



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DPTO. DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

**PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN
DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
CUENCA DEL RÍO MAULE**

**FASE II
ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE
OPERACIÓN DEL SISTEMA
Y FORMULACIÓN DEL PLAN**

ADDENMUM MAGIC-MAULE

REALIZADO POR:

**LUIS ARRAU DEL CANTO
CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO**

S.I.T. N° 134

SANTIAGO, MAYO, 2008

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Industrial Sr. Sergio Bitar H.

Director General de Aguas
Abogado Sr. Rodrigo Weisner L.

Jefe Departamento de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Pedro Rivera I.

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Sr. Andrés Arriagada T.

Profesionales Departamento Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sra. Ana María Gangas P.
Ingeniero Civil Sr. Miguel Ángel Caro H.
Ingeniero Civil Sra. Andrea Osses V.

Asesor Inspección Fiscal
Jorge Baechler R.

LUIS ARRAU DEL CANTO

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Sr. Felipe Espinoza C.

Profesionales

Ingeniero Agrónomo Sr. Jorge Vergara C. (Coordinador)
Ingeniero Civil Sr. Luis Arrau del C.
Ingeniero Civil Sr. Enrique Kaliski K.
Ingeniero Civil Sr. Álvaