información de canales se ha obtenido principalmente del *estudio integral de riego*, siendo contrastada con el catastro de usuarios de la cuenca del Mataquito y del Lontué (Estudio de Síntesis de Catastro de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento; Ministerio de Obras Públicas-D.G.A. - Departamento Estudios / REG Ingenieros, 1991). Para el caso del valle del Lontué la información resulta coherente entre ambas fuentes de información, por lo que se utilizará los antecedentes incorporados en el *estudio integral de riego* ya que estos incluyen tanto la identificación de los canales, como los derechos asociados.

Para el valle del Mataquito (aguas abajo de la confluencia del Río Lontué con el Río Teno), la información de la distribución de canales para ambas fuentes de información no es concordante, lo cual se ve reflejado en la mayor cantidad de canales existentes en el *estudio integral de riego* y en la existencia de canales en el catastro de usuario que no aparecen en el estudio ya mencionado. Se ha determinado utilizar la información del catastro de usuarios, debido a que representa un antecedentes más reciente y de mayor especificidad que el *estudio integral*. Es necesario destacar, que la zona de riego a abastecer mediante los canales considerados, excluyen la zona de Curepto la cual tiene un manejo independiente asociado a impulsiones desde el Mataquito bajo y a algunos canales desde el Estero Curepto.

Con respecto a la situación legal del río Mataquito, se menciona que dada la abundancia relativa de agua en relación al área susceptible de riego existente en esta zona, no ha sido promovida la formación de una Junta de Vigilancia lo que ha redundado en que la información disponible sea extremadamente escasa y poco confiable. No existen antecedentes respecto al total de derechos otorgados en este sector, ni la distribución de estos en los canales existentes, encontrando solamente algunos datos en el Estudio Levantamiento de Bocatomas en Cauces Naturales Etapa I, los cuales son insuficientes para poblar las bases de datos de MAGIC. Por lo anterior, se ha decidido distribuir los aportes de los canales considerados a partir de las superficies que atienden la totalidad de los canales, información que se incorpora en el catastro de usuarios y que se presenta en el Cuadro 4-4.

Por otro lado, la relación de los canales existentes con respecto a las zonas de riego que abastecen, se ha definido a partir los antecedentes incorporados en el *estudio integral de riego*. Esta información ha sido corroborada y corregida por este consultor, a partir de antecedentes cartográficos digitales incluidos en el SIIR CNR.

Las Figuras 4-13 hasta la 4-15 incorporan los unifilares de los Ríos Lontué, Teno y Mataquito. Mientras que los cuadros 4-4 hasta el 4-6 muestran las principales características de los canales matrices considerados.

Figura 4 - 13. Diagrama Unifilar Río Lontué

(Ribera derecha)	Unifilar Lontué	(Ribera Izquierda)
	1	Yacal
	2	Cumpeo
Opacino	3	
Potrero Grande	4	
Ramírez Martínez	5	
Comunero Florida	6	
	7	Purísima
Viejo Los Niches	8	
	9a	Buena Fe
	9b	Nueva de Urzua
	9c	Buena Paz
Peumo	10	
Nuevo Los Niches	11	
	12	Valdes Carrera
González Rana	13	
	14	Pelarco o Buena Unión
	15	Ramírez y Rinconada
Huañuñe	16	
	17	Cáceres
	18	Lazo
	19	Patagua
	20	Los Pobres o Rio Seco arriba, Rio Seco
La Obra Arriba	21a	
La Obra del Medio	21b	
La Obra Abajo	21c	
	22a	Aranguiz
	22b	El Roble
	23	Pirhuin
	24	Trapiche Abajo
	25	Quillayes

Fuente: Estudio Integral de Riego de la Cuenca el Mataquito

Cuadro 4 - 4. Características de canales Río Lontué

Canal	Acciones	Porcentajes	Cap [m3/s]	ZR Asociada
Yacal	2.70	2.44%	4	lo02
Cumpeo	9.68	8.74%	7	Cumpeo*
Opacino	0.35	0.32%	0.35	lo02
Potrero Grande	0.70	0.63%	0.7	lo02
Ramírez Martínez	2.86	2.58%	2.86	lo03
Comunero Florida	1.45	1.31%	1.45	lo01
Purísima	8.54	7.71%	5.5	Purísima*
Viejo Los Niches	5.15	4.65%	5.15	lo03
Buena Fe	1.02	0.92%	0.68	lo04
Nueva de Urzua	3.00	2.71%	2.00	lo04
Buena Paz	0.71	0.64%	0.47	lo04
Peumo	3.88	3.50%	3.88	lo03
Nuevo Los Niches	16.30	14.72%	16.3	lo03
Valdes Carrera	4.26	3.85%	2.84	lo04
González Rana	0.89	0.80%	0.89	lo03
Pelarco o Buena Unión	2.20	1.99%	4.5	Pelarlo*
Ramírez y Rinconada	4.36	3.94%	3.5	lo04
Huañuñe	3.88	3.50%	3.88	lo03
Cáceres	0.63	0.57%	1	lo04
Lazo	0.44	0.40%	0.6	lo04
Patagua	12.10	10.93%	6	lo04
Los Pobres o Rio Seco arriba, Rio Seco	14.00	12.65%	3.3	lo04
La Obra Arriba	2.44	2.20%	2.44	lo03
La Obra del Medio	1.60	1.45%	1.6	Te04
La Obra Abajo	0.66	0.60%	0.66	lo03
Aranguiz	1.09	0.98%	0.8	lo04
El Roble	Eventual	Eventual	0.8	lo04
Pirhuin	4.08	3.69%	4	lo04
Trapiche Abajo	1.74	1.57%	1.5	lo04
Quillayes	Eventual	Eventual	-	lo05

Fuente Estudio Integral de Riego la Cuenca el Mataquito

*: Corresponden a Canales que son utilizados para trasvasar agua hacia zonas de riego de la Cuenca del Maule.

Figura 4 - 14. Diagrama Unifilar Río Teno

(Ribera derecha)	Unifilar Teno	(Ribera Izquierda)
San Miguel	1	
	2	El Peñon
	3	Cardonal
	4	Maquis Chico
Maquis Macal	5	
	6	Calabozo
	7	Socavón
Laguna	8	
Huemul Asoc.	9	
Sauce	10	
	11	Chuñuñe o Matanza
	12	Moreno Asoc.
	18	Cañada Asoc.
Quinta Asoc.	13	
Graneros	14	
Monterilla	15	
Aurora de Teno	16	
Ventana Asoc.	17	
Avalos	19	
	20a	Quilvo
	20b	Perales
	20c	Merino
	20d	Donoso
Cerrillos N°15	21	
Bajos del Cerrillo	22	
Cerrillos N°22	23	
Bellavista	24	
A. Cerda Asoc.	25	
Morales A	26	
	27	Farias Rodriguez
	28	Puente Asoc.
	29	Guindos N°1 Asoc.
	30	Guindos N°2 Asoc.
Comalle	31	
I. de Quilvo	32	
Rauco	33	
Morales B	33	
	34	Q. Quete y Boldo
Compuerta de Teno	35	
Punta del Monte	36	
	37	Leyton
	38	Maitenal N°2
Los Alisos	39	
Las Melosas	40	
	41	Maitenal N°1
Muñoces	42	
	43	Manzanos
	44	Potrerillos

Fuente Estudio Integral de Riego de la Cuenca el Mataquito

Cuadro 4 - 5. Características de canales Río Teno

Canal	Acciones	Porcentaje	Capacidad [m ³ /s]	Zr asociada
San Miguel	40	1.13%	1.6	te01
El Peñon	20	0.56%	0.55	te02
Cardonal	9	0.25%	0.52	te02
Maquis Chico	14.2	0.40%	1.45	te02
Maquis Macal	154	4.34%	3.5	te01
Calabozo	20.2	0.57%	0.55	te02
Socavón	222.3	6.26%	3.5	te02
Laguna	3	0.08%	0.10	te01
Huemul Asoc.	270	7.61%	8.91	te03
Sauce	30	0.85%	0.99	te03
Chufuñe o Matanza	120	3.38%	3.2	te04
Moreno Asoc.	93	2.62%	2.6	te04
Cañada Asoc.	713.2	20.10%	12	te05
Quinta Asoc.	312	8.79%	6	te03
Graneros	100	2.82%	3.5	te03
Monterilla	48	1.35%	1.7	te03
Aurora de Teno	60	1.69%	2.2	te06
Ventana Asoc,	158.5	4.47%	4	te03
Avalos	2.5	0.07%	0.8	te03
Quilvo	58.66	1.651%	2.1	te07
Perales	25	0.704%	0.9	te07
Merino	68.29	1.922%	1.5	Te10
Donoso	47.05	1.324%	1.05	te07
Cerrillos N°15	4	0.11%	1.6	te06
Bajos del Cerrillo	3.5	0.10%	1.1	te06
Cerrillos N°22	52	1.47%	1.6	te03
Bellavista	20	0.56%	2	te06
A. Cerda Asoc.	100.72	2.84%	2.5	te06
Morales A	24.78	0.70%	1.2	te06
Farias Rodriguez	21	0.59%	1.1	Te10
Puente Asoc.	24	0.68%	0.9	Te10
Guindos N°1 Asoc.	88.5	2.49%	2.5	te10
Guindos N°2 Asoc.	10	0.28%	0.65	te10
Comalle	206.6	5.815%	4.42	te08
I. de Quilvo	3.6	0.101%	0.08	te08
Rauco	36	1.01%	1	te08
Morales B	4	0.11%	0.2	te08
Q. Quete y Boldo	44.5	1.25%	1.9	te10
Compuerta de Teno	81	2.28%	2.1	te08
Punta del Monte	54	1.52%	1.1	te08
Leyton	30	0.85%	1.2	te10
Maitenal N°2	20	0.56%	0.75	te10
Los Alisos	26	0.73%	0.95	te08
Las Melosas	54.5	1.54%	1.4	te08
Maitenal N°1	25	0.70%	0.5	te10
Muñoces	15	0.42%	0.65	te09
Manzanos	1	0.03%	0.5	te10
Potrerillos	14	0.39%	0.4	Te11

Fuente Estudio Integral de la Cuenca el Mataquito

Figura 4 - 15. Diagrama Unifilar Río Mataquito (Desembocadura)

(Ribera derecha)	Unifilar Mataquito	(Ribera Izquierda)
Leyton	1	
La Pancora	2	
La Junta	3	
	4	C. del Mataquito
Majadillas	5	
Cabello	6	
Palquibudi	7	
	8	Puente de Tablas
	9	Culenar (Villa Prat)
	10	Valenzuela
La Huerta	11	
Navarro y Nuñez	12	
	13	Huertino y Nogales
Parronal o Armanet	14	
Barandica y Peralillo	15	
	16	La Isla
	17	Guaquén
	18	Ajial
	19	Guaquén
	20a	Tonlemo
	20b	Tonlemo
	21	Colin
Mirarios	22	
	23	Paula
	24	Moya
San Pedro	25	
Idahue	26	
Santa Elena	27	
	28	Docamavida
Licantén Oriente	29	
Lora	30	
	31	Curepto San Luis Monte
	32	Alegre
	33	Pununquen
Naicura	33	
La Isla D.	34	
		Tonlemo (tranque)

Fuente Estudio Integral de la Cuenca el Mataquito

Figura 4 - 15. Continuación: Diagrama Unifilar Río Mataquito (Desembocadura)

(Ribera derecha)	Mataquito(Ribera Izquierda)
	1	Lo Rojas o San Juan
	2	Toma La Isla
Majadilla o del Cerro	3	
Fundo Majadilla o del		
Bajo	4	
Palquibudis	5	
San Joaquín	6	
	7	Culenar o Villa Prat
La Huerta	8	
Mario Canales	9	
Peralillo Barandica	10	
	11	Tonlema
	12	Toma Tonlema
Mira Ríos	13	
	14	Paula
	15	Constantué
Idahue	16	
	17	Docamámida
Licantén Oriente	18	
Bombas ribera norte	19	
	20	Bombas ribera sur

Fuente: Catastro de Usuarios Río Mataquito y Lontué

Cuadro 4 - 6. Características de canales Río Mataquito

Canal	Superficie regada [Ha]	Derechos
Lo Rojas o San Juan	641.79	8.3%
Toma La Isla	26	0.3%
Majadilla o del Cerro	579.6	7.5%
Fundo Majadilla o del Bajo	54.35	0.7%
Palquibudis	531.62	6.9%
San Joaquín	105	1.4%
Culénar o Villa Prat	1288.88	16.7%
La Huerta	1009.3	13.1%
Mario Canales	6	0.1%
Peralillo Barandica	798.4	10.4%
Tonlemono	40	0.5%
Toma Tonlemono	15	0.2%
Mira Ríos	284.5	3.7%
Paula	299	3.9%
Constantué	60.6	0.8%
Idahue	494.15	6.4%
Docamáyida	105.3	1.4%
Licantén Oriente	252.35	3.3%
Bombas ribera norte	903.2	11.7%
Bombas ribera sur	215.6	2.8%
Distribución Agua Zona de Riego mt01	65.08%	
Distribución Agua Zona de Riego mt02	34.92%	

Fuente: Catastro de usuarios de aguas de los ríos Mataquito y Lontué.

Dada la disposición de los canales antes indicados, se contempla procesarlos todos como canales matrices, siendo los nodos principales definidos con una estructura compatible con MAGIC.

Por último, con respecto a las eficiencias de conducción de los canales, no existen antecedentes en detalle, sino mas bien información general incorporada en el *estudio manejo Integral*. En resumen se describe la red de canales como antigua en relación a la zona central de Chile, siendo construidos en su mayoría durante mediados del siglo XX. La totalidad de los canales se presenta deteriorado y sin revestimiento, lo cual justifica las grandes pérdidas de agua presentes en la zona. De acuerdo a lo anterior, se ha considerado una eficiencia de conducción genérica para la cuenca del orden de un 70%.

IV.4.5 Zonas de Riego

Este elemento permite la representación de un conjunto de subsectores de riego, donde cada uno posee un tipo de cultivo y un método de riego determinado, pudiéndose estimar el caudal total afluente, tanto superficial como subterráneo; la fracción de dicho caudal utilizada efectivamente para riego; la demanda de riego suplida; la seguridad de riego; el retorno superficial hacia otras zonas; la percolación hacia la zona acuífera y su variación en ciertos periodos de tiempo. Para esto MAGIC considera zonas de riego independientes, con caudales afluentes representados por canales matrices o derivados y un único pozo de bombeo asociado.

La información requerida para la implementación de MAGIC, se asocia principalmente a la definición e identificación de las zonas de riego existentes, tipo de cultivo, método de riego asociado, evapotranspiración de los cultivos, precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, derrames (retornos) desde o hacia zonas de riego adyacentes, además de la identificación del área cultivable y no cultivable.

Como se mencionó anteriormente, la cuenca del Río Mataquito se subdivide en tres subcuencas, la del Teno, Lontué y Mataquito. La subcuenca del Río Teno tiene un área aportante de 1870 km² de los cuales sólo unos 230 km² son aptos para el riego y están dominados en su mayoría por el río Teno. El área de riego se encuentra entre los Queñes y el origen del río Mataquito. Las zonas de riego que abastecen los recursos hídricos del Río Teno sobrepasa los límites naturales de la cuenca hidrográfica, incrementando la superficie en unos 140 km² pertenecientes a la hoya del río Rapel y en 130 km², drenados por el estero Guaquillo, pertenecientes a la hoya del río Lontué.

La subcuenca del Lontué tiene un área aportante de 2580 km² de los cuales sólo 390 km² son aptos para el riego y están dominados principalmente por el Lontué. El área de riego se localiza entre la formación misma del Lontué y el origen del río Mataquito. Debido a que algunos canales rebasan los límites naturales de la cuenca, la superficie apta para riego aumenta en 80 y 88 km², pertenecientes a la cuenca del Mataquito y del Claro, respectivamente. Por otro lado se ve disminuido en 130 km² que son regados con aguas del Río Teno.

La subcuenca del Mataquito, está representada principalmente por el río Mataquito. Se origina al poniente de Curicó por la confluencia de los ríos Teno y Lontué y tiene un área de influencia de alrededor de 120 km², sin considerar los diversos esteros que alimentan las zonas de riego de esta zona. Los esteros más importantes están considerados dentro de las zonas de riego a implementar.

IV.4.5.1 Definición e Identificación Zonas de Riego

La definición de las zonas de riego se realizó a partir de los antecedentes incorporados en el *estudio integral de riego*, donde se realizó una delimitación de sectores de riego, junto a la determinación de los coeficientes de percolación para cada sector y la asignación de canales correspondientes. Estos límites de sectores de riego fueron llevados a cobertura digital, para luego corregir sus contornos de acuerdo a otros antecedentes espaciales tales como los cauces naturales, curvas de nivel y fotografías aéreas. Finalmente se originaron 19 zonas de riego.

Con respecto a valores de superficie de riego de cada uno de los sectores, se compararon las distintas fuentes de información existentes, encontrando diferencias que es necesario analizar. Primero se comparó las superficies incorporadas en el *estudio integral de riego*, el *estudio de manejo integral* y en el estudio "*Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca río Mataquito*" realizado por Cade Idepe. Los superficies correspondientes se presentan en el cuadro 4-7.

Cuadro 4 - 7. Comparación estimaciones de superficies según distintas fuentes de información

Subcuenca	Clasificación Cuerpos de Agua por Calidad. Cade Idepe 2004	Estudio Integral CICA. 1978.			Estudio Manejo Integral. INECON. 1998
	Sup. de Riego (Has)	Sup. de Riego Cuenca Mataquito (Has)	Superficies de otras hoyas* (Has)	Total (Has)	Sup. de Riego (Has)
Mataquito	13,589	12,000		12,000	10,948
Teno	34,987	23,000	14,000	37,000	33,432
Lontué	55,645	39,000	16,800	55,800	38,541
Total	104,221	74,000		104,800	82,921

*: Corresponde a la superficie de riego que es alimentada con recursos hídricos de la cuenca del Río Mataquito, pero cuyos sectores se ubican en cuencas hidrográficas vecinas.

De acuerdo a lo anterior se aprecia que la información del *estudio integral* de riego (CICA) y el estudio desarrollado por CADE IDEPE es semejante, existiendo una pequeña diferencia. El dato del *estudio de manejo integral* representa la superficie efectivamente regada, la cual será determinada y corroborada para cada zona de riego en el punto IV.4.5.3.

Por otro lado, se revisó la información de capacidad de uso y de aptitud de riego, incorporado en el *estudio de calidad*, la cual se presenta en el cuadro 4-8.

Cuadro 4 - 8. Capacidad de Uso en la Cuenca del Mataquito

Capacidad de Uso	Superficie	Distribución Porcentual
	[Ha]	%
I	2900.2	1.20
IIs	7209.8	2.98
IIw	16377.4	6.77
III	94.6	0.04
IIIs	38450.5	15.90
IIIw	24554.3	10.16
IV	2472.9	1.02
IVs	6611.1	2.73
IVw	7499.5	3.10
VI	61470.2	25.43
VIIs	105.1	0.04
VIw	20.0	0.01
VII	74000	30.61
Total	241765.6	100.00
Sup. entre I y IV	106170.3	43.91

Fuente Estudio de calidad de aguas subterráneas de Huasco-Mataquito, GCF

Considerando los suelos con capacidad de uso entre I y IV, el valor de la superficie de riego resultante es muy semejante al obtenido por el *estudio integral de riego*. Dado que esta fuente de información posee la ventaja de entregar la distribución espacial de las variaciones de serie con las capacidades de uso de interés, lo cual permite asociar a las zonas de riego definidas, es que se ha decidido tomar este antecedente sobre el cual se trabajará. Las superficies a partir de las capacidades de uso aumentará en alrededor de 2% la zona de riego total, lo cual se consideró para corregir el valor de las superficies de riego de cada zona de riego definida. El cuadro 4-9 muestra la superficies finales de las zonas de riego consideradas, mientras que la Figura 4-16 muestra la distribución espacial de las zonas de riego.

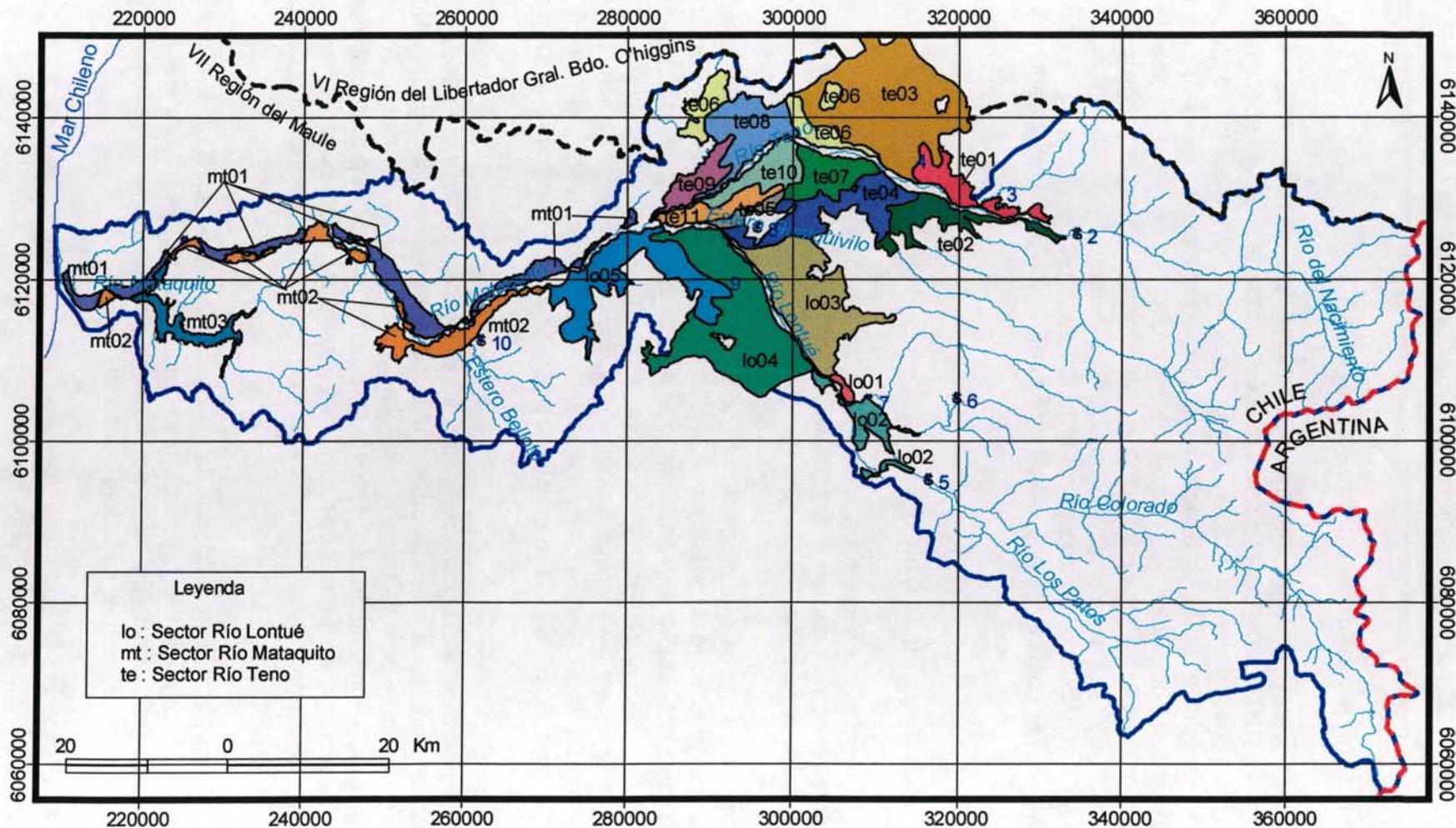
Cuadro 4 - 9. Superficies de Zonas de riego cuenca del Mataquito.

Codigo	Nombre (*)	Área [Ha]	Corrección (**) [Ha]
te01	11A1N	3,557	3,724.92
te02	11A1S	3,320	3,476.74
te03	12A1N	15,570	16,305.05
te04	12A1S	6,889	7,214.23
te05	12A2S	1,058	1,107.95
te06	13A1N	3,593	3,762.62
te07	13A1S	2,665	2,790.81
te08	14A1N	6,470	6,775.45
te09	14A2N	1,487	1,557.20
te10	14A1S	2,094	2,192.86
te11	14A2S	2,470	2,586.61
lo01	15A1N	648	678.59
lo02	15A1S	751	786.45
lo03	16A1N	11,200	117,28.75
lo04	16A1S	15,440	161,68.92
lo05	16A2S	10,502	109,97.80
mt01	17A1N	6,956	7,284.39
mt02	17A1S	4,226	4,425.51
mt03	18 *	2,488	2,605.46
	Total	101,384	106,170.3

(*) Denominación original en el estudio integral de riego

(**) Área corregida según el total de tierra cultivable, correspondiente a suelos con capacidad de uso entre I y IV.

Figura 4 - 16. Zonas de Riego Cuenca del Mataquito



IV.4.5.2 Identificación de Acuíferos Adyacentes

En el punto IV.4.2 del presente informe se explican los alcances respecto a la definición y características de los acuíferos que forman parte del flujo subterráneo de la cuenca. Las zonas de riego identificadas, junto a la información de acuíferos existente, se procedió a definir la asociación entre ambos temas mediante Arcview 3.2, obteniéndose el porcentaje de la zona de riego que corresponde a cada uno de los acuíferos circundantes. Esta distribución es importante de conocer, al permitir esta nueva versión de MAGIC asociar una zona de riego a más de un acuífero existente, de tal manera de conocer qué parte del agua demandada percola hacia cada acuífero y poder estimar así el coeficiente equivalente de percolación asociado a cada zona de riego.

IV.4.5.3 Identificación de Cultivos

Los cultivos existentes en cada zona de riego son necesarios para el cálculo de la evapotranspiración correspondiente, y finalmente, las necesidades netas mensuales (NNM) asociadas a cada zona.

Para determinar los cultivos presentes dentro de cada zona de riego, se consideró las encuestas agronómicas realizadas en el *estudio de calidad*, las cuales fueron asociadas a distintos estratos prediales. Las encuestas realizadas incorporan el levantamiento de varios parámetros, entre ellos los cultivos presentes, el método de riego utilizado y la superficie efectiva de cultivo. A partir de esta información junto a la cobertura cartográfica de predios incorporada en el mismo estudio, se realizó una proyección de los cultivos a toda la cuenca de estudio. Particularmente se realizó lo siguiente:

- A partir de la distribución predial se identificó la distribución espacial de los estratos prediales considerados en la encuesta agronómica. Estos estratos se intersectaron con la cobertura digital de las zonas de riego, mediante ArcView 3.2. Finalmente se obtuvo una representación porcentual de los distintos estratos de predio por comunas dentro de cada zona de riego. Por motivos de simplificación sólo se consideraron los aportes porcentuales mayores al 1%.
- Tomando los resultados de la encuesta asociados a los distintos estratos por comuna, se procedió a proyectar la información referente a los cultivos, métodos de riego, superficie suelos efectivamente regados y suelos potencialmente regables, para cada zona de riego.

El Cuadro 4-10 muestra la superficie efectivamente cultivada, para cada zona de riego, a partir del procedimiento antes detallado.

Cuadro 4 - 10. Distribución de Superficies para Zonas de Riego de la Cuenca Mataquito

Zona de Riego	Área	Sup. Efectivamente cultivada (*)
	[Ha]	[Ha]
te01	3724.92	3193.31
te02	3476.74	3062.23
te03	16305.05	13967.31
te04	7214.23	6627.96
te05	1107.95	1062.92
te06	3762.62	3206.93
te07	2790.81	2531.96
te08	6775.45	5905.03
te09	1557.20	1293.82
te10	2192.86	2080.99
te11	2586.61	2475.38
lo01	678.59	667.22
lo02	786.45	755.76
lo03	11728.75	11352.35
lo04	16168.92	14829.28
lo05	10997.80	9478.33
mt01	7284.39	2594.26
mt02	4425.51	2569.20
mt03	2605.46	1284.10
Total	106170.30	88903.25

Fuente: Elaboración propia

(*) corresponde al área sumada de los distintos cultivos proyectados en cada zona de riego

Finalmente, la distribución de los cultivos para cada zona de riego definida se presenta en el cuadro 4-11.

IV.4.5.4 Identificación de Métodos de Riego

Los métodos de riego, particularmente sus eficiencias, asociados a cada cultivo existente en las zonas de riego definidas, son necesarios para que MAGIC calcule internamente las NNM.

La encuesta agronómica realizada en el *estudio de calidad* identificó tres métodos de riego principales: goteo con una eficiencia asociada del 90 %; surcos con un 45% y tendido con un 30%. Estos métodos de riego están relacionados con los diversos cultivos, mediante una relación porcentual con respecto al cultivo aplicado dentro de una zona de riego. El resultado de la proyección de los métodos de riego empleados en conjunto con los cultivos, se muestran el cuadro 4-11.

Cuadro 4 - 11. Cultivos y Métodos de Riego en Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	Io01				Io02				Io03				Io04			
	Área [Ha]	Método de Riego			Área [Ha]	Método de Riego			Área [Ha]	Método de Riego			Área [Ha]	Método de Riego		
		Goteo	Surco	Tendido		Goteo	Surco	Tendido		Goteo	Surco	Tendido		Goteo	Surco	Tendido
Aji													67.37		100%	
Alcachofa	10.78			100%	1.20			100%	738.01			100%				
Alfalfa																
Avena					17.25			100%					407.39			100%
Cebada																
Cerezo	31.83		100%		8.28		100%		509.37		100%		330.77	21%	79%	
Ciruelo													78.30	30%	70%	
Durango																
Frambuesa	0.86	100%			0.10	100%			59.04	100%						
Frutilla																
Garbanzo																
Huerta Casera	2.16		100%		1.09	22%	78%		156.73	94%	6%		59.59			100%
Kiwi	31.57		100%		4.10		100%		324.89		100%		88.76	51%	49%	
Maíz	2.59			100%	26.64			100%	201.46			100%	1351.37		51%	49%
Maíz Silo																
Manzano	352.51		100%		76.33		100%		4429.80		100%		1466.49	5%	95%	
Olivo													433.11	100%		
Papa	0.22		100%		0.02		100%		39.10		100%		58.98		100%	
Peral					22.75		100%						269.44	11%	89%	
Piménton																
Poroto	0.22		100%		0.02		100%		39.10		100%					
Pradera Mixta	3.02			100%	8.71			100%	206.64			100%	307.97			100%
Pradera Natural					20.70			100%					488.86			100%
Remolacha																
Sandía	1.40		100%		0.16		100%		95.94		100%					
Semillero Maíz	6.89		100%						70.88		100%		30.77		100%	
Semillero Maravilla																
Tabaco																
Tomate	1.40		100%		0.16		100%		95.94		100%		251.24		100%	
Tomate Industrial																
Trigo																
Uva de Mesa																
Vid Vinífera	221.78	67%	33%		568.25	72%	28%		4385.45	40%	60%		9138.89	55%	45%	
Total	667.22				755.76				11352.35				14829.28			

Cuadro 4 - 11. Cultivos y Métodos de Riego en Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	lo05				mt01				mt02				mt03			
	Área	Método de Riego			Área	Método de Riego			Área	Método de Riego			Área	Método de Riego		
	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido												
Ajl	75.29		100%						20.93		100%					
Alcachofa																
Alfalfa					31.91			100%	66.00			100%	201.88			100%
Avena	40.16			100%					84.36			100%	144.32			100%
Cebada																
Cerezo	329.99	47%	53%		7.52			100%	35.71	43%	57%					
Ciruelo	176.89	28%	72%						17.14	38%	62%					
Durango																
Frambuesa					3.76			100%								
Frutilla									22.50	100%			38.48	100%		
Garbanzo					87.83			100%								
Huerta Casera	43.92			100%	14.19			100%	12.21			100%				
Kiwi	109.35	97%	3%		500.79	97%	3%		8.82	100%						
Maíz	1827.73		80%	20%	901.27		10%	90%	365.76		53%	47%	201.88			100%
Maíz Silo					35.10			100%								
Manzano	284.96	55%	45%						15.38	100%						
Olivo	1010.02	100%							83.81	100%						
Papa	123.27			100%					82.40		100%		201.88			100%
Peral	85.97	80%	20%						5.73	100%						
Piménton																
Poroto					39.09			100%	112.48	100%			192.42	100%		
Pradera Mixta	396.75			100%	259.06			100%	44.79			100%				
Pradera Natural	48.19			100%	428.25			100%								
Remolacha																
Sandía					21.06			100%	1.74		100%					
Semillero Maíz	71.76		100%		23.37			100%	5.95		100%					
Semillero Maravilla																
Tabaco																
Tomate	360.30		100%		63.19			100%	79.18		100%					
Tomate Industrial					11.13			100%								
Trigo					105.30			100%								
Uva de Mesa					3.76			100%								
Vid Vinífera	4493.78	34%	66%		22.57	100%			1504.32	79%	21%		303.24	100%		
Total	9478.33				2594.26				2569.20				1284.10			

Cuadro 4 - 11. Cultivos y Métodos de Riego en Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	te01			te02			te03			te04						
	Área	Método de Riego			Área	Método de Riego			Área	Método de Riego						
	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido
Aji																
Alcachofa													240.41			100%
Alfalfa	36.56			100%	104.77			100%	155.45			100%	78.54			100%
Avena																
Cebada					68.84			100%					139.55			100%
Cerezo	11.12		100%		230.54	78%	22%		33.00		100%		578.54	63%	37%	
Ciruelo	61.16		100%		42.36	100%			318.69		100%		85.88	100%		
Durango					5.30		100%						10.73		100%	
Frambuesa	26.45		100%		146.90		100%		87.31		100%		274.66	7%	93%	
Frutilla																
Garbanzo																
Huerta Casera	4.14		100%						24.01		100%		52.78		91%	9%
Kiwi	33.09	100%			124.36	25%	75%		192.09	100%			291.99	21%	79%	
Maíz	569.89		78%	22%	210.87			100%	2238.77		68%	32%	229.99			100%
Maíz Silo																
Manzano	280.61	38%	62%		352.13	9%	91%		1226.76	51%	49%		1528.28	4%	96%	
Olivo																
Papa	2.07		100%						12.01		100%		17.34		100%	
Peral																
Piménton	57.70		100%						205.19		100%					
Poroto	88.28		86%	14%	5.30		100%		496.72		85%	15%	28.07		100%	
Pradera Mixta	259.82			100%	1068.66			100%	1041.22			100%	868.40			100%
Pradera Natural	711.63			100%	150.91			100%	3752.75			100%	305.93			100%
Remolacha	198.16	31%		69%					916.79	39%		61%				
Sandía													31.25		100%	
Semillero Maíz					325.81		100%						376.31		100%	
Semillero Maravilla					12.18		100%						24.69		100%	
Tabaco	8.23		100%						21.83		100%					
Tomate													31.25		100%	
Tomate Industrial	229.22		100%						1123.07		100%					
Trigo	310.67			100%	213.32			100%	1314.01			100%	298.60			100%
Uva de Mesa																
Vid Vinífera	304.53		100%						807.67		100%		1134.77	27%	73%	
Total	3193.31				3062.23				13967.31				6627.96			

Cuadro 4 - 11. Cultivos y Métodos de Riego en Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	te05				te06				te07				te08			
	Área	Método de Riego			Área	Método de Riego			Área	Método de Riego			Área	Método de Riego		
	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido												
AjÍ																
Alcachofa	96.95			100%					78.72			100%				
Alfalfa					33.09			100%	35.35			100%	58.38			100%
Avena																
Cebada									71.00			100%				
Cerezo	45.96		100%		15.04		100%		262.72	71%	29%		49.63			100%
Ciruelo					59.91		100%		43.69	100%			98.38			100%
Durango									5.46		100%					
Frambuesa	7.76	100%			24.79		100%		136.78	5%	95%		56.19			100%
Frutilla																
Garbanzo																
Huerta Casera	20.76		93%	7%	4.33		100%		16.61		95%	5%	54.89			100%
Kivi	19.62		100%		253.99	95%	5%		132.63	24%	76%		585.66	89%	11%	
Maíz	26.92			100%	561.66		75%	25%	93.28			100%	1142.12		79%	21%
Maíz Silo																
Manzano	334.62		100%		248.27	45%	55%		482.67	7%	93%		388.09	49%	51%	
Olivo																
Papa	5.59		100%		2.16		100%		3.88		100%		3.66			100%
Peral																
Piménton					45.73		100%						67.15			100%
Poroto	5.59		100%		90.97		86%	14%	9.34		100%		154.38		86%	14%
Pradera Mixta	27.15			100%	230.94			100%	382.66			100%	456.09			100%
Pradera Natural					728.01			100%	155.65			100%	1310.39			100%
Remolacha					181.03	36%		64%					287.64	38%		62%
Sandía	12.60		100%						10.23		100%					
Semillero Maíz	4.28		100%						176.47		100%					
Semillero Maravilla									12.56		100%					
Tabaco					5.68		100%						7.58			100%
Tomate	12.60		100%						10.23		100%					
Tomate Industrial					216.48		100%						349.55			100%
Trigo					272.64			100%	147.32			100%	437.78			100%
Uva de Mesa					3.14		100%						16.73			100%
Vid Vinífera	442.52	29%	71%		229.07	8%	92%		264.70	15%	85%		380.74	26%	74%	
Total	1062.92				3206.93				2531.96				5905.03			

Cuadro 4 - 11. Cultivos y Métodos de Riego en Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	te09				te10				te11			
	Área	Método de Riego			Área	Método de Riego			Área	Método de Riego		
	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido	[Ha]	Goteo	Surco	Tendido
Ají					14.68		100%		47.78		100%	
Alcachofa					172.94			100%	121.37			100%
Alfalfa												
Avena												
Cebada												
Cerezo	19.94		100%		82.92	5%	95%		97.42	16%	84%	
Ciruelo					4.66	57%	43%		16.01	74%	26%	
Durango												
Frambuesa	9.97		100%		13.83	100%			9.71	100%		
Frutilla												
Garbanzo												
Huerta Casera	55.10		100%		47.04		74%	26%	53.78		45%	55%
Kiwi	705.25	94%	6%		24.04	7%	93%		15.74	22%	78%	
Maíz	271.65		88%	12%	144.90		54%	46%	444.34		79%	21%
Maíz Silo												
Manzano					465.67	1%	99%		302.17	5%	95%	
Olivo					15.83	100%			33.07	100%		
Papa					20.49		100%		36.37		100%	
Peral					1.08	100%			2.26	100%		
Piménton												
Poroto					13.84		100%		6.78		100%	
Pradera Mixta	106.26			100%	54.59			100%	46.86			100%
Pradera Natural	55.84			100%								
Remolacha												
Sandía					22.48		100%		15.78		100%	
Semillero Maíz					6.01		100%		5.02		100%	
Semillero Maravilla												
Tabaco												
Tomate					67.71		100%		170.18		100%	
Tomate Industrial												
Trigo												
Uva de Mesa	9.97		100%									
Vid Vinífera	59.83	100%			908.29	23%	77%		1050.73	23%	77%	
Total	1062.92				3206.93				2531.96			

IV.4.5.5 Evapotranspiración de Cultivos

La determinación de la evapotranspiración potencial de los cultivos ha sido calculada a partir de Eto especificado en el Atlas Agroclimático de Chile (Fernando Santibañez) del año 1993 obtenidos por el método de Penman. Estos valores están agrupados por distrito agroclimático, quedando las zonas de riego emplazadas en varios de estos distritos, por lo que fue necesario ponderar el valor de Eto para cada zona de riego, por la superficie perteneciente a cada distrito agroclimático. Dicha ponderación fue realizada intersectando la cobertura de las zonas de riego con la cobertura de los distritos agroclimáticos mediante una aplicación en Arcview. El cuadro 4-12 muestra los valores de ETo para cada zona de riego por mes.

Cuadro 4 - 12. ETo por Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
lo01	185.00	174.20	144.70	104.50	64.20	34.80	24.00	34.80	64.30	104.50	144.80	174.20
lo02	184.83	174.04	144.55	104.36	64.08	34.68	23.88	34.68	64.16	104.36	143.85	174.04
lo03	187.26	176.31	146.43	105.63	64.80	34.94	23.99	34.94	64.82	105.63	146.46	176.31
lo04	188.40	177.37	147.27	106.16	65.04	34.96	23.93	34.96	65.06	106.16	147.29	177.37
lo05	188.79	177.75	147.58	106.45	65.25	35.16	24.12	35.16	65.33	106.45	147.66	177.75
mt01	180.66	170.11	141.31	102.05	62.70	33.98	23.44	33.98	62.78	102.05	141.39	170.11
mt02	179.79	169.36	140.93	102.17	63.32	34.99	24.56	34.99	63.41	102.17	141.03	169.36
mt03	165.81	156.09	129.54	93.31	57.04	30.53	20.82	30.53	57.09	93.31	129.58	156.09
te01	183.90	173.16	143.77	103.68	63.54	34.20	23.45	34.20	63.59	103.68	140.14	173.16
te02	184.00	173.25	143.86	103.77	63.63	34.29	23.54	34.29	63.68	103.80	141.00	173.25
te03	187.34	176.38	146.49	105.67	64.82	34.96	24.00	34.96	64.85	105.70	146.51	176.38
te04	187.75	176.76	146.78	105.84	64.87	34.92	23.93	34.92	64.90	105.84	146.81	176.76
te05	190.54	179.35	148.71	106.95	65.13	34.56	23.37	34.56	65.19	106.95	148.78	179.35
te06	188.07	177.06	147.05	106.03	65.00	34.99	23.98	34.99	65.01	106.03	147.05	177.06
te07	188.07	177.07	147.05	106.03	65.00	34.99	23.98	34.99	65.01	106.03	147.05	177.07
te08	189.78	178.64	148.20	106.67	65.09	34.69	23.56	34.69	65.13	106.67	148.24	178.64
te09	191.74	180.46	149.53	107.40	65.19	34.35	23.06	34.35	65.28	107.40	149.62	180.46
te10	191.53	180.27	149.39	107.33	65.18	34.38	23.12	34.38	65.27	107.33	149.47	180.27
te11	191.82	180.53	149.58	107.43	65.19	34.33	23.05	34.33	65.29	107.43	149.67	180.53

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al Kc de cada cultivo presente en las zonas de riego, se ocuparon los incorporados en el estudio de calidad, los cuales se presentan en el cuadro 4-13.

Cuadro 4 - 13. Kc Cuenca del Mataquito

Cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ají	0.90								0.50	0.78	1.05	1.00
Alcachofa	0.90	0.15	0.45	0.65	0.75	0.80	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95
Alfalfa	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Avena					0.40	0.82	0.99	1.15	1.15	1.15	0.75	0.33
Cebada					0.40	0.82	0.99	1.15	1.15	1.15	0.75	0.33
Cerezo	1.03	1.03	0.78							0.48	0.66	0.84
Ciruelo	0.98	0.98	0.70							0.58	0.72	0.86
Durazno	0.90	0.80	0.75	0.65					0.55	0.65	0.75	0.90
Frambuesa	1.05	0.78	0.50						0.30	0.55	0.80	1.05
Frutilla	0.85	0.80	0.75							0.40	0.63	0.85
Garbanzo	1.05	0.30								0.40	0.80	1.05
Huerta Casera	1.17	0.65	0.48							0.43	0.64	1.03
Kiwi	1.05	1.05	1.05	1.05						0.40	0.73	1.05
Maíz	1.20	0.84	0.48							0.45	0.83	1.20
Maíz Silo	1.05	1.05								0.40	0.83	1.05
Manzano	1.08	1.08	0.96	0.83						0.48	0.68	0.88
Olivo	0.90	0.80	0.75	0.65					0.55	0.65	0.75	0.90
Papa	1.15	0.75									0.30	0.73
Peral	1.08	1.08	0.96	0.83						0.48	0.68	0.88
Pimentón	0.90								0.50	0.78	1.05	1.00
Poroto	1.15	0.35								0.40	0.78	1.15
Pradera Mixta	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Pradera Natural	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Remolacha	1.20	0.95	0.70						0.35	0.87	1.39	1.20
Sandía	0.75							0.40	0.60	0.80	1.00	1.00
Semillero Maíz	1.20	0.84	0.48							0.45	0.83	1.20
Semillero Maravilla	1.10	0.70	0.30						0.15	0.42	0.69	0.95
Tabaco	0.45	0.45	15.00						0.15	0.35	0.35	0.40
Tomate	0.98	0.80							0.68	0.92	1.15	1.15
Tomate Industrial	1.15	1.15	1.00	0.80						0.45	0.80	1.15
Trigo					0.40	0.82	0.99	1.15	1.15	1.15	0.75	0.33
Uva de Mesa	1.05	0.95	0.85						0.30	0.55	0.80	1.05
Vid Vinífera	1.05	0.95	0.85						0.30	0.55	0.80	1.05

Fuente: Estudio de calidad Huasco Mataquito

Finalmente, considerando la ETo, los KC y la distribución de los cultivos en las zonas de riego consideradas, que se presentan el cuadro 4-11, es posible obtener las demandas evapotranspirativas de los sectores cultivados de cada zona de riego. Estos resultados se presentan en el Cuadro 4-14.

Cuadro 4 - 14. Demandas Evapotranspirativas por Zonas de Riego Cuenca del Mataquito (m3)

Zona de Riego	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
lo01	1312847	1172467	866007	350553	6934	3946	2721	4516	52432	355508	705635	1104136
lo02	1439363	1236822	911085	119828	22627	14778	10879	16815	140640	445579	856276	1327933
lo03	22345089	18704545	13870402	4947107	479155	271287	186264	310484	1518946	6551150	12599289	19374119
lo04	28665168	24122465	17081920	2714751	588310	376047	274007	423047	2858961	9046796	17328679	26510120
lo05	18788550	15132275	9983821	1577700	273325	153212	106757	157871	1721594	5666159	11217449	17450258
mt01	4812776	3735387	2432990	1259435	446706	257127	181540	271799	537439	1628303	3077763	4600460
mt02	4755160	3704718	2417133	188277	86593	60241	45813	70223	483700	1470845	2886691	4469879
mt03	2053696	1403228	745233	178956	142323	94691	69661	109232	256159	660406	1224650	1875324
te01	5610768	4559448	3363034	1446958	679187	410140	293652	445198	954193	2373477	3889921	5353159
te02	5183375	4460430	3195734	1692454	838305	492379	349305	524304	1004881	2299454	3536929	4831647
te03	25006258	20476872	14922623	7151903	3354919	2002048	1428179	2153624	4445948	10783501	17927207	23814044
te04	12039400	10127547	7300643	3053593	974631	593019	424263	656263	1526064	4455100	7609241	10848933
te05	2115190	1704883	1265102	412606	63267	35245	23831	40337	174547	643299	1221744	1864045
te06	5840975	4800817	3528286	1671836	676006	403930	287997	435409	915666	2366214	4063369	5557159
te07	4489207	3779770	2702936	1187987	436965	268646	193041	298038	643638	1767569	2930606	4089330
te08	10999696	9011117	6537074	3122687	1227528	717988	505082	768102	1619046	4294740	7491748	10429848
te09	2653276	2251534	1683535	955029	96924	51066	34293	51066	112686	676529	1497773	2476419
te10	4172427	3266943	2321531	627278	116555	64457	43338	73495	369158	1279500	2457178	3751021
te11	5043217	3848869	2478553	442369	86840	47817	32098	54151	419716	1509246	3008319	4637301
Total	167326438	137500135	97607643	33101306	10597100	6318063	4492720	6863974	19755412	58273375	105530468	154365136

Fuente: Elaboración propia

IV.4.5.6 Precipitación Efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, se utilizará la información estadística de las estaciones pluviométricas correspondientes a la cuenca del Mataquito y asociadas a las zonas de riego según su ubicación geográfica.

Para estos efectos se ha definido el riesgo agronómico en el mes 50%, es decir, la precipitación efectiva agronómica se definió como aquella que tiene probabilidad de excedencia mensual de 50 %. Dicha precipitación será obtenida mediante un análisis de frecuencia de Weibull sobre la información pluviométrica detallada en el punto IV.4.13 del presente informe.

IV.4.5.7 Percolaciones

La estimación del caudal percolado, que forma parte del balance hídrico del acuífero y de la zona de riego correspondiente, se realiza mediante el coeficiente de percolación obtenido directamente por la nueva versión de MAGIC, a partir de antecedentes de

textura del suelo y de la relación que posee con los coeficientes de riego (eficiencias de métodos de riego) y de derrame.

Adicionalmente, la textura del suelo permite estimar los valores que permiten el cálculo de la fracción percolada hacia el acuífero, en función de parámetros del modelo pluvial MPL tales como la porosidad efectiva, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Para la determinación de la porosidad efectiva se considera la Tabla 4.3.1 de "Hidrología Aplicada" Chow et al. 1994, la cual se muestra en la Figura 4-17. El resto de los parámetros mencionados fueron obtenidos del software "Soil Water Characteristics"¹.

Figura 4 - 17. Parámetros de Infiltración

TABLA 4.3.1
Parámetros de infiltración de Green-Ampt para varias clases de suelos

Clase de suelo	Porosidad η	Porosidad efectiva θ_e	Cabeza de succión del suelo en el frente de mojado ψ (cm)	Conductividad hidráulica K (cm/h)
Arena	0.437 (0.374-0.500)	0.417 (0.354-0.480)	4.95 (0.97-25.36)	11.78
Arena margosa	0.437 (0.363-0.506)	0.401 (0.329-0.473)	6.13 (1.35-27.94)	2.99
Marga arenosa	0.453 (0.351-0.555)	0.412 (0.283-0.541)	11.01 (2.67-45.47)	1.09
Marga	0.463 (0.375-0.551)	0.434 (0.334-0.534)	8.89 (1.33-59.38)	0.34
Marga limosa	0.501 (0.420-0.582)	0.486 (0.394-0.578)	16.68 (2.92-95.39)	0.65
Marga arenarcillosa	0.398 (0.332-0.464)	0.330 (0.235-0.425)	21.85 (4.42-108.0)	0.15
Marga arcillosa	0.464 (0.409-0.519)	0.309 (0.279-0.501)	20.88 (4.79-91.10)	0.10
Marga limo arcillosa	0.471 (0.418-0.524)	0.432 (0.347-0.517)	27.30 (5.67-131.50)	0.10
Arcilla arenosa	0.430 (0.370-0.490)	0.321 (0.207-0.435)	23.90 (4.08-140.2)	0.06
Arcilla limosa	0.479 (0.425-0.533)	0.423 (0.334-0.512)	29.22 (6.13-139.4)	0.05
Arcilla	0.475 (0.427-0.523)	0.385 (0.269-0.501)	31.63 (6.39-156.5)	0.03

Los números entre parentesis debajo de cada parametro son una desviación estándar alrededor del valor del parametro dado. Fuente: Rawls, Brakensiek y Miller, 1983

La identificación de la textura de los suelos, se hará haciendo uso de la clasificación de suelos contenido en el *estudio integral de riego*, donde asociado a las variaciones de serie identificadas se incorpora la textura predominante de cada una. Esta

¹ <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>

información se está preparando, esperando obtener una cobertura de gran parte del valle a través de esta metodología.

Por otro lado, el estudio integral de riego también incorpora una estimación del coeficiente de percolación y de la eficiencia de riego, valores que serán utilizados para corroborar los calculados mediante el método que MAGIC utiliza. Los valores del coeficiente de percolación y eficiencia de riego se presentan en el cuadro 4-15.

Cuadro 4 - 15. Coeficiente de Percolación y Eficiencia de riego por Zonas de Riego Cuenca del Mataquito

Zona de Riego	Percolación	Ef pred 24 hrs de riego ²	Ef pred 14 hrs de riego ³
te01	0.45	0.65	0.38
te02	0.33	0.65	0.38
te03	0.21	0.68	0.4
te04	0.42	0.68	0.4
te05	0.42	0.68	0.4
te06	0.16	0.7	0.41
te07	0.27	0.7	0.41
te08	0.26	0.655	0.38
te10	0.75	0.655	0.38
te09	0.26	0.655	0.38
te11	0.75	0.655	0.38
lo01	0.7	0.57	0.33
lo02	0.73	0.57	0.33
lo03	0.53	0.6	0.35
lo04	0.66	0.6	0.35
lo05	0.66	0.6	0.35
mt01	0.35	0.66	0.39
mt02	0.35	0.66	0.39
mt03	0.62	0.595	0.35

Fuente: Estudio integral de la cuenca del Mataquito.

IV.4.5.8 Derrames o Retornos

Los derrames o retornos se entienden como aquellas aguas que se aplicaron en la zona de riego pero que no fueron aprovechadas durante el riego ni percolaron hacia el acuífero. Dichas aguas se trasladan en forma superficial o subsuperficial hacia aguas abajo hasta volver a aparecer en la superficie.

Para la estimación del coeficiente equivalente de derrame, MAGIC requiere los parámetros del suelo explicados en el punto de percolación, puesto que dicho coeficiente se obtiene mediante continuidad entre la eficiencia de riego, el derrame y

² Eficiencia de riego con aprovechamiento interno de los derrames que se producen durante 24 horas de riego.

³ Eficiencia de riego con aprovechamiento interno de los derrames que se producen durante 14 horas de riego.

la percolación asociada a cada cultivo. Como se explicó anteriormente, esta nueva versión de MAGIC calcula de manera automática los coeficientes de derrame asociados a cada sector de cada zona de riego y para cada mes, estimando con los parámetros anteriores la cantidad de agua aplicada que fluye como escorrentía superficial o subsuperficial.

Los derrames fueron analizados en el *estudio integral de riego*, incorporando antecedentes respecto a estimaciones y a esquemas de distribución de derrames en función de las zonas de riego. Se menciona que los derrames dentro de la zona de Teno y Lontué, son considerables y permiten el riego, junto a aportes de aguas subterráneas, a varias zonas de riego tales como te05, te09, te11 y lo05. Para efectos de una futura implementación de MAGIC en la Cuenca del Mataquito, se deberán realizar estimaciones de los coeficientes de derrames en conjunto con las percolaciones, además de generar un esquema de distribución de los derrames.

IV.4.5.9 Identificación de Zonas Cultivables y No Cultivables.

La versión 2.0 de MAGIC distingue dentro de las zonas de riego las Áreas Cultivadas de las Áreas No Cultivadas, calculando para ambas la Necesidad Neta Mensual demandada. El cálculo de la NNM del área cultivable de las zonas de riego se realizó en el punto IV.4.5.8, mientras que para el área no cultivable se consideran los siguientes criterios, de los cuales el más adecuado será definido por el usuario:

- a) Calcular la NNM considerando datos reales, para lo cual se requerirían fotografías aéreas que permitan estimar la superficie no cultivada y observar el tipo de vegetación existente en estas áreas, o bien, información actualizada sobre el uso actual del suelo en la cuenca.
- b) Calcular la NNM considerando una proyección sobre el futuro uso que se le puede otorgar a la zona de riego no cultivada, estimando así las demandas considerando escenarios futuros.
- c) Calcular la NNM considerando, para fines prácticos, que la superficie no cultivada corresponde a praderas, otorgándole así la demanda de agua asociada a este tipo de uso de suelo, lo que permite obtener una aproximación de la necesidad real.

En los dos primeros criterios se requiere información sobre el uso de suelo actual o futuro sobre las zonas no cultivadas, lo cual permite obtener valores sobre las necesidades de demanda de la superficie, así como el caudal que percola o escurre superficialmente en dichas zonas producto de la precipitación que cae a la cuenca. Dicha precipitación se obtiene del cálculo de la precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico explicado anteriormente.

La relación de la superficie cultivada con respecto a la superficie no cultivada, se analizó en el punto IV.4.5.3 del presente informe, siendo los resultados presentados en el cuadro 4-10.

IV.4.6 Centrales Hidroeléctricas

En la cuenca del Río Mataquito no existen centrales hidroeléctricas

IV.4.7 Embalses

Este objeto posibilita la representación de una obra de regulación de caudal ubicada en cualquier lugar de la cuenca de estudio, que recibe agua de acuerdo a los aportes definidos mediante la topología y entregan agua de acuerdo a cierta regla de operación característica. Las entradas al embalse corresponden a los caudales afluentes desde cuencas (cabecera o intermedias) y desde canales alimentadores. Las salidas pueden ser las entregas para riego y/o generación eléctrica (para energía con o sin generación), rebases, evaporación y filtración.

La información necesaria para la incorporación de estos elementos se asocia a características generales (inicio operación, volúmenes, cotas, etc.), reglas de operación (curva de alerta), caudales de demandas, caudales de filtraciones, caudales de entregas, volumen embalsado, caudal de rebases, curvas de embalse y tasa de evaporación.

De acuerdo a los antecedentes existentes, en la cuenca del Río Mataquito existe sólo un embalse, ocupado para la regulación con fines de riego, denominado El Planchón. Este embalse permite regular los recursos hidrológicos afluentes a dos lagunas naturales denominadas Lagunas de Teno o del Planchón. Estas lagunas están ubicadas en la cordillera, a poco más de de 2.400 m sobre el nivel del mar, a unos 100 km al oriente de la ciudad de Curicó y a unos 5 km de la frontera con Argentina.

Estas dos lagunas denominadas Laguna Grande y Laguna Chica, cubren una superficie de aproximadamente 5,5 y 3,0 km² respectivamente y controlan una hoya hidrográfica de 39 km². Se sitúan en el nacimiento del Río Malo que constituía, hasta antes que se construyeran las obras de embalse, el desagüe natural de ellas. El Río Malo es afluente del Río Teno, por lo que estas lagunas permiten regular parcialmente los caudales de éste último.

La idea de utilizar estas lagunas para la regulación de caudales de regadío, surgió a principios de este siglo, a raíz de una prolongada sequía que afectó la región. Los primeros proyectos se remontan al año 1909 y las primeras faenas de construcción al año 1919, las que se prolongaron hasta 1928 en que fueron abandonadas. Posteriormente el proyecto de las obras de embalse del Planchón sufrió diversas alternativas hasta que entre 1945 y 1952 la Dirección de Riego tomó a su cargo el

estudio de rehabilitación de las obras parcialmente construidas y la terminación de las mismas. Esto dio como resultado el embalse actualmente en funcionamiento.

En el año 1978 se construyó un sistema de compuertas que controla el caudal que necesitan los regantes del Río Teno. Las compuertas están constituidas por dos grupos, donde cada grupo consta de dos compuertas inferiores y dos superiores, que en total cierran una sección de 1,5 m de ancho por 1,5 m de alto, cada una de ellas. El volumen de agua que se acumula en su punto máximo es de 70 millones de m³.

Actualmente es manejado por la Asociación de Canalistas del Río Teno, organización que utiliza el recurso acopiado en el embalse El Planchón, para suplir el déficit del agua del Río Teno.

De acuerdo a los resultados entregados en el modelo de simulación de la cuenca desarrollado en el *estudio integral de riego*, los requerimientos de embalse y caudales del Planchón, considerando la existencia de tranques de noche pueden resumirse en las siguientes cifras:

- a) Volumen de almacenamiento requerido:
 - 32 millones de m³ (con 85% de seguridad)
 - 55 millones de m³ (con 90% de seguridad)

- b) Capacidad de descarga:
 - 30 millones de m³ durante el primer mes de operación
 - 25 millones de m³ durante el segundo mes de operación.

En el estudio hidrológico general del informe ya mencionado, se indica que el caudal medio anual afluente al embalse El Planchón, alcanza a 2,14 m³/s. En el cuadro 4-16, se indican los caudales medios mensuales afluentes al embalse desde su hoya hidrográfica aportante y los volúmenes correspondientes a estos caudales.

Cuadro 4 - 16. Caudal y Volumen Medio Mensual Embalse El Planchón

Mes	Caudal Medio Mensual (m ³ /s)	Volumen Medio Mensual (millones m ³ /s)
Mayo	1,06	2,79
Junio	1,08	2,84
Julio	1,22	3,21
Agosto	1,16	3,05
Septiembre	1,71	4,49
Octubre	3,92	10,30
Noviembre	6,61	17,37
Diciembre	4,46	11,75
Enero	2,07	5,47
Febrero	0,97	2,55
Marzo	0,66	1,73
Abril	0,77	2,02

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", CICA. (1978)

Se indica además, que el volumen anual afluente al embalse, en un año promedio, alcanza a 67,57 millones de m³, de los cuales cerca del 60% (algo más de 39 millones de m³) son aportados durante los meses de deshielo intenso como Octubre, Noviembre y Diciembre. En un año relativamente húmedo, con 20% de probabilidad de excedencia, el caudal medio anual afluente al embalse, aumenta a 2,8 m³/s, lo que representa un volumen anual de 88,17 millones de m³. Por otro lado, en un año relativamente seco, con probabilidad de excedencia de 85%, el caudal medio anual afluente al embalse baja a 1,42 m³/s equivalente a un volumen anual de 45,27 millones de m³.

En lo que a caudales de crecidas se refiere el estudio señala que el informe hidrológico indica que el caudal máximo con un periodo de retorno de 1.000 años, alcanzaría a 38 m³/s.

- **Capacidad de embalse El Planchón**

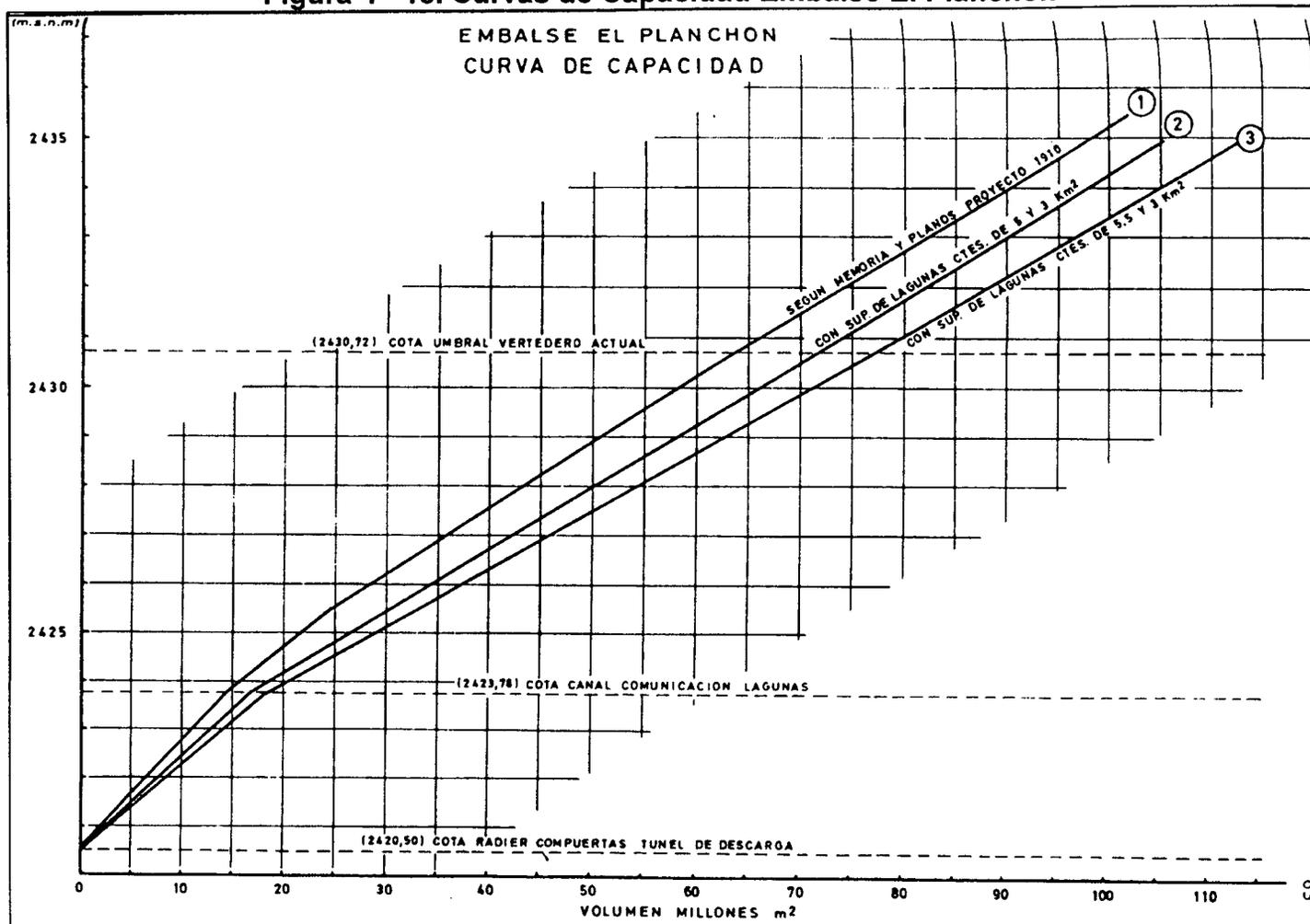
El *estudio integral de riego* realiza un detallado análisis de las fuentes de información para determinar la capacidad del embalse del Planchón y poder trazar la curva de embalse correspondiente. Se indica que dada la inexistencia de antecedentes de planos batimétricos de las lagunas y de planos topográficos de la zona, el análisis se basó en otros antecedentes existentes entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Memoria y Planos del Proyecto de los Ingenieros R. Anguita y E. Vidal de la Dirección de Riego, MOP. (1910)
- "Predicción de caudales en la cuenca del Río Teno y antecedentes para la operación de su sistema de riego". Memoria par optar al título de Ingeniero Civil de Pedro Schlack H. (1971)
- "Reactualización del Proyecto del Embalse del Planchón", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, de Carlos Kammel Ulrico. (1952)
- "Proyecto de Mejoramiento y Reconstrucción de las Obras Anexas del Embalse El Planchón", Emilio Donoso. (1974)
- "Embalse El Planchón, Sistema Unificado de Evacuación de Avenidas y Obra de Salida", Emilio Donoso. (1978)

En función de estos antecedentes se trazaron tres curvas de embalse, una asociada a antecedentes del proyecto de 1910 (Curva 1), otra asociada a la curvas deducida por Kammel (Curva 2) y por Schlack (Curva 3). que es similar a la supuesta por Donoso. Se menciona que la diferencia en capacidad de embalse, a cota umbral del vertedero actual, es de 11% entre las curvas 1 y 2, de 21% entre la 1 y 3, mientras que para las dos últimas (curvas 2 y 3) es de 7%. La Figura 4-18 muestra las tres curvas de embalse existentes.

Al igual que lo realizado en el *estudio integral de riego*, para efectos de este estudio se adoptará la curva 2 como representativa ya que esta se sitúa casi como un promedio de las otras dos. Según esta curva, la capacidad total del embalse con las obras existentes alcanzaría a 72 millones de m³.

Figura 4 - 18. Curvas de Capacidad Embalse El Planchón

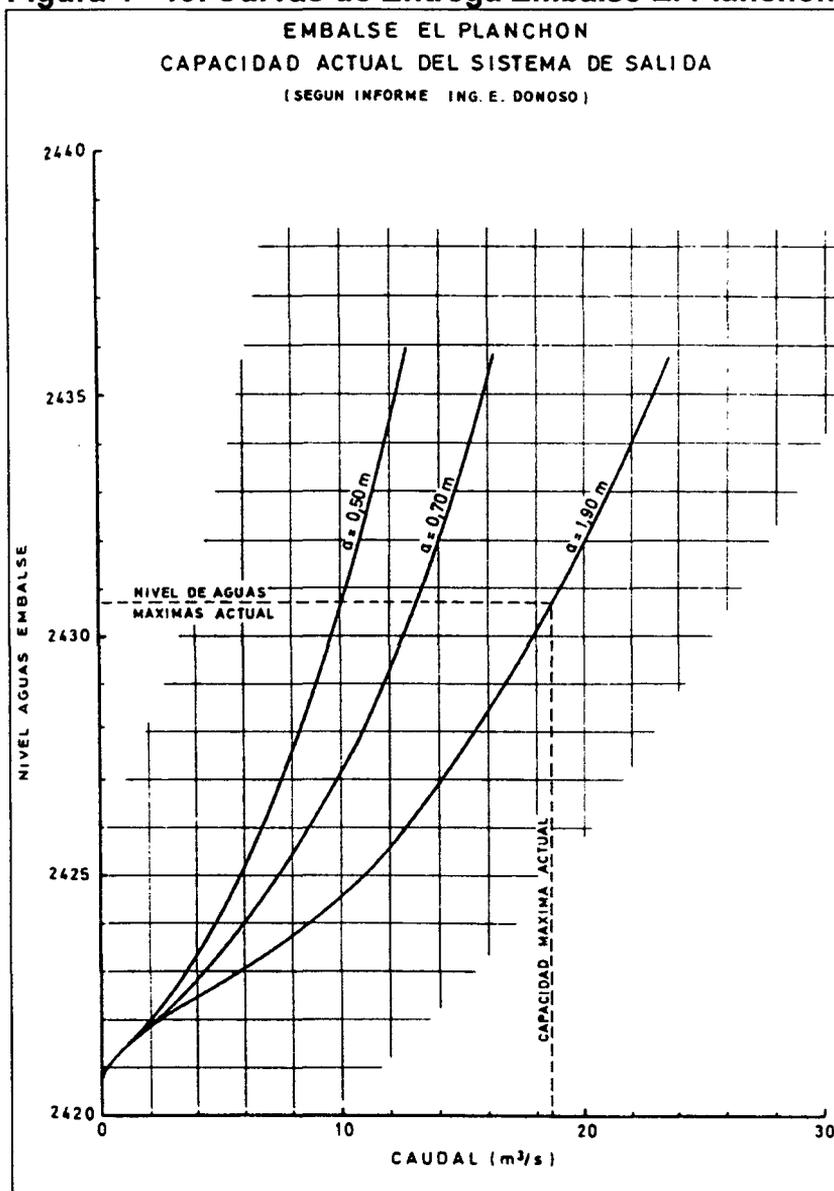


Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", CICA. (1978)

- **Capacidad Obras de Entrega Embalse El Planchón**

De acuerdo a lo indicado en el *estudio integral de riego*, la memoria "Proyecto de Mejoramiento y Reconstrucción de las Obras Anexas del Embalse El Planchón", se efectúa un detallado cálculo de la capacidad de las obras de entrega del embalse existente. En la Figura 4-19 se resumen los cálculos mencionados, detallando el caudal posible de entrega desde el embalse en función del nivel de aguas del mismo y de la abertura de las compuertas. Se concluye que el embalse es capaz de entregar $16,6 \text{ m}^3/\text{s}$ cuando el nivel de aguas es máximo y la abertura de las compuertas es total ($a=1,9$).

Figura 4 - 19. Curvas de Entrega Embalse El Planchón



Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", CICA. (1978)

En el *Estudio Integral de Riego* se indica que la curva de embalse cumple con los valores indicados en el cuadro 4-17, estos valores permiten parametrizar las curvas de embalse a través de relaciones polinomiales de grado 3 y los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4-18.

Cuadro 4 - 17. Curva de Embalse El Planchón

VOLUMEN(Mm ³)	COTA(m.s.n.m)	SUPERFICIE(Km ²)	CAUDAL(m ³ /s)(*)
0.00	2420.50	4.38	0.00
14.58	2423.78	4.51	4.50
24.69	2425.50	7.24	7.30
61.89	2430.50	7.64	13.00
101.74	2435.50	8.30	16.00
144.42	2440.50	8.77	-
188.94	2445.50	9.04	-

(*): Caudal entregado para una abertura de compuertas a=0.7m.

Cuadro 4 - 18. Cota(m.s.n.m), Superficie (Km²) y Caudal de entrega(m³/s) en función del Volumen(Mm³)

Variables	Curva
Cota(h) vs Volumen(V)	$h = -4.1926E-03 \cdot V^3 + 3.0688E+01 \cdot V^2 - 7.4865E+04 \cdot V + 6.0872E+07$
Superficie(S) vs Volumen(V)	$S = 1.8937E-06 \cdot V^3 - 7.3153E-04 \cdot V^2 + 9.6343E-02 \cdot V + 4.2297E+00$
Caudal(Q) vs Volumen(V)	$Q = 1.1117E-05 \cdot V^3 - 3.1575E-03 \cdot V^2 + 3.6375E-01 \cdot V - 3.5258E-02$

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 4-19 se incluyen los resultados de los caudales medios mensuales entregados por el embalse El Planchón durante los meses de Diciembre a Abril inclusive. En este cuadro se han incluido los promedios para el periodo Diciembre a Abril.

Con respecto a información de evaporación, el *estudio integral de riego* incluye valores de evaporación media mensual, calculadas en función de las estaciones Curicó y Potrero Grande. El Cuadro 4-20 se presentan estos datos.

Cuadro 4 - 19. Caudales Medios Mensuales entregados por el Embalse El Planchón (m³/s)

Año	Meses					Prom.
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	
51-52	0,78	3,90	6,80	3,50	0,10	3,02
52-53	0,00	7,70	7,90	3,50	0,20	3,86
53-54	5,60	6,40	4,50	3,10	0,20	3,96
54-55	0,00	5,60	1,60	3,40	0,00	2,12
55-56	0,00	7,70	6,20	3,40	0,00	3,46
56-57	0,00	7,60	3,00	3,40	0,40	2,88
57-58	0,00	6,70	4,70	3,40	0,40	3,04
58-59	0,20	6,50	1,70	3,40	0,30	2,42
59-60	3,70	6,40	3,00	3,40	0,20	3,34
60-61	0,00	9,40	8,10	3,40	0,50	4,28
61-62	2,60	0,90	4,90	3,30	0,20	2,38
62-63	0,00	0,90	8,60	3,60	0,20	2,66
63-64	8,90	7,50	4,90	3,30	0,20	4,96
64-65	0,00	7,30	6,50	3,50	0,10	3,48
65-66	2,20	6,60	8,20	3,30	0,30	4,12
66-67	2,40	7,50	4,90	3,30	0,20	3,66
67-68	0,00	7,30	6,20	3,40	0,20	3,42
68-69	0,00	10,80	13,00	3,20	0,10	5,40
69-70	1,10	7,40	11,90	3,60	0,10	4,82
70-71	0,00	10,50	12,70	3,70	0,10	5,40
71-72	0,20	9,30	12,40	3,50	0,40	5,16
72-73	8,70	6,40	4,50	3,00	0,20	4,56
73-74	0,00	7,30	9,00	3,50	0,30	4,02
74-75	0,20	4,60	8,90	3,50	0,30	3,50
75-76	1,10	4,50	2,00	3,40	0,00	2,20

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", CICA. (1978)

Cuadro 4 - 20. Evaporación Media Mensual [mm]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Curicó	231	179	131	74	32	32	26	46	74	109	170	208	1320
Potrero Grande	208	157	133	78	37	30	28	43	54	102	138	174	1182

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", CICA. (1978)

IV.4.8 Cuencas No Controladas

En esta área temática es posible identificar dos tipos de cuencas que MAGIC incorpora como objetos, las cuales corresponden al aporte natural y las cuencas laterales. El primero representa el aporte de caudal de una cuenca de cabecera del sistema en estudio hacia su punto de salida. Este caudal puede ser originado mediante datos observados en alguna estación fluviométrica, o bien, mediante generación sintética de caudales a través de algún modelo apropiado al tipo de cuenca (pluvial, nival o pluvio - nival). Las cuencas laterales en tanto, representan el aporte de caudal de una o más subcuencas ubicadas en el sistema descontando el área correspondiente de la zona de riego que pudiese existir en el sector. Esta caudal normalmente se obtiene a través de algún modelo sintético pluvial, y en caso excepcionales se obtiene a través de alguna estación fluviométrica. Para ambos casos, la información requerida para la implementación de MAGIC básicamente consiste en la definición de las cuencas y la serie de caudales mensuales en todo el período que será modelado.

Como base de trabajo se consideran los antecedentes existentes de subcuencas entregados por la DGA. Estas subcuencas fueron adecuadas al concepto de cuencas laterales que considera MAGIC, para lo cual habría que restarles los sectores de riego ya definidos.

En el Cuadro 4-21 se indican las cuencas de cabecera que se consideran en la generación de escorrentía.

Cuadro 4 - 21. Subcuencas de Cabecera (Aporte Natural) Cuenca del Río Mataquito

NOMBRE	ÁREA [km ²]	MODELO A APLICAR
Estero Volcan	215.97	Nivopluvial
Rio Los Patos hasta junta E. Volcan	162.38	Nivopluvial
Estero Upeo	366.60	Nivopluvial
Rio Claro	356.26	Nivopluvial
Rio Teno bajo junta Rio del Pellejo	235.13	Nivopluvial
Rio Colorado bajo junta Rio de Valle Grande	319.29	Nivopluvial
Estero Curepto (Cabecera)	144.22	Pluvial

Fuente: Elaboración Propia y "Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas, Cuenca del Río Mataquito", INECON, Enero 1998.

En el Cuadro 4-22 se muestra un resumen de las cuencas laterales asociadas a cada uno de los ríos y que serán adecuados al concepto de cuencas laterales de MAGIC.

Cuadro 4 - 22. Subcuencas Laterales Cuenca del Río Mataquito

NOMBRE	ÁREA [km ²]	MODELO APLICADO
Río Colorado entre Valle Grande y bajo E. Las Mulas	295.17	Nivopluvial
Río Palos entre Estero Volcan y Río Colorado	123.74	Nivopluvial
Río Colorado entre E. Las Mulas y Río Patos	264.32	Nivopluvial
Río Teno entre Río del Infiernillo y Río Claro	269.30	Nivopluvial
Río Teno entre Río del Pellejo y bajo junta Río del Infiernillo	352.29	Nivopluvial
Río Mataquito entre E. La Pellana y E. Curepto	244.89	Pluvial
Río Mataquito entre E. Tonlemo y E. San José	446.74	Pluvial
Estero Rauco	298.40	Pluvial
Río Teno entre E. S/N y bajo junta E. Rauco	171.48	Pluvial
Río Mataquito entre E. Tonlemo y bajo E. la Pellana	231.37	Pluvial
Estero Guaiquillo	492.02	Pluvial
Río Mataquito entre E. Curepto y desembocadura	110.92	Pluvial
Río Teno entre Río Claro y bajo junta Estero S/N	206.10	Pluvial
Río Mataquito entre junta ríos Teno y Lontue y bajo Estero San José	221.74	Pluvial
Río Lontue entre junta Ríos Colorado y Patos y E. Guaiquillo	213.58	Pluvial
Río Lontue entre E. Guaiquillo y Río Teno	324.55	Pluvial
Estero Curepto	274.79	Pluvial

Fuente: Elaboración Propia y "Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas, Cuenca del Río Mataquito", INECON, Enero 1998.

La generación de escorrentía para la parte alta de la cuenca modelada, se deberá utilizar un modelo nivopluvial, mientras que para la parte baja de la cuenca del río Mataquito se deberá implementar un modelo exclusivamente pluvial. La cuenca del Mataquito posee un total de 11 subcuencas de régimen nivopluvial y 13 subcuencas de régimen pluvial.

En la Figura 4-20 se muestran las diferentes subcuencas del Mataquito, diferenciándose cada una de ellas entre Aporte Natural (Cuenca de Cabecera) y Cuenca Lateral, mientras que en la Figura 4-21 se muestra el régimen que posee cada una de las subcuencas.

Figura 4 - 20. Tipos de SubCuenca consideradas en la Cuenca del Río Mataquito

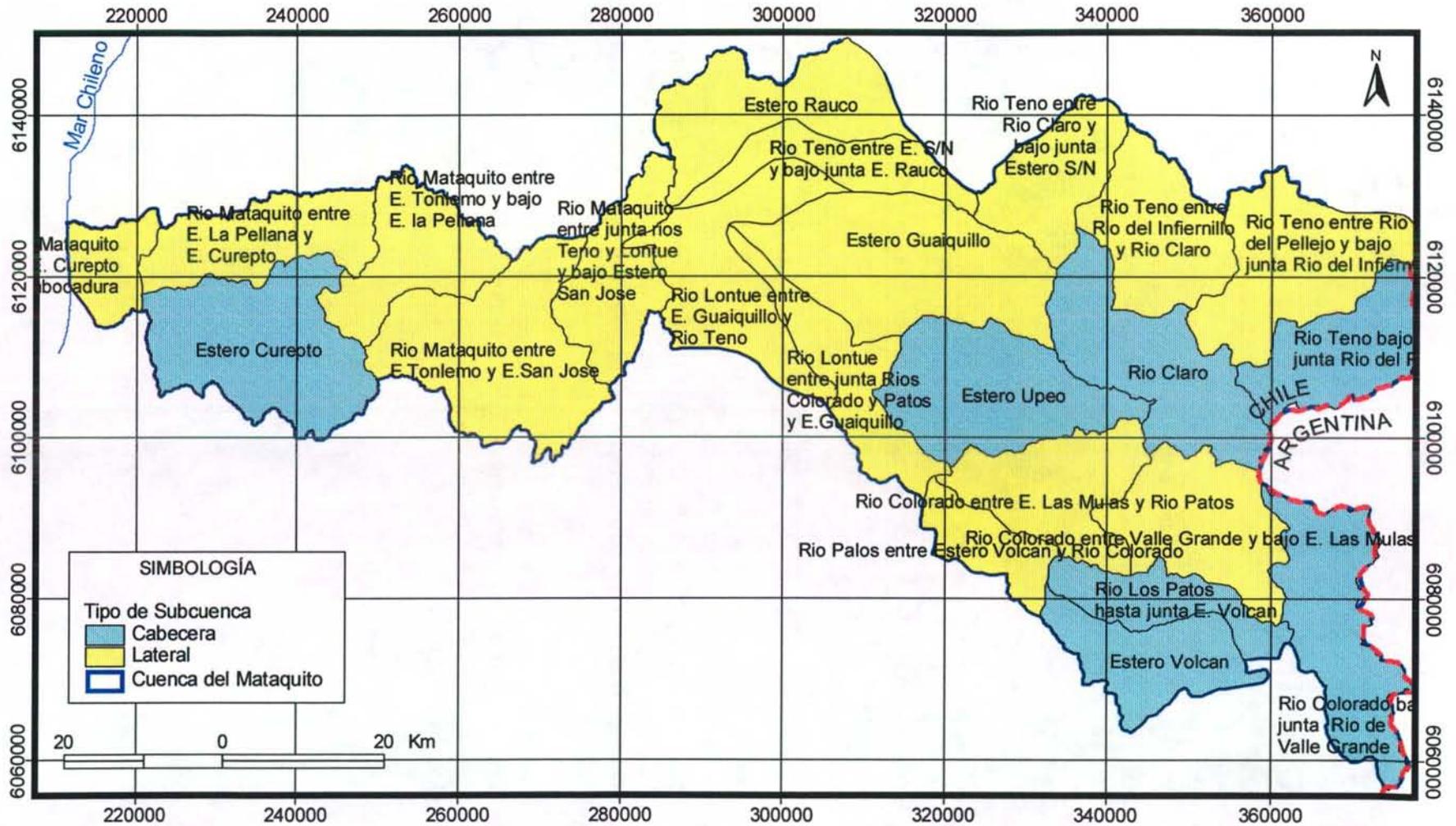
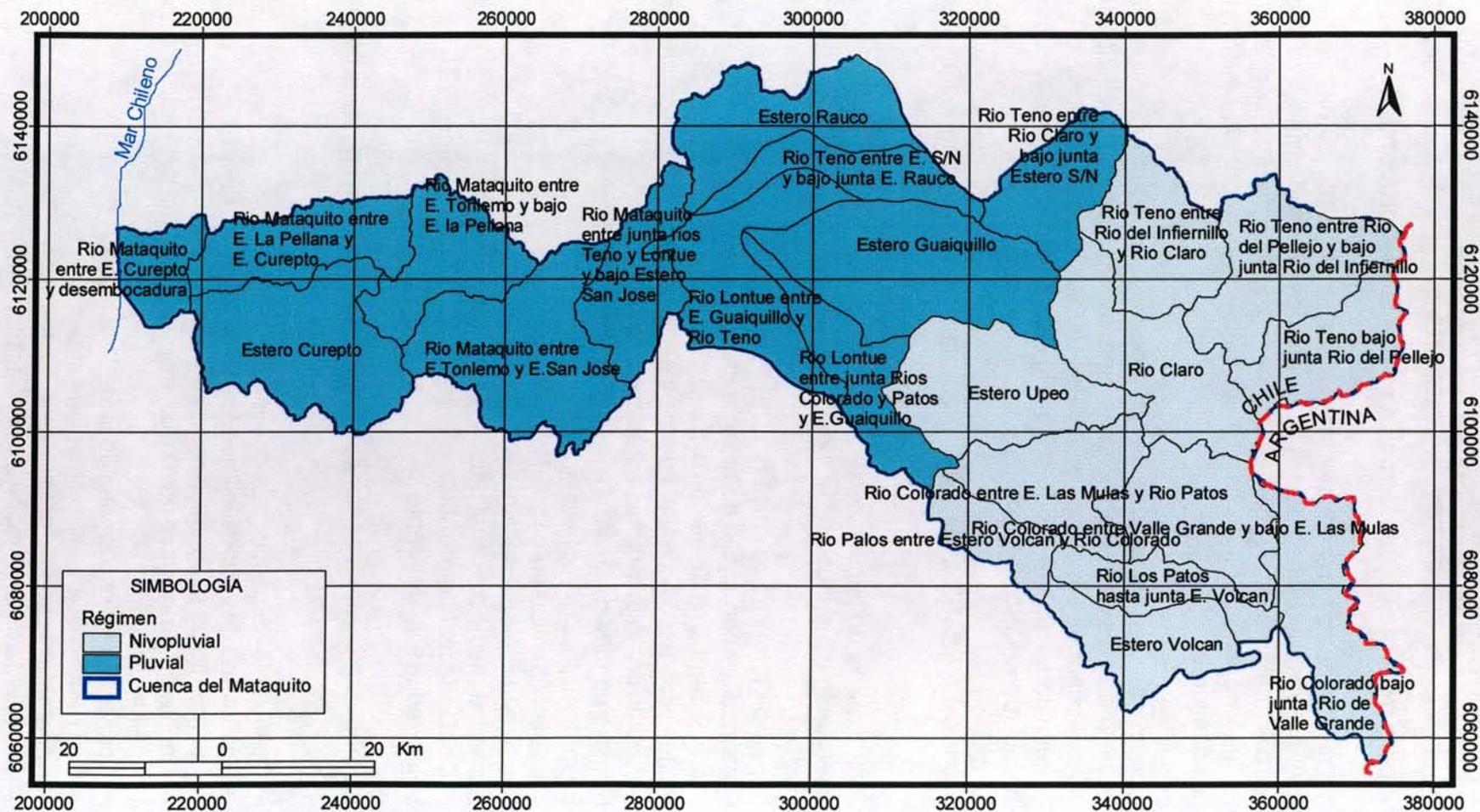


Figura 4 - 21. Tipos de Régimen considerados en la Cuenca del Río Mataquito



- **Datos para generación de Caudales con el Modelo Nivopluvial**

Del total de 11 subcuencas con régimen nivopluvial, es posible obtener para 3 de ellas estadísticas en base a las estaciones fluviométricas con información disponible. De las subcuencas restantes se recomienda, para trabajos futuros con el modelo MAGIC, realizar una transposición de caudales a aquellas cuencas de características geomorfológicas similares.

En aquellas subcuencas en que ninguno de los procedimientos anteriores sea posible se recomienda, para efectos de una futura implementación de MAGIC a esta cuenca, generar una serie de caudales medios mensuales mediante un modelo nivopluvial de generación, el cual podrá ser el Modelo de Stowhas o un modelo de generación compuesto por dos submodelos integrados (uno nival y otro pluvial).

En cuanto al modelo de Stowhas, los requerimientos de información son los siguientes:

- Latitud media de la cuenca.
- Coeficientes mensuales de horas de luz correspondientes a la latitud media.
- Superficie total de la cuenca (km²).
- Cota media y porcentaje de área de cada banda.
- Humedad máxima de suelos o capacidad de campo de cada banda.
- Estadísticas a nivel mensual de las siguientes variables meteorológicas:
- Precipitación en una o más estaciones base.
- Número de días de lluvia.
- Evapotranspiración potencial.
- Evaposublimación potencial de nieves.
- Temperatura media del aire en una estación base.
- Humedad media mensual del aire.
- Nubosidad media mensual.
- Velocidad media del viento.

En cuanto a los parámetros del modelo, éste cuenta con un mínimo de 13 parámetros a saber:

1. CEN = Coeficiente de escorrentía de nieve estacional.
2. BB = Coeficiente de evaposublimación de nieve.
3. B = Coeficiente de evapotranspiración potencial.
4. HNTOT = Equivalente en agua medio de la nieve a partir del cual la banda se cubre totalmente de ella (mm).
5. CEP = Coeficiente de escorrentía de lluvia.
6. CKS = Constante de tiempo de embalses superficiales.
7. CK = Constante de tiempo del embalse subterráneo.
8. FKP = Coeficiente de exposición a la radiación.

9. FK = Coeficiente de exposición al viento.
10. GRT = Gradiente térmico de la atmósfera. (°C/km)
11. CLOUDK= Coeficiente del tipo de nubes.
12. DRMIN = Tasa de derretimiento mínimo o constante de la fórmula de derretimiento. (mm/mes)
13. COFDRT = Factor de corrección a la fórmula de derretimiento, para nieve estacional.

A fin de dar mayor versatilidad al uso del modelo, se han incorporado como parámetros los siguientes datos, para los casos en que esta información no esté disponible:

14. FP(1) = Factor de precipitación de la banda 1
15. FP(2) = Factor de precipitación de la banda 2
16. FP(3) = Factor de precipitación de la banda 3
17. FP(4) = Factor de precipitación de la banda 4
18. FP(5) = Factor de precipitación de la banda 5
19. TU = Temperatura media mensual umbral que distingue entre precipitación líquida y precipitación sólida. (°C)
20. FKPG = Coeficiente de exposición a la radiación solar de los glaciares.

En cuanto al método de generación compuesto por dos submodelos integrados, corresponde a un modelo formado por dos componentes: por una parte, un modelo de generación de escorrentía MPL para la parte pluvial de la cuenca en la cual se desea generar caudales, y un modelo analítico de generación de caudales en cuencas nivales. El MPL es un modelo de simulación hidrológico basado en la generación de escorrentía superficial y subterránea a partir de estadística pluviométrica, propiedades físicas de suelos y acuíferos, y parámetros a calibrar en función de datos observados; en tanto el modelo nival corresponde a un modelo estadístico basado en registros de alturas de nieve, el cual mediante parámetros analíticos genera caudales de escorrentía superficial. En este sentido se debe destacar la importancia en la existencia de rutas de nieve en la cuenca o puntos de mediciones de altura de nieve. Se ha consultado a la DGA respecto a la disponibilidad de esta información, siendo indicado que existe una ruta de nieve correspondiente a la estación Dormida. Se ha solicitado estos antecedentes siendo incorporados en el Anexo 4.3.

Este consultor recomienda el uso del método de generación compuesto, dado la simplicidad de este, a que se cuenta con datos necesarios y a que los resultados obtenidos en otras aplicaciones, son adecuados para la implementación de Magic.

- **Datos para generación de Caudales con el Modelo MPL**

De las 13 subcuencas con régimen pluvial, solo en una de ellas es posible generar información basándose en las estadísticas fluviométricas disponibles. Para el resto se

recomienda, para trabajos futuros con el modelo MAGIC, generar la estadística de caudales medios mensuales mediante el modelo MPL.

El modelo MPL requiere como información básica las estadísticas medias mensuales de precipitación y evaporación sobre la cuenca, además de los siguientes parámetros:

- A : Coeficiente que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca.
- B : Coeficiente que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca.
- FC : Tasa de infiltración correspondiente al suelo saturado ($s=1$).
- α : Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad.
- S_{min} : Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente.
- S_{crit} : Grado de humedad crítico, bajo el cual la tasa de evaporación real decrece linealmente.
- S_{CC} : Grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo.
- H_{max} : Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado.
- K : Constante de tiempo del embalse subterráneo.
- P_{min} : Porcentaje de lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata.
- Área : Área de la cuenca.
- S_i : Grado de humedad inicial.
- EZ_i : Escorrentía subterránea inicial.

En cuanto a la estadística de evaporación, en la cuenca del Mataquito se encuentran las estaciones Curicó y Potrero Grande. En el Cuadro 4-23 se muestra el valor medio mensual de evaporación en estas estaciones.

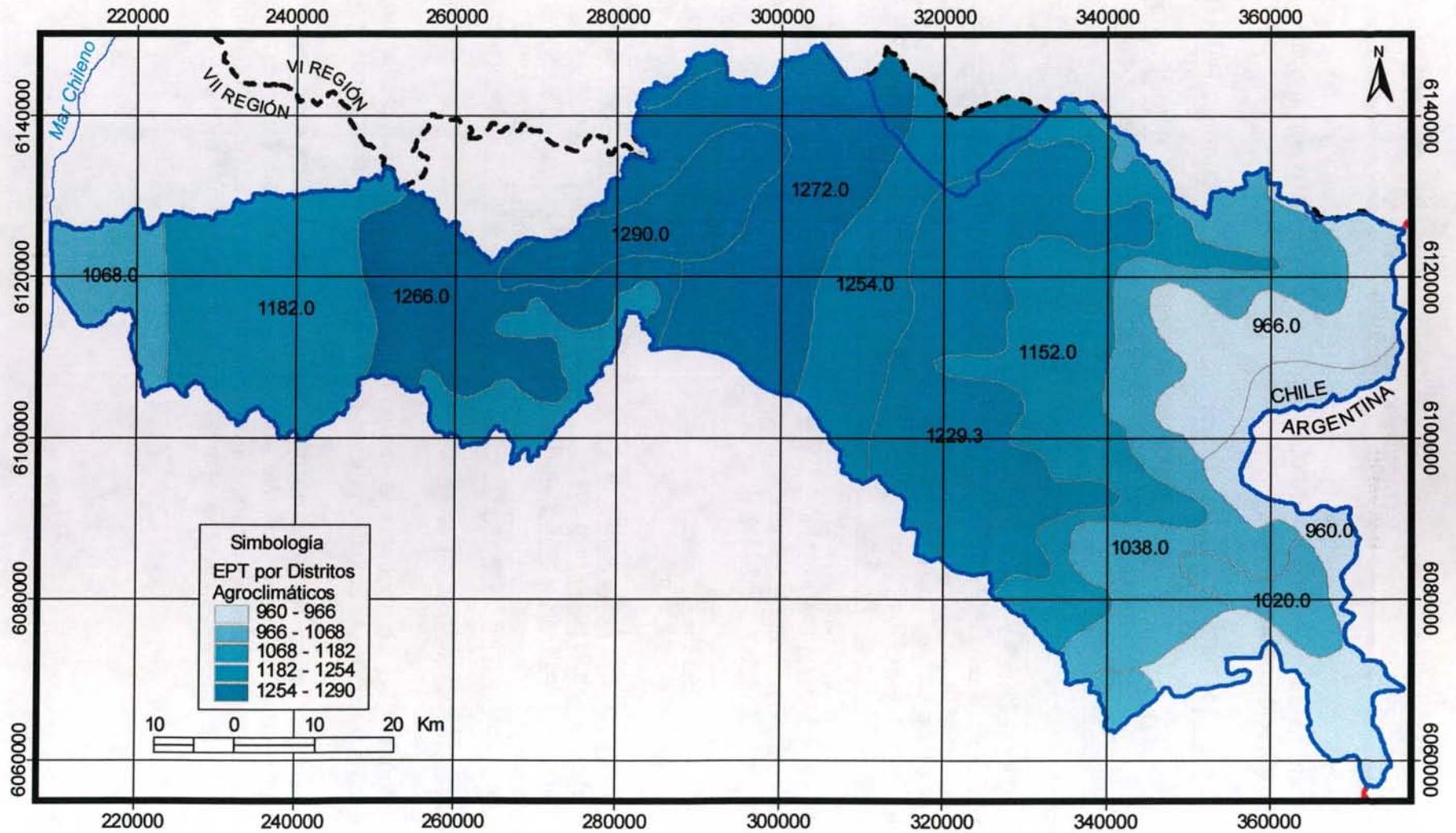
Cuadro 4 - 23. Evaporación Media Mensual[mm]

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Curicó	231	179	131	74	32	32	26	46	74	109	170	208	1320
Potrero Grande	208	157	133	78	37	30	28	43	54	102	138	174	1182

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito", CICA, B&P, HTS, Marzo 1978

Se dispone además de información obtenida del "Atlas Agroclimático de Chile" (Universidad de Chile, 1993) referida a evapotranspiración potencial en toda la cuenca del Mataquito. La Figura 4-22 muestra la distribución de la evapotranspiración potencial media anual en toda la cuenca del Mataquito. Se dispone además de esta información como promedio mensual para toda la cuenca.

Figura 4 - 22. Evapotranspiración Potencial por Distritos Agroclimáticos Cuenca del Río Mataquito



En el Cuadro 4-24 se presentan las características principales de las cuencas de interés, junto a su estación pluviométrica más cercana y el valor medio anual de evapotranspiración potencial.

Cuadro 4 - 24. Datos para Generación de Caudales en Cuencas Pluviales

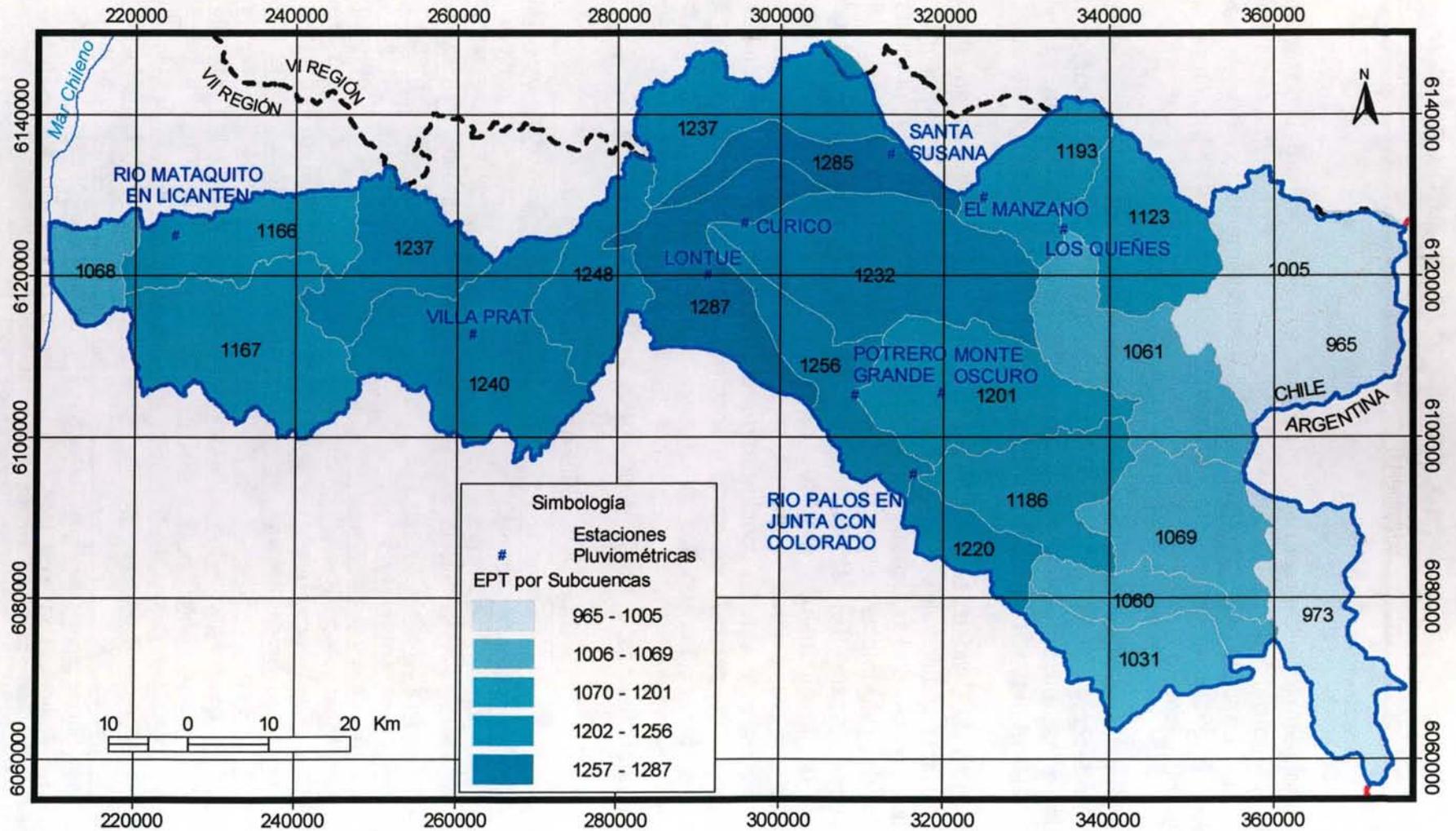
NOMBRE	ÁREA [km ²]	ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	EV. POT [mm]
Estero Volcán	215.97	Monte Oscuro	1040
Río Los Patos hasta junta E. Volcán	162.38	Monte Oscuro	1058
Estero Upeo	366.60	Monte Oscuro	1190
Río Claro	356.26	Los Queñes	1063
Río Teno bajo junta Río del Pellejo	235.13	Los Queñes	964
Río Colorado bajo junta Río de Valle Grande	319.29	Monte Oscuro	1006
Estero Curepto (Cabecera)	144.22	Villa Prat	1182
Río Colorado entre Valle Grande y bajo E. Las Mulas	295.17	Monte Oscuro	1066
Río Palos entre Estero Volcán y Río Colorado	123.74	Monte Oscuro	1217
Río Colorado entre E. Las Mulas y Río Patos	264.32	Monte Oscuro	1175
Río Teno entre Río del Infiernillo y Río Claro	269.30	Los Queñes	1131
Río Teno entre Río del Pellejo y bajo junta Río del Infiernillo	352.29	Los Queñes	1027
Río Mataquito entre E. La Pellana y E. Curepto	244.89	Villa Prat	1153
Río Mataquito entre E. Tonlemo y E. San José	446.74	Villa Prat	1243
Estero Rauco	298.40	Santa Susana	1274
Río Teno entre E. S/N y bajo junta E. Rauco	171.48	Santa Susana	1274
Río Mataquito entre E. Tonlemo y bajo E. la Pellana	231.37	Villa Prat	1232
Estero Guaiquillo	492.02	Curicó	1242
Río Mataquito entre E. Curepto y desembocadura	110.92	Villa Prat	1068
Río Teno entre Río Claro y bajo junta Estero S/N	206.10	El Manzano	1201
Río Mataquito entre junta ríos Teno y Lontué y bajo Estero San José	221.74	Villa Prat	1253
Río Lontué entre junta Ríos Colorado y Patos y E. Guaiquillo	213.58	Potrero Grande	1256
Río Lontué entre E. Guaiquillo y Río Teno	324.55	Lontué	1278
Estero Curepto	274.79	Villa Prat	1153

Fuente: Elaboración Propia y "Atlas Agroclimático de Chile", Universidad de Chile, 1993.

En la Figura 4-23 se muestra la evapotranspiración potencial media anual por subcuenca además de la ubicación de las estaciones pluviométricas consideradas.

En relación con las estadísticas de precipitación, en el anexo 4.4 se presentan las estadísticas observadas en las diferentes estaciones ubicadas en la cuenca del Mataquito. Esta información permite, mediante un factor de corrección, asignar una estadística de precipitación representativa para cada una de las subcuencas pluviales.

Figura 4 - 23. Evapotranspiración Potencial por Subcuenca y Estaciones Pluviométricas. Cuenca del Río Mataquito



IV.4.9 Descargas Puntuales

Este objeto permite la representación de una o varias descargas de caudales en cualquier punto del sistema, lo que se traduce en un aporte mensual de caudal en dicho punto. La información requerida para la implementación de las descargas puntuales se refiere principalmente a su identificación y a la distribución de caudales mensuales descargados.

En este sentido es importante considerar la actividad industrial que se realiza en la zona y su descarga de RILes así como la descarga de aguas servidas domesticas desde las zonas urbanas ya que estos tipos de descargas tiene una magnitud que podría alterar el régimen fluvial de los cauces pertenecientes a la cuenca.

En el *Estudio de Calidad* se hace mención a descargas puntuales industriales y de aguas servidas municipales que se realizan en distintos cauces se la cuenca del Mataquito. La actividad industrial en la zona se desarrolla en diversas áreas como son agroindustrial, vitivinícola, elaboración de alimentos como fiambres y fideos y fabricación de lácteos. En este estudio se estimaron algunos valores de caudales de descarga de las industrias con su respectiva georeferenciación. Es importante considerar que estos datos no son de mediciones efectuadas sino de estimaciones realizadas para este estudio considerando la producción de cada industria. Además en el *estudio de calidad* se hace mención a las descargas de aguas servidas municipales producidas en los centros poblados y se resumen los caudales entregados por estas. En el Cuadro 4-25 se resumen las distintas fuentes de descarga cuantificadas, el caudal descargado y sus coordenadas UTM.

Cuadro 4 - 25. Fuentes de Descargas

Código	Nombre	Caudal(m ³ /s)	Este(UTM)	Norte(UTM)
DP-01	Aguas servidas Hualañe	0.004	243382	6126407
DP-02	Aguas servidas Licanten	0.003	227172	6124637
DP-03	Aguas servidas Curepto	0.005	223980	6113580
DP-04	Aguas servidas Curico	0.452	291450	6126400
DP-05	Aguas servidas Molina	0.093	289119	6114227
DP-06	Aguas servidas Lontue	0.034	291929	6119083
DP-07	Aguas servidas Rauco	0.009	288294	6133750
DP-08	Aguas servidas Teno	0.005	300540	6141550
DP-09	Aguas servidas Romeral	0.005	316650	6128600
DP-10	Iansa S.A.	0.611	295550	6122869
DP-11	Sociedad Agrícola Requingua Ltda.	0.001	286381	6121668
DP-12	Patagonia Chile S.A.	0.002	289029	6114688
DP-13	Vinícola Patacón Ltda.	0.006	294128	6116277
DP-14	Viña San Pedro S.A.	0.009	293350	6118750
DP-15	Nitripo S.A.	0.010	292210	6119365
DP-16	Sociedad Vinícola Miguel Torres S.A.	0.002	295150	6123750
DP-17	Francisco Corta y cía. Ltda.	0.003	295050	6123150

Fuente: "Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas de Huasco y Mataquito", GCF Ingenieros Consultores Limitada, Febrero 2006.

IV.4.10 Caudales Ecológicos

Un caudal ecológico representa un objeto especial que limita la extracción de agua desde un nodo perteneciente a cualquiera de los ríos del sistema. Esta restricción representa el caudal que siempre debe circular por el río, definido principalmente en base a criterios ambientales. La información que se debe disponer para especificar el caudal ecológico de un sistema, se refiere principalmente a la identificación y a la distribución de caudales mensuales a respetar.

En todos los antecedentes existentes en la Cuenca del Río Mataquito, se constató que no se incorpora información de caudales ecológicos. Por esta razón, para efectos de una futura implementación de MAGIC a esta cuenca, se debe solicitar antecedentes en el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) y/o realizar una exhaustiva revisión de los expedientes de derechos de aguas superficiales en la DGA regional. En caso de que no existan antecedentes suficientes, se sugiere determinar el caudal ecológico de acuerdo a lo señalado en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos.

La metodología adoptada por la Dirección Regional de Aguas para la determinación de los caudales ecológicos, fija como valor para este parámetro alguno de los valores obtenidos mediante los siguientes 4 criterios:

- i. $Q_{ec} = 10\%Q_{medio-anual}$
- ii. $Q_{ec} = 50\%Q_{min-del-estiaje-año-95\%}$
- iii. $Q_{ec} = Q_{330}$ (caudal que es excedido al menos 330 días al año)
- iv. $Q_{ec} = Q_{347}$ (caudal que es excedido al menos 347 días al año)

IV.4.11 Topología

Esta área temática incorpora aquellas tablas MAGIC que definen conectividades o distribución de caudales en nodos y tramos de ríos. Entre la información más relevante para completar las tablas respectivas, se encuentra los porcentajes de distribución de los caudales que llegan a un cierto punto, lo cual ha sido detallado en el punto IV.4.4 del presente informe, correspondiente a canales. Para complementar adecuadamente la distribución de caudales en esteros y otros cauces naturales, además de verificar la distribución realizada en canales, se ha solicitado al CIRH (Centro de Información de Recursos Hídricos) de la DGA antecedentes de los derechos superficiales existentes en la cuenca del Río Mataquito. Esta información no permite establecer una distribución de los derechos, ni mucho menos asociarlas a canales con extracciones en el Río Mataquito. De la información de derechos proporcionados por la DGA, es posible determinar que alrededor de un 90% de los

derechos se constituyen en esteros afluentes al Río Mataquito, mientras que sólo el 10% restante se relaciona con el Río Mataquito directamente.

Otro antecedente relevante en este punto, se refiere a los tramos de ríos y sus características de pendientes y longitud. Esta información ha sido preparada como un shape, el cual se adjunta en el respaldo digital correspondiente.

IV.4.12 Fluviometría

Los registros de caudales medios mensuales requeridos para la implementación del modelo MAGIC, se asocian a la estadística fluviométrica que permite definir los Aportes Naturales y las Cuencas Laterales indicados en el punto IV.3.8 *Cuencas No Controladas*. De igual manera, formarán parte de este registro las estaciones fluviométricas de la cuenca que son utilizadas como contraste de la calibración del modelo MAGIC. De esa forma las series de caudales observadas serán contrastadas con los caudales generados por MAGIC, que en caso de importantes diferencias se deberá realizar un proceso de calibración iterativa, hasta que los parámetros de ajuste sean aceptables.

La cuenca del Río Mataquito posee 11 estaciones de la DGA vigentes, de las cuales 7 cuentan con información anterior al año 1965. El Cuadro 4-26 presenta las estaciones existentes en la cuenca del Río Mataquito incorporando un detalle de la vigencia y el período con registros. Por otro lado, se ha recopilado en estudios realizados todos los antecedentes al respecto, encontrando 11 estaciones con estadística de alrededor de 40 años. El Cuadro 4-27 presenta el detalle de las estaciones con información procesada.

Cuadro 4 - 26. Estaciones Fluviométricas DGA en Cuenca del Río Mataquito

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AÑOS INFORMADOS	VIGENCIA
1	07123001-5	RIO MATAQUITO EN LICANTEN	6125054	773116	1987-2005	Vigente
2	07102001-0	RIO TENO EN LOS QUEÑES	6125387	334209	1938-1985	No Vigente
3	07102005-3	RIO TENO BAJO QUEBRADA INFIERNILLO	6120156	352553	1985-2005	Vigente
4	07103001-6	RIO CLARO EN LOS QUEÑES	6125387	334209	1929-2005	Vigente
5	07104001-1	ESTERO EL MANZANO ANTES JUNTA RIO TENO	6128855	321967	1959-1984	No Vigente
6	07104002-K	RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO	6125360	332688	1947-2005	Vigente
7	07112001-5	RIO COLORADO EN JUNTA CON PALOS	6095457	316554	1917-2005	Vigente
8	07115001-1	RIO PALOS EN JUNTA CON COLORADO	6095457	316554	1947-2005	Vigente
9	07116001-7	ESTERO UPEO EN UPEO	6104544	308776	1963-2005	Vigente
10	07120001-9	RIO MATAQUITO EN EL MORRILLO	6127997	282397	1916-1950	No Vigente
11	-	RÍO TENO EN PUENTE DE FERROCARRIL	6137659	300459	-	-

Fuente: CIRH DGA

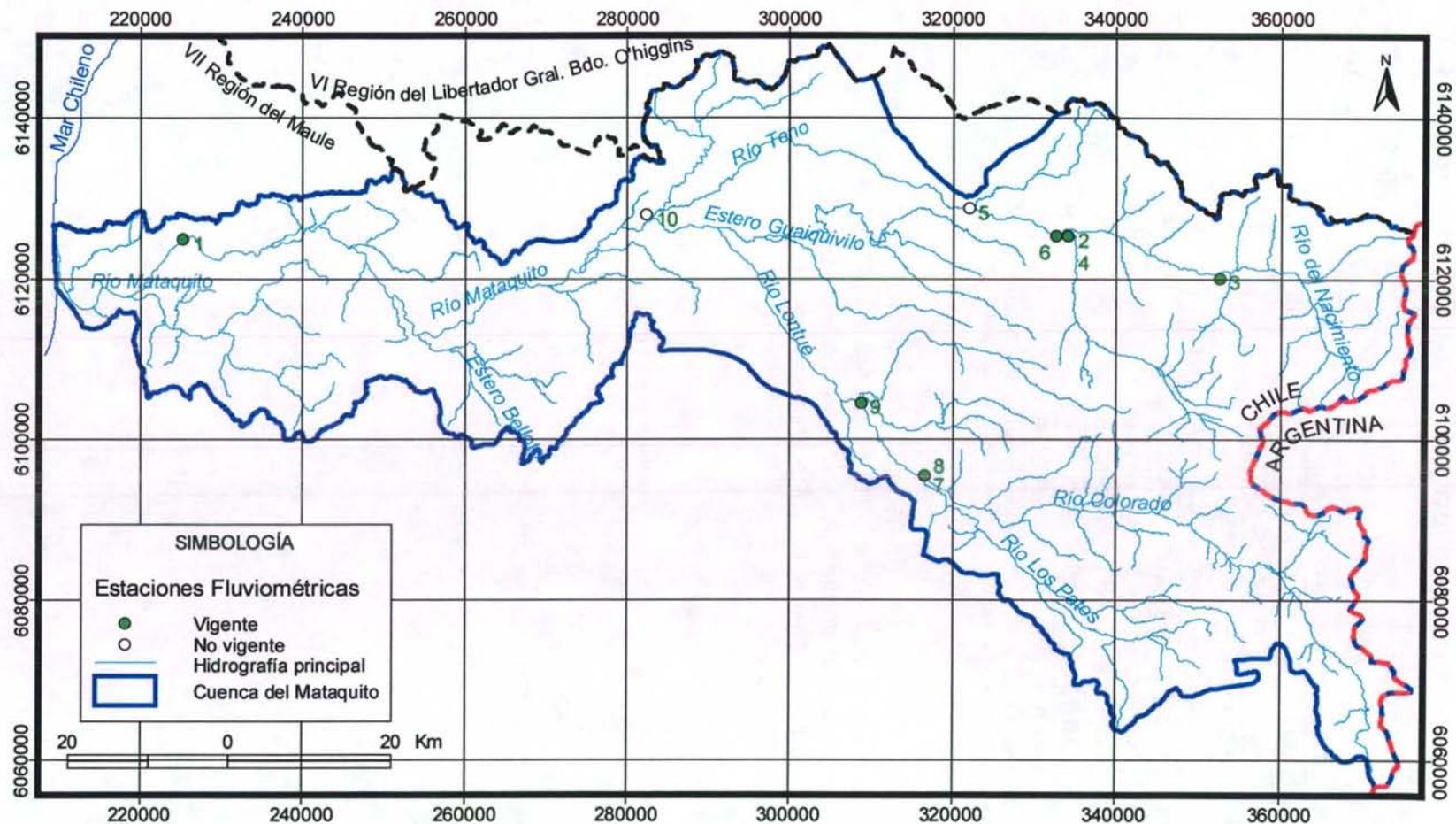
Cuadro 4 - 27. Estaciones Fluviométricas en Estudios Realizados

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	AÑO INICIO ESTADISTICA	AÑO FIN ESTADISTICA
1	07123001-5	RIO MATAQUITO EN LICANTEN	1987	2003
2	07102001-0	RIO TENO EN LOS QUEÑES	1964	2000
3	07102005-3	RIO TENO BAJO QUEBRADA INFIERNILLO	1970	2004
4	07103001-6	RIO CLARO EN LOS QUEÑES	1964	1990
5	07104001-1	ESTERO EL MANZANO ANTES JUNTA RIO TENO	1964	1990
6	07104002-K	RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO	1964	2004
7	07112001-5	RIO COLORADO EN JUNTA CON PALOS	1964	2004
8	07115001-1	RIO PALOS EN JUNTA CON COLORADO	1964	2004
9	07116001-7	ESTERO UPEO EN UPEO	1964	2004
11	-	RÍO TENO EN PUENTE DE FERROCARRIL	1964	1990

Fuente: "Análisis de caudales VI y VII región", Prisma Ingeniería Limitada, Marzo de 1994 y "Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas de Huasco y Mataquito", GCF Ingenieros Consultores Limitada, Febrero 2006.

Los registros de caudales medios mensuales observados de las estaciones presentes en estudio existentes, que podrán ser utilizadas para la calibración del modelo u otras necesidades asociadas a la implementación del modelo MAGIC, se presentan en el Anexo 4.5. En la Figura 4-24 se observa la ubicación de las estaciones fluviométricas en la cuenca de Río Mataquito.

Figura 4 - 24. Estaciones Fluviométricas en la Cuenca del Río Mataquito



IV.4.13 Pluviometría

Los datos de precipitaciones medias mensuales requeridas para la implementación del modelo MAGIC, son utilizados en la estimación de la escorrentía directa y percolación profunda en las zonas de riego mediante el modelo de escorrentía MPL incorporado en el MAGIC. Indirectamente, estos antecedentes son necesarios para la generación sintética de caudales en cuencas no controladas, ya sea a través del MPL o mediante algún otro modelo dependiendo del régimen pluviométrico de cuenca (pluvial o nivopluvial). De igual manera, estos datos se utilizarán en la determinación de la precipitación efectiva asociada al cálculo de las necesidades netas mensuales de cada zona de riego definida.

La cuenca del Río Mataquito posee 10 estaciones pluviométricas de la DGA vigentes, de las cuales 3 cuentan con información anterior al año 1965. El Cuadro 4-28 presenta un resumen de las estaciones existentes en la cuenca del Río Mataquito incorporando un detalle de la vigencia y el período con registros. Por otro lado, se ha recopilado en estudios realizados todos los antecedentes al respecto, encontrando 8 estaciones con estadística de alrededor de 40 años. El Cuadro 4-29 presenta el detalle de las estaciones con información procesada.

Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones presentes en estudio existentes se presentan en el Anexo 4.4.

En la Figura 4-25 se observa la ubicación de las estaciones pluviométricas en la cuenca de Río Mataquito.

Cuadro 4 - 28. Estaciones Pluviométricas DGA en Cuenca del Río Mataquito

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AÑOS INFORMADOS	VIGENCIA
1	07123001-5	RIO MATAQUITO EN LICANTEN	6125054	773116	2001-2005	Vigente
2	07103003-2	LOS QUEÑES	6125829	334784	1918-2005	Vigente
3	07104005-4	EL MANZANO	6129778	325070	1959-2005	Vigente
4	07106007-1	SANTA SUSANA	6135194	313692	1981-2005	Vigente
5	07115001-1	RIO PALOS EN JUNTA CON COLORADO	6095457	316554	2001-2005	Vigente
6	07116004-1	MONTE OSCURO	6105452	320020	1994-2005	Vigente
7	07116005-K	POTRERO GRANDE	6105233	309319	1971-2005	Vigente
8	07118003-4	CURICO	6126706	295877	1971-2005	Vigente
9	07119007-2	LONTUE	6120098	291334	1969-2005	Vigente
10	07121003-0	VILLA PRAT	6112692	262236	1992-2005	Vigente

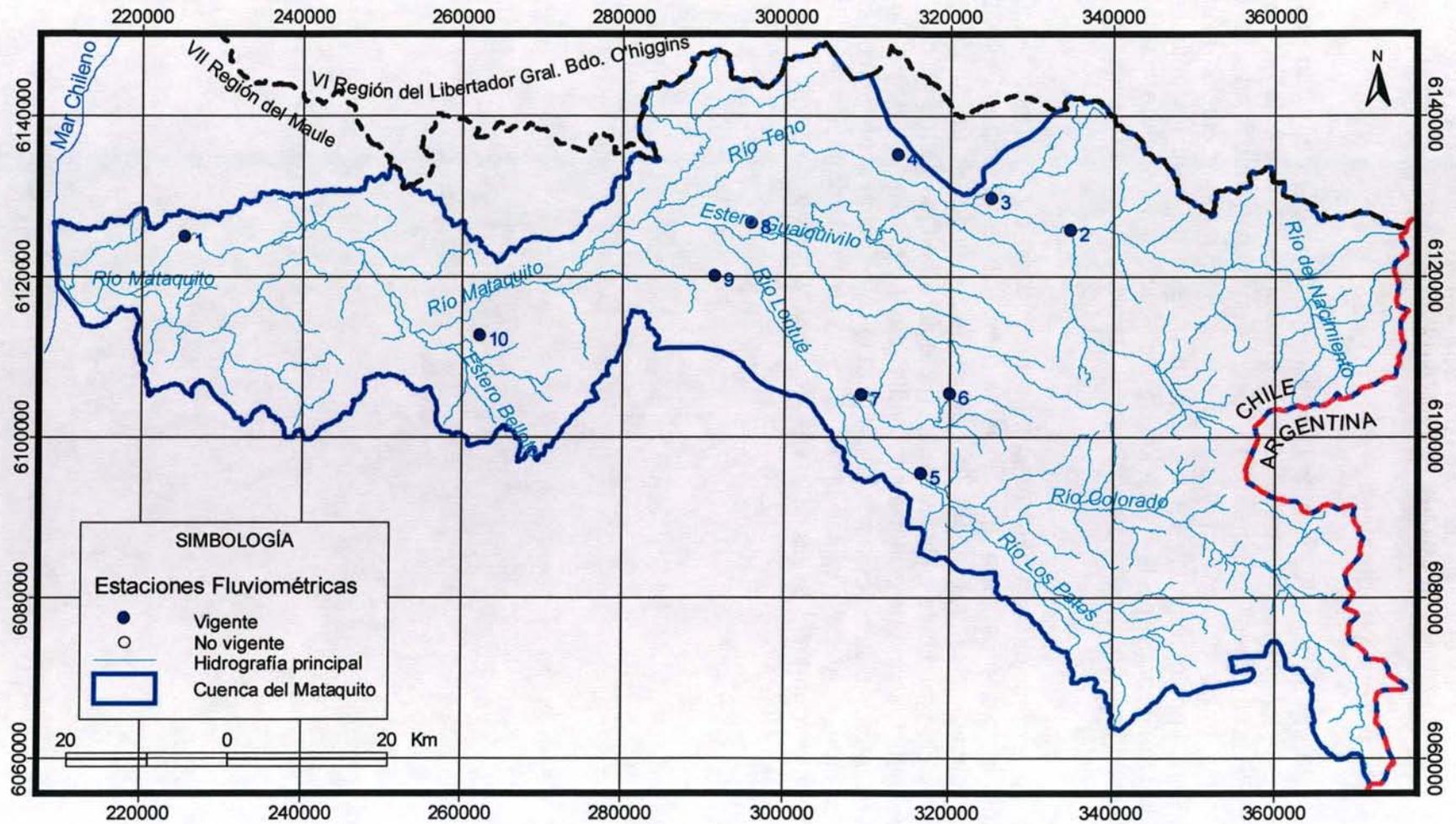
Fuente: CIRH DGA

Cuadro 4 - 29. Estaciones Pluviométricas en Estudios Realizados

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	AÑO INICIO ESTADISTICA	AÑO FIN ESTADISTICA
2	07103003-2	LOS QUEÑES	1994	2004
3	07104005-4	EL MANZANO	1964	2004
4	07106007-1	SANTA SUSANA	1964	2004
6	07116004-1	MONTE OSCURO	1964	2004
7	07116005-K	POTRERO GRANDE	1964	2004
8	07118003-4	CURICO	1964	2004
9	07119007-2	LONTUE	1964	2004
10	07121003-0	VILLA PRAT	1992	2004

Fuente: "Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas de Huasco y Mataquito", GCF Ingenieros Consultores Limitada, Febrero 2006.

Figura 4 - 25. Estaciones Pluviométricas en la Cuenca del Río Mataquito



IV.4.14 Captaciones Puntuales

A través de este objeto, MAGIC permite la representación de la demanda superficial de un determinado caudal mensual desde un punto del sistema en estudio, dependiendo de la disponibilidad de agua existente en dicho punto. Parte del caudal captado percola hacia el acuífero y otra parte puede retornar hacia el sistema superficial. Para implementar las captaciones puntuales se requiere antecedentes respecto a la identificación de la captación, la distribución mensual de los caudales captados, especificación de la percolación y de los retornos asociados a las captaciones existentes.

Respecto a las extracciones superficiales para producción de agua potable, existen antecedentes insuficientes para pronunciarse respecto a la importancia de las extracciones superficiales, razón por la cual se recomienda en un futuro estudio recabar información mediante instituciones de la región. De igual forma las demandas superficiales industriales, que aunque son analizadas en el *estudio integral de riego*, esta fuente de información no es actualizada para los efectos de implementar MAGIC, razón por la cual se debe realizar un levantamiento de información a través de instituciones gubernamentales y/o a través de una campaña de levantamiento de información desde terreno.

IV. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ITATA

V.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo corresponde a la generación de información en la cuenca del Río Itata, de tal manera de cumplir con los requerimientos para una futura implementación de MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC. Esta labor se ha realizado considerando el análisis de suficiencia de información realizado en el capítulo 1, en el cual se han indicado los antecedentes que son de utilidad para el poblamiento de la información para esta cuenca, ya sea de manera directa o a través de modificaciones.

Los principales estudios utilizados como referencia para la generación de información en la cuenca del Río Itata, corresponden a lo siguientes:

- Proyecto Itata. PROITATA Asociación de Profesionales. CNR 1992, en adelante **estudio PROITATA**.
- Estudio Integral de Riego Proyecto Itata. Consorcio de Ingeniería INGENDESA – EDIC Ltda. CNR 1994, en adelante **estudio integral de riego**.
- Proyecto de Riego Laja – Diguillín. CNR, 1988, en adelante **proyecto Laja Diguillín**.
- Estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Río Itata. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Agrícola, 1988, en adelante **estudio Agroclimático**.
- Balance Hidrológico Nacional Cuenca del Río Itata. REG. DGA 1985.

Los anteriores estudios, sumados a las otras fuentes de información identificados en el Capítulo 1, se consideraron como el punto partida en la preparación de los datos, a partir de los cuales se han procesado aquellos antecedentes resultan compatibles con la Interfaz SIG MAGIC. De igual manera, este informe incorpora recomendaciones respecto a la necesidad de verificar, actualizar, complementar o levantar desde terreno información que es insuficiente para los fines ya mencionados.

V.2 GENERALIDADES

La cuenca del Itata queda comprendida entre los paralelos 36°12'S y los 37°16'S, y 71°00'W y 73°10'W. La cuenca presenta un clima mediterráneo, con altas demandas evapotranspirativas en verano y un periodo de lluvias de tres meses en el periodo invernal donde se concentran la mayor cantidad de las precipitaciones (alrededor del 50%).

Su hoya hidrográfica comprende alrededor de 11.090 km². y está compuesto por tres subcuencas principales: Río Ñuble, Río Diguillín y la del mismo Río Itata. El régimen que se presenta en la cuenca es nivo-pluvial. El río que da nombre a la cuenca tienen su origen de la confluencia de los ríos Cholguán y Huepil. Sus principales tributarios de cordillera, sobre todo el Ñuble, le otorgan el carácter nival. Los ríos

mencionados se caracterizan por un gran caudal en los meses de invierno y una importante merma en la época de estiaje. El río Itata luego del aporte de sus principales tributarios no presenta mayores aportes, exceptuando el realizado por el río Lonquén, el cual de por sí drena una zona de alrededor de 1000 Has.

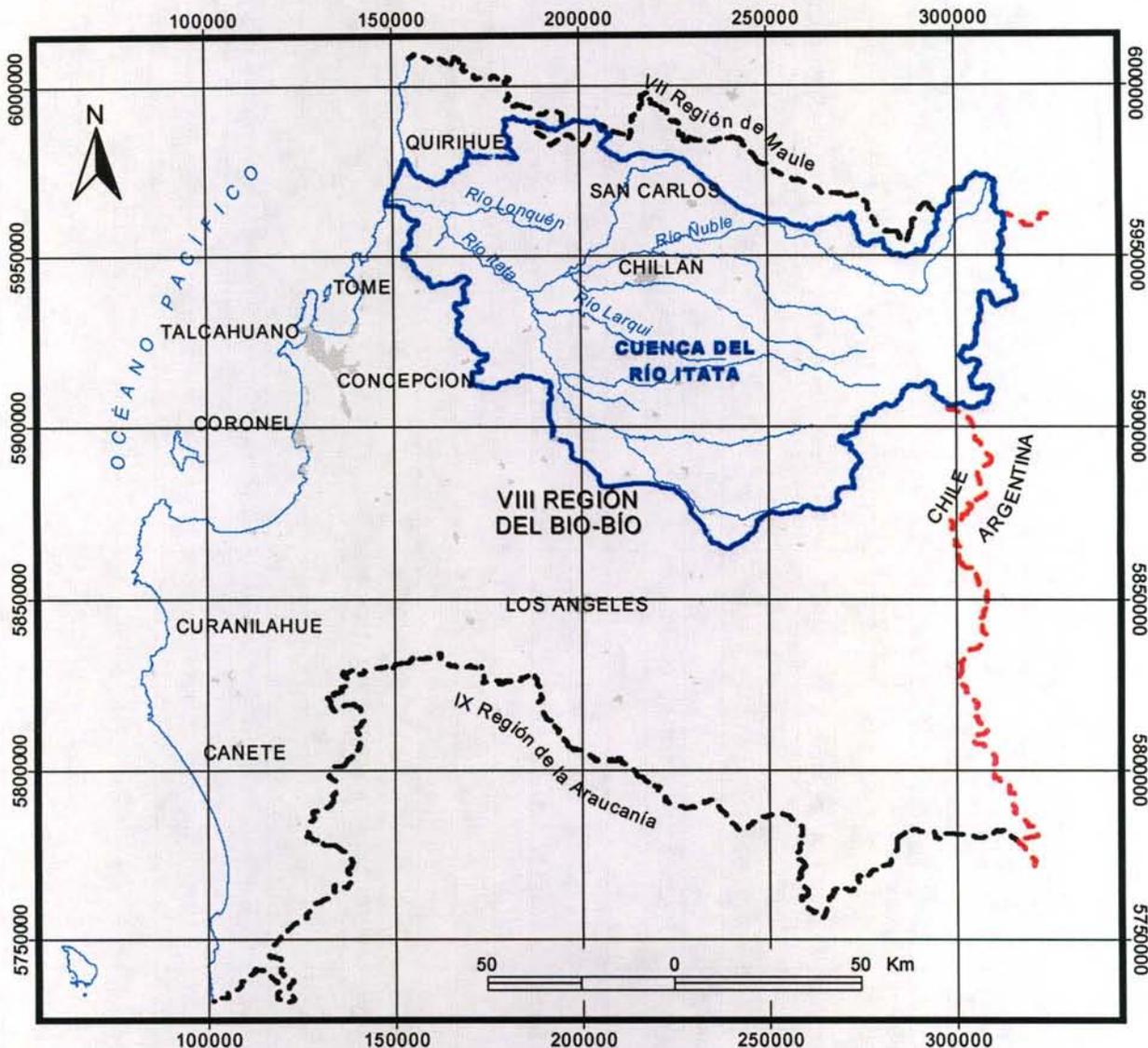
El tributario más importante de la cuenca del Río Itata es el Río Ñuble, el cual presenta una fuerte influencia nival. Este río nace en las altas cumbres andinas, cerca de los nevados de Chillán, desde donde drena una superficie mayor a 5000 km² para terminar su recorrido de 155 km en la zona llamada confluencia, donde entrega sus aguas al río Itata. Los principales tributarios del río son los ríos Chillán y, en menor medida, el Cato.

Otro tributario importante del curso medio del Itata es el río Diguillín, esta drena una superficie de 1.369 km². Nace de una vertiente sur-occidental de los nevados del Volcán Chillán para recorrer más de 100 km. a lo largo de la depresión intermedia. El principal y único tributario presente en esa zona es el río Renegado.

La producción agrícola de la cuenca se caracteriza por una agricultura que comprende cultivos tales como el trigo, remolacha, frejoles y praderas naturales como cultivos principales. Sin embargo, recientemente se ha notado un fuerte aumento en la plantación de los cultivos hortofrutícolas de exportación, tales como frambuesas, espárragos, kiwis, etc. Esta situación está directamente afectada con la baja seguridad con que pueden ser regados estos cultivos. Esto ha generado también la tendencia a dejar tierras agrícolas para entregar las tierras al uso forestal, donde los agricultores logran obtener menores para más seguros ingresos.

La Figura 5-1 muestra la ubicación de la cuenca del Río Itata con respecto a los límites político - administrativos y los principales tributarios antes mencionados.

Figura 5 - 1. Ubicación Cuenca del Río Itata y sus principales Tributarios.



V.3 BASE DE DATOS MAGIC

El procesamiento de la información compatible con la implementación de MAGIC, se realiza considerando la base de datos de MAGIC v2.0 que contiene 51 tablas, las cuales han sido agrupadas por temas de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 5-1. A continuación en el punto V.4, se presenta un análisis detallado por tema de la información disponible, al igual de las modificaciones y/o complementaciones necesarias para generar los datos compatibles con MAGIC V2.0.

Cuadro 5 - 1. Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas

N°	Elemento MAGIC	TABLAS MAGIC											
		1	2	3	4								
1	Acuíferos	AC_PARAM	AC_QZS	AC_QZV	AC_QZVE								
		30	31	32									
2	Pozos	PO_PARAM	PO_Q	PO_USOS									
		6	7	8	36								
3	Canales	CA_DER	CA_PARAM	CA_TRAMOS	SECCIONES								
		12	27	37	38	39	40	41	42	43	47	48	51
4	Zonas de riego	CULT_TIPOS	MR_TIPOS	ZR_CULT_ETP	ZR_CULT_PAR	ZR_CULT_PEF	ZR_RET	ZR_AC_NnM	ZR_PARAM	ZR_SR	ZR_QPR	ZR_CULT_SC	ZR_ANC_NNM
		9	10										
5	Centrales hidroeléctricas	CH_PARAM	CH_Q										
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
6	Embalses	EM_CA	EM_DEMGE	EM_FV	EM_NODOS	EM_PARAM	EM_QGENMAX	EM_QV	EM_SALIDAS	EM_SVH	EM_TASEV		
		5	26										
7	Cuencas no controladas	AN_PARAM	CL_PARAM										
		13	49										
8	Descargas puntuales	DP_PARAM	DP_Q										
		33											
9	Caudales ecológicos	QE_PARAM											
		28	29	34	35	46	50						
10	Topología	NO_DIST	NO_PARAM	RI_PARAM	RI_TRAMOS	NO_DIST_Q	EST_CALIB						
		25											
11	Fluviometría	ESTAD_Q											
		24											
12	Pluviometría	ESTAD_PP											
		11	44	45									
13	Captaciones Puntuales	CP_PARAM	CP_RETORNOS	CP_Q									

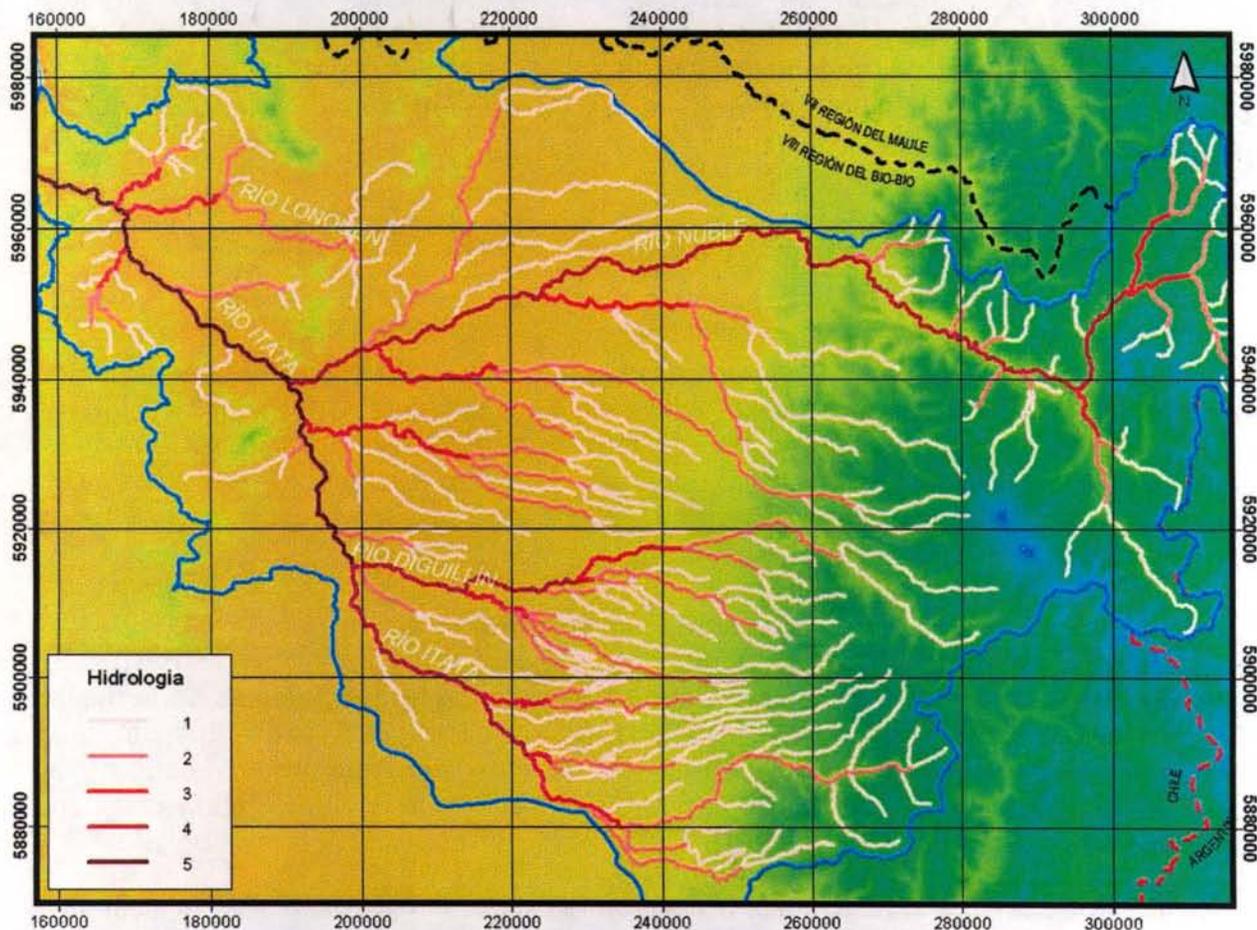
V.4 ANTECEDENTES BÁSICOS

A continuación se presenta los antecedentes existentes que han sido procesados para una futura implementación de MAGIC en la Cuenca del Río Itata, detallando las labores que deben desarrollarse, de tal forma de complementar adecuadamente los datos para que sean compatibles con MAGIC V2.0.

V.4.1 Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica

Una de las labores relevantes en la preparación de la información para la aplicación del modelo, tiene relación con la generación del Modelo Digital Elevación (MDE), el cual resulta fundamental para la generación de las características de subcuencas aportantes a través del modelo morfométrico desarrollado por el MOP e incorporado en la interfaz SIG-MAGIC. Por razones técnicas se consideró utilizar el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mision) de la NASA disponible a una resolución de 90m. La Figura 5-2 muestra el MDE y la red hídrica topológica generada.

Figura 5 - 2. MDE y Red Hídrica Topológica Cuenca del Río Itata.



- **Procesamiento de la Red Hídrica**

La capa de hidrografía presente en el SIIR-CNR corresponde a una digitalización detallada de todo cauce superficial presente en el área de estudio y dado que su finalidad es la representación gráfica de los cauces naturales, no es posible utilizarla en la interfaz SIG MAGIC. Esto debido principalmente a que no se ajusta a la representación y topología requerida para los análisis correspondientes. Para ello se requirió editar dicha hidrografía de tal modo de contar con una red topológica de arcos simples y nodos conectados, incorporando además la propiedad de “flujo” que indica el sentido de escurrimiento.

Dada las restricciones de edición que posee la interfaz SIG MAGIC, se decidió editar la red hidrológica con ArcGIS ArcInfo, tomando como base la estructura de la tabla generada por el SIG MAGIC para su red hidrológica, y así contar con la capa deseada para el posterior procesamiento del MDE. Posteriormente, se continuó con el procedimiento correspondiente en el SIG MAGIC, agregando el identificador único y realizando la validación del tema. Este último proceso se hizo de manera iterativa en función de la identificación de los errores mediante la herramienta “Crear/Verificar red topológica”, y la corrección de ellos con ARCFINFO, hasta que la red quedara completamente validada. Es importante mencionar que la interfaz SIG MAGIC al correr la herramienta de verificación de la red hidrológica, exige que la tabla de contenidos incorpore únicamente este tema, ya que el proceso consume mucha memoria y otro tema en la vista anula la operación.

- **Preparación del MDE (Modelo Digital de Elevación)**

Durante la generación del MDE a partir de curvas de nivel, se detectaron ciertos problemas entre los cuales se tienen: la imposibilidad de trabajar con una precisión de 50 metros para una cuenca muy extensa, ya que consume muchos recursos computacionales provocando que la aplicación se detenga; y la ausencia de curvas de nivel en el sector cordillerano del territorio trasandino, lo cual genera una mala definición de las alturas en los límites del área de estudio. Estas razones generan una importante restricción para la utilización de la interfaz SIG MAGIC en la generación del MDE a partir de curvas de nivel existentes.

Con respecto al MDE SRTM, este corresponde a imágenes de radar restituidas que pueden ser descargadas gratuitamente desde el centro de datos EROS del USGS (Geological Survey de los Estados Unidos) y enmarcado en las políticas de la misión **Topografía de Radar** de la NASA (Nacional Aeronautics and Space Administration). La resolución para Latinoamérica es de 3 segundos de arco, que para la latitud de las cuencas en cuestión no sobrepasa los 90m. Dicho de otra manera, cada píxel con cota mide aproximadamente 90x90 m. El formato de estas imágenes son Bil, Tiff y Grid de ESRI y se encuentran proyectadas en el sistema WGS 84.

Estos datos presentan mayor cobertura de las áreas de estudio que la cartografía regular del IGM, siendo necesario transformar el sistema de proyección de estos Grid y realizar un ajuste en ArcGis Arclnfo con el método Shift para georreferenciarlos en el mismo sistema del resto de la cartografía base a utilizar en la modelación, es decir, Huso 19 Datum PSAD 56.

Por otro lado las imágenes SRTM deben utilizarse considerando algunas limitaciones, tales como la presencia de diferencias en datos altimétricos respecto de la cartografía del IGM, con una variación entre 10 y 90 m., la ausencia de información en los sectores montañosos y la necesidad de una rectificación con puntos de control debido a que el eje de los valles no son colineales con los cauces que se disponen en la cartografía regular. Para realizar el llenado de los sectores sin información, se utilizó datos interpolados a partir de la cartografía Regular del IGM escala 1:50.000.

A través de los siguientes link se puede acceder a los datos de la misión de Topografía de Radar: <http://edc.usgs.gov/srtm/data/obtainingdata.html> , <http://seamless.usgs.gov/>.

Finalmente, con el MDE definitivo se revisó el funcionamiento del proceso de definición de subcuencas haciendo uso de la función específica incorporada en la Interfaz SIG MAGIC, de lo cual se detectaron las siguientes consideraciones:

- La definición de subcuencas se realiza considerando la red hídrica topológica y su resultado es directamente dependiente del nivel de detalle de esta red hídrica y de la resolución del MDE. En efecto, una red hídrica poco densa generará incluso definiciones de subcuencas erróneas por lo cual se tener especial cuidado con los resultados de esta función.
- Al seleccionar el cauce el usuario debe estar a una escala superior a 1:40.000, (1:1-1:35.000 aprox.) para que el sistema no arroje mensajes de error por la ausencia de la selección.
- La cuenca generada se inicia en torno a un cauce completo y se traza aguas arriba de este. Esto implica que no es posible generar cuencas automáticas para el primer cauce aportante (el que se encuentre aguas arriba, o bien, el que en su tabla tenga el valor del orden 1).

V.4.2 Acuíferos

Este elemento permite la representación de embalses subterráneos existentes en la cuenca, pudiéndose estimar la escorrentía subterránea, la extracción a través de pozos, la percolación de elementos superficiales, afloramientos presentes y variación del volumen de almacenamiento para ciertos períodos. Para esto MAGIC considera acuíferos regulares (con secciones de entrada y salida rectangulares, trapezoidales, triangulares o semicirculares) con simplificaciones y limitaciones que obligan a definir los acuíferos en serie, pudiendo descargar a un único acuífero en el sentido longitudinal del escurrimiento.

La información requerida por MAGIC se asocia principalmente a la definición de los acuíferos (considerando las limitantes presentes), su topología, las características geométricas y parámetros elásticos.

La definición de los embalses subterráneos se realizó en base a la información incorporada en el SIIR de la CNR, siendo corregidos de acuerdo a la experiencia de este consultor.

Los antecedentes disponibles indican que existen acuíferos confinados, semiconfinados y libres según la zona del valle en que se ubiquen. Esto presenta una dificultad desde el punto de vista del funcionamiento de MAGIC ya que considera solo acuíferos libres en su análisis, por lo tanto no se hace diferencia de funcionamiento para los distintos tipos de acuíferos presentes en la cuenca.

V.4.2.1 Exploración Geofísica

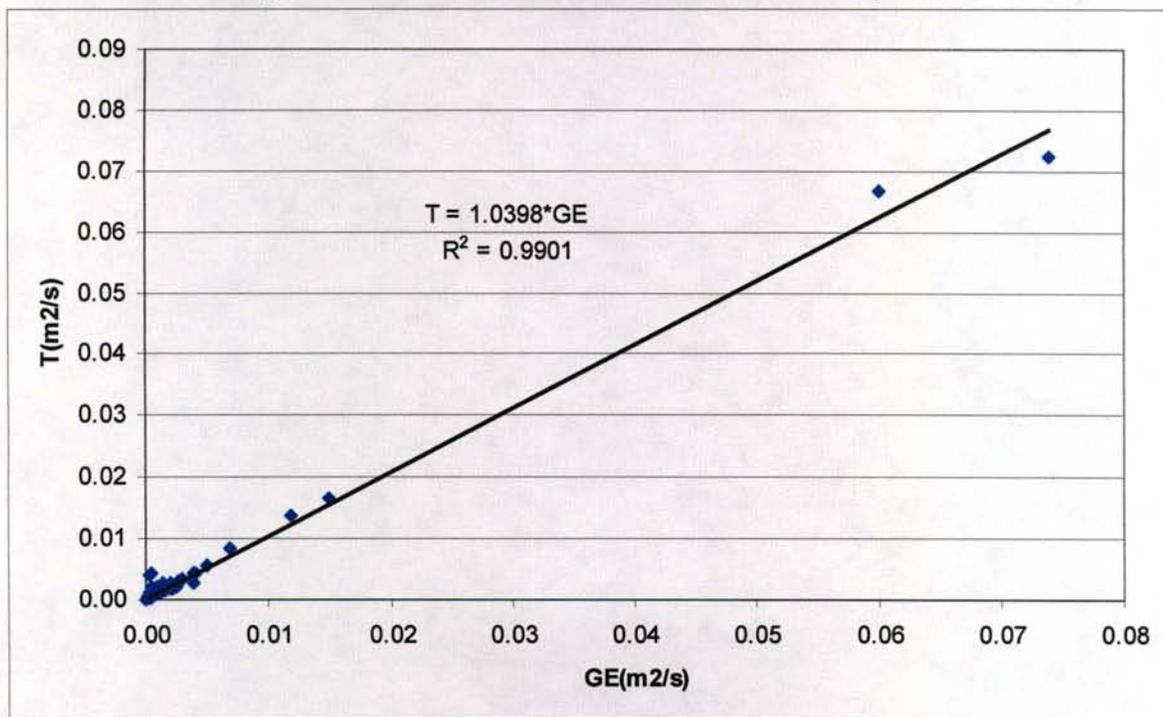
No existe exploración geofísica de la cuenca del Río Itata que permita caracterizar adecuadamente el espesor del relleno sedimentario y consecuentemente la profundidad de la roca basal, aspectos que en definitiva determinan las dimensiones de los embalses subterráneos y su funcionamiento.

El estudio *PROITATA* incorpora un análisis de los sondajes existentes en la cuenca a fin conocer el tipo de relleno y el tipo de formaciones acuíferas existentes, de manera de establecer los volúmenes de agua subterránea demandada para los diferentes usos. Adicionalmente en el mismo estudio se elaboraron cuatro perfiles estratigráficos con información obtenida de los sondajes catastrados, que tienen una dirección general Norte-Sur. Estos perfiles no proporcionan información suficiente para la implementación de MAGIC, por lo cual se recomienda realizar a lo menos perfiles gravimétricos que permitan caracterizar los acuíferos preliminarmente definidos.

V.4.2.2 Parámetros Hidrogeológicos

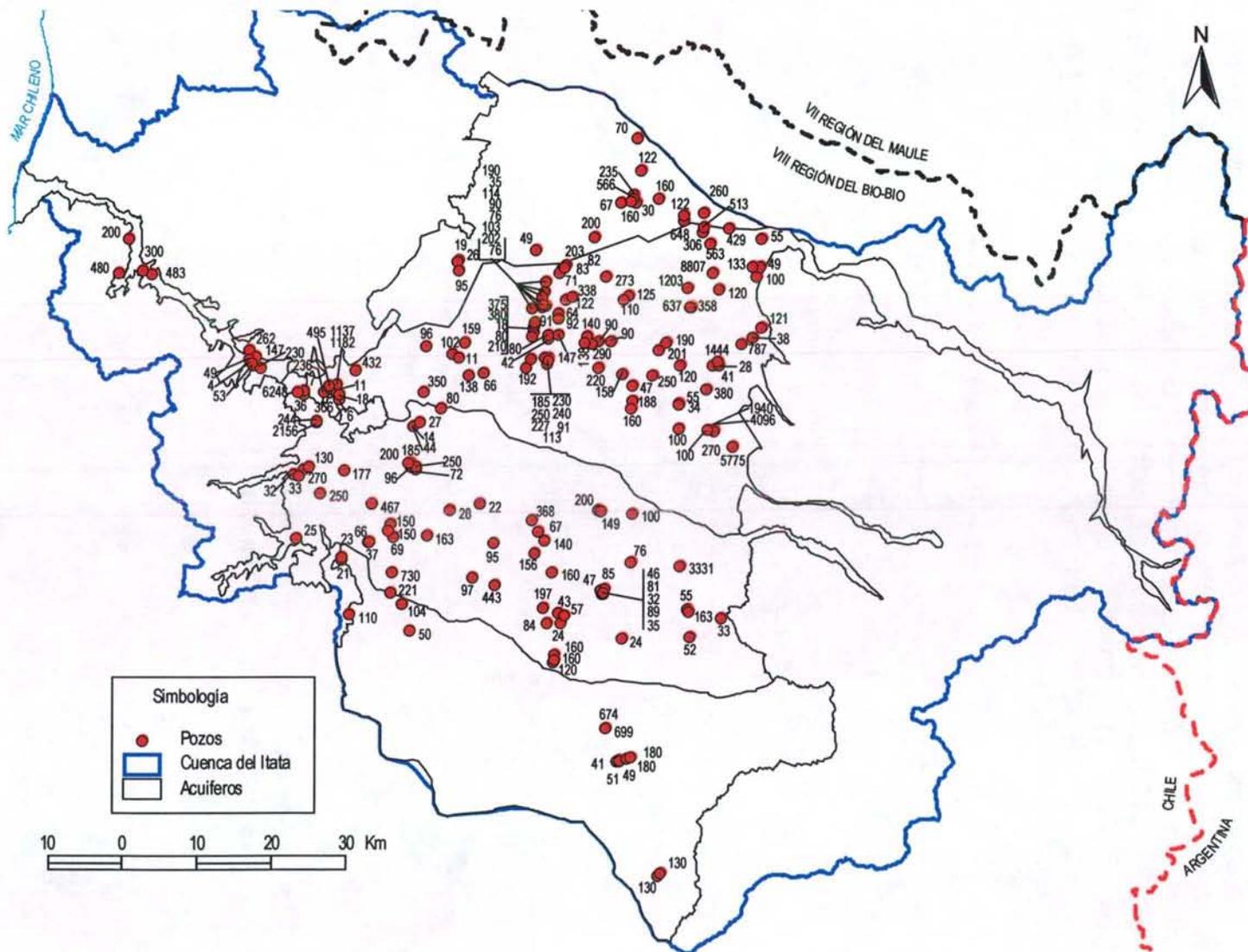
El estudio PROITATA incorpora la estimación del coeficiente de transmisibilidad por sectores, realizada a partir de pruebas de bombeo existentes. Estos valores fueron complementados mediante el ajuste de una regresión lineal entre la transmisibilidad y el gasto específico, información contenida en el catastro de pozos incorporado en el estudio PROITATA. De esa forma se calcularon las transmisibilidades en pozos donde solo se conoce el gasto específico, pudiendo extender estos valores a gran parte de la cuenca de interés. La Figura 5-3 muestra el ajuste entre los parámetros mencionados.

Figura 5 - 3. Transmisibilidad v/s Gasto específico



En la Figura 5-4 se muestra la distribución de los coeficientes de transmisibilidad estimada en la zona acuífera considerada.

Figura 5 - 4. Distribución de Transmisibilidad (m²/día) en Cuenca del Río Itata



Al no conocerse la superficie del basamento rocoso no se puede determinar la profundidad de los acuíferos y por lo tanto no se puede estimar la permeabilidad en ninguna de las zonas acuíferas definidas.

Con respecto al coeficiente de almacenamiento no se dispone de antecedentes para definirlo local o regionalmente pero dadas las características granulométricas se esperan valores de coeficiente de almacenamiento entre 0.03 y 0.06.

V.4.2.3 Afloramientos

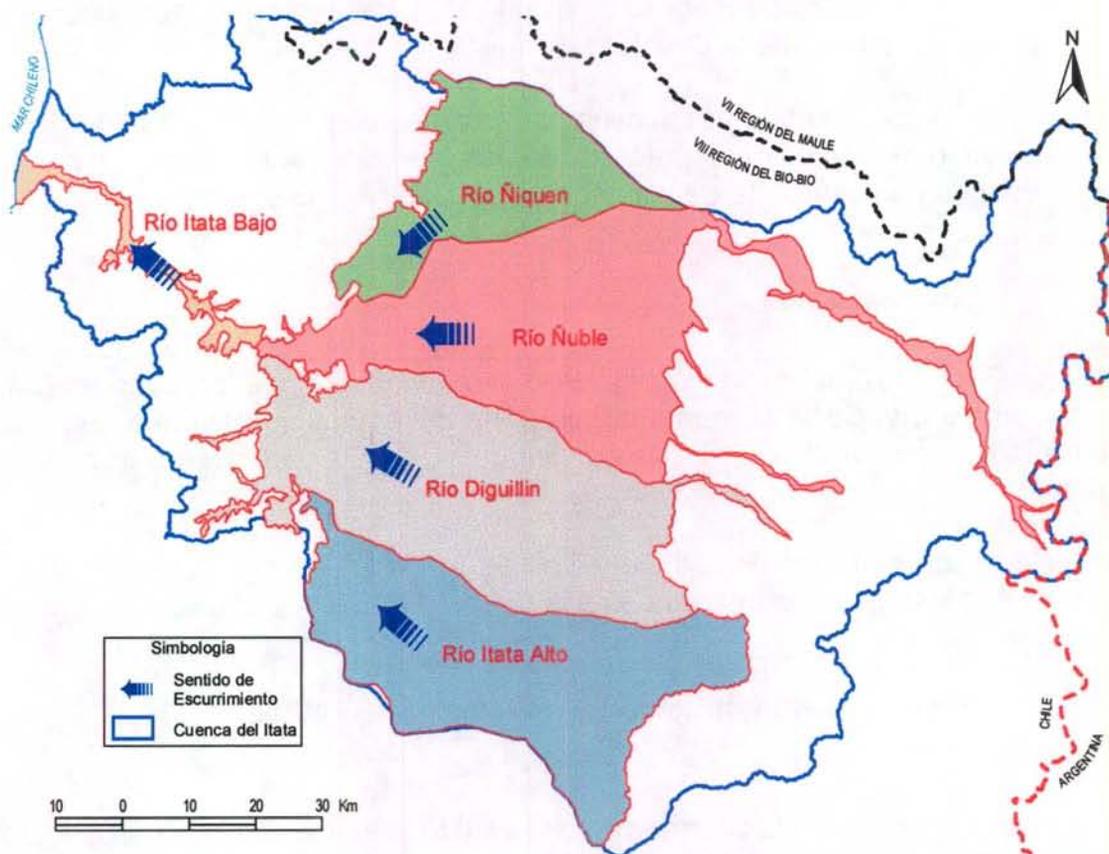
El estudio PROITATA indica la existencia de afloramientos en la localidad de Ñiquen, esta zona de surgencia se alimentaría con parte del caudal subterráneo que escurre fuera de la cuenca Itata hacia el río Perquilauquén, el cual pertenece a la cuenca del Río Maule.

Más hacia el sur, entre los ríos Ñuble y Chillán, en particular en la zona del río Cato existen probables aportes subterráneos a la red de drenaje superficial.

V.4.2.4 Preparación Información para Interfaz SIG-MAGIC

Para efecto del llenado de la información a través de la interfaz SIG-MAGIC, se deben generar primero las características físicas de los acuíferos definidos, para lo cual se consideraran cinco acuíferos en la cuenca del Itata. Esta división se ha realizado en concordancia a la hidrología presente en la cuenca. En la Figura 5-5 se aprecian los acuíferos definidos con sus respectivos nombres distintivos.

Figura 5 - 5. Acuíferos de la Cuenca del Río Itata



Para cada uno de los acuíferos definidos, se ha analizado y detallado sus características físicas y parámetros asociados, en base a los antecedentes existentes, lo cual se describe a continuación.

i. Determinación del coeficiente de permeabilidad

De acuerdo al sentido de las aguas subterráneas considerado, indicado mediante flechas en la Figura 5-5, se identificaron las secciones de entrada y salida de los acuíferos existentes, en función de las cuales y con la información antes mencionada, se determinó la geometría y transmisibilidad característica. Al no conocerse la potencia de los acuíferos, es imposible conocer las permeabilidades de los acuíferos definidos, razón por la cual sería importante a futuro realizar labores que permitan el conocimiento de la geofísica en la zona.

ii. Determinación del coeficiente de almacenamiento.

Como se mencionó anteriormente, la obtención del valor de este parámetro se realizó en base al estudio PROITATA donde se menciona que para napas libres el valor del coeficiente de almacenamiento varía entre 0.03 y 0.06. Así para efectos de este estudio se consideró un valor de 0.05.

iii. Gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico se determinó considerando las isolíneas de profundidad del nivel freático, obtenido del estudio PROITATA, y por tanto los desniveles en la entrada y salida de cada acuífero. Así se cuantificó el gradiente hidráulico además de verificar el sentido de las aguas subterráneas.

iv. Características geométricas

Los 5 acuíferos de la zona se consideraron rectangulares y no se poseen antecedentes del basamento rocoso que permitan calcular el espesor a la entrada y a la salida de cada acuífero definido.

En el Cuadro 5-2 se muestra un resumen de las características geométricas y elásticas para cada acuífero, excluyendo datos de las cotas del basamento rocoso y de la permeabilidad correspondiente.

Cuadro 5 - 2. Resumen Acuíferos Cuenca del Río Itata

Nombre	S	Asup (Km ²)	AnchoE (m)	AnchoS (m)	CotaE (m.s.n.m)	CotaS (m.s.n.m)	Te (m ² /dia)	Ts (m ² /dia)	ie	is
Río Ñiquen	0.05	728.5	11000	9500	175	100	136	47	0.0042	0.0083
Río Ñuble	0.05	1595.3	40000	7000	225	50	126	109	0.0125	0.0042
Río Diguillin	0.05	1592.5	21000	13000	400	50	67	129	0.0143	0.0042
Río Itata Alto	0.05	1350.4	10000	17000	450	50	105	124	0.0005	0.0005
Río Itata Bajo	0.05	112.7	2500	1800	25	25	124	366	0.0333	0.0030

Donde:

S= Coef. Almacenamiento

We,Ws=ancho de entrada y salida de de la sección del acuífero

Zemax, Zsmax= Cota terreno de entrada y salida del acuífero

Zemin, Zsmin= Cota basamento rocoso de entrada y salida del acuífero

ke, ks = Permeabilidad de entrada y salida del acuífero

i = Gradiente hidráulico de entrada y salida del acuífero

V.4.3 Pozos

La representación de estos objetos por MAGIC, permite especificar la demanda de un determinado caudal mensual a algún acuífero de la cuenca en estudio. Para su implementación en MAGIC, se requiere antecedentes respecto a la ubicación de los pozos (por ende la identificación de los acuíferos desde donde se extrae el caudal), el uso del caudal extraído (asociados a los factores de uso considerados normalmente por la DGA) y la distribución mensual de los caudales que se extraen.

Se debe mencionar que existen antecedentes respecto a encuestas de demandas de agua asociadas a captaciones subterráneas, a través del estudio Catastro de la Provincia del Ñuble realizado por este consultor, información que resulta totalmente representativo de la cuenca del Itata. Este consultor no está autorizado para entregar la información generada en dicho catastro, razón por la cual se sugiere que la CNR y/o la DGA Central los solicite directamente a la DGA Regional VIII Región.

Adicionalmente se ha solicitado los derechos de agua constituidos en la cuenca del Itata al Centro de Información de Recursos Hídricos de la DGA (CIRH), donde se especifica la ubicación de los pozos de bombeo y el caudal del derecho subterráneo otorgado. La información recibida ha sido procesada y complementada con el uso de cada pozo (industrial, agua potable, riego y minería) tomando como referencia información del propietario del pozo. Para la mayoría de los casos se consideró que el uso es de riego. Para el caso de aquellos derechos que no se encuentran georeferenciados, se definió su ubicación en el centroide de la comuna de referencia y se agruparon estos pozos dependiendo del uso de manera de considerar un pozo único para cada uso en cada comuna. El anexo 5.1 indica los derechos subterráneos existentes en la cuenca del Río Mataquito.

Con respecto a los factores de uso de los pozos se consideraron los valores entregados en el informe técnico SDT-160 elaborado por la DGA. Los valores de los factores dependiendo del tipo de uso son los que se presentan en el Cuadro 5-3.

Cuadro 5 - 3. Factores de uso de pozos considerados en el estudio

<i>Tipo Uso</i>	<i>Factor</i>
<i>Agua Potable</i>	<i>0.75</i>
<i>Riego</i>	<i>0.20</i>
<i>Industrial</i>	<i>0.30</i>
<i>Minero</i>	<i>0.75</i>

Fuente: Evaluación de recursos hídricos subterráneos de la VI Región, DGA, Noviembre de 2003.

V.4.4 Canales

Este elemento permite la representación de elementos de conducción de un determinado caudal máximo entre un nodo y una zona de riego, o bien, entre dos nodos. El modelo MAGIC permite definir tramos dentro de cada canal matriz, cada uno de los cuales puede tener diferentes capacidades, eficiencias de conducción y percolar a distintos acuíferos (esto último se consideró a partir de la versión 2.0 de MAGIC). Así mismo, es posible definir canales derivados, cada uno de los cuales también puede tener distintas capacidades y eficiencias. En rigor, para el modelo, el canal derivado es un objeto independiente del canal matriz, sólo unidos por un nodo en común. Cabe señalar que MAGIC no incluye la modelación de canales subderivados, razón por lo cual la DGA recomienda representarlos a través de los canales derivados, indicando una capacidad y eficiencia de conducción equivalente desde el punto de vista del balance hídrico.

Los antecedentes necesarios para la implementación de este objeto en la cuenca de estudio, tiene relación con la identificación de las características generales (capacidad, eficiencia, etc.), topología (origen, destino, acuífero destino de percolación, etc.), porcentaje de distribución con respecto al caudal en bocatoma del matriz, entre otros.

Cabe mencionar que en la cuenca del Itata, los canales no sólo se vinculan al abastecimiento de agua a las zonas de riego existentes, sino que además han sido concebidos con el objetivo de realizar trasvases hacia cuencas vecinas, tal como sucede con el sector de Ñiquén, al norte de la Cuenca.

El análisis de la información se ha realizado considerando las subcuencas mas importantes, correspondientes al Río Ñuble, Río Diguillín y Río Itata.

Para la subcuenca del Río Ñuble, se ha considerado la información del *estudio Integral de Riego*, el cual ha sido contrastado con el Catastro de Usuarios de la Subcuenca del Río Ñuble y sus afluentes. Ambas fuentes son coherentes, sin embargo se ha definido utilizar los datos del *estudio integral* ya que presenta la información mas completa y actualizada.

Para la subcuenca del Río Diguillín, se ha consultado el *proyecto Laja Diguillín* y el catastro de usuarios de los Ríos Itata y Diguillín. Se ha definido utilizar los datos de este último, ya que el *proyecto Laja Diguillín* presenta información incompleta. De igual manera sucede con la subcuenca del Río Itata, el cual ha sido caracterizado a partir del catastro de usuarios ya mencionado.

Es necesario destacar, que no se ha considerado la subcuenca del Río Lonquén debido a que corresponde a un área de secano y que por lo tanto no presenta canales. Por iniciativa del Gobierno, esta situación se pretende revertir mediante la

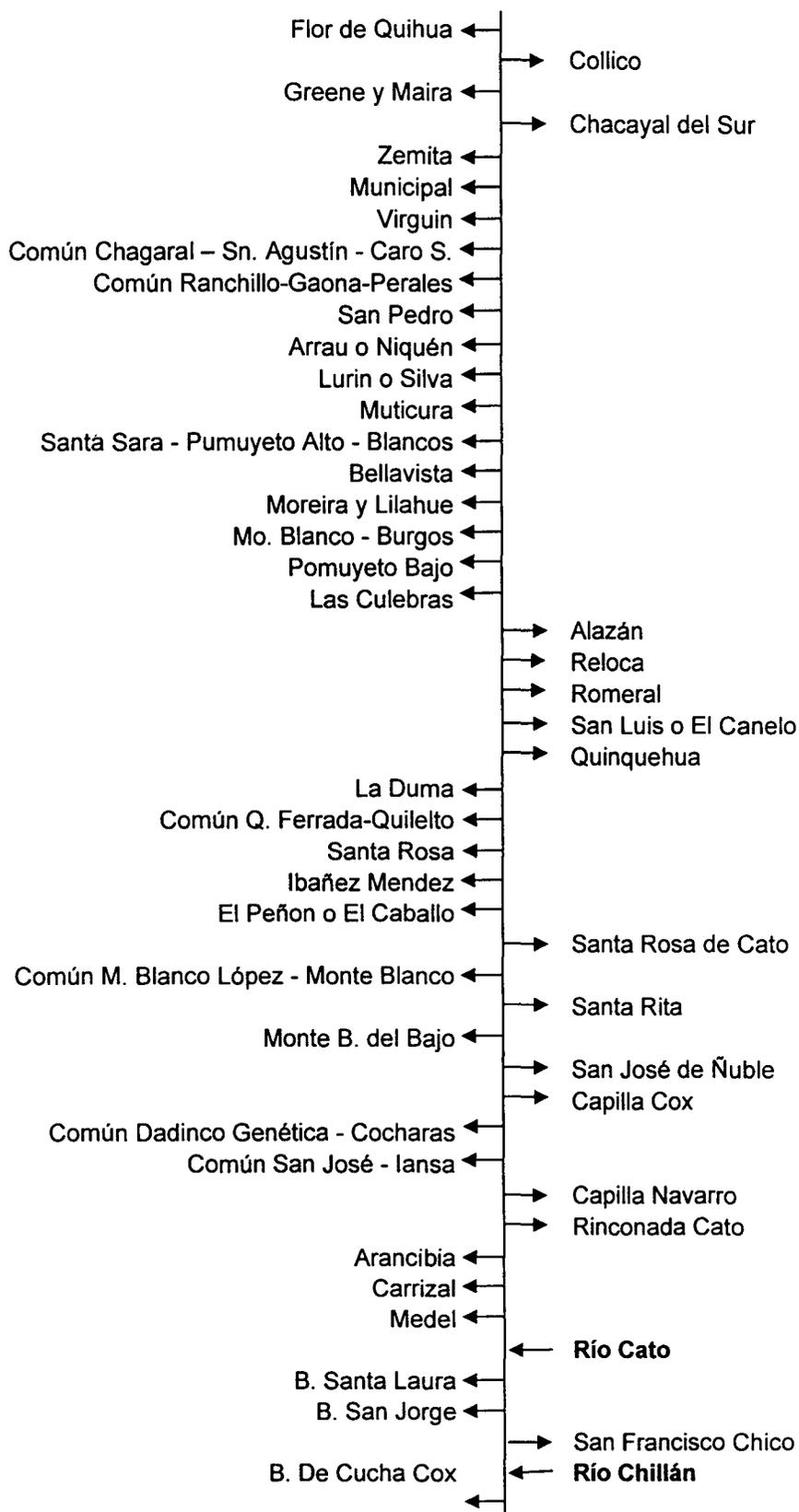
ejecución de proyectos de riego que buscan potenciar el desarrollo agrícola o forestal del sector, a través de la construcción de embalses en el área.

Con respecto a la situación legal de los canales presentes en las cuencas de los Ríos Ñuble, Diguillín e Itata, en las referencias mencionadas anteriormente se indican el total de derechos otorgados en cada cuenca, al igual que la distribución de estos en los canales existentes.

Por otro lado, la relación de los canales existentes con respecto a las zonas de riego que abastecen, no ha sido definida debido principalmente a que se ha considerado los sectores de riego identificados en estudios que datan del inicio de la década del 90, situación que ha cambiado a la fecha y que amerita que los sectores de riego sean actualizados.

Las Figuras 5-6 hasta la 5-8 incorporan los unifilares de los Ríos Chillán, Diguillín e Itata, mientras que los Cuadros 5-4 hasta el 5-8 muestran las principales características de los canales matrices considerados.

Figura 5 - 6. Diagrama Unifilar Río Ñuble

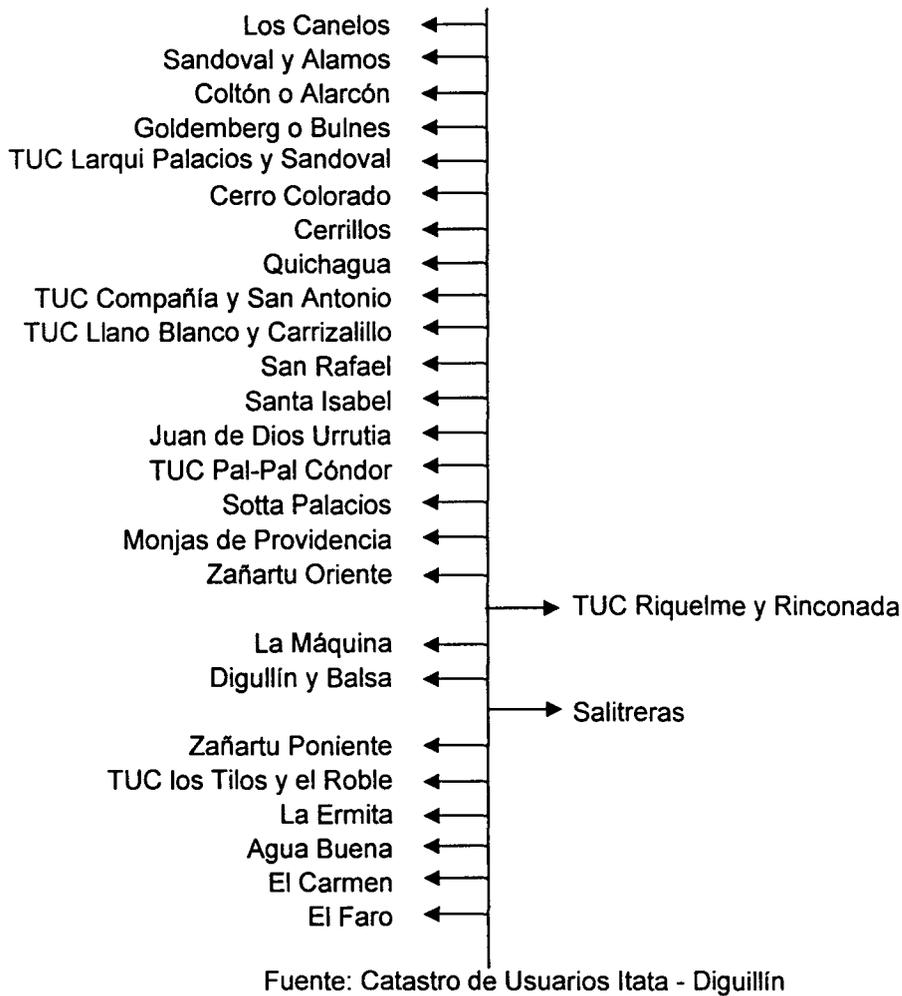


Cuadro 5 - 4. Características de canales Río Ñuble

Canal	Superficie de [Ha]	Derechos [acciones]	Distribución Porcentual	Capacidad [m3/s]	Perdida %/1	Longitud [km]
Flor de Quihua	20.6	15	0.1%	0.3	24.90%	5.9
Collico	1400.61	709.09	3.4%	1.9	11.10%	37.2
Greene y Maira	4060.85	1123.28	5.3%	7	14.20%	146.8
Chacayal del Sur	1620.42	900	4.3%	2.8	8.50%	25.3
Zemita	1582.57	1010	4.8%	4.5	9.30%	36.5
Municipal	1392.94	1020	4.8%	6	12.30%	61.3
Virguin	6182.99	3365	15.9%	10	10.30%	167.5
Común Chagaral - Sn. Agustín - Caro S.	1432.79	1080	5.1%	3	13.83%	97
Común Ranchillo-Gaona-Perales	1000.88	700	3.3%	2	18.80%	74.4
San Pedro	488.71	165.84	0.8%	1.6	21.30%	35
Arrau o Niquén	878.27	483	2.3%	3.4	22.00%	53.9
Lurin o Silva	820.32	267	1.3%	1.3	22.00%	52.9
Muticura	560.01	150	0.7%	0.8	10.80%	15.5
Santa Sara - Pumuyeto Alto - Blancos	1931.85	1050	5.0%	2.6	13.67%	68.8
Bellavista	190	250	1.2%	1.3	8.60%	10
Moreira y Lillahue	2898.73	1885.97	8.9%	4.4	11.20%	83.5
Mo. Blanco - Burgos	597.12	555	2.6%	2.4	10.90%	29.7
Pomuyeto Bajo	70	100	0.5%	0.5	5.30%	3.7
Las Culebras	80.31	100	0.5%	0.4	15.40%	6
Alazán	285	300	1.4%	0.6	6.70%	7.9
Reloca	728.72	550	2.6%	1.8	12.10%	28.5
Romeral	125	250	1.2%	0.8	5.20%	5.3
San Luis o El Canelo	260	100	0.5%	1.2	9.00%	6.5
Quinguehua	279.78	60	0.3%	0.4	9.60%	7.6
La Duma	249.23	100	0.5%	0.2	10.00%	7.5
Común Q. Ferrada - Quilelto	263.95	146.7	0.7%	0.6	10.60%	13.9
Santa Rosa	1209.44	304	1.4%	0.8	15.90%	51.9
Ibañez Mendez	44	40	0.2%	0.2	10.70%	2.9
El Peñon o El Caballo	226.11	203	1.0%	0.6	15.70%	19
Santa Rosa de Cato	450	200	0.9%	0.5	9.00%	9.9
Común M. Blanco López - Monte Blanco	141.21	s/d	-	0.3	16.70%	12.3
Santa Rita	230	120	0.6%	0.4	9.90%	7.1
Monte B. del Bajo	71.5	100	0.5%	0.2	8.50%	3.8
San José de Ñuble	250	300	1.4%	0.5	6.50%	7.5
Capilla Cox	439.8	600	2.8%	1.1	6.60%	12.5
Común Dadinco Genética - Cocharas	1497.11	1670	7.9%	3.2	12.87%	63.6
Común San José - Iansa	372.3	500	2.4%	1.5	13.30%	28.1
Capilla Navarro	290.75	160	0.8%	0.75	10.00%	9
Rinconada Cato	342.41	200	0.9%	0.8	9.90%	12.4
Arancibia	214.99	80	0.4%	0.6	23.70%	22.4
Carrizal	2	s/d	-	0.05	-	0.8
Medel	276	200	0.9%	0.6	10.00%	10.3
B. Santa Laura	10	s/d	-	0.05	-	1.8
B. San Jorge	2	s/d	-	0.05	-	0.4
San Francisco Chico	51	s/d	-	0.2	-	1.3
B. De Cucha Cox	35	s/d	-	0.1	-	8.8

Fuente: Estudio integral, perdidas de Proitata

Figura 5 - 7. Diagrama Unifilar Río Diguillín



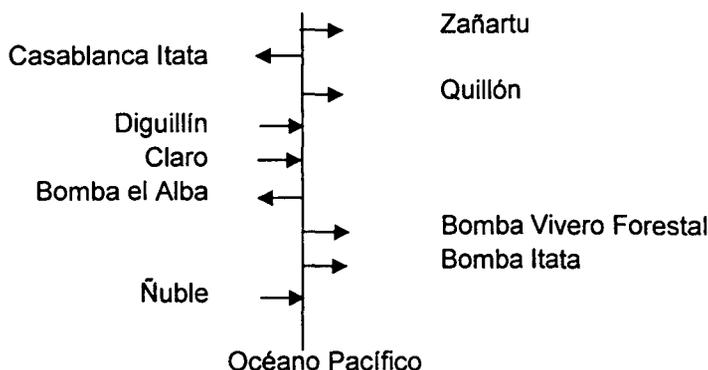
Cuadro 5 - 5. Características de canales Río Diguillín

Canal	Derechos [accs.]	Eventual [l/s]	Capacidad [m3/s]	Longitud [Km]
Los Canelos	28		0.18	12.8
Sandoval y Alamos	56.42		0.31	27
Coltón o Alarcón	47.5		0.29	14.5
Goldemberg o Bulnes	34		0.56	45.7
TUC Larqui Palacios y Sandoval Chavez	250.55		1.45	69.6
Cerro Colorado	28		0.24	6.4
Cerrillos	5.76		0.09	13.5
Quichagua	47		0.5	22.5
TUC Compañía y San Antonio	95.78		0.62	33.8
TUC Llano Blanco y Carrizalillo	240.49		1.11	53.1
San Rafael		150		10.25
Santa Isabel	89.21		0.55	9
Juan de Dios Urrutia	67		0.58	21.3
TUC Pal-Pal Cóndor	121		0.72	61.92
Sotta Palacios	158		1	38.2
Monjas de Providencia	160		0.86	17.3
Zañartu Oriente	36.3		0.39	18.1
TUC Riquelme y Rinc. Oriente	15.5		0.25	10.75
La Máquina	83		0.67	14.5
Diguillín y Balsa	25		0.1	3.5
Salitreras	13.5		0.1	8
Zañartu Poniente	95		0.51	21.3
TUC los Tilos y el Roble	248		1.41	60.05
La Ermita	18		0.33	8.8
Agua Buena	85		0.75	16
El Carmen	130		0.59	16
El Faro		300		13.5

Fuente: Catastro Itata Diguillín

Para la subcuenca del Río Itata, se debe indicar que esta no posee junta de Vigilancia, sin embargo existen derechos legalmente constituidos otorgados sobre los recursos del río. Estos derechos no se encuentran en una misma unidad, siendo presentadas en l/s y en regadores. Para este último no se ha encontrado su equivalencia correspondiente, por lo cual no es posible repartir porcentual y directamente el recurso, de acuerdo al formato que MAGIC requiere. Para efectos de establecer una distribución del recurso hídrico, se ha establecido hacerlo en función de las dotaciones y superficies de riego presentes en cada zona de riego. Esto corresponde al primer tramo del Río Itata, antes de la confluencia del Río Diguillín.

Figura 5 - 8. Diagrama Unifilar Río Itata



Fuente: Catastro de Usuarios Itata - Diguillín

Los recursos del Itata son distribuidos a través de 3 canales y 3 bombas. Tomando en consideración las superficies de riego de cada toma se ha decidido no considerar las demandas provenientes de las bombas, por su escaso consumo, el detalle se muestra en el Cuadro 5-6.

Cuadro 5 - 6. Superficies de canales en Subcuenca Río Itata

Canal	Sup. Regada [Ha]	Nº regantes
Zañartu	3.245	276
Casablanca Itata	845	85
Quillón	572	273
Bomba el Alba	1	1
Bomba Vivero Forestal	15	1
Bomba Itata	0,5	1

Fuente: Catastro de Usuarios Itata - Diguillín

El Cuadro 5-7 presenta los derechos asociados a los canales de mayor relevancia en esta subcuenca, mientras que el Cuadro 5-8 muestra las características de dichos canales.

Cuadro 5 - 7. Superficies de canales en Subcuenca Río Itata

Canal	Derechos	Observaciones
Zañartu	900 regadores	Reg. aguas Yumbel, 1928
Casablanca Itata	2860,4 l/s	Reg aguas Yungay, 1960
Quillón	1948 l/s	Dec. Supremo 1964

Fuente: Catastro de Usuarios Itata - Diguillín

Cuadro 5 - 8: Características de canales Río Itata

Canal	Dotación	Sup regada	Cap.	Longitud	1º
	[m3/año/Ha]	[Ha]	[m3/s]	[Km]	
Zañartu	18900	3286.2	-	7.2	69.77%
Casablanca Itata	18900	857.36	-	19	18.20%
Quillón	18900	566	2.8	26.5	12.02%

Fuente: Catastro de Usuarios Itata – Diguillín

Es necesario mencionar que para una futura implementación de MAGIC, se debe tener en consideración los aportes entregados desde el Río Laja, perteneciente a la cuenca del Río Bio Bio. En efecto, existe un trasvase de la cuenca vecina que se realiza a través del Río Manco, y que recibe el canal Zañartu, que se disponen en el sector comprendido entre el Río Laja y el Río Diguillín.

Adicionalmente, se debe mencionar que no han sido considerados la gran cantidad de esteros presentes a lo largo del Río Itata

V.4.5 Pérdidas en Canales

Dentro de las fuentes de información consultadas, se menciona que una de las principales causales de las pérdidas proviene de robos de agua¹ que sufren los canales. Además se encuentran otras características que influyen en la distribución del recurso, ya sea de manera negativa o positiva, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- La red de riego es poco optimizada y muchos de los cuales corren paralelos a lo largo de muchos kilómetros, lo cual en algunas zona se esta corrigiendo con troncos unificadores. Las mayores pérdidas por infiltración se producen en los canales de las subcuencas de Chillán y Diguillín, debido a la existencia de canales de gran longitud y pequeño caudal.
- En general la baja permeabilidad de los terrenos evitan que existan excesivas perdidas de conducción debido a la gran cantidad de canales.
-

Dentro del estudio PROITATA se ha determinado las pérdidas asociados al caudal máximo, las cuales pueden ser tomadas como eficiencias de conducción para los canales que se alimentan de estos ríos, obtenidas a través de la fórmula de Moritz. El Cuadro 5-9 presenta estas perdidas.

Cuadro 5 - 9. Pérdidas en canales Cuenca Río Itata

Subcuenca	Pérdidas
Ñiquén	12.4%
Ñuble	12.2%
Cato	12.6%
Niblinto	8.7%
Coihueco	10.3%
Chillán	17.7%
Diguillín	16.6%

Fuente: Estudio PROITATA

¹ Estudio PROITATA

El procesamiento de los canales anteriormente indicados, deben ser procesados como canales matrices y derivados, siendo los nodos y pseudos-nodos definidos con una estructura compatible con MAGIC.

V.4.6 Zonas de Riego

Este elemento permite la representación de un conjunto de subsectores de riego, donde cada uno posee un tipo de cultivo y un método de riego determinado, pudiéndose estimar el caudal total afluente, tanto superficial como subterráneo; la fracción de dicho caudal utilizada efectivamente para riego; la demanda de riego suplida; la seguridad de riego; el retorno superficial hacia otras zonas; la percolación hacia la zona acuífera y su variación en ciertos períodos de tiempo. Para esto MAGIC considera zonas de riego independientes, con caudales afluentes representados por canales matrices o derivados y un único pozo de bombeo asociado.

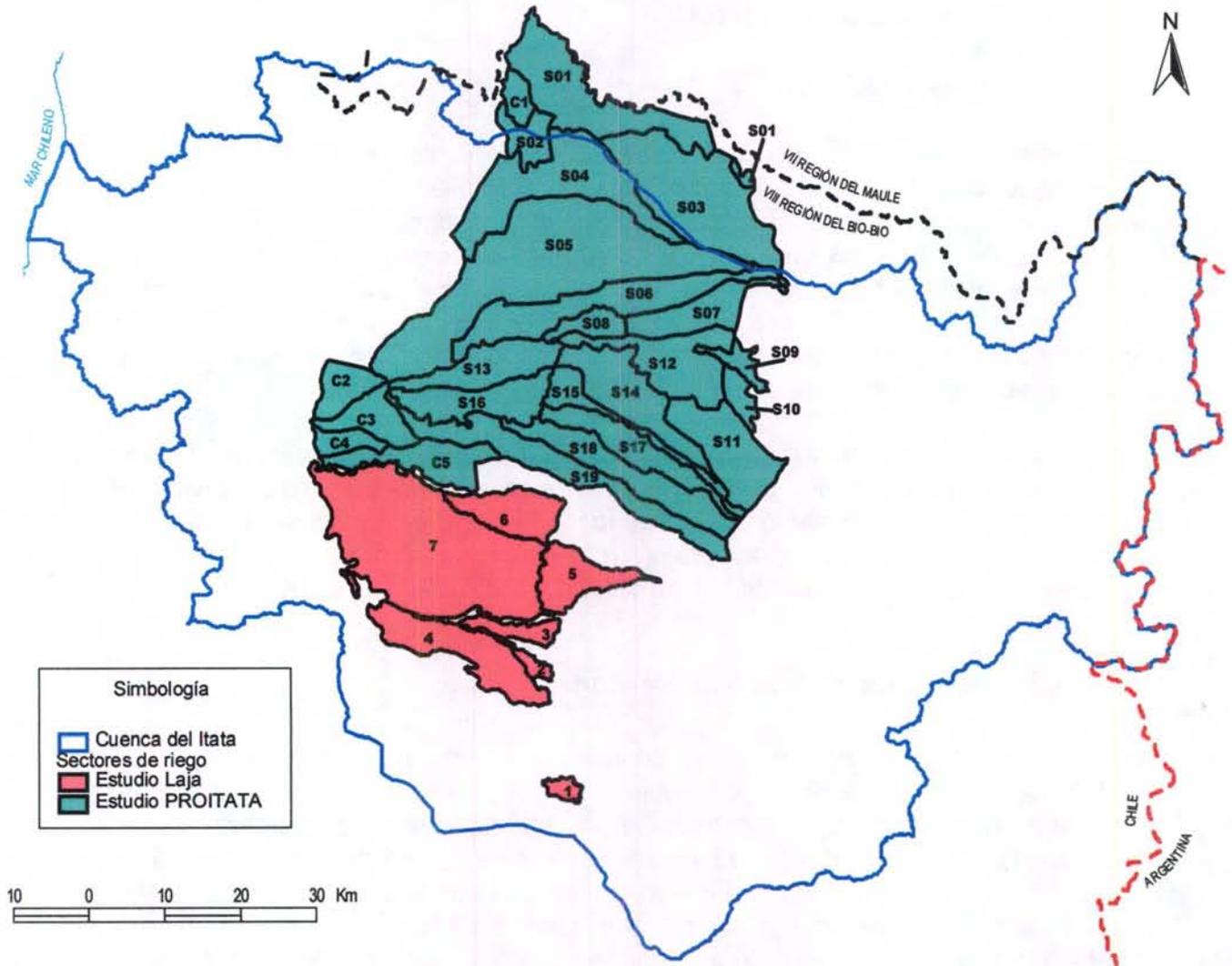
La información requerida para la implementación de MAGIC, se asocia principalmente a la definición e identificación de las zonas de riego existentes, tipo de cultivo, método de riego asociado, evapotranspiración de los cultivos, precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, derrames (retornos) desde o hacia zonas de riego adyacentes, además de la identificación del área cultivable y no cultivable.

V.4.6.1 Definición e Identificación Zonas de Riego

La definición de las zonas de riego se realizó a partir principalmente del *estudio PROITATA* y del *Proyecto Laja Diguillín*, donde se realizó una delimitación de sectores de riego. En el primer estudio se ha determinado preliminarmente zonas de riego para la subcuenca del Ñuble y parte de la sub-cuenca del Ñiquen en su ribera sur. La zona de riego del Ñiquen ha sido considerada en la cuenca del Maule, ya que aunque es principalmente regada con recursos del Río Ñuble, hidrográficamente pertenecen a esta cuenca. Por lo anterior se ha definido considerar las demandas de este sector de riego como salidas de la cuenca del Itata. El segundo estudio presenta la delimitación de zonas de riego de la subcuenca del Diguillín y de la ribera izquierda del río Larqui. En este sector se nota una falta de antecedentes que permitan precisar el método utilizado para estimación de las demandas, al igual que se generalizan los resultados obtenidos a todo el sector, no siendo coherentes con la definición de sectores de riego considerada. Cabe mencionar que aunque el *estudio PROITATA* incorpora la definición de sectores de riego en el área de Diguillín, no desarrolla análisis ni presenta resultados al respecto, razón por la cual se ha considerado exclusivamente la información proporcionada por el proyecto Laja Diguillín.

Las delimitaciones de los sectores de riego fueron llevados a cobertura digital, donde adicionalmente se evidencia una falta de cobertura en la zona sur oriente de la cuenca correspondiente a la subcuenca del Diguillín. Finalmente se originaron 32 zonas de riego, las cuales se presentan en la Figura 5-9.

Figura 5 - 9. Zonas de Riego Cuenca del Río Itata.



Con respecto a los valores de superficie de riego en la cuenca, se compararon las distintas fuentes de información existentes, encontrando diferencias que es necesario analizar. Las superficies correspondientes se presentan en el Cuadro 5-10.

**Cuadro 5 - 10. Comparación Estimaciones de superficies según distintas fuentes de información.
Cuenca del Río Itata.**

SUPERFICIE CULTIVABLE (Hás)					
SubCuenca	Censo Agropecuario 1997	Estudio ProItata	Proyecto de Riego Laja Diguillín	Estudio de Suelos (Capac. Uso I-IV) ²	Estudio agronómico Univ. de Concepción
Diguillín	73.517	-	78.000	15.1843	-
Itata	34.996	-	-	113.373	-
Itata Desembocadura	79.426	-	-	37.929	-
Nuble	118.692	254.010	-	239.570	-
Total	306.632	-	-	542.717	304.497 ³
SUPERFICIE REGADA (Hás)					
SubCuenca	Censo Agropecuario 1997	Estudio ProItata	Proyecto de Riego Laja Diguillín	Estudio de Suelos (Capac. Uso I-IV) ⁴	Estudio agronómico Univ. de Concepción
Diguillín	21.122	-	-	-	-
Itata	1.548	-	-	-	-
Itata Desembocadura	5.499	-	-	-	-
Nuble	43.265	81.094	-	-	-
Total	71.436	-	-	-	103.258 ⁵

² Elaboración Propia

³ Correspondiente a la superficie del Área de estudio, la que se asume correspondiente con el área cultivable.

⁴ Elaboración Propia

⁵ Superficie asociada a diferentes grados de seguridad. Para una seguridad del 85% se indica que la superficie es de 42.800 hás.

De acuerdo a lo anterior se aprecia que la información es incoherente entre las distintas fuentes de información, lo que se explica principalmente a los distintos criterios y alcances para la estimación de las superficies, que incluso hacen incomparables sus resultados. Lo anterior reafirma la necesidad de realizar un estudio específico que incorpore levantamiento de antecedentes desde terreno, de manera de uniformar criterios para obtener información confiable y actualizada.

Cabe mencionar que el área correspondiente al Río Lonquén, no ha sido considerada en el presente análisis, debido a que actualmente corresponde a una zona de secano siendo la principal actividad silvoagropecuaria, con alrededor de un 45% de la superficie cultivable, la correspondiente a plantaciones forestales. La agricultura que se desarrolla en la zona es de principalmente de subsistencia o de consumo local, con el uso de la tierra asociado a uso de secano de granos, algunos huertos pequeños de hortalizas y pequeñas chacras, los cuales son regados principalmente de norias y pozos de escaso potencial hídrico, con profundidades variables entre los 6 y 12 mts.

Últimamente este sector ha sido intensamente estudiando, habiéndose desarrollado el “*Estudio de Prefactibilidad Construcción Regadío Lonquén*”, donde se plantea alternativas de desarrollo de proyectos de riego que permitan sumar mas de 3.000 Hás mediante la construcción de embalses. Recientemente se ha realizado el proyecto “*Construcción Regadío Lonquén*”, con el cual se pretende aumentar la superficie de riego y la seguridad de abastecimiento a un 85%, generando el consiguiente cambio en la estructura de cultivos y métodos de riego a utilizar en esa zona.

Adicionalmente, una obra que actualmente se presenta construida casi en su totalidad es la del canal Laja-Diguillín. Este trasvasará aguas desde el río Laja al río Diguillín, a través de dos canales revestidos, el primero entregará recursos del Laja al Huepil con un canal de 7.9 Km. y el segundo que entregaría estos recursos al Diguillín a través de un canal de 38.3 Km. Este proyecto aseguraría el recurso en este sector con un 85% de seguridad de riego, aumentaría los sectores de riego de la zona de 15000 Has. alrededor de 44000 Has. Además, al igual que en la zona de Lonquén cambiarían diametralmente los requerimientos de agua, debido a nuevos cultivos más atractivos tales como el “chicory” y la frutilla blanca junto a una disminución de las tierras dedicadas a praderas o forestales.

De acuerdo a las consideraciones antes mencionadas, además de la falta de información coherente y que presente datos suficientes para la implementación de MAGIC, se plantea como recomendación realizar a futuro labores de terreno que permitan actualizar las zonas de riego y sus características, al igual que mejorar la cobertura de las zonas de riego en toda la cuenca. Sin embargo, para efectos del desarrollo de información preliminar de esta área temática, se ha realizado el poblamiento de la información principal que se requiere para implementar MAGIC, todo lo cual referido a los sectores de riego indicados anteriormente.

Cuadro 5 - 11. Cultivos en Zonas de Riego Cuenca del Río Itata

Cultivo \ ZR	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Manzano	0	0	85,6	0	354,8	137,9	77,3	0	0	0
Peral	0	0	24,7	0	98,1	33,4	32,1	0	0	0
Kivi	0	0	17,1	0	58,2	23,6	17,4	0	0	0
Frambuesa	0	0	22,1	0	66,7	30,8	18,3	0	0	0
Trigo	77,8	14,3	2131,6	585,8	1743,8	1622,6	825,6	501,5	35,7	49,7
Remolacha	48,9	0	1690,6	715,6	2248,8	1664,5	589,8	141,5	18,2	31,5
Arroz	0	43,9	0	1977,1	6669	0	0	0	0	0
Cebada	21,1	0	603	0	0	471,8	191,3	95,3	7,5	9,9
Avena	2,2	0,6	63,1	21,6	60,3	49,5	20	10	1,1	1,4
Maíz Grano	26,7	9,4	24,4	66,3	85,6	45	2	35,3	18,4	8,8
Raps	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frejol	30,4	0	1218,5	0	0	674,3	273,3	136,2	0	0
Papas	0	0	0	0	36,6	0	0	0	0	0
Sandía	0	0	0	0	11,6	0	0	0	0	0
Lechuga	0	0	0	0	5,8	0	0	0	0	0
Zanahoria	0	0	0	0	28,1	0	0	0	0	0
Tomate	0	0	0	0	11,6	0	0	0	0	0
Maíz Choclo	0	0	0	0	134,3	0	0	0	0	0
Maravilla	0	0	0	0	62,1	0	0	0	0	0
Esparrago	0	0	0	0	0	0	91,8	0	0	4,7
Pradera Artificial	45,4	10,6	1355,9	577,9	2557,4	1190,2	671,3	184,8	14,5	23,3
Pradera mejorada	5	2,9	82,4	80,1	250,4	133,2	62,3	28,2	4,5	2,5
Pradera natural	135,4	31,7	3171	848,5	2308,2	2645,9	1163,8	656,6	73,1	82,9
Total	392,9	113,4	10490	4872,9	16791,4	8722,7	4036,3	1789,4	173	214,7

Fuente: Estudio PROITATA

Cuadro 5 – 11. Cultivos en Zonas de Riego Cuenca del Río Itata (Continuación)

S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	C1	C2
32,1	0	61,1	42,7	42,8	19,8	37,6	3,2	0	0	0
2,9	0	2,7	6,4	9,1	2,6	0	0	0	0	0
2	0	2,5	5,1	6,5	2,1	0,7	0,3	0	0	0
2,6	0	3,8	7,2	8	2,9	1,5	0,6	0	0	0
407,4	397	783,8	363,4	564,3	633,8	538,4	230,1	78,9	4,7	5,1
353,7	394,1	750	506,9	543,6	325,9	272,7	73,5	31	0	0,7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	116,9	220,9	130,5	143,1	134,8	102,7	41,5	21,6	0	0
9,2	12,1	19,6	13,6	15	14,6	10,6	4,2	2,3	0	0
36,7	19,4	27,4	21,7	49,5	39,3	37,7	14,3	85,3	2,1	6,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,5	219,6	94	241,2	126,4	244,2	71,6	23,3	8,5	0,3	0,2
9	12	19,2	0	14,7	14,2	10,5	0	0	0	0
2,8	3,8	6,1	0	4,6	4,5	3,3	0	0	0	0
1,4	1,9	3	0	2,3	2,2	1,7	0	0	0	0
6,9	9	14,7	0	11,3	10,8	7,9	0	0	0	0
2,8	3,8	6,1	0	4,6	4,5	3,3	0	0	0	0
33	43,7	70,3	0	53,6	51,8	38,4	0	0	0	0
3,6	27,2	7,6	0	13,2	5,6	0	0	0	0	0
46,4	61,6	99,1	62,7	75,4	72,9	54,1	18,4	0	0	0
186,4	398,5	403,8	303,7	391,9	313,2	193,2	74,7	37,9	1,5	3,8
26,9	35,6	83,3	40,9	60,2	49,2	42,1	8,1	5	0	0
582,7	821,4	1434,8	813,5	1040,3	1037,1	749,6	307,4	182	5,2	10,1
1818	2577,6	4113,8	2559,5	3180,4	2986	2177,6	799,6	452,5	13,8	26,1

Fuente: Estudio PROITATA

Cuadro 5 – 11. Cultivos en Zonas de Riego Cuenca del Río Itata (Continuación)

C3	C4	C5	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,2	0	51,9	1140	5301	1858,2	148,2	437	95	517,56
8,5	0	0	540	2511	880,2	70,2	207	45	245,16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
11,7	0	17,7	780	3627	1271,4	101,4	299	65	354,12
0	0	0	300	1395	489	39	115	25	136,2
0	0	5,5	900	4185	1467	117	345	75	408,6
0	0	0	720	3348	1173,6	93,6	276	60	326,88
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,8	0	11,7	240	1116	391,2	31,2	92	20	108,96
1,9	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0
34,8	0	54,4	0	0	0	0	0	0	0
79,7	0	143,3	4620	21483	7530,6	600,6	1771	385	2097,48

Fuente: Estudio PROITATA

La información obtenida desde estos estudios se contrastó con la entregada por el VI Censo Nacional Agropecuario donde se indica la cantidad de área regada por comuna en la cuenca estudiada y se comprobó que ambos antecedentes no son concordantes; por otro lado, los estudios desde donde fueron obtenidos los datos no son recientes y la cobertura de estos no corresponde a la totalidad de la zona de la cuenca en estudio, por tanto se presume que no son representativos de la zona en la actualidad. Se recomienda realizar labores de levantamiento de información en terreno mismo para poder obtener datos fiables con respecto a los antecedentes necesarios.

V.4.6.4 Identificación de Métodos de Riego

Los métodos de riego, particularmente sus eficiencias, asociados a cada cultivo existente en las zonas de riego definidas, son necesarios para que MAGIC calcule internamente las NNM.

El estudio *PROITATA* y el estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Itata, incorporan la identificación de tres métodos de riego principales, tendido, surco e inundación, los cuales asocian de manera genérica para todos los sectores de riego, de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 5-12.

Cuadro 5 - 12. Métodos de Riego para todas las Zonas de Riego Cuenca del Río Itata

Métodos de Riego Cultivos Zona PROITATA				
método	Tendido	Surco	Inundación	Efic. promedio
Efic.	0,35	0,53	0,6	
Cultivo				
Manzano		100,00%		0,53
Peral		100,00%		0,53
Kiwi		100,00%		0,53
Frambuesa		100,00%		0,53
Trigo	100,00%			0,35
Remolacha	94,12%	5,88%		0,36
Arroz			100,00%	0,60
Cebada	100,00%			0,35
Avena	100,00%			0,35
Maíz Grano	77,32%	22,68%		0,39
Frejol	57,04%	42,96%		0,43
Papas	56,25%	43,75%		0,43
Sandía		100,00%		0,53
Lechuga		100,00%		0,53
Zanahoria	100,00%			0,35
Tomate		100,00%		0,53
Maíz Choclo	97,24%	2,76%		0,35
Maravilla	100,00%			0,35
Espárrago		100,00%		0,53
Prad. artificial	100,00%			0,35
Prad. mejoradas	100,00%			0,35
Prad. naturales	100,00%			0,35
Métodos de Riego Cultivos Zona Diguillin (representativo para todos los cultivos)				
Tendido	Surco		Otros	
90%	4%		6%	

V.4.6.5 Evapotranspiración de Cultivos

La determinación de la evapotranspiración potencial de los cultivos ha sido calculada a partir de Eto especificado en el Atlas Agroclimático de Chile (Fernando Santibañez) del año 1993 obtenidos por el método de Penman. Estos valores están agrupados por distrito agroclimático, quedando las zonas de riego emplazadas en varios de estos distritos, por lo que fue necesario ponderar el valor de Eto para cada zona de riego, por la superficie perteneciente a cada distrito agroclimático. Dicha ponderación fue realizada intersectando la cobertura de las zonas de riego con la cobertura de los distritos agroclimáticos mediante una aplicación en Arcview. El Cuadro 5-13 muestra los valores de E_{to} para cada zona de riego por mes.

Cuadro 5 - 13. ETo por Zonas de Riego Cuenca del Río Itata

Zona de Riego	Enero [mm]	Febrero [mm]	Marzo [mm]	Abril [mm]	Mayo [mm]	Junio [mm]	Julio [mm]	Agosto [mm]	Septiembre [mm]	Octubre [mm]	Noviembre [mm]	Diciembre [mm]
S2	149,00	140,10	115,70	82,50	49,20	24,90	16,00	24,90	49,30	82,50	115,80	140,10
S3	146,71	137,94	113,84	81,07	48,20	24,20	15,43	24,20	48,30	81,07	113,94	137,94
S4	148,67	139,78	115,40	82,24	48,98	24,70	15,81	24,70	49,08	82,24	115,50	139,78
S5	148,16	139,30	114,99	81,92	48,75	24,54	15,68	24,54	48,85	81,92	115,09	139,30
S6	146,88	138,11	114,02	81,26	48,40	24,41	15,64	24,41	48,50	81,26	114,12	138,11
S7	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
S8	146,37	137,63	113,61	80,96	48,20	24,28	15,54	24,28	48,30	80,96	113,71	137,63
S9	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
S10	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
S11	147,02	138,29	114,26	81,60	48,84	24,91	16,18	24,91	48,94	81,60	114,36	138,29
S12	145,12	136,51	112,78	80,54	48,20	24,57	15,96	24,57	48,30	80,54	112,88	136,51
S13	148,43	139,53	115,13	81,93	48,63	24,33	15,43	24,33	48,73	81,93	115,23	139,53
S14	145,11	136,50	112,77	80,54	48,20	24,57	15,96	24,57	48,30	80,54	112,87	136,50
S15	145,88	137,20	113,29	80,79	48,20	24,39	15,71	24,39	48,30	80,79	113,39	137,20
S16	148,52	139,62	115,22	82,02	48,72	24,42	15,52	24,42	48,82	82,02	115,32	139,62
S17	145,32	136,69	112,91	80,61	48,20	24,52	15,89	24,52	48,30	80,61	113,01	136,69
S18	145,39	136,75	112,96	80,63	48,20	24,51	15,87	24,51	48,30	80,63	113,06	136,75
S19	146,60	137,86	113,85	81,21	48,47	24,56	15,83	24,56	48,57	81,21	113,95	137,86
C2	147,13	138,28	114,10	81,16	48,13	24,04	15,20	24,04	48,23	81,16	114,20	138,28
C3	148,78	139,88	115,48	82,28	48,98	24,68	15,78	24,68	49,08	82,28	115,58	139,88
C4	148,71	139,81	115,41	82,21	48,91	24,61	15,71	24,61	49,01	82,21	115,51	139,81
C5	148,96	140,06	115,66	82,46	49,16	24,86	15,96	24,86	49,26	82,46	115,76	140,06
1	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
2	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
3	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
4	146,18	137,46	113,49	80,89	48,20	24,33	15,61	24,33	48,30	80,89	113,59	137,46
5	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
6	146,30	137,58	113,61	81,03	48,35	24,48	15,77	24,48	48,45	81,03	113,71	137,58
7	147,91	139,07	114,82	81,84	48,76	24,61	15,77	24,61	48,86	81,84	114,92	139,07

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al Kc de cada cultivo presente en las zonas de riego, se ocuparon los incorporados en el estudio PROITATA, los cuales se presentan en el Cuadro 5-14.

Cuadro 5 - 14. Kc Cuenca del Río Itata

Cultivos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Manzano	1.13	1.13	1.08	0.83					0.38	0.43	0.73	1.00
Peral	1.05	1.04	0.91	0.72					0.38	0.43	0.70	0.92
Kiwi	1.25	1.24	1.21	1.08					0.51	0.60	1.12	1.02
Frambuesa	1.05	0.96	0.86	0.55					0.60	0.81	0.96	1.04
Trigo						0.40	0.60	0.98	1.08	1.10	0.98	0.50
Remolacha	0.98	1.05	1.07	1.05	0.95				0.47	0.50	0.58	0.76
Arroz	1.20	1.15	1.05	0.95							1.10	1.10
Cebada									0.80	1.08	0.92	0.40
Avena	0.42								0.57	0.98	1.07	0.90
Maíz Grano	1.08	1.05	0.75							0.47	0.66	0.98
Raps	0.65								0.40	0.60	0.75	0.91
Frejol	1.11	1.05	0.50								0.54	0.97
Papa	1.09	0.98	0.77							0.48	0.54	0.97
Sandía	0.82									0.48	0.70	0.92
Lechuga									0.52	0.88	0.93	0.00
Zanahoria									0.51	0.77	1.02	0.86
Tomate	0.87									0.65	0.92	1.08
Maíz Choclo	1.08	1.03								0.53	0.58	0.93
Maravilla	1.05	1.08	0.70								0.55	0.76
Esparrago	0.80	0.78	0.75						0.75	0.83	0.87	0.90
Praderas Artificiales	0.91	0.76	0.54						0.53	0.75	0.78	0.92
Praderas mejoradas	1.05	1.00	0.95						0.63	0.80	1.00	1.05
Praderas Naturales	1.00	0.95	0.88						0.57	0.73	0.92	1.00

Fuente: Estudio PROITATA

Finalmente, considerando la ETo, los KC y la distribución de los cultivos en las zonas de riego consideradas, que se presentan el Cuadro 5-14, es posible obtener las demandas evapotranspirativas de los sectores cultivados de cada zona de riego. Estos resultados se presentan en el Cuadro 5-15.

V.4.6.5 Evapotranspiración de Cultivos

La determinación de la evapotranspiración potencial de los cultivos ha sido calculada a partir de Eto especificado en el Atlas Agroclimático de Chile (Fernando Santibañez) del año 1993 obtenidos por el método de Penman. Estos valores están agrupados por distrito agroclimático, quedando las zonas de riego emplazadas en varios de estos distritos, por lo que fue necesario ponderar el valor de Eto para cada zona de riego, por la superficie perteneciente a cada distrito agroclimático. Dicha ponderación fue realizada intersectando la cobertura de las zonas de riego con la cobertura de los distritos agroclimáticos mediante una aplicación en Arcview. El Cuadro 5-13 muestra los valores de ETC para cada zona de riego por mes.

Cuadro 5 - 13. ETO por Zonas de Riego Cuenca del Río Itata

Zona de Riego	Enero [mm]	Febrero [mm]	Marzo [mm]	Abril [mm]	Mayo [mm]	Junio [mm]	Julio [mm]	Agosto [mm]	Septiembre [mm]	Octubre [mm]	Noviembre [mm]	Diciembre [mm]
S2	149,00	140,10	115,70	82,50	49,20	24,90	16,00	24,90	49,30	82,50	115,80	140,10
S3	146,71	137,94	113,84	81,07	48,20	24,20	15,43	24,20	48,30	81,07	113,94	137,94
S4	148,67	139,78	115,40	82,24	48,98	24,70	15,81	24,70	49,08	82,24	115,50	139,78
S5	148,16	139,30	114,99	81,92	48,75	24,54	15,68	24,54	48,85	81,92	115,09	139,30
S6	146,88	138,11	114,02	81,26	48,40	24,41	15,64	24,41	48,50	81,26	114,12	138,11
S7	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
S8	146,37	137,63	113,61	80,96	48,20	24,28	15,54	24,28	48,30	80,96	113,71	137,63
S9	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
S10	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
S11	147,02	138,29	114,26	81,60	48,84	24,91	16,18	24,91	48,94	81,60	114,36	138,29
S12	145,12	136,51	112,78	80,54	48,20	24,57	15,96	24,57	48,30	80,54	112,88	136,51
S13	148,43	139,53	115,13	81,93	48,63	24,33	15,43	24,33	48,73	81,93	115,23	139,53
S14	145,11	136,50	112,77	80,54	48,20	24,57	15,96	24,57	48,30	80,54	112,87	136,50
S15	145,88	137,20	113,29	80,79	48,20	24,39	15,71	24,39	48,30	80,79	113,39	137,20
S16	148,52	139,62	115,22	82,02	48,72	24,42	15,52	24,42	48,82	82,02	115,32	139,62
S17	145,32	136,69	112,91	80,61	48,20	24,52	15,89	24,52	48,30	80,61	113,01	136,69
S18	145,39	136,75	112,96	80,63	48,20	24,51	15,87	24,51	48,30	80,63	113,06	136,75
S19	146,60	137,86	113,85	81,21	48,47	24,56	15,83	24,56	48,57	81,21	113,95	137,86
C2	147,13	138,28	114,10	81,16	48,13	24,04	15,20	24,04	48,23	81,16	114,20	138,28
C3	148,78	139,88	115,48	82,28	48,98	24,68	15,78	24,68	49,08	82,28	115,58	139,88
C4	148,71	139,81	115,41	82,21	48,91	24,61	15,71	24,61	49,01	82,21	115,51	139,81
C5	148,96	140,06	115,66	82,46	49,16	24,86	15,96	24,86	49,26	82,46	115,76	140,06
1	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
2	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
3	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
4	146,18	137,46	113,49	80,89	48,20	24,33	15,61	24,33	48,30	80,89	113,59	137,46
5	145,00	136,40	112,70	80,50	48,20	24,60	16,00	24,60	48,30	80,50	112,80	136,40
6	146,30	137,58	113,61	81,03	48,35	24,48	15,77	24,48	48,45	81,03	113,71	137,58
7	147,91	139,07	114,82	81,84	48,76	24,61	15,77	24,61	48,86	81,84	114,92	139,07

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al Kc de cada cultivo presente en las zonas de riego, se ocuparon los incorporados en el estudio PROITATA, los cuales se presentan en el Cuadro 5-14.

Cuadro 5 - 14. Kc Cuenca del Río Itata

Cultivos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Manzano	1.13	1.13	1.08	0.83					0.38	0.43	0.73	1.00
Peral	1.05	1.04	0.91	0.72					0.38	0.43	0.70	0.92
Kiwi	1.25	1.24	1.21	1.08					0.51	0.60	1.12	1.02
Frambuesa	1.05	0.96	0.86	0.55					0.60	0.81	0.96	1.04
Trigo						0.40	0.60	0.98	1.08	1.10	0.98	0.50
Remolacha	0.98	1.05	1.07	1.05	0.95				0.47	0.50	0.58	0.76
Arroz	1.20	1.15	1.05	0.95							1.10	1.10
Cebada									0.80	1.08	0.92	0.40
Avena	0.42								0.57	0.98	1.07	0.90
Maíz Grano	1.08	1.05	0.75							0.47	0.66	0.98
Raps	0.65								0.40	0.60	0.75	0.91
Frejol	1.11	1.05	0.50								0.54	0.97
Papa	1.09	0.98	0.77							0.48	0.54	0.97
Sandía	0.82									0.48	0.70	0.92
Lechuga									0.52	0.88	0.93	0.00
Zanahoria									0.51	0.77	1.02	0.86
Tomate	0.87									0.65	0.92	1.08
Maíz Choclo	1.08	1.03								0.53	0.58	0.93
Maravilla	1.05	1.08	0.70								0.55	0.76
Esparrago	0.80	0.78	0.75						0.75	0.83	0.87	0.90
Praderas Artificiales	0.91	0.76	0.54						0.53	0.75	0.78	0.92
Praderas mejoradas	1.05	1.00	0.95						0.63	0.80	1.00	1.05
Praderas Naturales	1.00	0.95	0.88						0.57	0.73	0.92	1.00

Fuente: Estudio PROITATA

Finalmente, considerando la ETo, los KC y la distribución de los cultivos en las zonas de riego consideradas, que se presentan el Cuadro 5-14, es posible obtener las demandas evapotranspirativas de los sectores cultivados de cada zona de riego. Estos resultados se presentan en el Cuadro 5-15.

Cuadro 5 - 15. Demandas Evapotranspirativas por Zonas de Riego Cuenca del Río Itata (m³)

Zona de Riego	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
S2	160070	142098	103583	34407	0	1424	1373	3489	20353	44640	126728	153706
S3	11318700	10166603	7050158	1535942	774126	206347	197342	505549	3021186	5985430	9727697	11740162
S4	6854232	6178191	4646843	2162607	332958	57885	55585	141819	893639	1784081	5243621	6375908
S5	23895083	21434487	15864610	7505112	1041530	171206	164104	419454	2959955	6019868	17803581	22027199
S6	9643186	8705985	6253622	1567231	765377	158445	152312	388190	2549862	5067017	8110505	9827486
S7	4298680	3843662	2742987	592011	270069	81239	79258	199036	1217650	2398252	3775443	4497259
S8	1735592	1542953	1079893	120281	64793	48707	46771	119331	569830	1126536	1756166	1966410
S9	187235	168311	123651	15384	8334	3513	3427	8607	51151	107856	167805	197644
S10	219458	197704	148489	26625	14424	4890	4771	11982	68522	137196	207914	237165
S11	1942990	1762375	1300899	329422	164114	40596	39558	99460	566747	1130207	1731252	2033678
S12	2931807	2617882	1796192	333280	180458	39020	38016	95599	708775	1449303	2356282	2945417
S13	4510212	4079286	2992646	692282	346503	76286	72574	186900	1258178	2543893	3958063	4680540
S14	2966337	2688836	1927885	468529	232110	35722	34807	87518	707817	1411774	2321836	2922174
S15	3532689	3180285	2280407	504383	248914	55061	53174	134900	926083	1883987	2975105	3607003
S16	3245901	2894378	1990298	298863	150849	61918	59031	151698	885740	1798007	2882909	3437605
S17	2190568	1966948	1412988	257237	124869	52817	51340	129401	683344	1363969	2098043	2396563
S18	753112	673450	494479	64894	33656	22559	21911	55269	267573	523663	792462	866144
S19	519659	465628	326532	26434	14274	7751	7492	18990	119139	270527	433440	534580
C2	31112	27571	18759	597	320	490	465	1202	6560	15489	24945	31744
C3	94253	84737	61708	7344	3955	1599	1534	3919	22600	49045	78363	96363
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	136263	119794	81878	0	0	5160	4969	12643	46537	95490	146830	162187
1	5173269	4390716	2588687	456435	247266	112176	109440	274831	836487	2089251	3644761	5197541
2	24055699	20416829	12037394	2122423	1149787	521618	508896	1277965	3889665	9715017	16948140	24168568
3	8432428	7156867	4219559	743989	403044	182847	178387	447975	1363474	3405479	5940961	8471993
4	677988	575229	338874	59626	32145	14420	13878	35329	108743	272927	477118	680932
5	1983086	1683108	992330	174967	94785	43001	41952	105352	320653	800880	1397159	1992391
6	434964	369066	217475	38288	20669	9303	8987	22792	69922	175255	306193	436884
7	2395761	2032441	1197409	210670	113553	50942	48976	124807	384133	964304	1685874	2405916

En la determinación de las demandas, las zonas S1 y C1 no han sido consideradas por encontrarse totalmente dentro de la zona de Niquen, la cual forma parte de la cuenca del Maule.

V.4.6.6 Precipitación Efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, se deberá utilizar la información estadística de las estaciones pluviométricas correspondientes a la cuenca del Itata, asociadas a las zonas de riego según su ubicación geográfica. Esta labor no será abordada en el presente estudio; de la misma forma que no se abordará el procesamiento de la estadística pluviométrica y fluviométrica.

Para estos efectos se ha definido el riesgo agronómico en el año 50%; es decir, la precipitación efectiva agronómica se definió como aquella que tiene probabilidad de excedencia anual de 50 %. Dicha precipitación deberá ser calculada mediante un análisis de frecuencia, ya sea mediante Weibull u otro método, utilizando como base la información pluviométrica que se indica en el punto V.4.13 del presente informe.

V.4.6.7 Percolaciones

La estimación del caudal percolado, que forma parte del balance hídrico del acuífero y de la zona de riego correspondiente, se realiza mediante el coeficiente de percolación obtenido directamente por la nueva versión de MAGIC, a partir de antecedentes de textura del suelo y de la relación que posee con los coeficientes de riego (eficiencias de métodos de riego) y de derrame. Este consultor ha poblado un shape con información de texturas de suelos en toda el área donde existen estudio de suelos. Esta información se incorpora en el respaldo magnético correspondiente.

Adicionalmente, la textura del suelo permite estimar los valores que permiten el cálculo de la fracción percolada hacia el acuífero, en función de parámetros del modelo pluvial MPL tales como la porosidad efectiva, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Para la determinación de la porosidad efectiva se considera la Tabla 4.4.1 de "Hidrología Aplicada" Chow et al. 1994, mientras que el resto de los parámetros mencionados serán obtenidos del Boletín N° 24 de la FAO.

La identificación de la textura de los suelos, se realizó mediante el uso de la clasificación de suelos contenido en los estudios de suelos PROITATA Etapa I y Etapa II, Estudio de Suelos Laja Diguillín y el Proyecto Aerofotogramétrico, donde asociado a las variaciones de serie identificadas se incorpora la textura predominante de cada una. Esta información actualmente se está preparando, esperando obtener una cobertura de gran parte del valle a través de esta metodología.

No se considera realizar una estimación de los coeficientes de percolación para cada sector de riego considerado, debido a que este consultor recomienda realizar labores de terreno para actualizar la definición y características de los sectores de riego.

V.4.6.8 Derrames o Retornos

Los derrames o retornos se entienden como aquellas aguas que se aplicaron en la zona de riego pero que no fueron aprovechadas durante el riego ni percolaron hacia el acuífero. Dichas aguas se trasladan en forma superficial o subsuperficial hacia aguas abajo hasta volver a aparecer en la superficie.

Para la estimación del coeficiente equivalente de derrame, MAGIC requiere los parámetros del suelo explicados en el punto de percolación, puesto que dicho coeficiente se obtiene mediante continuidad entre la eficiencia de riego, el derrame y la percolación asociada a cada cultivo. Como se explicó anteriormente, esta nueva versión de MAGIC calcula de manera automática los coeficientes de derrame asociados a cada sector de cada zona de riego y para cada mes, estimando con los parámetros anteriores la cantidad de agua aplicada que fluye como escorrentía superficial o subsuperficial.

En las fuentes de información consultadas no se incorpora análisis de los derrames en la cuenca de estudio.

V.4.6.9 Identificación de Zonas Cultivables y No Cultivables

La versión 2.0 de MAGIC distingue dentro de las zonas de riego las Áreas Cultivadas de las Áreas No Cultivadas, calculando para ambas la Necesidad Neta Mensual demandada. El cálculo de la NNM del área cultivable de las zonas de riego se realizó anteriormente, mientras que para el área no cultivable se consideran los siguientes criterios, de los cuales el más adecuado será definido por el usuario:

- a) Calcular la NNM considerando datos reales, para lo cual se requerirían fotografías aéreas que permitan estimar la superficie no cultivada y observar el tipo de vegetación existente en estas áreas, o bien, información actualizada sobre el uso actual del suelo en la cuenca.
- b) Calcular la NNM considerando una proyección sobre el futuro uso que se le puede otorgar a la zona de riego no cultivada, estimando así las demandas considerando escenarios futuros.
- c) Calcular la NNM considerando, para fines prácticos, que la superficie no cultivada corresponde a praderas, otorgándole así la demanda de agua asociada a este tipo de uso de suelo, lo que permite obtener una aproximación de la necesidad real.

En los dos primeros criterios se requiere información sobre el uso de suelo actual o futuro sobre las zonas no cultivadas, lo cual permite obtener valores sobre las necesidades de demanda de la superficie, así como el caudal que percola o escurre superficialmente en dichas zonas producto de la precipitación que cae a la cuenca. Dicha precipitación se obtiene del cálculo de la precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico explicado anteriormente.

V.4.7 Centrales Hidroeléctricas

Actualmente no existen demandas de agua para la producción de energía eléctrica en la Cuenca del Río Itata, sin embargo se proyecta instalaciones a futuro.

Esta cuenca se encuentra inserta en el área de abastecimiento eléctrico de SIC. En el programa tentativo de centrales hasta el año 2020 se ha incluido sólo la central Ñuble, la cual tiene estudios bastante avanzados. El proyecto cuyo derecho de aprovechamiento ha sido concedido por la DGA a nombre de la Compañía General de Electricidad Industrial, aprovechará la mayor parte del recurso del Río Ñuble correspondiente al tramo comprendido entre el Río Damas y el pueblo de San Fabián de Alico.

Por otro lado, se ha constatado que existen otros derechos de aprovechamiento no consuntivos concedidos por la DGA, que se presume han sido solicitados con fines de producción de energía.

A continuación se resume la situación actual de los derechos de aprovechamiento de aguas solicitados a la Dirección General de Aguas (D.G.A) para proyectos hidroeléctricos en la cuenca del Río Itata según datos extraídos del estudio "Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección" realizado por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda-AC Ingenieros Consultores Ltda, 2003., y el "Estudio Integral de Riego Proyecto Itata" realizado por el Consorcio de Ingeniería Ingendesa – EDIC Ltda., Agosto 1994.

En el Cuadro 5-16 se muestra el nombre del proyecto, el usuario del derecho, caudal solicitado, la potencia que generaría la central, la fecha de la concesión, el estado del derecho de aprovechamiento y la empresa que obtuvo los derechos mencionados.

Cuadro 5 - 16. Resumen Características Proyectos de Generación de Energía Hidroeléctricas Futuros Cuenca del Río Itata

Nombre Central	Usuario	Caudal* (l/s)	Potencia (MW)	Fecha	Estado	Empresa
Salto Itata	Soc.Maderas Prensadas	130.000	Sin Inf.	Sin Inf.	Concedido	CGEI S.A
González	CHILGENER S.A	14.300	22	03.92	Concedido	CHILGENER
La Zorra	CHILGENER S.A	31.300	35	03.92	Concedido	CHILGENER
Los Sauces 1	CHILGENER S.A	33.800	30	03.92	Concedido	CHILGENER
Los Sauces 2	CHILGENER S.A	38.600	47	03.92	Concedido	CHILGENER
Las Truchas 1	CHILGENER S.A	8.000	12	03.92	Concedido	CHILGENER
Las Truchas 2	CHILGENER S.A	13.500	18	03.92	Concedido	CHILGENER
Río Ñuble	Sin Inf.	45.000	58	06.84	Concedido	CGEI S.A

Fuente: "Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección" Ayala, Cabrera y Asociados Ltda-AC Ingenieros Consultores Ltda., 2003.

"Estudio Integral de Riego Proyecto Itata" Consorcio de Ingeniería Ingendesa – EDIC Ltda., 1994.

* : Corresponde a monto promedio de los derechos de aprovechamiento.

En la Figura 5-10 se indica la ubicación de las centrales hidroeléctricas ya indicadas.

Con el propósito de analizar la posibilidad de mejorar el riego en la cuenca del Río Itata, el *estudio Integral* realizó preliminarmente la factibilidad técnica económica de implementar una central hidroeléctrica en las cercanías de los embalses proyectados de Punilla y Los Monos.

Del análisis de la operación de los embalses, se descartó de inmediato la posibilidad de implantar centrales en los embalses proyectados de Changaral, Boyén y Quilmo, debido a su pequeño caudal de riego aprovechable para la generación de energía y por la pequeña altura de caída disponible en cada una.

Las características de las centrales estudiadas se presentan a continuación.

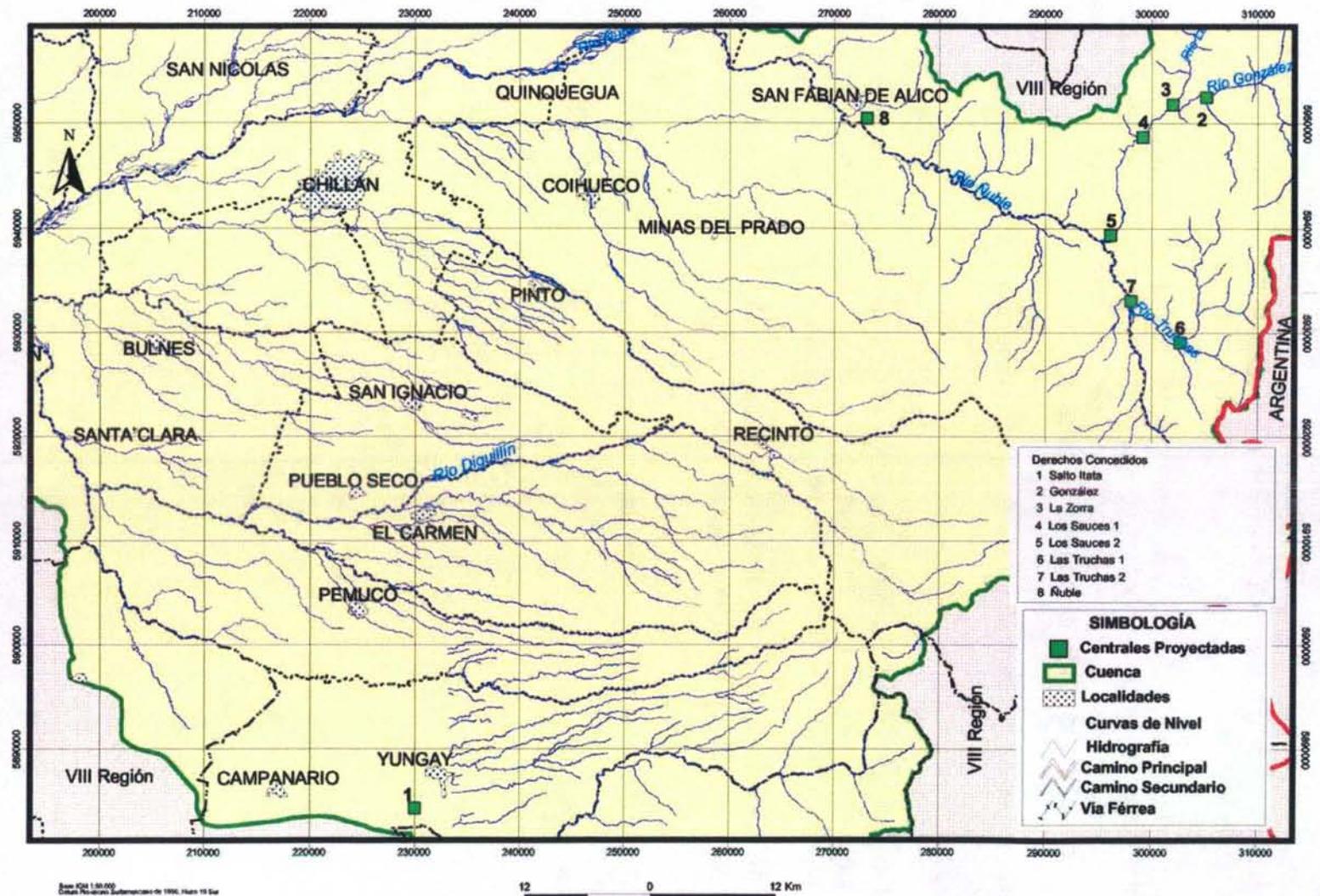
i. Central Hidroeléctrica Punilla

La central hidroeléctrica se ubicaría en las cercanías de la presa del mismo nombre y utilizaría como aducción las mismas obras que se requieren para la entrega del agua de riego, con las mínimas modificaciones necesarias para tal efecto.

Debido a que es manifiesta la ganancia de energía cuando la central dispone de dos máquinas, se adoptó la alternativa con dos turbinas y con los siguientes parámetros de diseño:

Q diseño (aproximadamente igual a la demanda máxima de riego)	= 140 m ³ /s
Altura de diseño	= 96 m
Potencia de la Central	= 117 Mw

Figura 5 - 10. Ubicación Proyectos Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Río Itata.



La central resultó atractiva desde el punto de vista económico, sin embargo, ella no generaría en el mes de Abril y tendría una baja generación en los meses de Mayo, Junio y Julio. En el período de Agosto-Febrero tendría una generación elevada y muy cercana a plena carga.

ii. Central Hidroeléctrica Los Monos

Esta central se ubicaría en la ribera derecha inmediata a la presa del mismo nombre. En este caso no resulta conveniente instalar dos turbinas, ya que prácticamente no hay ganancia de energía al disponer dos unidades generadoras.

Se adoptó, en este estudio, la solución de considerar una sola turbina cuyos parámetros de diseño son los siguientes:

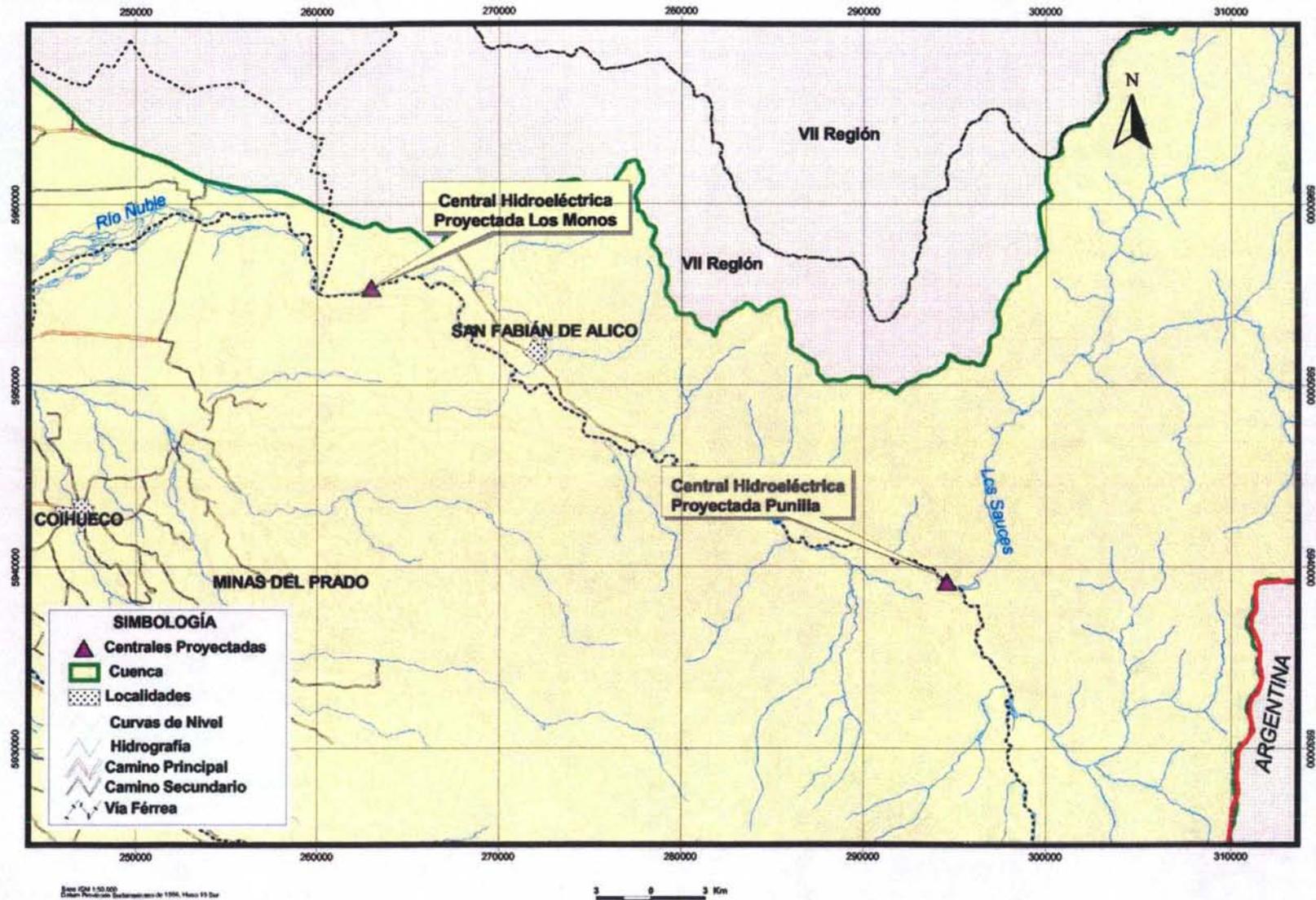
Q diseño (aproximadamente igual a la demanda máxima de riego)	= 120 m ³ /s
Altura de diseño	= 73,5 m
Potencia de la Central	= 77 Mw

De los resultados obtenidos en la evaluación económica se concluye que la central hidroeléctrica Los Monos es factible técnica y económicamente.

Cabe hacer presente que esta central prácticamente estaría detenida en los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio de cada año, y sólo operaría con un caudal cercano al de diseño durante la época de riego. Este hecho podría constituir una limitante seria para la decisión de construir esta central.

En la Figura 5-11 se muestra la ubicación de las centrales hidroeléctricas proyectadas.

Figura 5 - 11. Ubicación Proyectos Centrales Hidroeléctricas en Embalses de Riego Cuenca del Río Itata.



V.4.8 Embalses

Este objeto posibilita la representación de una obra de regulación de caudal ubicada en cualquier lugar de la cuenca de estudio, que recibe agua de acuerdo a los aportes definidos mediante la topología y entregan agua de acuerdo a cierta regla de operación característica. Las entradas al embalse corresponden a los caudales afluentes desde cuencas (cabecera o intermedias) y desde canales alimentadores. Las salidas pueden ser las entregas para riego y/o generación eléctrica (para energía con o sin generación), rebases, evaporación y filtración.

La información necesaria para la incorporación de estos elementos se asocia a características generales (inicio operación, volúmenes, cotas, etc.), reglas de operación (curva de alerta), caudales de demandas, caudales de filtraciones, caudales de entregas, volumen embalsado, caudal de rebases, curvas de embalse y tasa de evaporación.

V.4.8.1 Embalses Existentes

De acuerdo a los antecedentes existentes, en la cuenca del Río Itata existe sólo un embalse denominado Coihueco, el cual fue construido por la Dirección General de Riego en los años 1964 a 1970.

De acuerdo al estudio *PROITATA*, el embalse tiene una capacidad de 28,8 Mm³ los que embalsa mediante un muro de tierra con núcleo impermeable y protección de enrocado en ambos taludes. El embalse lleno inunda una superficie de 225 há. Posee un vertedero frontal de 5,00 m de ancho con una barrera de concreto, un rápido y pequeño colchón amortiguador.

La entrega de agua se efectúa de acuerdo a lo solicitado por la Asociación de Regantes del Embalse Coihueco por medio de un oficio. El embalse tiene derecho a extraer del río Niblinto un caudal de 5 m³/s en los meses de Junio a Agosto. El resto del tiempo puede extraer agua según una cierta curva establecida por el decreto N°1.839 del 25/10/78. El embalse puede entregar entre 5 y 6 m³/s por sus válvulas. Normalmente la entrega de agua comienza el 15 de Octubre y termina en Abril o Mayo, dependiendo de las lluvias.

La evaporación del embalse Coihueco se presenta en el Cuadro 5-17, información que a sido extraída del estudio "Balance Hidrológico Nacional Cuenca del Río Itata", que a su vez se basa en la estación meteorológica de Coihueco.

**Cuadro 5 - 17. Evaporación Embalse Coihueco (mm)
Promedio 1975-1982**

Mes	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Suma
Evap (mm)	19,8	14,1	15,8	32,9	54,3	136,9

Fuente: "Balance Hidrológico Nacional Cuenca del Río Itata", REG, 1985

Asimismo de este estudio se consideraron otros antecedentes de evaporación mensual, los cuales se exponen en el Cuadro 5-18.

Cuadro 5 - 18. Evaporación Embalse Coihueco (mm)

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
ENE	187,03	332,50	222,20	231,10	213,70	183,40	151,70	201,50
FEB	146,60	177,50	196,00	175,50	153,10	116,70	152,40	129,00
MAR	148,30	144,20	146,50	137,50	122,00	98,80	115,50	112,50
ABR	75,30	95,00	64,90	73,00	76,00	24,50	58,00	58,90
MAYO	26,50	53,90	22,30	19,90	15,90	8,10	9,30	13,10
JUN	28,30	20,70	16,30	7,00	20,20	5,10	12,20	4,70
JUL	43,20	23,20	11,00	6,6	14,01	10,00	13,70	6,00
AGO	45,8	34,50	30,30	34,00	20,04	26,00	26,60	21,80
SEP	67,5	80,00	65,90	29,00	37,30	56,70	71,12	37,40
OCT	116,10	89,90	93,20	53,50	102,10	109,90	80,50	59,40
NOV	145,40	134,30	132,30	110,60	98,90	142,60	136,10	122,80
DIC	230,10	174,00	194,00	185,20	150,70	188,10	196,20	181,90
Total Anual	1.231,8	1.359,7	1.194,6	1.066,8	1.024,4	969,90	1.023,4	949,0

Fuente: "Balance Hidrológico Nacional Cuenca del Río Itata", REG, 1985

A modo de complemento se recopilan los antecedentes del estudio Agroclimático. Se incluye el Cuadro 5-19 para agregar antecedentes del periodo 1984-1985 de evaporación pertenecientes a la misma estación.

Cuadro 5 - 19. Datos Meteorológicos Estación Coihueco (1984-1985)

Evaporación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mensual (mm/mes)	181.8	157.2	114.7	56	26.1	13.3	14.1	34.4	43.4	60.7	86.4	165.2
Promedio (mm/día)	5.9	5.6	3.7	1.8	0.8	0.4	0.4	1.1	1.4	1.9	2.8	5.3
Mínima (mm/día)	5.8	2.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Máxima (mm/día)	20.3	8.2	6.2	3.3	2.6	1.5	1.4	3.1	2.8	3.8	4.8	8.0

Fuente: "Estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Río Itata", Universidad de Concepción (1988).

V.4.8.2 Embalses Propyectados

En el *estudio integral* se elaboró un catastro de embalses susceptibles de ser construidos, identificándose los posibles lugares de emplazamiento. La descripción de cada uno de los proyectos se detalla a continuación.

En la parte superior del Río Ñuble, aguas arriba del pueblo San Fabián de Alico, se seleccionó tres angosturas ubicadas a distancia de 800 m, 3.000 m y 5.300 m respectivamente medidas desde la confluencia del río Ñuble con el río Los Sauces. Los nombres de las presas son Punilla 1, Punilla 2 y Punilla 3.

En la Precordillera y Valle Central este estudio consideró los ríos Ñuble, aguas abajo de San Fabián de Alico, Cato, Niblinto y Chillán y todos los esteros afluentes a estos ríos, principalmente los esteros Grande, Bureo, Relbunco, Coihueco, Boyén y Quilmo. También se consideró el río Changaral, que es afluente del río Ñuble ubicado inmediatamente al oriente de la Cordillera de la Costa.

El río Ñuble aguas debajo de San Fabián de Alico presenta dos angosturas, una denominada La Culebra y que está ubicada unos 8 km de este pueblo y otra llamada Los Monos ubicada unos 2 km aguas debajo de la anterior. En ambas angosturas se puede construir presas hasta una altura tal que no afecte a San Fabián y cuyo nivel máximo de embalse sea inferior a la cota de descarga de la futura central Ñuble de la CGEI, que es 440 m.s.n.m.m, según derecho de aprovechamiento concedido.

El río Cato corre por un estrecho valle encajonado que presenta varias angosturas apropiadas para la implantación de presas de embalse. Se seleccionó, en este estudio, sólo dos angosturas, las que a primera vista parecieron mejores y que correspondieron a las que la Dirección de Riego había previsto en un estudio anterior. La primera angostura se denominó Cato 1 y se encuentra en el mismo punto en que el río cambia de dirección y la segunda se llamó Cato 2 y está ubicada unos 9 km aguas arriba de la anterior.

El valle del río Niblinto es estrecho y profundo y presenta un par de angosturas apropiadas para implantar presas de embalse. Estas se han denominado Niblinto 1 y Niblinto 2.

El río Chillán es el más meridional de los ríos considerados. Su valle, en su parte alta, es también estrecho y profundo y presenta una buena angostura denominada Esperanza. Su ubicación posible estaría a unos 2 km aguas arriba del punto de cambio de dirección del río.

El estero Grande es afluente derecho del río Ñuble en la vecindad de San Fabián de Alico. Baja desde los cerros con una pendiente muy fuerte y al llegar al valle del río Ñuble continúa paralelo a él hasta el punto de confluencia que se ubica en la angostura La Culebra, mencionada anteriormente.

En el punto en que el estero Grande penetra al valle del río Ñuble existe una angostura que permite implantar una presa. Esta angostura había sido identificada anteriormente por la Dirección General de Riego.

El estero Bureo, tributario del estero Bustamante que es afluente derecho del río Cato, corre en dirección E-O con una pendiente fuerte por un valle estrecho y poco profundo. Este estero tiene una angostura apropiada para emplazar un embalse.

Entre los ríos Niblinto y Chillán, los faldeos precordilleranos penetran en el Valle Central. El estero Coihueco está ubicado en este sector y en este tramo recibe las aguas del estero Relbunco, que corre en dirección E-O. Inmediatamente aguas debajo de esta confluencia existe una pequeña angostura apropiada para construir un apresa de unos 20 m de altura. Este lugar habría sido identificado en estudios realizados por la Dirección General de Aguas anteriormente y el embalse había sido denominado Miraflores.

Un poco más al sur y remontando su curso, el estero Coihueco recibe las aguas del estero Kaiser que corre en dirección SE-NO por los faldeos precordilleranos. En este sector la Dirección de Riego ha individualizado un lugar para construir una presa denominada Kaiser.

En el estero El Cardal, afluente del estero Pichilluanco, tributario a su vez del estero Boyén, se ha ubicado una angostura adecuada para la construcción de una presa de unos 30 m de altura.

En el estero Boyén, a su vez, se han ubicado dos angosturas. La de aguas arriba ha sido denominada Boyén Alto y se podría construir en ella una presa de unos 30 m de altura.

La angostura de aguas abajo, denominada Boyén Bajo, ha sido identificada anteriormente por la Dirección de Riego y se encuentra en un tramo del estero que corre por un valle bastante ancho y con muy baja pendiente. Está ubicada unos 1,5 km aguas debajo de la confluencia del estero Pichilluanco con el Boyén e inunda parte de este estero también.

En el estero Lluanco, afluente del estero Quilmo, se ha ubicado una angostura adecuada para la construcción de una presa de unos 40 m de altura. En este tramo el estero corre encajonado y con una pendiente suave.

En el estero Quilmo, unos 500 m aguas arriba del puente del camino Chillán-Pemuco, se ha ubicado una angostura, identificada anteriormente por la Dirección de Riego, que es apropiada para la construcción de una presa. En este tramo el estero corre por un valle extenso de muy baja pendiente que permite instalar una presa de unos 25 m de altura y embalsar un gran volumen de agua.

El río Changaral, que corre por el poniente del Valle Central y sirve como un dren de él, tiene muy baja pendiente y se desplaza por un extenso valle. Aunque las zonas susceptibles de ser regadas en este sector pueden ser abastecidas desde el río Ñuble, se buscó posibles ubicaciones de embalse y se encontró dos. Una alternativa está inmediatamente aguas abajo de la confluencia del estero Las Mercedes, donde existe una angostura en que se puede instalar una presa la cual se ha denominado Chañaral Bajo. La otra alternativa se ubica unos 500 m aguas abajo de la confluencia del estero Millauquén, lugar en que se puede implantar una presa denominada Changaral Alto.

Cercano a la Cordillera de la Costa el río Lonquén drena una extensa zona y aporta sus aguas al río Itata unos 16 km antes de que éste desemboque en el mar. En su recorrido de más de 60 km se encuentran zonas agrícolas, especialmente en su parte superior, al parecer de rulo que incluyen incluso viñas de cierta importancia. El río, principalmente en su parte media, tiene muchas angosturas que permiten construir presas que podrían crear embalses de gran volumen. En este sector se ubicó una angostura apropiada para construir una presa aunque aguas abajo de ella las zonas agrícolas son muy escasas. Esta presa se denominó Lonquén Bajo.

Cercano a Ninhue existe otra angostura adecuada para implantar una presa que se denomina Lonquén Alto. La altura de la presa sería de unos 20 m de altura.

En el estero Chipanco, afluente del río Lonquén, que pasa por la vecindad de Puyamávida es posible construir dos presas de unos de unos 20 m de altura que formarían un solo embalse. Este podría acumular los caudales de invierno para mejorar el riego de la zona agrícola del río Lonquén.

En el estero Chudal se conoce una angostura en la que puede instalar una presa de unos 20 m de altura con la que se crearía un embalse pequeño que permitiría regar la zona agrícola existente en el valle de este estero.

En el estero Papano se ha ubicado una angostura que permite crear un embalse con el cual se podría regar la zona agrícola existente en el valle de este estero.

En el estero Ranguil, afluente del estero Pirihuín, se ha ubicado una angostura en la que se puede implantar una presa de unos 35 m de altura con la que se crearía un embalse pequeño que permitiría regar la zona agrícola existente en el valle de este estero.

El río Coelemu tiene dos esteros afluentes, Chorrillos y Guarilhue, en los que existen sendas angosturas que permitirían instalar presas con las que se podría regar la zona agrícola del valle de este río.

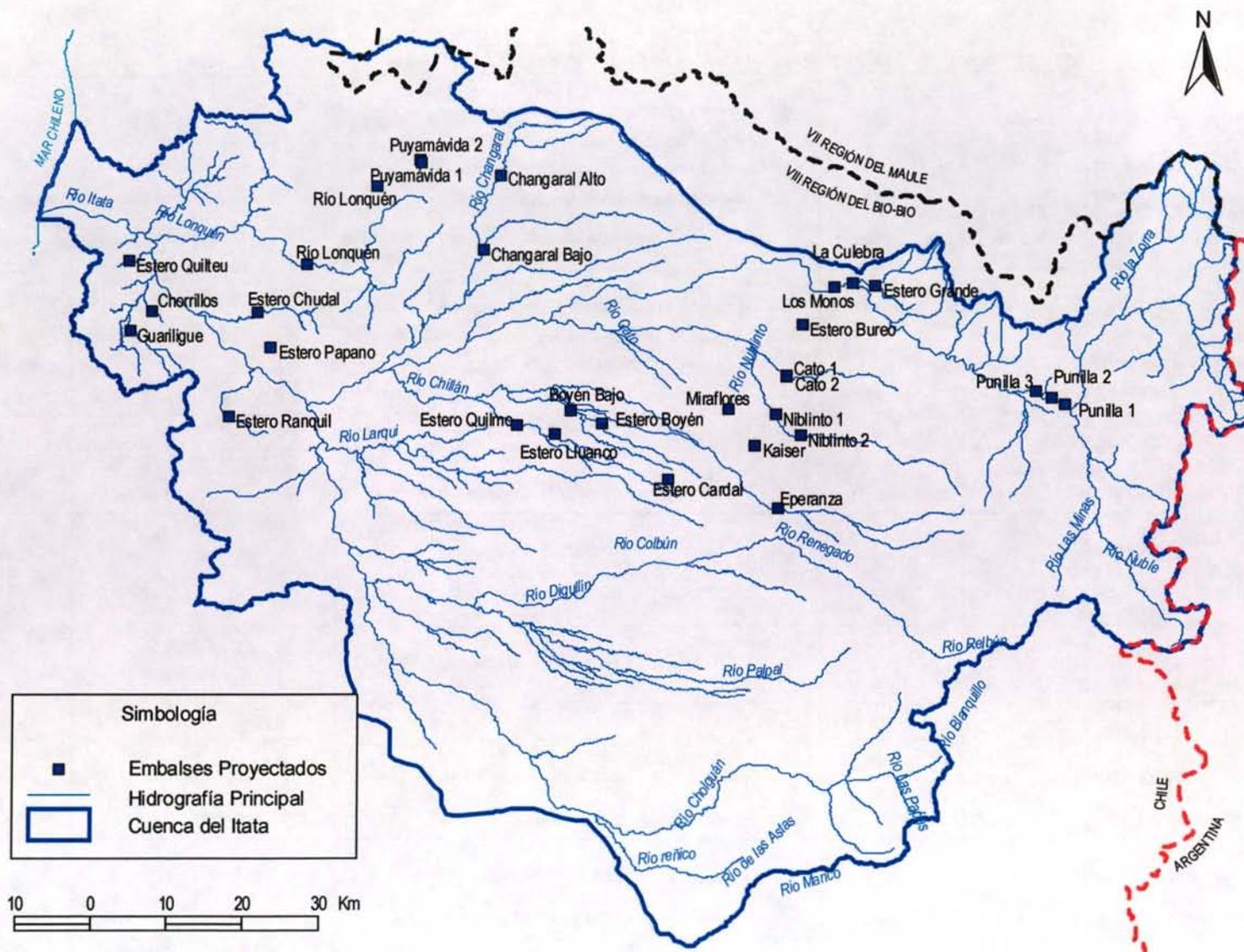
Estas dos presas son alternativas, pero la ubicada en el estero Guarilhue permitiría regar una zona más extensa que la situada en el estero Chorrillos.

En el estero Quilteu se ha ubicado una angostura en la que se puede instalar una presa que crearía un embalse pequeño con el que se podría regar la escasa zona agrícola existente en el valle de este estero.

En la Figura 5-12 se muestra la ubicación de los proyectos de embalses mencionados anteriormente.

Por otro lado, en el estudio “Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección” de Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. realizado en el año 2003, se elaboró un listado de proyectos que han sido seleccionados como parte de un diagnóstico del riego y drenaje de la VIII Región. En el Cuadro 5-20 se entrega un resumen de la cartera de proyectos propuestos por este estudio desde el punto de vista de los embalses. Este cuadro contiene la información más importante para cada proyecto.

Figura 5 - 12. Ubicación Proyectos Embalses Cuenca del Río Itata.



Cuadro 5 - 20. Resumen Embalses Proyectos Cuenca el Río Itata

Nombre Proyecto	Comuna	Sector Influencia	Cuenca	Descripción Proyecto	Sup. Riego (hás)	Fuente	Situación Actual
Embalse Papano	Portezuelo	Portezuelo	Itata	Sería un embalse de 9 millones de m3 de capacidad, ubicado en el estero del mismo nombre	650	DOH Regional 2001	Está a nivel de idea en la DOH
Embalse Chudal	Portezuelo	Portezuelo	Itata	Sería un embalse de 8 millones de m3 de capacidad, ubicado en el estero del mismo nombre	500	DOH Regional 2001	Está a nivel de idea en la DOH
Embalse Chorrillos	Coelemu	Esteros Chorrillos	Itata	Sería un embalse de 23 millones de m3 de capacidad, ubicado en el estero Chorrillos	1000	DOH Regional 2001	Está a nivel de idea en la DOH
Embalse Guarilhue	Coelemu	Coelemu	Itata	Sería un segundo embalse, junto con Chorrillos. Acumularía un volumen de 6 millones de m3	350	DOH Regional 2001	Está a nivel de idea en la DOH
Embalse Quilteu	Coelemu	Quilteu	Itata	En el estero Quilteu se ubicaría una angostura apropiada para un embalse de 12 millones de m3	900	DOH Regional 2001	Está a nivel de idea en la DOH
Construcción Embalse Punilla	Coihueco	Ñuble Alto	Río Ñuble	El embalse Punilla es un proyecto multipropósito para regadío, generación hidroeléctrica y turismo que regulará los recursos hídricos del Río Ñuble en la cabecera del valle	70.000	DOH, 2001	Se solicitaron fondos para realizar trabajos
Construcción Embalse Diguillín	Varias comunas	Diguillín	Río Diguillín	Las obras del proyecto permiten embalsar una capacidad máxima de 80 millones de m3 satisfaciendo, complementariamente, el canal Laja-Diguillín. Se ubica al Oriente de Chillán en la angostura de Zapallar sobre el río Diguillín.	63.000	DOH, 2000	Actualmente se continúa con los trabajos para iniciar la construcción de esta obra

Fuente: Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., 2003

Actualmente, la construcción del Embalse Punilla es el único proyecto que se encuentra aprobado. Este embalse tendrá una capacidad de 650 millones de m³, favoreciendo la incorporación de 20.000 há de superficie de nuevo riego en el Valle del río Ñuble. Asimismo, permitirá la construcción de una central hidroeléctrica de a lo menos 90 MW, la cual entregará la energía generada al Sistema Interconectado Central.

Considerando los antecedentes del *estudio Integral*, se menciona que existen tres ubicaciones propuestas para la presa del embalse Punilla y que la mejor de éstas corresponde a la denominada Punilla 2, debido a las relaciones volumen embalse y volumen presa (Ve/Vp) las cuales son muy superiores a las de Punilla 1 y Punilla 3. Además en la angostura Punilla 2, la Dirección de Riego ha ejecutado prospecciones y estudios geológicos que recomiendan esta ubicación.

Los parámetros básicos del Embalse Punilla 2 se presentan en la Figura 5-13, correspondientes a:

- Curvas de Capacidad de embalse, que incluyen, el volumen de agua embalsado y la superficie inundada en función de la altura de embalse.
- Curvas de los volúmenes de las presas en función de la altura de presa.
- Curvas que representan la relación volumen embalsado versus volumen de presa (Ve/Vp) en función de la altura de la presa.

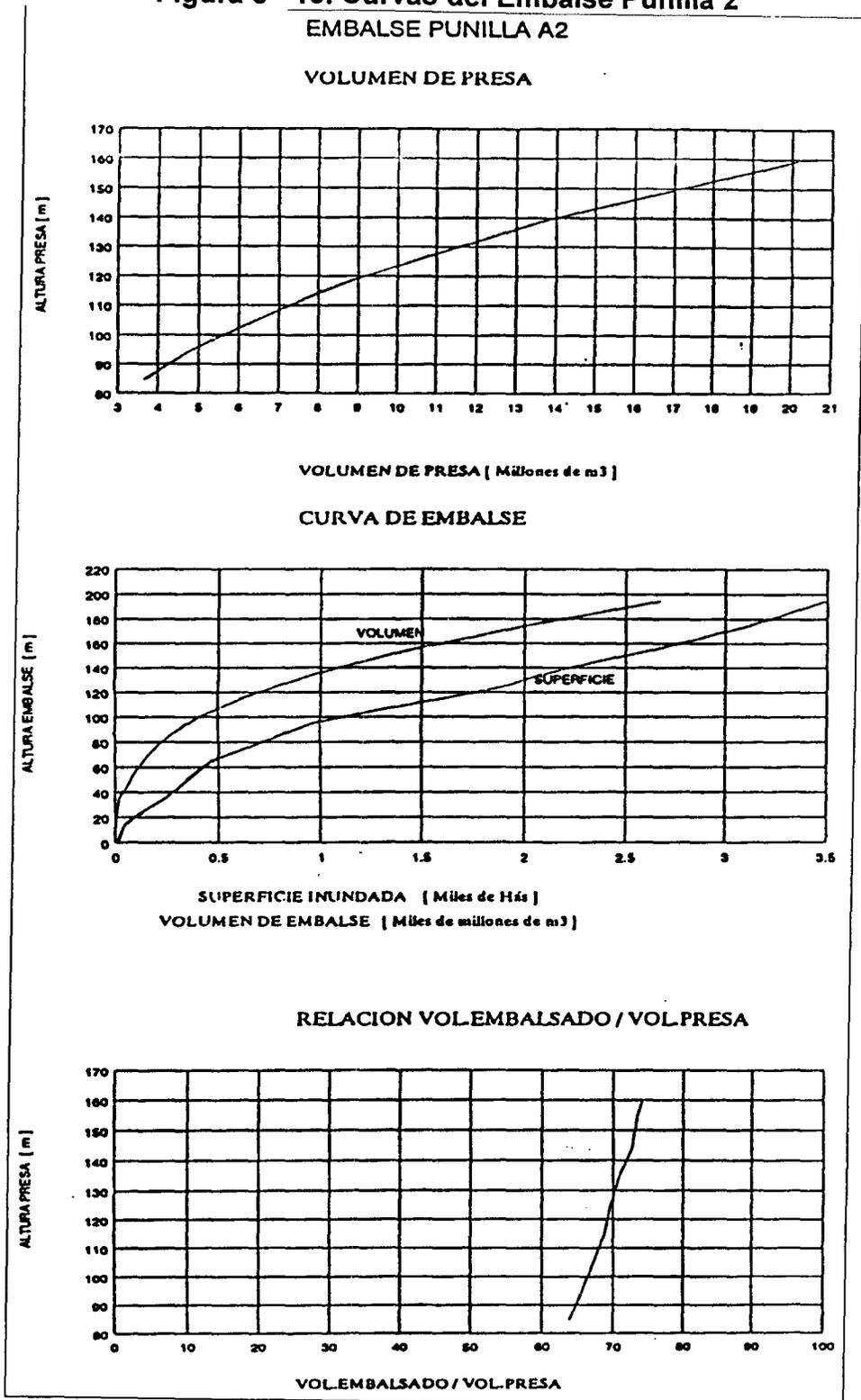
En cuanto a los antecedentes de evaporación, se recurrió al "Estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Río Itata", donde se extrajeron los datos entre los años 1959-1968.

Cuadro 5 - 21. Datos Meteorológicos Estación La Punilla (1959-1968)

Evaporación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mensual (mm/mes)	169.1	187.2	100.3	78.1	25.9	20	24.1	35.6	49.8	44.9	50.1	20.5
Promedio (mm/día)	5.5	6.7	3.2	2.6	0.8	0.7	0.8	1.1	1.7	1.5	1.7	6.6
Mínima (mm/día)	2.6	2.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Máxima (mm/día)	10.5	11.9	9.5	4.8	3.1	3.2	2.5	3.7	4.3	4.1	7.3	10.4

Fuente: Estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Río Itata. Universidad de Concepción (1988).

Figura 5 - 13. Curvas del Embalse Punilla 2



Fuente: Estudio Integral de Riego Proyecto Itata. Consorcio de Ingeniería Ingendesa-Edic Ltda., 1994

V.4.9 Cuencas No Controladas

En esta área temática es posible identificar dos tipos de cuencas que MAGIC incorpora como objetos, las cuales corresponden al aporte natural y las cuencas laterales. El primero representa el aporte de caudal de una cuenca de cabecera del sistema en estudio hacia su punto de salida. Este caudal puede ser originado mediante datos observados en alguna estación fluviométrica, o bien, mediante generación sintética de caudales a través de algún modelo apropiado al tipo de cuenca (pluvial, nival o pluvio - nival). Las cuencas laterales en tanto, representan el aporte de caudal de una o más subcuencas ubicadas en el sistema descontando el área correspondiente de la zona de riego que pudiese existir en el sector. Esta caudal normalmente se obtiene a través de algún modelo sintético pluvial, y en caso excepcionales se obtiene a través de alguna estación fluviométrica. Para ambos casos, la información requerida para la implementación de MAGIC básicamente consiste en la definición de las cuencas y la serie de caudales mensuales en todo el período que será modelado.

Como base de trabajo se consideran los antecedentes existentes de subcuencas entregados por la DGA. Estas subcuencas fueron adecuadas al concepto de cuencas laterales que considera MAGIC, para lo cual habría que restarles los sectores de riego ya definidos.

En el Cuadro 5-22 se indican las cuencas de cabecera que se consideran en la generación de escurrimiento.

Cuadro 5 - 22: Subcuencas de Cabecera (Aporte Natural) Cuenca del Río Itata

NOMBRE	ÁREA [km ²]	MODELO A APLICAR
Riío Nublinto	191.78	Nivopluvial
Riío Lonquen entre E. Corontas y Riío Itata	435.25	Pluvial
Riío Lonquen hasta E. Itrinque	547.26	Pluvial
Riío Cato en junta Riío Nublinto	251.69	Nivopluvial
Cajon Gonzalez	301.81	Nivopluvial
Riío Los Sauces hasta Cajon Gonzalez	195.21	Nivopluvial
Riío Chillan hasta bajo junta E. Peladillas	190.88	Pluvial
Riío Nuble hasta bajo junta Riío Las Minas	278.11	Nivopluvial
Riío Cholguan bajo junta E. Villagran	259.31	Pluvial
Riío Huepil	218.46	Pluvial
Riío Renegado	135.75	Pluvial

Fuente: Elaboración Propia y "Análisis regional de caudales, VIII Región", AC ingenieros consultores, Agosto de 1992.

En el Cuadro 5-23 se muestra un resumen de las cuencas laterales asociadas a cada uno de los ríos y que serán adecuadas al concepto de cuencas laterales de MAGIC.

Cuadro 5 - 23. Subcuencas Laterales Cuenca del Río Itata

NOMBRE	ÁREA [km ²]	MODELO APLICADO
Estero Cholguan entre E. Villagran y Rió Huepil	351.26	Pluvial
Riό Cato entre arriba Riό Niblinto y bajo junta E. Coihueco	379.96	Nivopluvial
Riό Cato entre E. Coihueco y junta con Riό Nuble	189.88	Nivopluvial
Riό Nuble entre Riό Cato y Riό Chillan	250.11	Pluvial
Riό Nuble entre E. Pangue y Riό Cato	184.78	Nivopluvial
Riό Itata entre Riό Trilaleo y Riό Diguillin	851.34	Pluvial
Riό Changaral	754.37	Pluvial
Riό Lonquen entre arriba E. Itrinque y bajo E. Corontas	199.42	Pluvial
Riό Nuble entre E. Bullileo y bajo junta E. Pangue	191.95	Nivopluvial
Riό Los Sauces entre Cajon Gonzalez y Riό Nuble	114.21	Nivopluvial
Riό Nuble entre Riό Chillan y Riό Itata	106.17	Pluvial
Riό Itata entre Riό Nuble bajo E. Chudal	345.17	Pluvial
Riό Larqui	667.51	Pluvial
Riό Chillan entre E. Peladillas y Riό Nuble	640.98	Pluvial
Riό Nuble entre Riό Los Sauces y bajo E. Bullileo	347.61	Nivopluvial
Riό Nuble entre Riό Las Minas y Riό Los Sauces	357.32	Nivopluvial
Riό Itata entre Riό Huepil y Riό Trilaleo	290.67	Pluvial
Riό Itata entre Riό Diguillin y E. Cayanco	203.16	Pluvial
Riό Itata entre E. Cayanco y Riό Nuble	411.79	Pluvial
Riό Dinguillin entre E. Danguileo y Riό Itata	371.45	Pluvial
Riό Diguillin entre Riό Renegado y bajo junta E. Danquileo	818.82	Pluvial
Riό Itata entre Riό Lonquen y desembocadura	297.04	Pluvial
Riό Itata entre E. Chudal y Riό Lonquen	255.12	Pluvial

Fuente: Elaboración Propia y "Análisis regional de caudales, VIII Región", AC ingenieros consultores, Agosto de 1992.

Para la parte alta de la cuenca modelada se deberá utilizar un modelo nivopluvial, mientras que para la parte baja de la cuenca del Río Itata se debe implementar un modelo exclusivamente pluvial. La cuenca del Itata posee un total de 11 subcuencas de régimen nivopluvial y 23 subcuencas de régimen pluvial.

En la Figura 5-14 se muestran las diferentes subcuencas del Itata, diferenciándose cada una de ellas entre Aporte Natural (Cuenca de Cabecera) y Cuenca Lateral, mientras que en la Figura 5-15 se muestra el régimen que posee cada una de las subcuencas.

Figura 5 - 14. Tipos de SubCuenca consideradas en la Cuenca del Río Itata

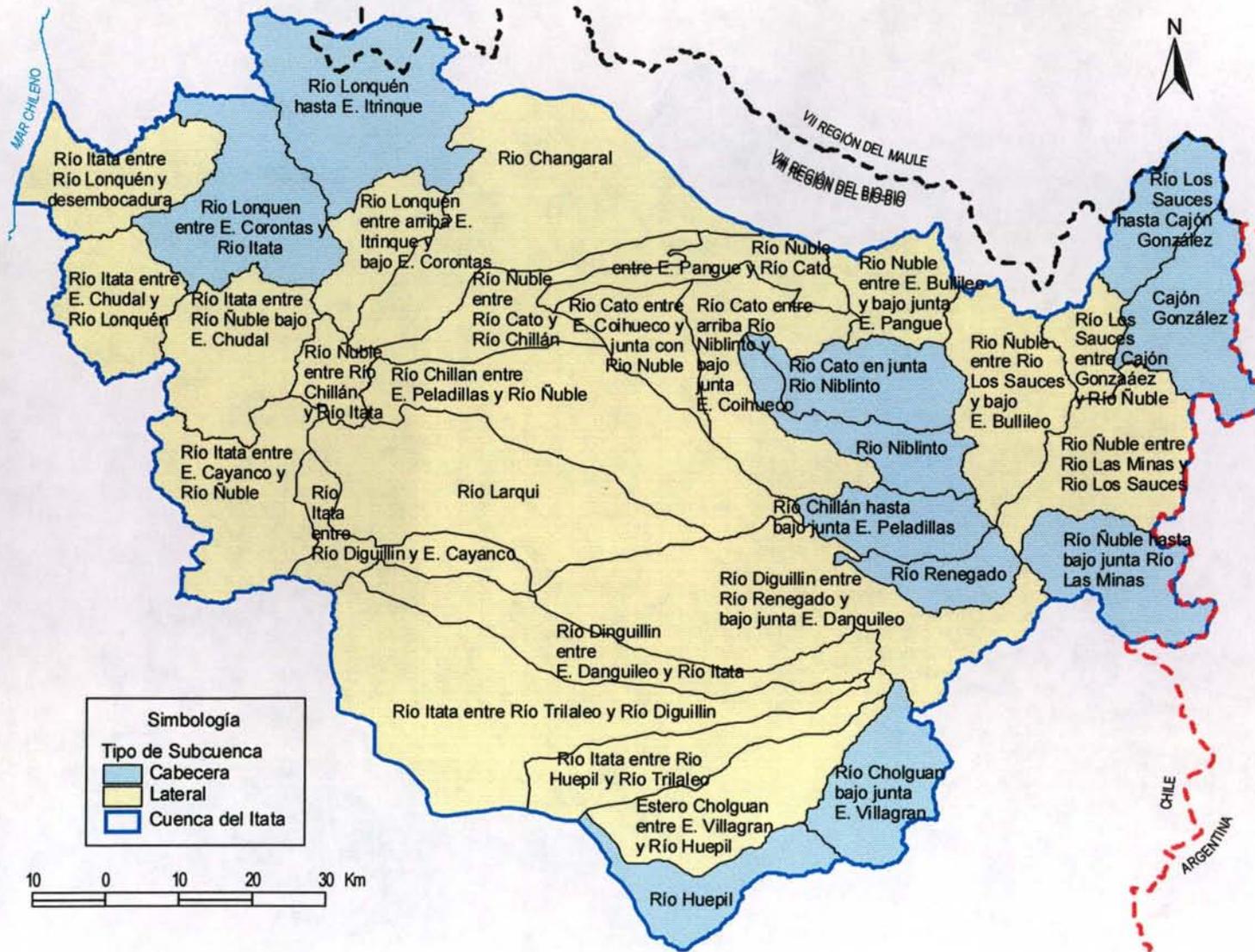
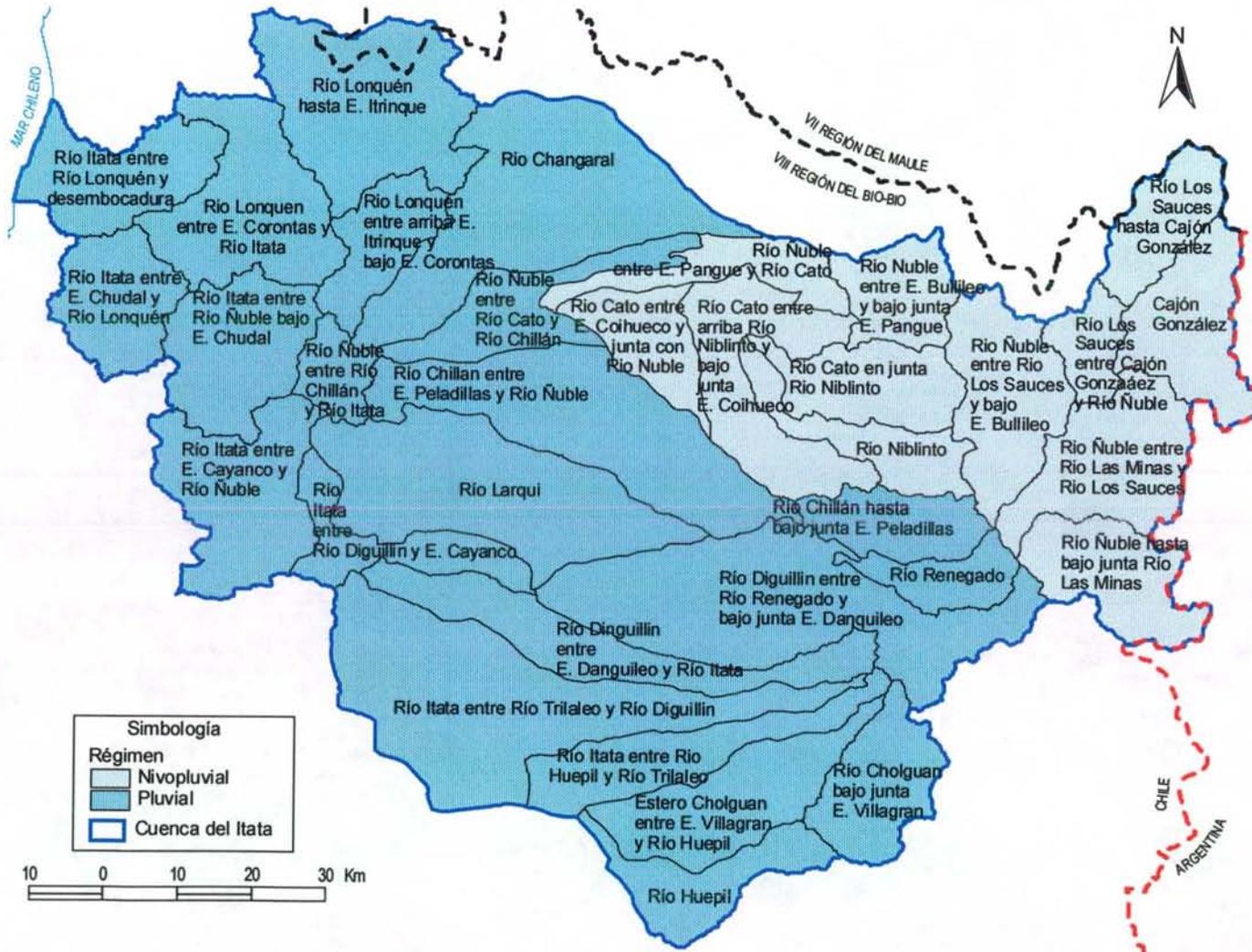


Figura 5 - 15. Tipos de Régimen considerados en la Cuenca del Río Itata



- **Datos para generación de Caudales con el Modelo Nivopluvial**

Del total de 11 subcuencas con régimen nivopluvial, se debe verificar cuales de ellas es posible obtener información en base a las estaciones fluviométricas con información disponible. De las subcuencas restantes se recomienda, para trabajos futuros con el modelo MAGIC, realizar una transposición de caudales a aquellas cuencas de características geomorfológicas similares.

En aquellas subcuencas en que ninguno de los procedimientos anteriores sea posible, se recomienda, para efectos de una futura implementación de MAGIC a esta cuenca, generar una serie de caudales medios mensuales mediante un modelo nivopluvial de generación, el cual podrá ser el Modelo de Stowhas o un modelo de generación compuesto por dos submodelos integrados (uno nival y otro pluvial).

En cuanto al modelo de Stowhas, los requerimientos de información son los siguientes:

- Latitud media de la cuenca.
- Coeficientes mensuales de horas de luz correspondientes a la latitud media.
- Superficie total de la cuenca (km²).
- Cota media y porcentaje de área de cada banda.
- Humedad máxima de suelos o capacidad de campo de cada banda.
- Estadísticas a nivel mensual de las siguientes variables meteorológicas:
 - Precipitación en una o más estaciones base.
 - Número de días de lluvia.
 - Evapotranspiración potencial.
 - Evaposublimación potencial de nieves.
 - Temperatura media del aire en una estación base.
 - Humedad media mensual del aire.
 - Nubosidad media mensual.
 - Velocidad media del viento.

En cuanto a los parámetros del modelo, éste cuenta con un mínimo de 13 parámetros a saber:

1. CEN = Coeficiente de escorrentía de nieve estacional.
2. BB = Coeficiente de evaposublimación de nieve.
3. B = Coeficiente de evapotranspiración potencial.
4. HNTOT = Equivalente en agua medio de la nieve a partir del cual la banda se cubre totalmente de ella (mm).
5. CEP = Coeficiente de escorrentía de lluvia.
6. CKS = Constante de tiempo de embalses superficiales.
7. CK = Constante de tiempo del embalse subterráneo.
8. FKP = Coeficiente de exposición a la radiación.

- 9. FK = Coeficiente de exposición al viento.
- 10. GRT = Gradiente térmico de la atmósfera. (°C/km)
- 11. CLOUDK= Coeficiente del tipo de nubes.
- 12. DRMIN = Tasa de derretimiento mínimo o constante de la fórmula de derretimiento. (mm/mes)
- 13. COFDRT = Factor de corrección a la fórmula de derretimiento, para nieve estacional.

A fin de dar mayor versatilidad al uso del modelo, se han incorporado como parámetros los siguientes datos, para los casos en que esta información no esté disponible:

- 14. FP(1) = Factor de precipitación de la banda 1
- 15. FP(2) = Factor de precipitación de la banda 2
- 16. FP(3) = Factor de precipitación de la banda 3
- 17. FP(4) = Factor de precipitación de la banda 4
- 18. FP(5) = Factor de precipitación de la banda 5
- 19. TU = Temperatura media mensual umbral que distingue entre precipitación líquida y precipitación sólida. (°C)
- 20. FKPG = Coeficiente de exposición a la radiación solar de los glaciares.

En cuanto al método de generación compuesto por dos submodelos integrados, corresponde a un modelo formado por dos componentes: por una parte, un modelo de generación de escorrentía MPL para la parte pluvial de la cuenca en la cual se desea generar caudales, y un modelo analítico de generación de caudales en cuencas nivales. El MPL es un modelo de simulación hidrológico basado en la generación de escorrentía superficial y subterránea a partir de estadística pluviométrica, propiedades físicas de suelos y acuíferos, y parámetros a calibrar en función de datos observados; en tanto el modelo nival corresponde a un modelo estadístico basado en registros de alturas de nieve, el cual mediante parámetros analíticos genera caudales de escorrentía superficial. En este sentido se debe destacar la importancia en la existencia de rutas de nieve en la cuenca o puntos de mediciones de altura de nieve. Se ha consultado a la DGA respecto a la disponibilidad de esta información, siendo indicado que existen tres rutas de nieve correspondientes a las siguientes: Volcán Chillán, Alto Volcán (O Exp. Volcán Chillán) y Cerro La Gloria. Se ha solicitado estos antecedentes siendo incorporados en el anexo 5.4.

Este consultor recomienda el uso del método de generación compuesto, dado la simplicidad de este, a que se cuenta con datos necesarios y a que los resultados obtenidos en otras aplicaciones, son adecuados para la implementación de Magic.

• **Datos para generación de Caudales con el Modelo MPL**

De las 23 subcuencas con régimen pluvial, se debe verificar cuales de ellas es posible obtener información basándose en las estadísticas fluviométricas disponibles. Para el resto se debe generar la estadística de caudales medios mensuales mediante el modelo MPL.

El modelo MPL requiere como información básica las estadísticas medias mensuales de precipitación y evaporación sobre la cuenca, además de los siguientes parámetros:

- A : Coeficiente que multiplica el dato de lluvia con el fin de obtener la lluvia media sobre la cuenca.
- B : Coeficiente que multiplica el dato de evaporación de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca.
- FC : Tasa de infiltración correspondiente al suelo saturado ($s=1$).
- α : Variación de la tasa de infiltración por unidad de variación del grado de humedad.
- S_{min} : Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente.
- S_{crit} : Grado de humedad crítico, bajo el cual la tasa de evaporación real decrece linealmente.
- S_{CC} : Grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo.
- H_{max} : Máxima lámina de agua contenida en el suelo saturado.
- K : Constante de tiempo del embalse subterráneo.
- P_{min} : Porcentaje de lluvia que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata.
- Área : Área de la cuenca.
- S_i : Grado de humedad inicial.
- EZ_i : Escorrentía subterránea inicial.

En cuanto a la estadística de evaporación, en la cuenca del Itata se encuentra la estación Escuela de Agronomía (Chillan). En el Cuadro 5-24 se muestra el valor medio mensual de evaporación en estas estaciones.

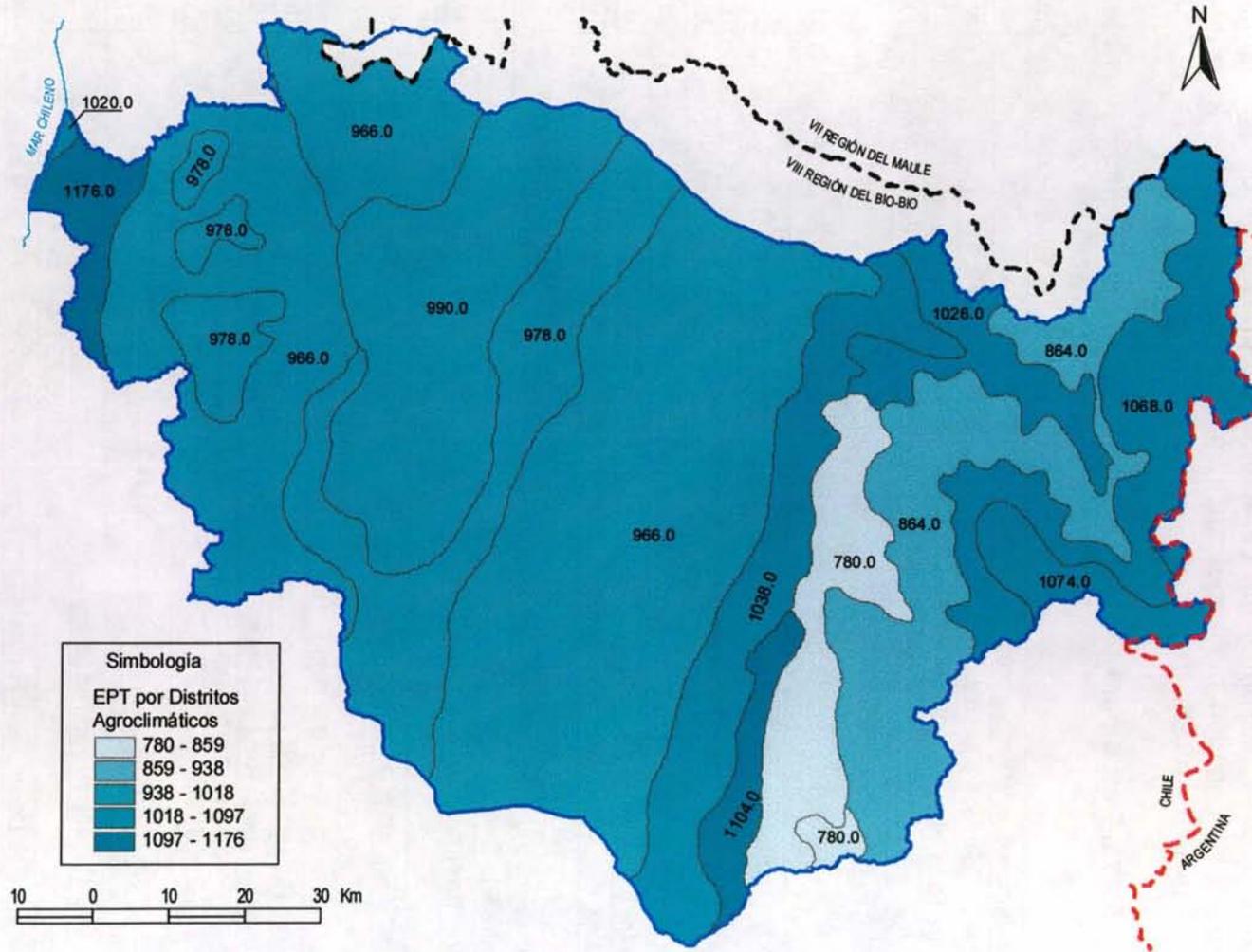
Cuadro 5 - 24. Evaporación Media Mensual[mm]

Estacion	Ubicación		Evaporación Media												
	Este(m)	Norte(m)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Esc. Agronomía (Chillan)	230998	5965587	243	190	142	87	34	15	21	40	72	113	167	212	1336

Fuente: "Consultaría OME-02, Regadío vegas de Itata", AC ingenieros consultores, Enero 1992

Se dispone además de información obtenida del "Atlas Agroclimático de Chile" (Universidad de Chile, 1993) referida a evapotranspiración potencial en toda la cuenca del Río Itata. La Figura 5-16 muestra la distribución de la evapotranspiración potencial media anual en toda la cuenca del Itata. Se dispone además de esta información como promedio mensual para toda la cuenca.

Figura 5 - 16. Evapotranspiración Potencial por Distritos Agroclimaticos Cuenca del Río Itata



Con los distritos agroclimáticos se estimó la evapotranspiración potencial para las distintas subcuencas y además se relacionó a cada una de estas últimas con la estación pluviométrica más cercana y por tanto más representativa de las precipitaciones en la subcuenca.

En el Cuadro 5-25 se presentan las características principales de las cuencas de interés, junto a su estación pluviométrica más cercana y el valor medio anual de evapotranspiración potencial.

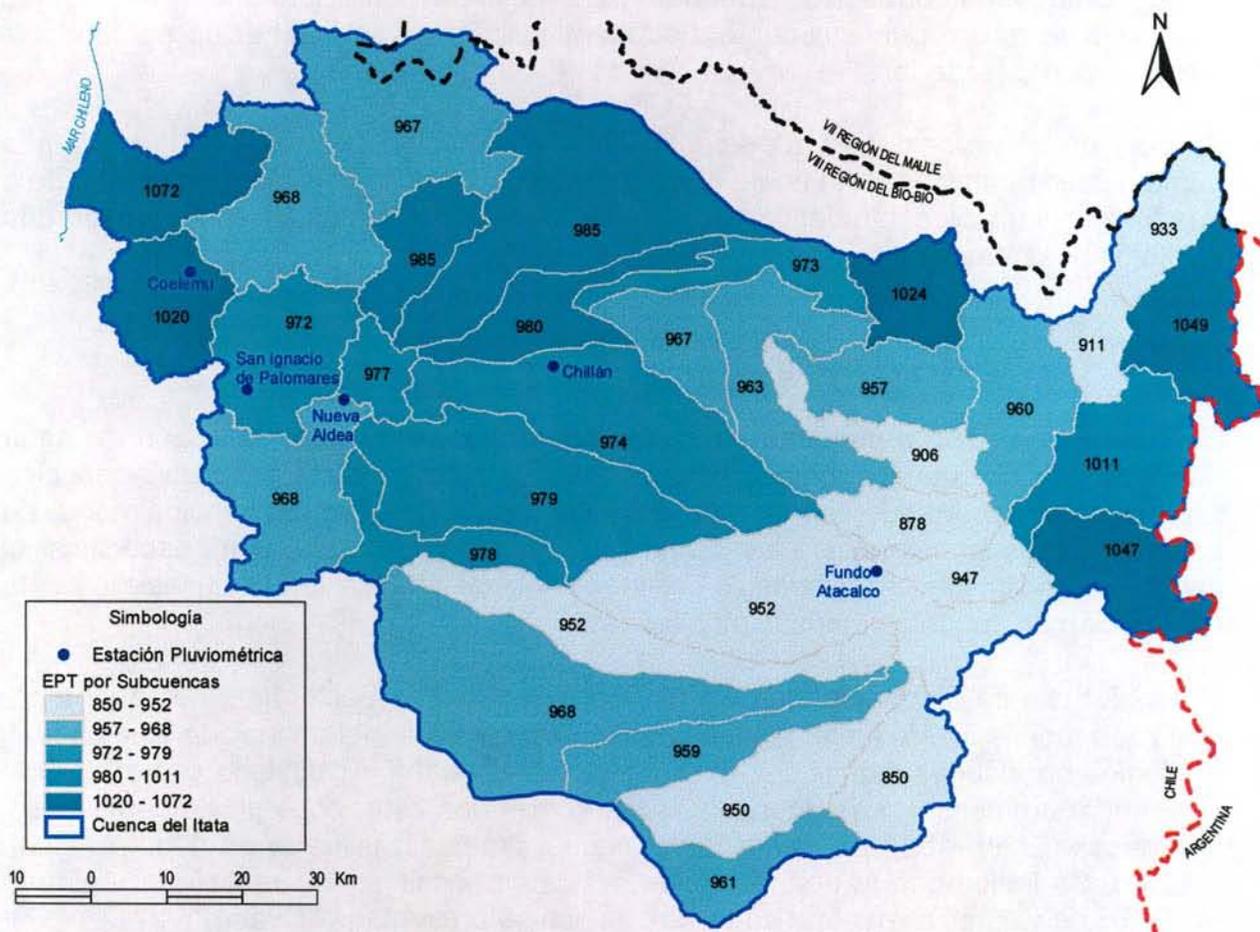
Cuadro 5 - 25. Datos para Generación de Caudales en Cuencas Pluviales

NOMBRE	ÁREA [km ²]	ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	EV. POT [mm]
Río Cato entre arriba Río Niblinto y bajo junta E.Coihueco	379.96	Atacalco Fundo	963
Río Cato entre E. Coihueco y junta con Río Nuble	189.88	Chillan	967
Río Nuble entre Río Cato y Río Chillan	250.11	Chillan	980
Río Nublinto	191.78	Atacalco Fundo	906
Río Nuble entre E. Pangue y Río Cato	184.78	Chillan	973
Río Lonquen entre E. Corontas y Río Itata	435.25	Coelemu	968
Río Itata entre Río Trilaleo y Río Diguillin	851.34	Atacalco Fundo	968
Río Lonquen hasta E. Itrinque	547.26	Coelemu	967
Río Cato en junta Río Niblinto	251.69	Atacalco Fundo	957
Río Changaral	754.37	Chillan	985
Río Lonquen entre arriba E. Itrinque y bajo E. Corontas	199.42	Nueva aldea	985
Río Nuble entre E. Bullileo y bajo junta E. Pangue	191.95	Atacalco Fundo	1024
Cajon Gonzalez	301.81	Atacalco Fundo	1049
Río Los Sauces hasta Cajon Gonzalez	195.21	Atacalco Fundo	933
Río Los Sauces entre Cajon Gonzalez y Río Nuble	114.21	Atacalco Fundo	911
Río Nuble entre Río Chillan y Río Itata	106.17	Nueva aldea	977
Río Itata entre Río Nuble bajo E. Chudal	345.17	San Ignacio En Palomares	972
Río Larqui	667.51	Chillan	979
Río Chillan entre E. Peladillas y Río Nuble	640.98	Chillan	974
Río Chillan hasta bajo junta E. Peladillas	190.88	Atacalco Fundo	878
Río Nuble entre Río Los Sauces y bajo E. Bullileo	347.61	Atacalco Fundo	960
Río Nuble entre Río Las Minas y Río Los Sauces	357.32	Atacalco Fundo	1011
Río Nuble hasta bajo junta Río Las Minas	278.11	Atacalco Fundo	1047
Río Itata entre Río Huepil y Río Trilaleo	290.67	Atacalco Fundo	959
Río Cholguan bajo junta E. Villagran	259.31	Atacalco Fundo	850
Río Huepil	218.46	Atacalco Fundo	961
Río Itata entre Río Diguillin y E. Cayanco	203.16	Nueva aldea	978
Río Itata entre E. Cayanco y Río Nuble	411.79	Nueva aldea	968
Río Renegado	135.75	Atacalco Fundo	947
Río Dinguillin entre E. Danguileo y Río Itata	371.45	Atacalco Fundo	952
Río Diguillin entre Río Renegado y bajo junta E. Danquileo	818.82	Atacalco Fundo	952
Río Itata entre Río Lonquen y desembocadura	297.04	Coelemu	1072
Río Itata entre E. Chudal y Río Lonquen	255.12	Coelemu	1020

Fuente: Elaboración Propia y "Atlas Agroclimático de Chile", Universidad de Chile, 1993.

En la Figura 5-17 se muestra la evapotranspiración potencial media anual por subcuenca además de la ubicación de las estaciones pluviométricas consideradas.

Figura 5 - 17. Evapotranspiración Potencial por Subcuenca y Estaciones Pluviométricas. Cuenca del Río Itata



En relación con las estadísticas de precipitación, en el anexo 5.3 se presentan las estadísticas observadas en las diferentes estaciones ubicadas en la cuenca del Itata. Esta información servirá para, mediante un factor de corrección, asignar una estadística de precipitación representativa para cada una de las subcuencas pluviales.

V.4.10 Descargas Puntuales

Este objeto permite la representación de una o varias descargas de caudales en cualquier punto del sistema, lo que se traduce en un aporte mensual de caudal en dicho punto. La información requerida para la implementación de las descargas puntuales se refiere principalmente a su identificación y a la distribución de caudales mensuales descargados.

Si bien en el modelo MAGIC se dispuso de la opción de incorporar descargas puntuales a los cauces, esta no se considera relevante en la implementación debido a que la magnitud de estas descargas resultan ser despreciables en comparación con los flujos pasantes y otros caudales del sistema.

V.4.11 Caudales Ecológicos

Un caudal ecológico representa un objeto especial que limita la extracción de agua desde un nodo perteneciente a cualquiera de los ríos del sistema. Esta restricción representa el caudal que siempre debe circular por el río, definido principalmente en base a criterios ambientales. La información que se debe disponer para especificar el caudal ecológico de un sistema, se refiere principalmente a la identificación y a la distribución de caudales mensuales a respetar.

En el "Estudio de Disponibilidad de Agua Cuenca Río Itata Sector Intermedio y Bajo", realizado por la DGA en el año 1994, se incorpora la determinación del caudal ecológico en algunas estaciones pluviométricas, el cual fue calculado como el 10% del caudal promedio medio mensual registrado en las estaciones pluviométricas en los meses (Enero-Abril) más el 10% del caudal promedio utilizado en riego en igual periodo. Se indica que la determinación del caudal ecológico se realizó en régimen natural. Los valores a respetar en cada estación se presentan en el Cuadro 5-27.

Cuadro 5 - 26. Caudales Ecológicos Cuenca del Río Itata

Estación	Caudal Ecológico m ³ /s
Río Itata en Balsa Nueva Aldea	3,29
Río Chillán camino a Confluencia	0,77
Río Ñuble en Longitudinal	3,74
Río Ñuble en Confluencia	5,65
Río Itata en Coelemu	9,61

Fuente: "Estudio de Disponibilidad de Agua Cuenca Río Itata Sector Intermedio y Bajo", DGA, 1994

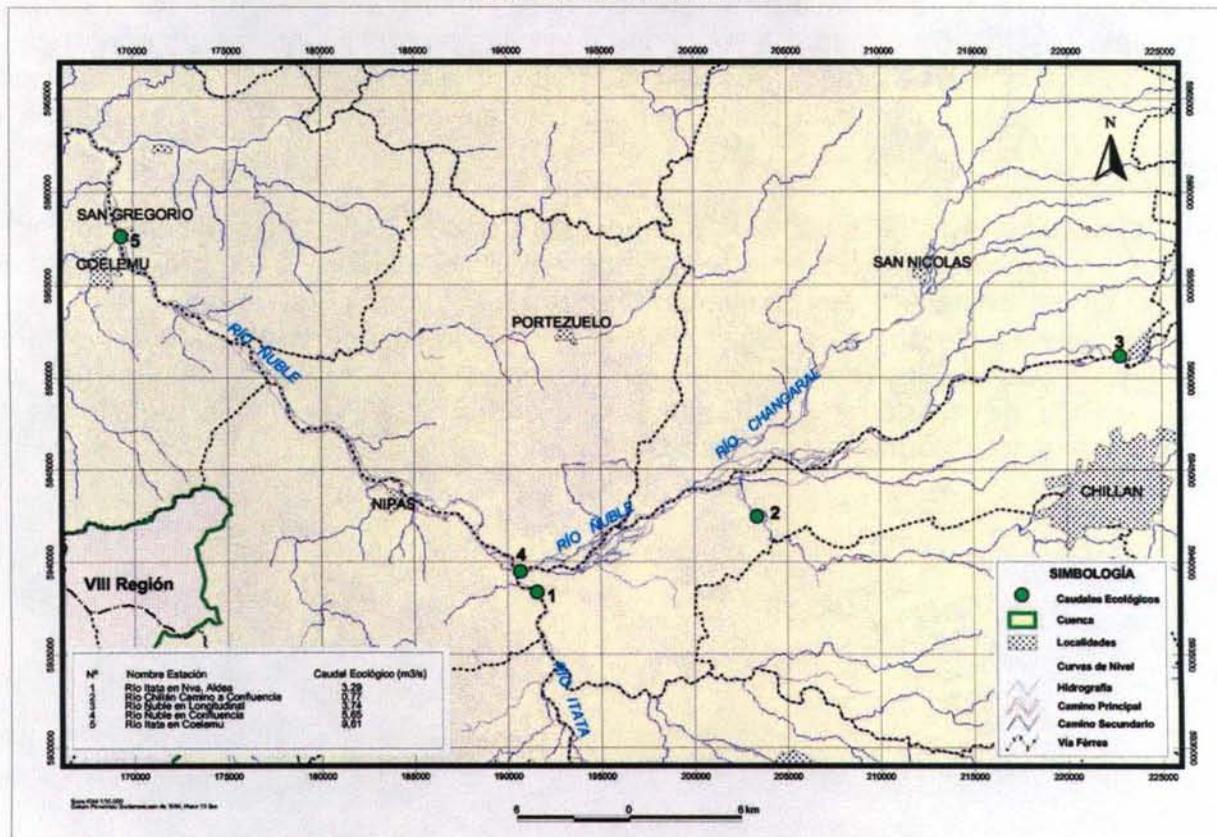
En la Figura 5-18 se muestra la ubicación de las estaciones con los caudales ecológicos definidos.

Sin embargo, independiente de la información existente, se recomienda realizar una revisión de los expedientes de derechos de aguas superficiales en la DGA regional y/o en su defecto determinar el caudal ecológico en aquellos cauces relevantes que no posean información, de acuerdo a lo señalado en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos.

La metodología adoptada por la Dirección Regional de Aguas para la determinación de los caudales ecológicos, fija como valor para este parámetro alguno de los valores obtenidos mediante los siguientes 4 criterios:

- i. $Q_{ec} = 10\%Q_{medio-anual}$
- ii. $Q_{ec} = 50\%Q_{min-del-estiaje-año-95\%}$
- iii. $Q_{ec} = Q_{330}$ (caudal que es excedido al menos 330 días al año)
- iv. $Q_{ec} = Q_{347}$ (caudal que es excedido al menos 347 días al año)

Figura 5 - 18. Ubicación Estaciones Fluviométricas con Caudal Ecológico Cuenca del Río Itata



V.4.12 Topología

Esta área temática incorpora aquellas tablas MAGIC que definen conectividades o distribución de caudales en nodos y tramos de ríos. Entre la información relevante para completar las tablas respectivas, se encuentra los porcentajes de distribución de los caudales que llegan a un cierto punto, lo cual ha sido detallado en el punto V.4.4 del presente informe, correspondiente a canales. Además se encuentra los tramos de ríos y sus características de pendientes y longitud. Esta información ha sido preparada como un shape, el cual se adjunta en el respaldo digital correspondiente.

V.4.13 Fluviometría

Los registros de caudales medios mensuales requeridos para la implementación del modelo MAGIC, se asocian a la estadística fluviométrica que permite definir los Aportes Naturales y las Cuencas Laterales indicados en el punto *IV.3.8 Cuencas No Controladas*. De igual manera, formarán parte de este registro las estaciones fluviométricas de la cuenca que son utilizadas como contraste de la calibración del modelo MAGIC. De esa forma las series de caudales observadas serán contrastadas con los caudales generados por MAGIC, que en caso de importantes diferencias se deberá realizar un proceso de calibración iterativa, hasta que los parámetros de ajuste sean aceptables.

La cuenca del Río Itata posee 15 estaciones de la DGA vigentes, de las cuales 10 cuentan con información anterior al año 1965. El Cuadro 5-28 presenta un las estaciones existentes en la cuenca del Río Itata incorporando un detalle de la vigencia y el período con registros. Por otro lado, se ha recopilado en estudios realizados todos los antecedentes al respecto, encontrando 17 estaciones con estadística de alrededor de 40 años. El Cuadro 5-29 presenta el detalle de las estaciones con información procesada.

Cuadro 5 - 27. Estaciones Fluviométricas DGA en Cuenca del Río Itata

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AÑOS INFORMADOS	VIGENCIA
1	08104001-K	Rio Sauces Antes Junta Con Ñuble	5941423	294395	1966-2005	VIGENTE
2	08105001-5	Rio Ñuble en La Punilla	5941278	288435	1957-2005	VIGENTE
3	08106001-0	Rio Ñuble en San Fabian	5950104	271797	1946-1998	NO VIGENTE
4	08110001-2	Rio Ñuble en Balsa De Los Sepúlveda	5960621	250590	1939-1944	NO VIGENTE
5	08112001-3	Rio Niblinto antes Canal Alimentador Emb. Coihueco	5938514	254213	1971-2002	NO VIGENTE
6	08112002-1	Canal Alimentador Embalse Coihueco en Bocatoma	5940321	252670	1971-1982	NO VIGENTE
7	08112003-K	Canal Alim.Embalse Coihueco en Los Olivo	5943976	251072	1971-1982	NO VIGENTE
8	08117004-5	Rio Chillan en Esperanza	5925568	254585	1939-1994	NO VIGENTE
9	08117006-1	Rio Chillan en Esperanza N 2	5925568	254585	2003-2005	VIGENTE
10	08122001-8	Canal Zañartu Salida Laguna Trupan	5869908	250278	1957-1999	NO VIGENTE
11	08130001-1	Rio Renegado en Invernada	5916614	265254	1940-2005	VIGENTE
12	08130002-K	Rio Diguillin en San Lorenzo (Atacalco)	5909378	271397	1946-2005	VIGENTE
13	08131001-7	Rio Diguillin en Balsa Zapallar	5919933	251771	1939-1947	NO VIGENTE
14	08114001-4	Rio Cato en Puente Cato	5950929	764064	1956-2005	VIGENTE
15	08115001-K	Rio Ñuble en Longitudinal	5951065	759587	1956-1982	NO VIGENTE
16	08117001-0	Rio Chillan en Longitudinal	5942127	748873	1958-1983	NO VIGENTE
17	08117005-3	Rio Chillan en Camino Vigente a Confluencia	5944231	739981	1956-2005	VIGENTE
18	08117008-8	Rio Quilmo en Camino Vigente a Yungay (Ca)	5938253	754726	1957-1995	NO VIGENTE
19	08118001-6	Rio Changaral Camino Vigente a Portezuelo	5951545	743172	1956-2004	NO VIGENTE
20	08123001-3	Rio Itata en Cholguan	5884390	760525	1924-2005	VIGENTE
21	08123002-1	Canal Zañartu Bocatoma Itata	5882448	763428	1958-1982	NO VIGENTE
22	08124001-9	Rio Itata en General Cruz	5909175	736026	1956-2005	VIGENTE
23	08124002-7	Rio Itata en Trilaleo	5893952	750435	1957-2005	VIGENTE
24	08132001-2	Rio Diguillin en Longitudinal	5916531	737717	1956-2005	VIGENTE
25	08133001-8	Rio Itata en Cerro Negro	5918504	733310	1956-1984	NO VIGENTE
26	08134002-1	Rio Larqui en Camino Vigente Yungay	5930810	755994	1985-2003	NO VIGENTE
27	08134003-K	Rio Larqui en Santa Cruz De Cuca	5935149	733765	1985-2005	VIGENTE
28	08135001-9	Rio Itata en Confluencia	5940858	727956	1924-1931	NO VIGENTE
29	08135002-7	Rio Itata en Balsa Nueva Aldea	5940858	727956	1956-2005	VIGENTE
30	08141001-1	Rio Itata en Coelemu	5961719	701481	1985-2005	VIGENTE
31	08144001-8	Rio Lonquen en Trehuaco	5966316	709165	1985-2005	VIGENTE
32	08134001-3	Estero Quilmo Camino Vigente a Yungay	5936404	754671	1941-1988	NO VIGENTE

Fuente: CIRH DGA

Cuadro 5 - 28. Estaciones Fluviométricas en Estudios Realizados

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	AÑO INICIO ESTADISTICA	AÑO FIN ESTADISTICA
2	08105001-5	Rio Ñuble en La Punilla	1941	1988
3	08106001-0	Rio Ñuble en San Fabian	1941	1988
8	08117004-5	Rio Chillan en Esperanza	1941	1988
11	08130001-1	Rio Renegado en Invernada	1941	1988
12	08130002-K	Rio Diguillin en San Lorenzo (Atacalco)	1941	1988
14	08114001-4	Rio Cato en Puente Cato	1941	1988
15	08115001-K	Rio Ñuble en Longitudinal	1941	1988
16	08117001-0	Rio Chillan en Longitudinal	1941	1988
17	08117005-3	Rio Chillan en Camino a Confluencia	1941	1988
19	08118001-6	Rio Changaral Camino a Portezuelo	1941	1988
20	08123001-3	Rio Itata en Cholguan	1941	1988
22	08124001-9	Rio Itata en General Cruz	1941	1988
23	08124002-7	Rio Itata en Trilaleo	1958	1988
24	08132001-2	Rio Diguillin en Longitudinal	1941	1988
25	08133001-8	Rio Itata en Cerro Negro	1941	1988
29	08135002-7	Rio Itata en Balsa Nueva Aldea	1941	1988
32	08134001-3	Estero Quilmo Camino A Yungay	1941	1988

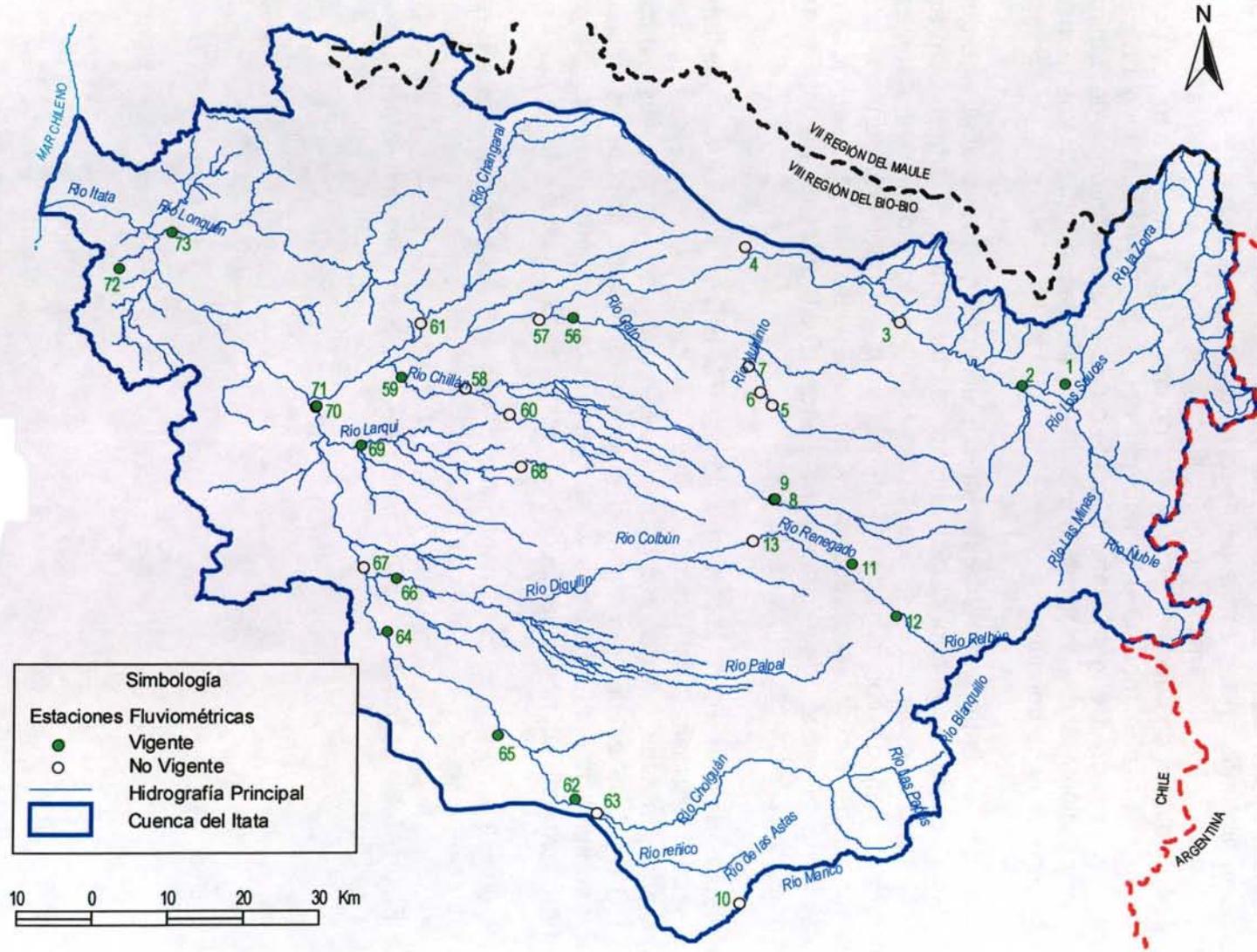
Fuente: "Consultaría OME-02 Regadío Vegas de Itata", AC INGENIEROS CONSULTORES, Enero 1992.

Para efectos de una futura implementación de MAGIC en la Cuenca del Itata, se recomienda actualizar los caudales medios mensuales de las estaciones incorporadas en estudio anteriores (Cuadro 5-28) considerando aquellas estaciones de la DGA que se encuentran vigentes.

Los registros de caudales medios mensuales observados de las estaciones presentes en estudio existentes, que podrán ser utilizadas para la calibración del modelo u otras necesidades asociadas a la implementación del modelo MAGIC, se presentan en el anexo 5.2.

En la Figura 5-19 se observa la ubicación de las estaciones fluviométricas en la cuenca de Río Itata.

Figura 5 - 19. Estaciones Fluviométricas en la Cuenca del Río Itata



V.4.14 Pluviometría

Los datos de precipitaciones medias mensuales requeridas para la implementación del modelo MAGIC, son utilizados en la estimación de la escorrentía directa y percolación profunda en las zonas de riego mediante el modelo de escorrentía MPL incorporado en el MAGIC. Indirectamente, estos antecedentes son necesarios para la generación sintética de caudales en cuencas no controladas, ya sea a través del MPL o mediante algún otro modelo dependiendo del régimen pluviométrico de cuenca (pluvial o nivopluvial). De igual manera, estos datos se utilizarán en la determinación de la precipitación efectiva asociada al cálculo de las necesidades netas mensuales de cada zona de riego definida.

La cuenca del Río Itata posee 24 estaciones pluviométricas de la DGA vigentes, de las cuales 12 cuentan con información anterior al año 1965. El Cuadro 5-30 presenta un las estaciones existentes en la cuenca del Río Itata incorporando un detalle de la vigencia y el período con registros. Por otro lado, se ha recopilado en estudios realizados todos los antecedentes al respecto, encontrando 17 estaciones con estadística de alrededor de 40 años. El Cuadro 5-31 presenta el detalle de las estaciones con información procesada.

Para efectos de una futura implementación de MAGIC en la Cuenca del Itata, se recomienda actualizar los caudales medios mensuales de las estaciones incorporadas en estudio anteriores (Cuadro 5-30) considerando aquellas estaciones de la DGA que se encuentran vigentes, además de incorporar aquellas estaciones que por su ubicación resulten útiles ya sea para la generación de escorrentía o para la determinación de las necesidades netas mensuales de las zonas de riego..

Los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones presentes en estudio existentes se presentan en el anexo 5.3.

En la Figura 5-20 se observa la ubicación de las estaciones pluviométricas en la cuenca de Río Itata.

Cuadro 5 - 29. Estaciones Pluviométricas DGA en Cuenca del Río Itata

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AÑOS INFORMADOS	VIGENCIA
1	08105003-1	La Punilla	5939573	294440	1959-1986	NO VIGENTE
2	08105004-K	Caracol	5941241	286945	1900-2005	VIGENTE
3	08105005-8	Camán	5939679	298909	1992-2005	VIGENTE
4	08106002-9	Río Ñuble En San Fabian N 2	5950104	271797	2001-2005	VIGENTE
5	08106003-7	San Fabian	5951954	271748	1956-2005	VIGENTE
6	08113001-9	Coihueco Embalse	5940190	248199	1900-2005	VIGENTE
7	08122002-6	Trupan	5871757	250223	1963-2005	VIGENTE
8	08122003-4	Tucapel	5869547	238455	1975-2005	VIGENTE
9	08124004-3	Las Cruces	5882986	254334	1993-2005	VIGENTE
10	08124005-1	Mayulermo	5921563	244282	1992-2005	VIGENTE
11	08130003-8	Atacalco Fundo	5911227	271347	1930-2005	VIGENTE
12	08130004-6	Las Trancas	5911385	277287	1961-2005	VIGENTE
13	08130006-2	Diguillin	5916614	265254	1900-2005	VIGENTE
14	08130007-0	San Lorenzo Fundo	5905798	275949	1961-2005	VIGENTE
15	08117002-9	Chillan Viejo	5941818	759307	1977-2005	VIGENTE
16	08118003-2	Millaquén	5971454	758703	1992-2005	VIGENTE
17	08118004-0	Sn. Agustín De Puñal	5967056	716685	1993-2005	VIGENTE
18	08123004-8	Cholguan	5884390	760525	1956-2005	VIGENTE
19	08131002-5	Bella Rosa Fundo	5915833	761495	1963-1968	NO VIGENTE
20	08132002-0	Pemuco	5904827	758185	1971-2005	VIGENTE
21	08133003-4	Chillancito	5927912	727611	1954-2005	VIGENTE
22	08135003-5	Nueva Aldea	5940897	726466	1956-2005	VIGENTE
23	08135004-3	Cancha Los Litres	5933769	715848	1993-2005	VIGENTE
24	08140001-6	Rafael	5944939	713146	1993-2005	VIGENTE
25	08141002-K	Coelmu	5959915	706046	1961-2005	VIGENTE
26	08142001-7	Mangarral	5986890	736670	1992-2005	VIGENTE
27	-	San Ignacio de Palomares	5943053	714591	1941-1991	NO VIGENTE
28	-	Faro Punta Tumbes	5945934	668425	1941-1988	NO VIGENTE

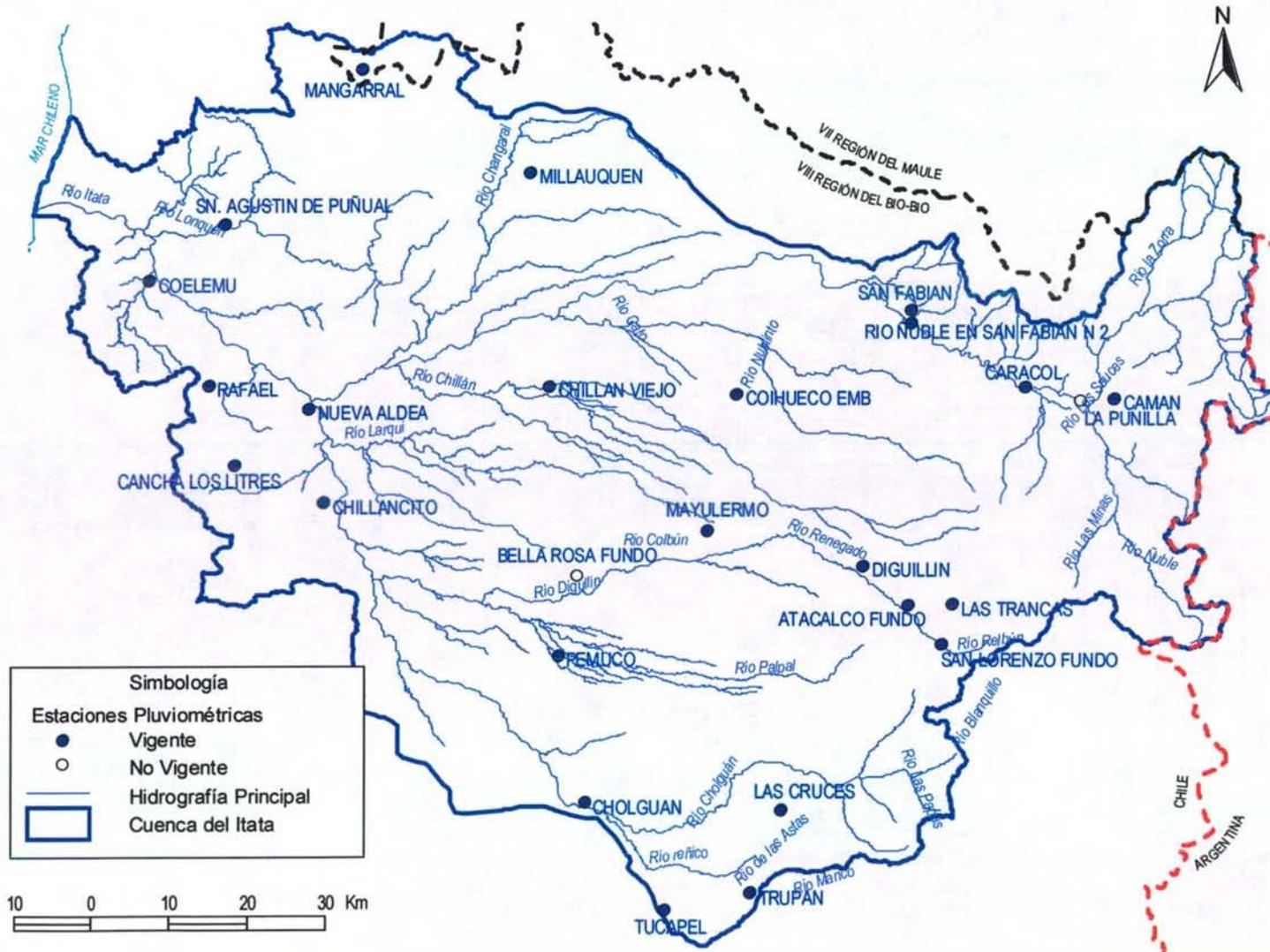
Fuente: CIRH DGA

Cuadro 5 - 30. Estaciones Pluviométricas en Estudios Realizados

ID	CÓDIGO BNA	NOMBRE ESTACIÓN	AÑO INICIO ESTADÍSTICA	AÑO FIN ESTADÍSTICA
11	08130003-8	Atacalco Fundo	1941	1990
15	08117002-9	Chillan Viejo	1941	1991
25	08141002-K	Coelmu	1941	1991
28	-	Faro Punta Tumbes	1941	1988
22	08135003-5	Nueva Aldea	1941	1991
27	-	San Ignacio de Palomares	1941	1991

Fuente: "Consultaría OME-02 Regadío Vegas de Itata", AC INGENIEROS CONSULTORES, Enero 1992.

Figura 5 - 20. Estaciones Pluviométricas en la Cuenca del Río Itata



V.4.15 Captaciones Puntuales

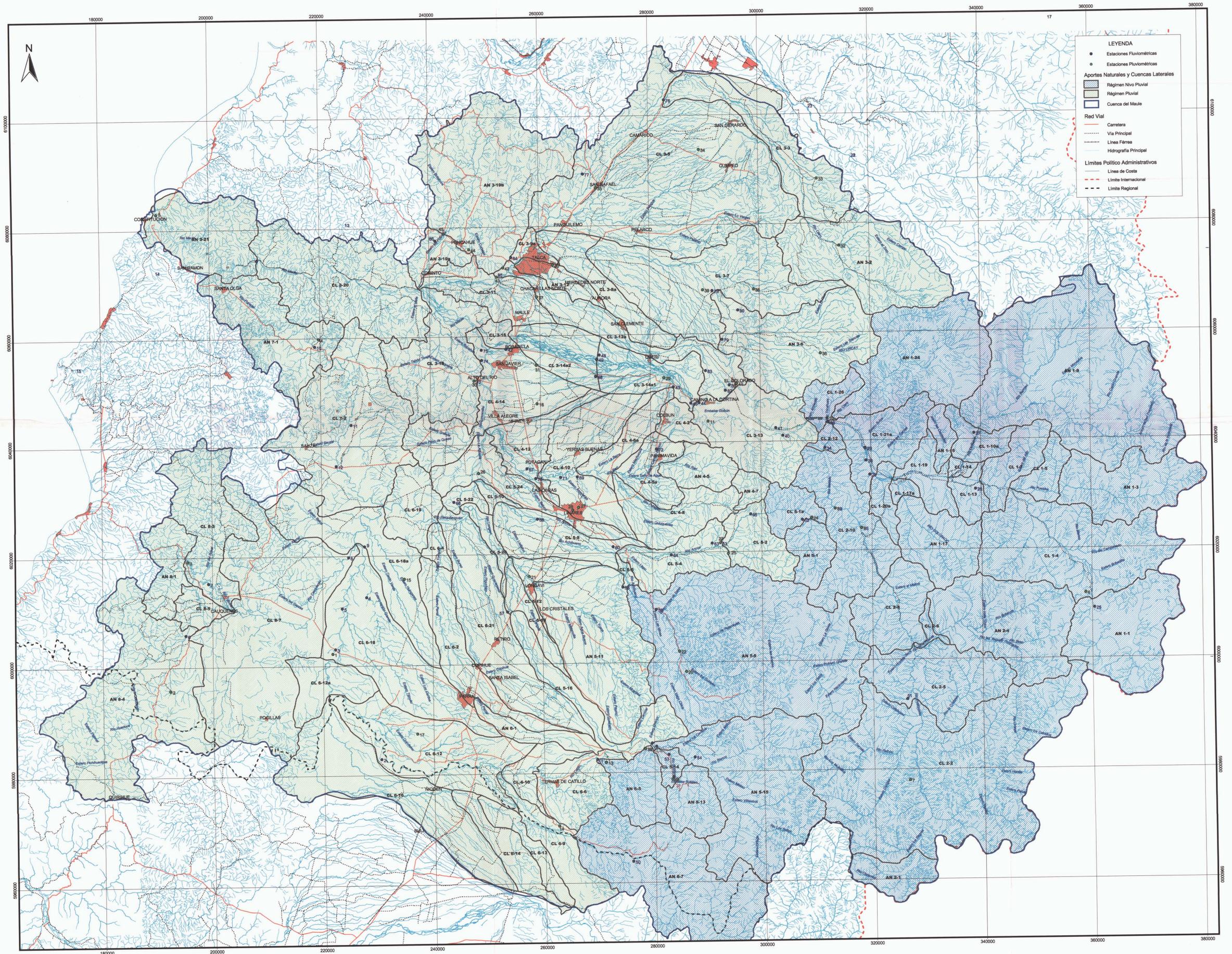
A través de este objeto, MAGIC permite la representación de la demanda superficial de un determinado caudal mensual desde un punto del sistema en estudio, dependiendo de la disponibilidad de agua existente en dicho punto. Parte del caudal captado percola hacia el acuífero y otra parte puede retornar hacia el sistema superficial. Para implementar las captaciones puntuales se requiere antecedentes respecto a la identificación de la captación, la distribución mensual de los caudales captados, especificación de la percolación y de los retornos asociados a las captaciones existentes.

Respecto a las extracciones superficiales para producción de agua potable, existen antecedentes insuficientes para pronunciarse respecto a la importancia de las extracciones superficiales, razón por la cual se recomienda en un futuro estudio recabar información en ese sentido. De igual forma, para una futura implementación de Magic, se deberá recopilar antecedentes de las demandas superficiales industriales, de manera de poder determinar la relevancia de este tipo de captaciones y la conveniencia de incorporarlo a la futura modelación con MAGIC.

PLANOS

NÚMERO	NOMBRE
1	RIO MATAQUITO EN LICANTEN
2	RIO PERQUILAUQUEN EN NIQUELEN
3	RIO PERQUILAUQUEN EN QUELLA
4	ESTERO CURPELAMO EN LO HERNANDEZ
5	RIO PERQUILAUQUEN EN SANTA EMA
6	RIO CAUCUENES EN EL ARRAYAN
7	RIO TUTUVEN EN EL NORO
8	RIO CAUCUENES EN DESEMBOCADURA
9	ESTERO CARDO VERDE EN LO UBALDO
10	RIO PURAPEL EN NIRIVILLO
11	RIO PURAPEL EN PURAPEL
12	RIO PURAPEL EN SAUZAL
13	RIO MAULE EN CUESTA CULENAR
14	RIO MAULE EN FORE
15	RIO LOANCO EN DESEMBOCADURA
16	RIO TENO EN LOS CUENES
17	RIO TENO BAJO QUEBRADA INFIERNILLO
18	RIO CLARO EN LOS CUENES
19	ESTERO EL MANGAZO ANTES JUNTA RIO TENO
20	RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO
21	RIO COLOADO EN JUNTA CON CALCOS
22	RIO PALOS EN JUNTA CON COLORADO
23	ESTERO LIPO EN LIPO
24	RIO MATAQUITO EN EL MORRILLO
25	RIO MAULE EN DESAGUE LAGUNA DEL MAULE
26	RIO MAULE EN LOS BANOS
27	RIO CIPRESSES EN DASAGUE LAGUNA LA INVERNADA
28	CANAL AO MAULE C PERHUENICHE
29	ESTERO LAS GARZAS
30	RIO MAULE BAJO BOCA TOMA MAULE CENTRAL PERHUENICHE
31	RIO HUAIQUIVILLO EN HUAIQUIVILLO
32	RIO MELADO EN LA LANCHIA DGA
33	CANAL MELADO EN LOS HIERROS
34	RIO MELADO EN ZONA DE PRESA
35	EL SALTO
36	RIO CLARO EN SAN CARLOS
37	RIO MAULE EN ARMERILLO
38	CANAL MAULE NORTE EN AFORADOR
39	CANAL MAULE HORTOMA
40	CANAL DE EVACUACION C PERHUENICHE
41	CANAL MAULE NORTE A TO EN PASO NEVADO
42	BIO MAUL F EN LONGAVI
43	CANAL MAULE SUR EN AFORADOR
44	CANAL MAULE SUR EN LOS LIROS
45	RIO MAULE EN COLBUN
46	CANAL DE RESTITUCION SUR 2
47	CANAL DE RESTITUCION SUR 3
48	CANAL SAN JAVIERE
49	CANAL DUJAO ZAPATA
50	RIO PERQUILAUQUEN EN SAN MANUEL
51	RIO CATO EN DIGUA
52	RIO LONGAVI EN LA QUIRQUINA
53	RIO LONGAVI EN SANTA FILOMENA
54	RIO LONGAVI EN EL CASTILLO
55	RIO BULLIECO EN PORTAL TUNEL
56	RIO LONGAVI ANTES JUNTA BULLIECO
57	RIO LONGAVI EN LONGAVI
58	RIO ACHIBUENO EN LOS PEGNASCOS
59	RIO ACHIBUENO EN LA RECOVA
60	RIO ANCOA EN EL LLEPO
61	RIO ANCOA EN EL MORRO
62	RIO ANCOA ANTES TUNEL CANAL MELADO
63	RIO ANCOA EN LAS MINAS
64	RIO ANCOA EN LAS VEGAS
65	CANAL ROBLEÑA ANTE BOCATOMA ANCOA
66	RIO ACHIBUENO EN SAN FRANCISCO
67	RIO LONGAVI EN EN EMBOQUE
68	RIO LONGAVI EN BOCOMA
69	RIO PUTAGAN EN VERBAS BUENAS
70	RIO PUTAGAN EN PUTAGAN
71	RIO PUTAGAN EN SANTA ROSA
72	CANAL DE RESTITUCION SUR 1
73	RIO LONGAVI EN LAS BRISAS
74	RIO LONGAVI EN SAN JAVIER
75	RIO CLARO EN CAMARICO
76	RIO LONGAVI EN PUENTE CAMBRA
77	RIO LONGAVI EN PUENTE LAS MASTROG
78	CANAL MAULE NORTE BAJO SECCION 1
79	CANAL MAULE NORTE BAJO SECCION 2
80	CANAL MAULE NORTE BAJO PUENTE CENTINELA
81	QUEBRADA COLORADO EN DESAGUE LAGUNA LOS TEMOS
82	QUEBRADA COLORADO BAJO SISTEMA MATTENES
83	RIO CLARO EN TALCA
84	RIO CLARO EN RAUQUEN
85	ESTERO LOS PUERCOS EN PUENTE LOS PUERCOS

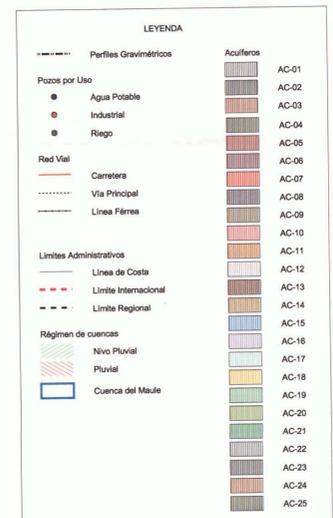
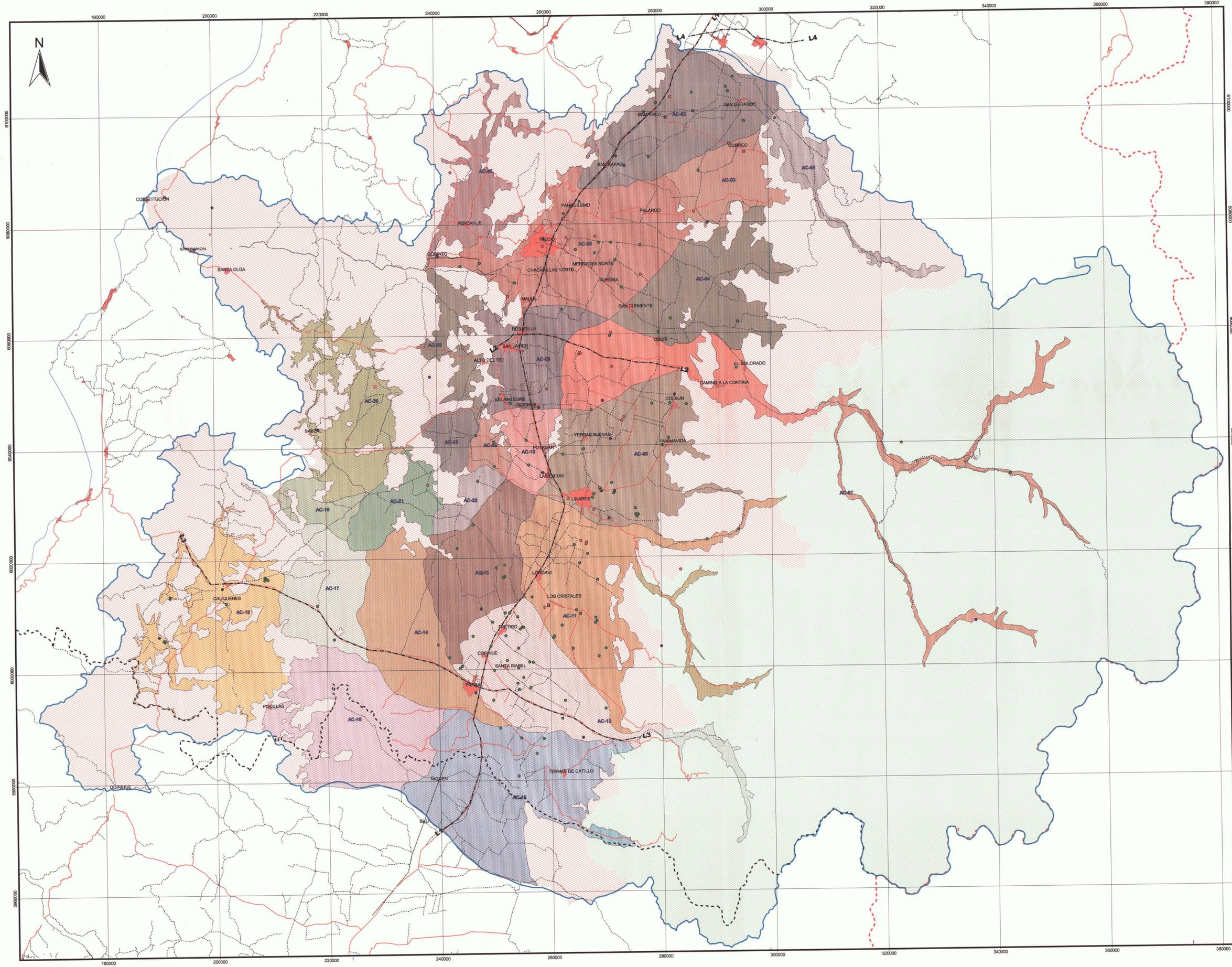
NÚMERO	NOMBRE
1	QUELLA
2	EL ALAMO
3	TUTUVEN EMBALSE
4	NIRIVILLO
5	CONSTITUCION
6	LO AGUIRRE
7	GUAYQUIVILLO
8	RIO MELADO EN LA LANCHIA DGA
9	RIO MELADO EN EL SALTO
10	ARMERILLO
11	MAULE BAJO
12	RIO MAULE EN ARMERILLO
13	DIGUA EMBALSE
14	SAN MANUEL EN PERQUILAUQUEN
15	LOS HUINGANES
16	HUERTA DEL MAULE
17	PARRAL
18	RIO LONGAVI EN LA QUIRQUINA
19	BULLIECO EMBALSE
20	LA SEXTA DE LONGAVI
21	LIGUAY
22	JUAN AMIGO
23	RIO ANCOA EN EL MORRO
24	HORNILLO
25	ANCOA EMBALSE
26	MELOZAL
27	SANTA BARBARA (LINARES)
28	LINARES
29	COLBUN (MAULE SUR)
30	RIO LONGAVI EN LAS BRISAS
31	SAN JAVIER
32	EL RADAL FUNDO
33	AGUA FRIA
34	EL GUINDO
35	SAN RAFAEL
36	VILCHES
37	HUAPI
38	LAS LOMAS
39	EL DURAZNO
40	TALCA U.C.
41	COLORADO
42	TALCA
43	RIO CLARO EN RAUQUEN
44	FUNDO EL PERAL
45	PENCAHUJE



Datos Geocésicos y Cartográficos:
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Proyección UTM (Universal Transversal de Mercator)
 Eje de Referencia Internacional de 1924
 Huso 19 Sur.

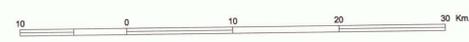


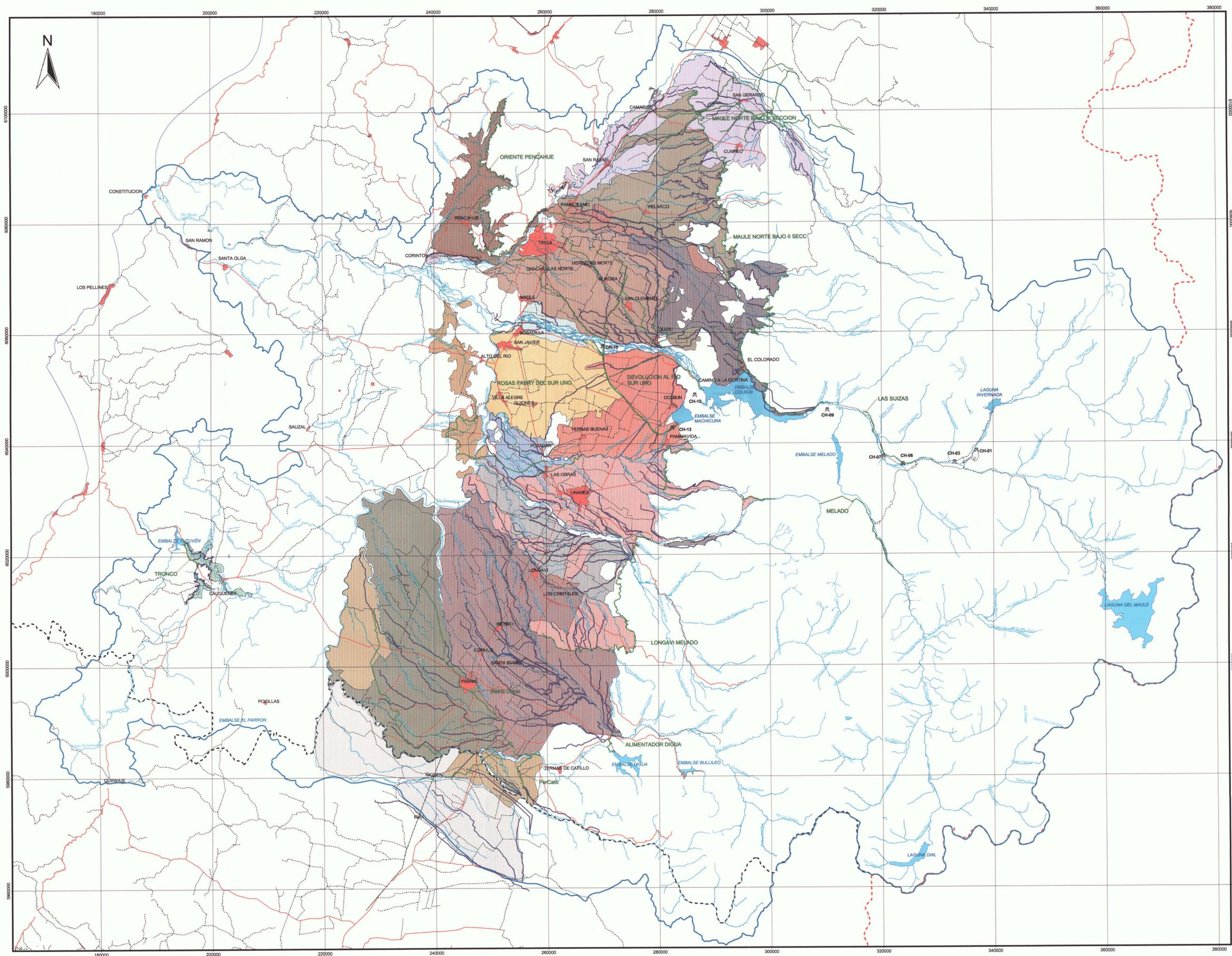
GCF Ingenieros Consultores	Estudio: Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuencas del Maule, Mataquito e Itata.	Escala: 1:250.000	Figura: 1-10
	Título: Estaciones de control, aportes naturales y cuencas laterales Cuenca del Río Maule		



CÓDIGO	NOMBRE ACUÍFERO
AC-01	Río Claro Alto (1)
AC-02	Río Claro Medio (2)
AC-03	Norte Río Lircay (3)
AC-04	Río Lircay Alto (4)
AC-05	Río Lircay Bajo (5)
AC-06	Estero Los Puercos (6)
AC-07	Río Maule Alto (7)
AC-08	Río Maule Bajo (8)
AC-09	Río Putagán Alto (9)
AC-10	Río Putagán Bajo (10)
AC-11	Río Achibueno (11)
AC-12	Río Longavi - Estero Parra Alto (12)
AC-13	Río Longavi - Estero Parra Bajo (13)
AC-14	Estero Curipueño (14)
AC-15	Río Perquillaguán Alto (15)
AC-16	Río Riquén (16)
AC-17	Río Cauquenes Bajo-Perquillaguán Medio (17)
AC-18	Río Cauquenes Alto (18)
AC-19	Estero Belco (19)
AC-20	Río Puraupel (20)
AC-21	Río Perquillaguán Bajo (21)
AC-22	Río Loncomilla (22)
AC-23	Estero Quessería (23)
AC-24	Río Loncomilla Bajo (24)
AC-25	Estero Cachipivil (25)

Datos Geodésicos y Cartográficos:
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Proyección UTM (Universal Transversal de Mercator)
 Elipsoidal Internacional de 1924
 Huso 19 Sur



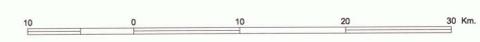


LEYENDA

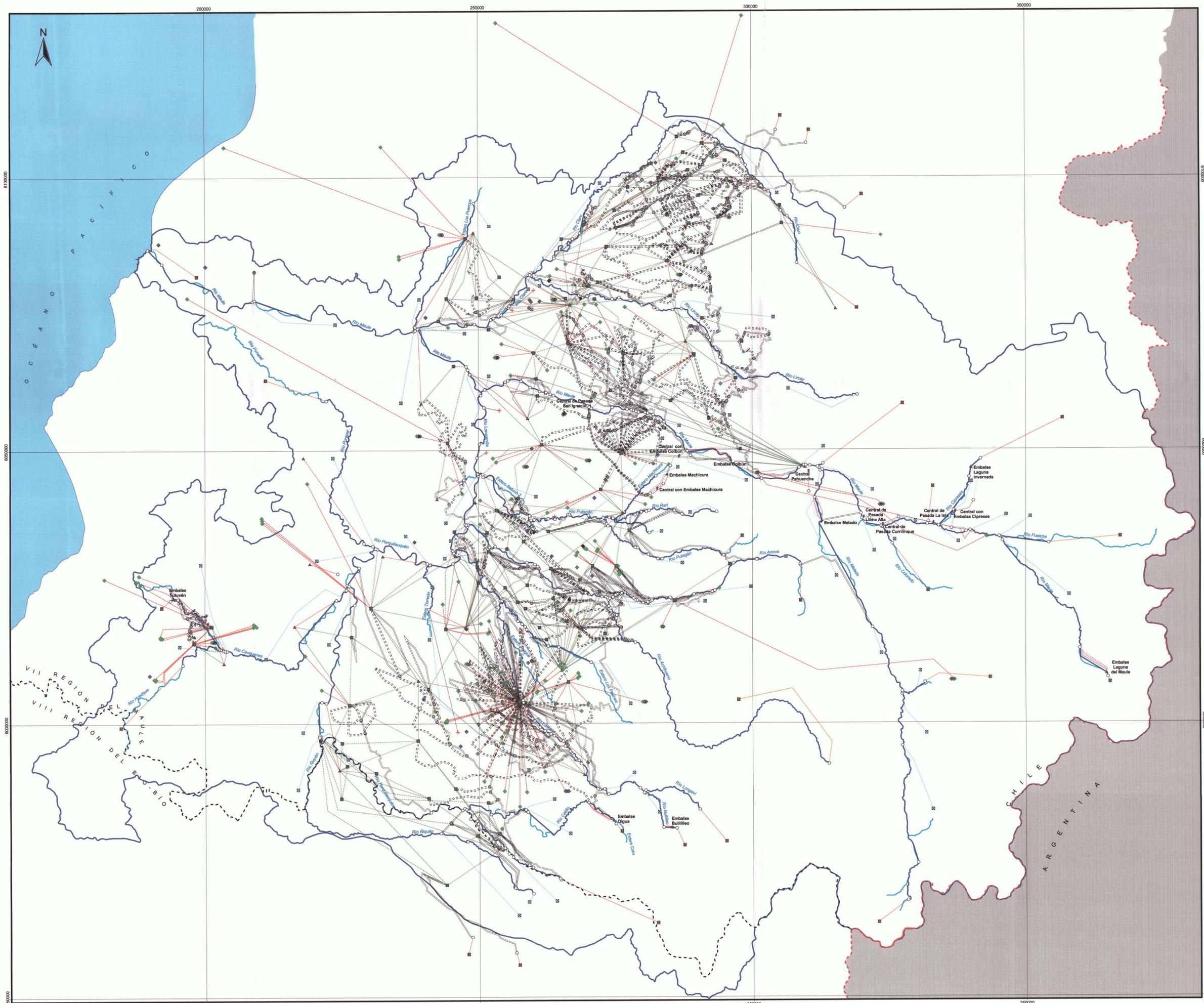
- Canales
- R Centrales hidroeléctricas
- Cuenca del Maule
- Red Vial
 - Carretera
 - Via Principal
 - Línea Férrea
 - Hidrografía Principal
- Límites Político Administrativos
 - Línea de Costa
 - Límite Internacional
 - Límite Regional
- Embalses
- Zonas de riego
 - Achibueno
 - Ancoa
 - Cooperativa de Riego
 - Digua
 - Liray
 - Longavi
 - Maule
 - Maule Alto
 - Maule Bajo
 - Melzal
 - Niquén
 - Pencahue
 - Perquillauquén
 - Putagán
 - Río Claro
 - Río Maule
 - Sorpán
 - Tutuvén

CÓDIGO	NOMBRE CENTRAL
CH-01	Central Cipreces
CH-02	Central Isla
CH-06	Central Curimilque
CH-07	Central Loma Alta
CH-09	Central Pehuenche
CH-10	Central Coburn
CH-13	Central Machicura
CH-15	Central San Ignacio

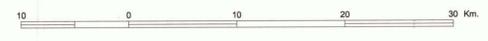
Datos Geodésicos y Cartográficos:
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Proyección UTM (Universal Transversal de Mercator)
 Esquema Internacional de 1954
 Huso 19 Sur



GCF Ingenieros Consultores	Estudio: Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos adaptados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.	Escala: 1:250.000	Figura: 3-10
	Título: Infraestructura de Riego y Centrales Hidroeléctricas Cuenca del Río Maule		



- ### Simbología
- Objetos MAGIC**
- ▲ Acuífero
 - Aporte Natural
 - Captación Puntual
 - ⊠ Cuenca Lateral
 - ✦ Descarga Puntual
 - ▲ Embalse
 - ◆ Pozo Agua Potable
 - ◇ Pozo Otro Uso
 - ◆ Pozo de Riego
 - Zona de Riego
 - Nodo
 - Nodo Secundario
 - ⊠ Central Hidroeléctrica
- Conectores**
- Aducción Pozos
 - Alforamiento de Acuífero
 - Alforamiento Especial
 - Caudal Subterráneo de Salida
 - Aporte Natural
 - Cuenca Lateral
 - Entrega Embalse
 - Filtración Embalse
 - Rebalse Embalse
 - Captación Puntual
 - Retorno Cap. Puntual
 - Percolación Zona Riego
 - Retorno Zona de Riego
 - Tramo de Canal
 - Canal Derivado
 - Tramo de Río
 - Aducción C. Hidroeléctrica
 - Descarga Puntual
 - Generación de E. Eléctrica
 - Retorno C. Hidroeléctrica
- Límites Administrativos**
- Línea de Costa
 - Límite Internacional
 - Límite Regional
 - Localidades
 - Hidrología



Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección UTM (Universal Transversal de Mercator)
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Esfera Internacional de 1924
 Huso 19 Sur.

GCF Ingenieros Consultores	Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.		
	Título: Esquema de Modelación MAGIC Cuenca del Río Maule	Fecha: Diciembre 2006	Escala: 1:250.000

SIMBOLOGÍA

Estaciones Fluviométricas

- Vigente
- No Vigente

Estaciones Pluviométricas

- Vigente
- No Vigente

Límites

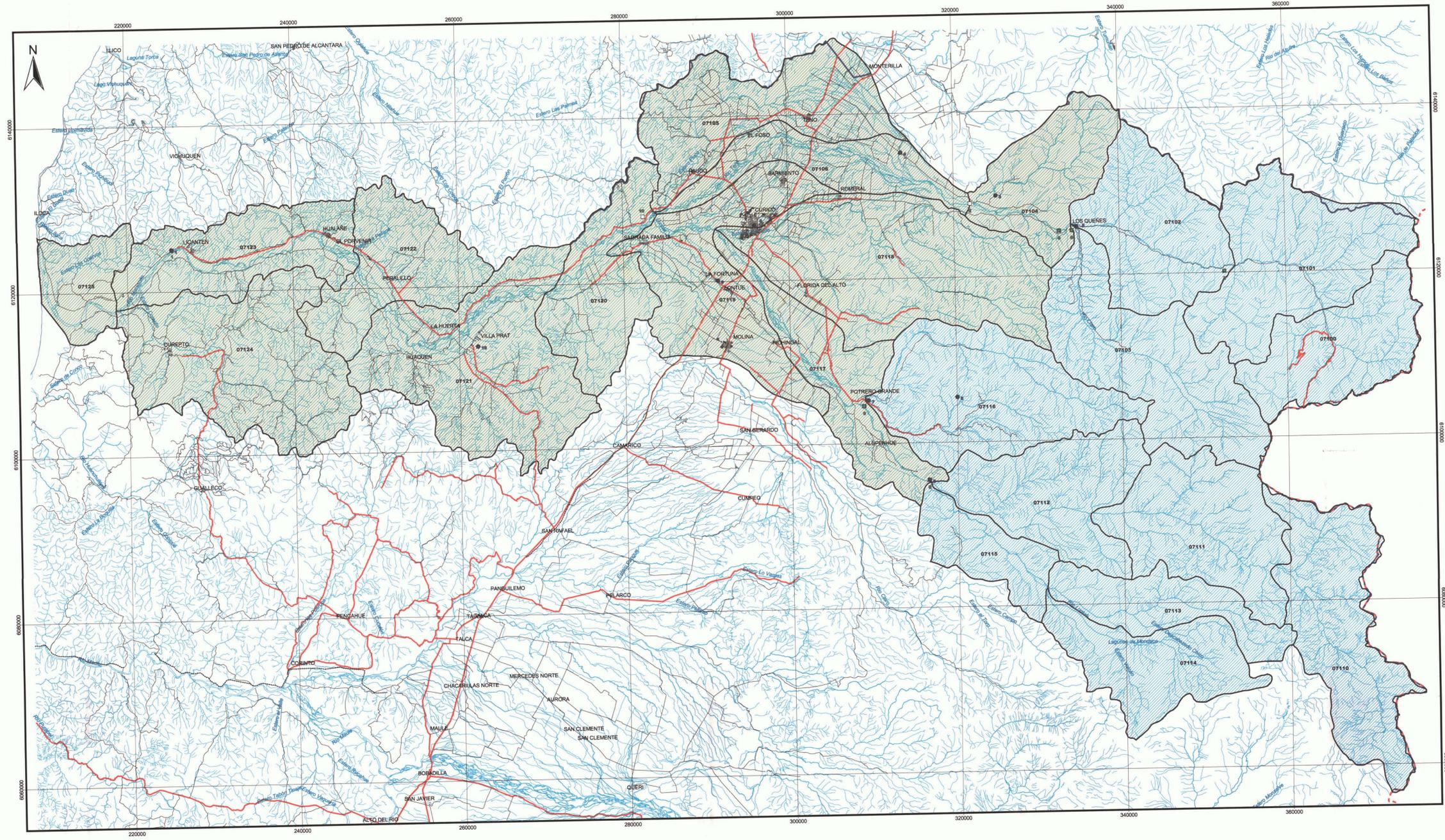
- Línea Costa
- - - Límite Internacional
- - - Límite Regional

Subcuencas

- ▨ Nivopluvial
- ▨ Pluvial
- ▨ Cuenca del lata

Red vial

- Carretera
- Via Principal
- Via Secundaria
- Via Férrea
- Hidrografía



Datos Geodésicos y Cartográficos:
Datum Provisional Sudamericano de 1956
Proyección UTM(Universal Transversal de Mercator)
Escala Internacional de 1924
Huso 19 Sur

IDENTIFICACIÓN DE SUB-SUBCUENCAS

CÓDIGO	NOMBRE
07123	Río Mataquito entre E. La Pailana y E. Cureptin
07124	Estero Curapto
07121	Río Mataquito entre E. Tonleño y E. San José
07105	Estero Rauco
07106	Río Teno entre E. SIN y bajo junta E. Rauco
07122	Río Mataquito entre E. Tonleño y bajo E. la Pailana
07118	Estero Gualquillo
07126	Río Mataquito entre E. Curapto y desembocadura
07111	Río Colorado entre Valle Grande y bajo E. Las Mulás
07114	Estero Volcan
07115	Río Pato entre Estero Volcan y Río Colorado
07113	Río Los Patos hasta junta E. Volcan
07112	Río Colorado entre E. Las Mulás y Río Patos
07116	Estero Upeo
07104	Río Teno entre Río Claro y bajo junta Estero SIN
07102	Río Teno entre Río del Infiernillo y Río Claro
07103	Río Claro
07101	Río Teno entre Río del Pallejo y bajo junta Río del Infiernillo
07109	Río Teno bajo junta Río del Pallejo
07120	Río Mataquito entre junta ríos Teno y Lontue y bajo Estero San José
07110	Río Colorado bajo junta Río de Valle Grande
07117	Río Lontue entre junta Río Colorado y Pato y E. Gualquillo
07119	Río Lontue entre E. Gualquillo y Río Teno

ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

NÚMERO	NOMBRE
1	RIO MATAQUITO EN LICANTEN
2	RIO TENO EN LOS QUÉRES
3	RIO TENO BAJO QUERRADA INFIERNILLO
4	RIO CLARO EN LOS QUÉRES
5	ESTERO EL MANZANO ANTES JUNTA RIO TENO
6	RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO
7	RIO COLORADO EN JUNTA CON PALCOS
8	RIO PALCOS EN JUNTA CON COLORADO
9	ESTERO UPEO EN UPEO
10	RIO MATAQUITO EN EL MORRILLO

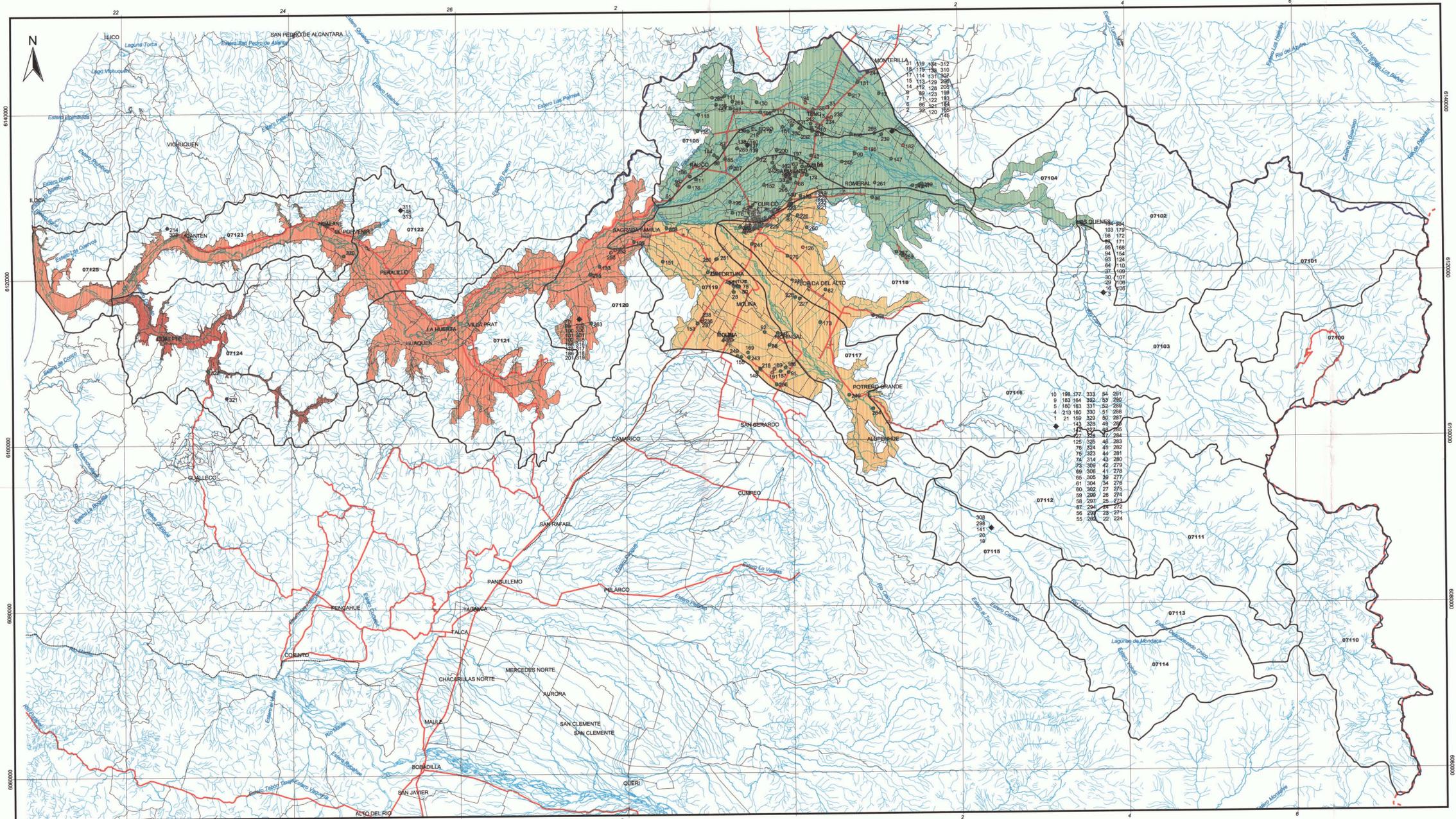
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

NÚMERO	NOMBRE
1	RIO MATAQUITO EN LICANTEN
2	LOS QUÉRES
3	EL MANZANO
4	SANTA SUSANA
5	RIO PALCOS EN JUNTA CON COLORADO
6	MONTE OSCURO
7	POTRERO GRANDE
8	CURICO
9	LONTUE
10	VILLA PRAT

Escala 1:200.000



GCF Ingenieros Consultores	Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.		
	Título: Estaciones de Control y Cuenca Laterales Cuenca del Río Mataquito	Fecha: Diciembre 2006	Escala: 1:200.000



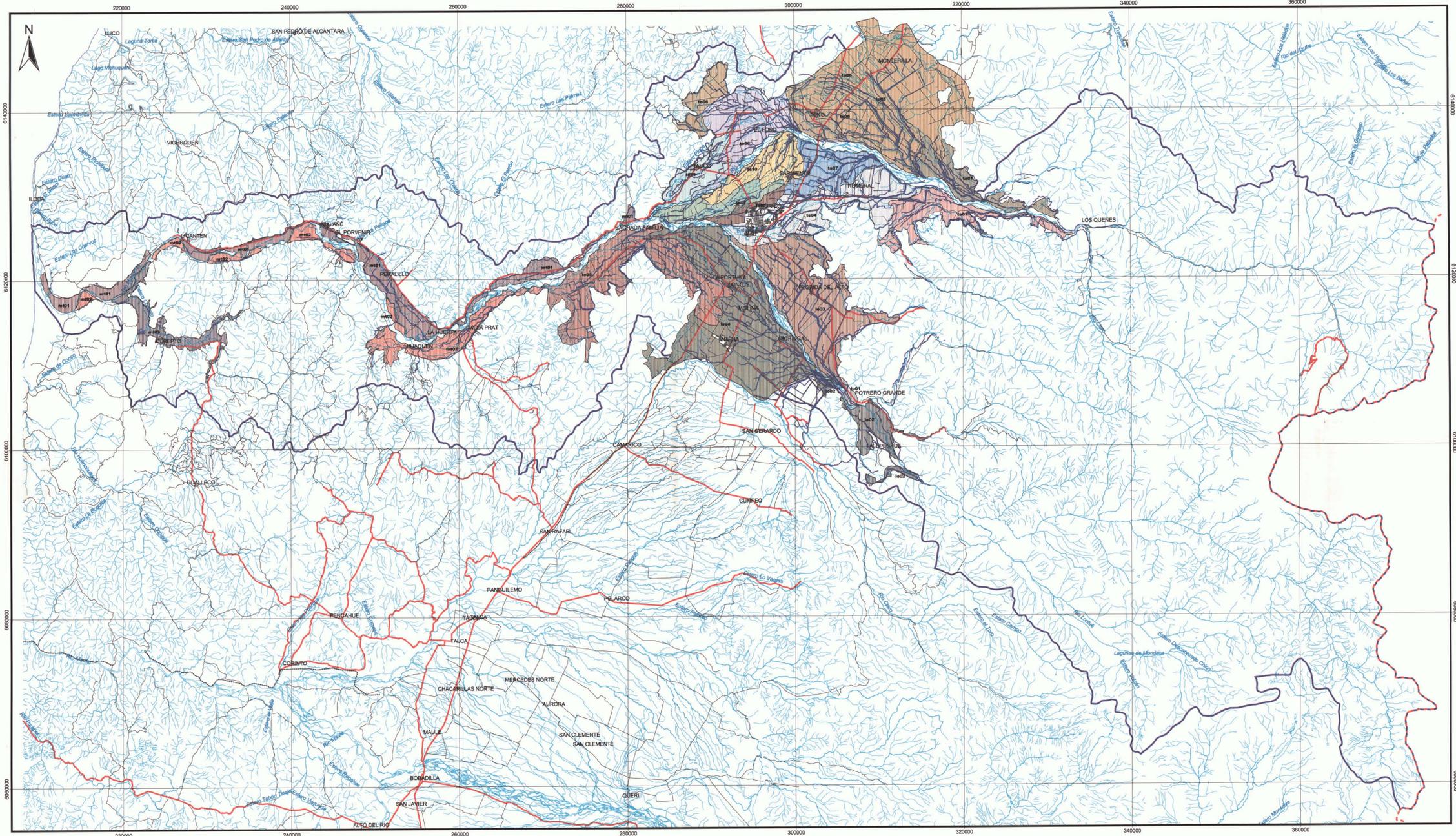
- Simbología**
- ◆ Pozos sin coordenadas
 - agua potable
 - industrial
 - riego
 - ▭ Subcuencas
- Acuíferos**
- Estero laguna Curepto
 - Río Lontué
 - Río Mataquito
 - Río Teno
- Caminos**
- Carretera
 - Principal
 - Secundario
 - Línea Férea
- Límites Administrativos**
- Línea de Costa
 - Límite Internacional
 - Límite Regional
 - Hidrografía

(*) Los pozos que no poseen coordenadas fueron ubicados en el centro geométrico de cada comuna.

Datos Geométricos y Cartográficos:
Datum Provisional Sudamericano de 1956
Proyección UTM (Universal Transversal de Mercator)
Escala Internacional de 1924
Huso 19 Sur.

Escala 1:200.000





SIMBOLOGÍA

- Canales
- Sectores de Riego
 - io01
 - io02
 - io03
 - io04
 - io05
 - io06
 - io07
 - io08
 - io09
 - io10
 - io11
- Hidrografía
- Red Vial
 - Carretera
 - Principal
 - Secundario
 - Línea Férrea
- Limites Administrativos
 - Línea de Costa
 - Límite Internacional
 - Límite Regional
 - Cuenca del Mataquito

Datos Geodésicos y Cartográficos:
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Proyección UTM (Universal Transversal de Mercator)
 Elipsoidal Internacional de 1924
 Huso 19 Sur.

Escala 1:200.000



GCF Ingenieros Consultores	Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.			
	Título: Infraestructura y Sectores de Riego Cuenca del Mataquito	Fecha: Diciembre 2006	Escala: 1:200.000	

SIMBOLOGÍA

Estaciones Fluviométricas

- Vigente
- No Vigente

Estaciones Pluviométricas

- Vigente
- No Vigente

Límites

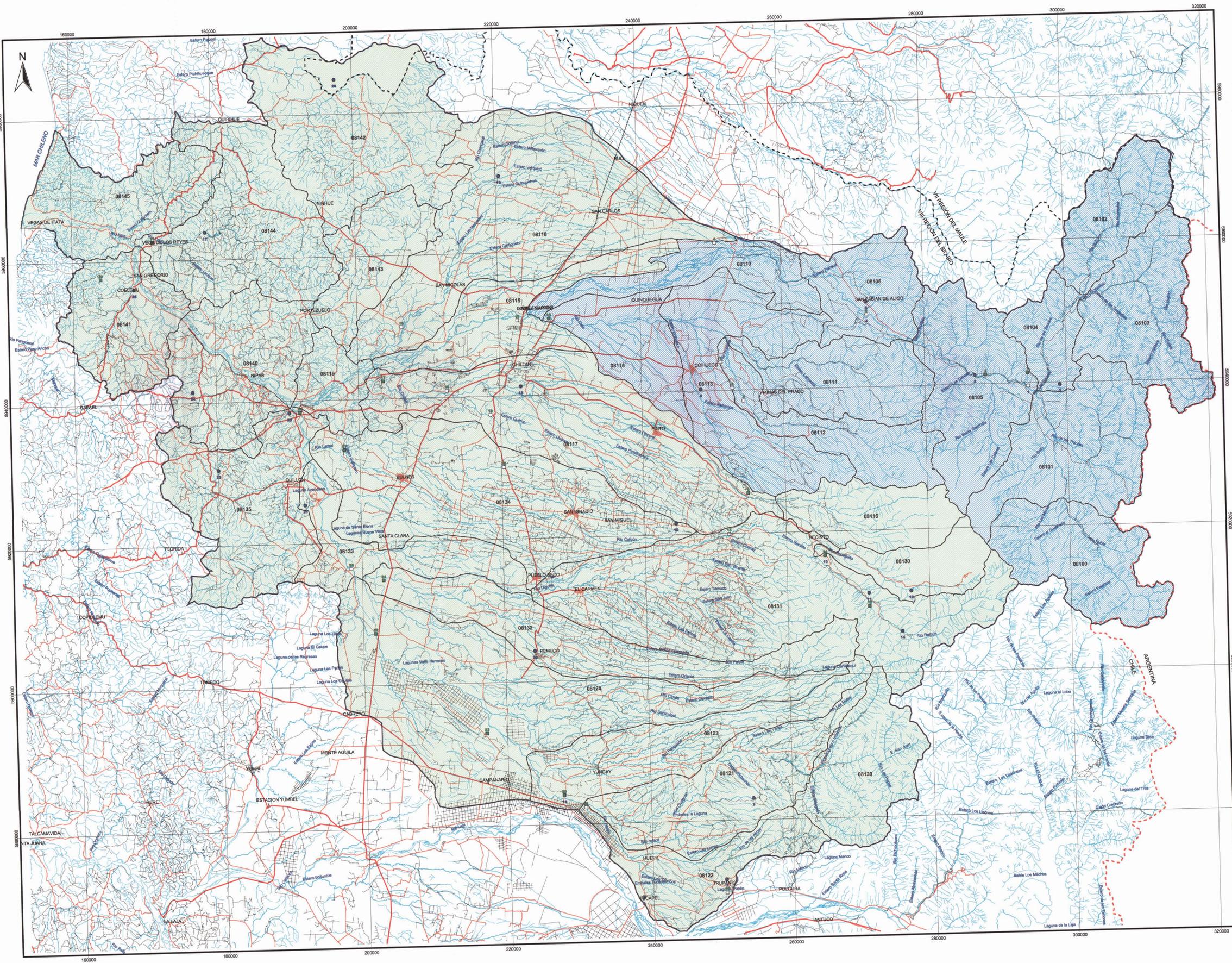
- Línea Costa
- - - Límite Internacional
- - - Límite Regional

Subcuencas

- ▨ Nivopluvial
- ▩ Pluvial
- ▭ Cuenca del Itata

Red vial

- Carretera
- Vía Principal
- Vía Secundaria
- Vía Férrea
- Hidrografía



IDENTIFICACIÓN DE SUB-SUBCUENCAS

CÓDIGO	NOMBRE SUB-SUBCUENCUA
08100	Río Nuble hasta bajo junta Río Las Minas
08101	Río Nuble entre Río Las Minas y Río Los Sauces
08102	Río Los Sauces hasta Cajón González
08103	Cajón González
08104	Río Los Sauces entre Cajón González y Río Nuble
08105	Río Nuble entre Río Los Sauces y bajo E. Bullicio
08106	Río Nuble entre E. Bullicio y bajo junta E. Pangue
08110	Río Nuble entre E. Pangue y Río Calo
08111	Río Calo en junta Río Niblinto
08112	Río Nublinto
08113	Río Calo entre arriba Río Niblinto y bajo junta E. Colhueco
08114	Río Calo entre E. Colhueco y junta con Río Nuble
08115	Río Nuble entre Río Calo y Río Chillán
08116	Río Chillán hasta bajo junta E. Paedillas
08117	Río Chillán entre E. Paedillas y Río Nuble
08118	Río Changaral
08119	Río Nuble entre Río Chillán y Río Itata
08120	Río Choliguan bajo junta E. Villagrán
08121	Estero Choliguan entre E. Villagrán y Río Huapi
08122	Río Huapi
08123	Río Itata entre Río Huapi y Río Trilevo
08124	Río Itata entre Río Trilevo y Río Digullín
08130	Río Renegado
08131	Río Digullín entre Río Renegado y bajo junta E. Danquileo
08132	Río Digullín entre E. Danquileo y Río Itata
08133	Río Itata entre Río Digullín y E. Cayanco
08134	Río Larqui
08135	Río Itata entre E. Cayanco y Río Nuble
08140	Río Itata entre Río Nuble bajo E. Chusca
08141	Río Itata entre E. Chusca y Río Lonquen
08142	Río Lonquen hasta E. Itrique
08143	Río Lonquen entre arriba E. Itrique y bajo E. Corontas
08144	Río Lonquen entre E. Corontas y Río Itata
08145	Río Itata entre Río Lonquen y desembocadura

ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

NÚMERO	NOMBRE
1	RIO SAUCES ANTES JUNTA CON RUBLE
2	RIO RUBLE EN LA PUNILLA
3	RIO RUBLE EN SAN FABIAN
4	RIO GNUBLE EN BALSA DE LOS SEPULVEDA
5	RIO NIBLINTO ANTES CANAL ALIMENTADOR EMB. COIHUECO
6	CANAL ALIMENTADOR EMBALSE COIHUECO EN BOCATOMA
7	CANAL ALM EMBALSE COIHUECO EN LOS OLIVO
8	RIO CHILLAN EN ESPERANZA
9	RIO CHILLAN EN ESPERANZA N 2
10	CANAL ZARARTU SALIDA LAGUNA TRUPAN
11	RIO RENEGADO EN INVERNADA
12	RIO DIGULLIN EN SAN LORENZO (ATACALCO)
13	RIO DIGULLIN EN BALSA ZAPALLAR
14	RIO CATO EN FUENTE GATO
15	RIO GNUBLE EN LONGITUDINAL
16	RIO CHILLAN EN LONGITUDINAL
17	RIO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA
18	RIO QUILMO EN CAMINO A YUNGAY (CA)
19	RIO CHANGARAL CAMINO A PORTEZUELO
20	RIO ITATA EN CHOLIGUAN
21	CANAL ZARARTU BOCATOMA ITATA
22	RIO ITATA EN GENERAL CRUZ
23	RIO ITATA EN TRILEVO
24	RIO DIGULLIN EN LONGITUDINAL
25	RIO ITATA EN CERRO NEGRO
26	RIO LARQUI EN CAMINO YUNGAY
27	RIO LARQUI EN SANTA CRUZ DE GUICA
28	RIO ITATA EN CONFLUENCIA
29	RIO ITATA EN BALSA NUEVA ALDEA
30	RIO ITATA EN COLEMU
31	RIO LONGUEN EN TREHUACO

ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

NÚMERO	NOMBRE
1	LA PUNILLA
2	CARACOL
3	CAMAN
4	RIO RUBLE EN SAN FABIAN N 2
5	SAN FABIAN
6	COIHUECO EMB
7	TRUPAN
8	TUCAPEL
9	LAS CRUCES
10	MAYULERMO
11	ATACALCO FUNDO
12	LAS TRANCAS
13	DIGULLIN
14	SAN LORENZO FUNDO
15	CHILLAN VIEJO
16	MILLAUQUEN
17	SN. AGUSTIN DE PUÑUAL
18	CHOLIGUAN
19	BELLA ROSA FUNDO
20	PEMUJO
21	CHILANCITO
22	NUEVA ALDEA
23	CANCHA LOS LITRES
24	RAFAEL
25	COLEMU
26	MANGARRAL

Datos Geodésicos y Cartográficos:
Datum Provisional Sudamericano de 1956
Proyección UTM(Universal Transversal de Mercator)
Elipsoidal Internacional de 1924
Huso 19 Sur.

Escala 1:200.000



GCF
Ingenieros Consultores

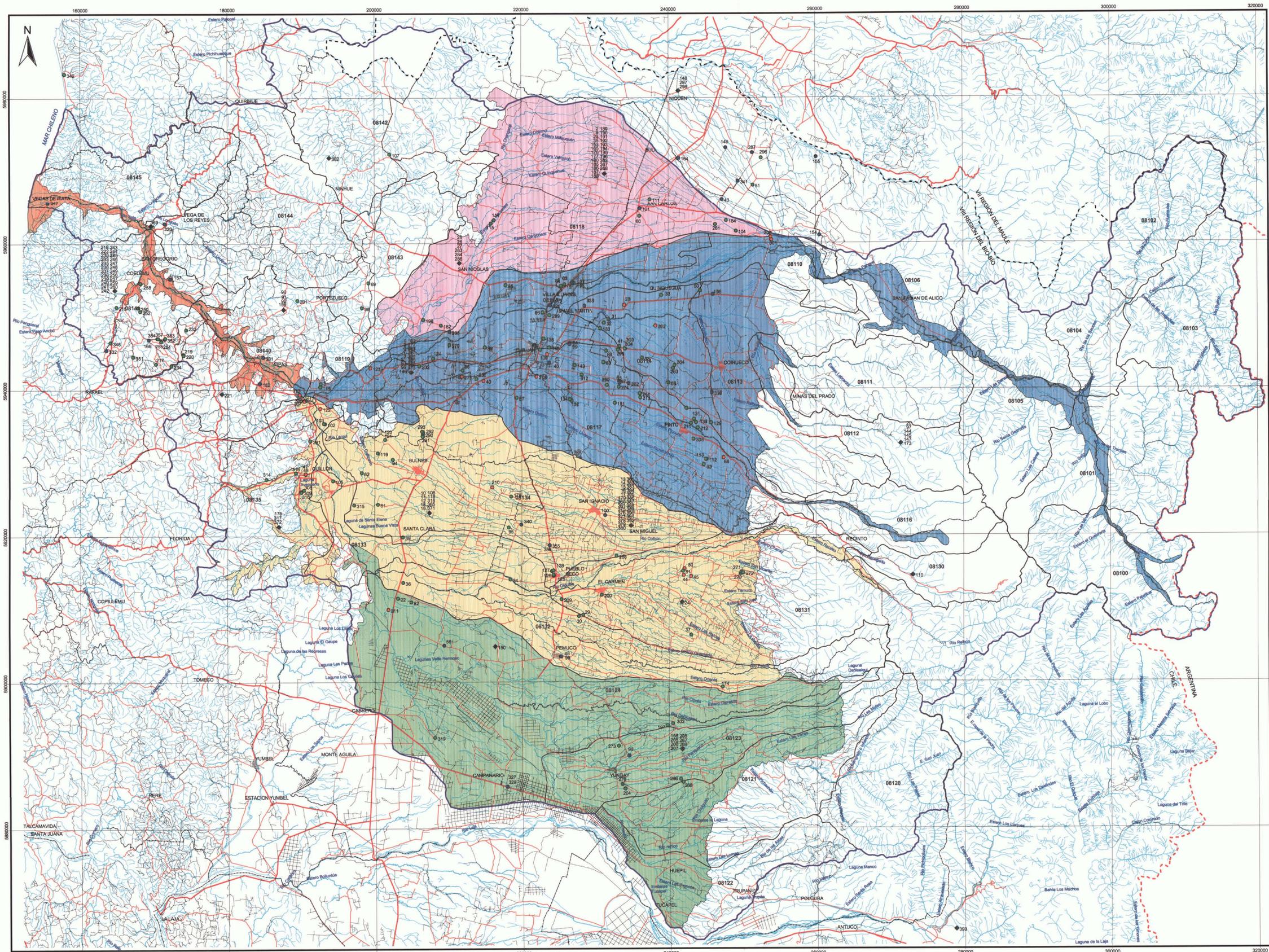
Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.

Título: Estaciones de Control y Cuenca Laterales Cuenca del Río Itata

Fecha: Diciembre 2006

Escala: 1:200.000

Figura: 8-10



SIMBOLOGÍA

● agua potable	— Hidrografía
● Industrial	— Subcuencas
● riego	— Acuíferos
◆ Pozos sin coordenadas(*)	■ Rio Digullin
□ Cuenca del Itata	■ Rio Itata Alto
— Red vial	■ Rio Itata Bajo
— Carretera	■ Rio Niquen
— Via Principal	■ Rio Nuble
— Via Secundaria	
— Via Férrea	

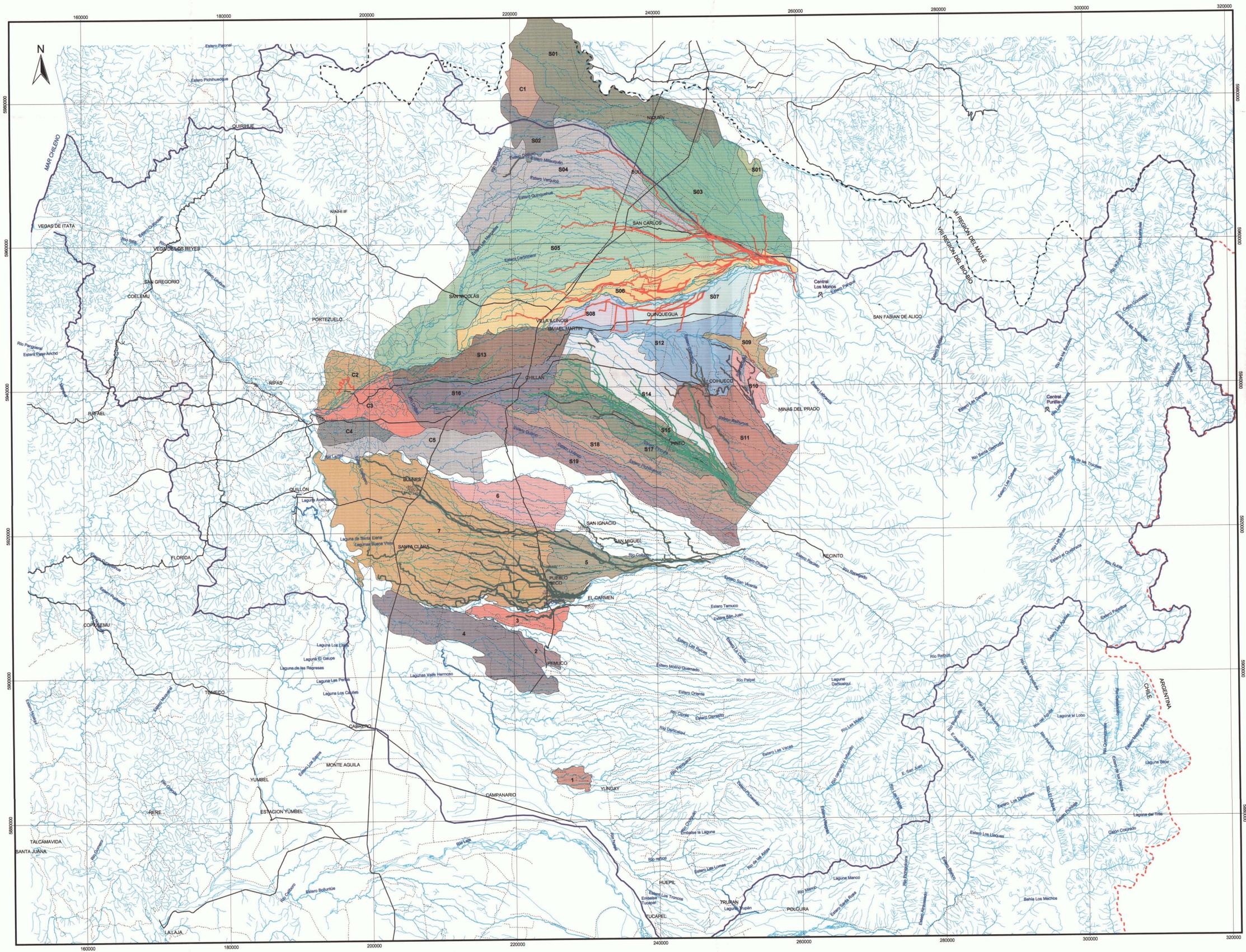
(*) Los pozos que no poseen coordenadas fueron ubicados en el centro geométrico de cada comuna.

Datos Geodésicos y Cartográficos:
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Proyección UTM(Universal Transversal de Mercator)
 Elipsoida Internacional de 1924
 Huso 19 Sur.

Escala 1:200.000



GCF Ingenieros Consultores	Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.		
	Título: Acuíferos y Pozos Cuenca del Río Itata	Fecha: Diciembre 2006	
		Figura: 9-10	



SIMBOLOGÍA

Canales por Sistema

- Cato
- Chilán
- Colhuco
- Diguillin
- Itata
- Niblinto
- Rúbe
- Centrales

Cuenca del Itata

Limites

- Línea Costa
- Límite Internacional
- Límite Regional

Red vial

- Carretera
- Vía Principal
- Vía Férrea
- Hidrografía

Datos Geodésicos y Cartográficos:
 Datum Provisional Sudamericano de 1956
 Proyección UTM(Universal Transversal de Mercator)
 Elipsoide Internacional de 1924
 Huso 19 Sur.

Escala 1:200.000



GCF Ingenieros Consultores	Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.		
	Título: Infraestructura de Riego y Centrales Cuenca del Río Itata	Fecha: Diciembre 2006	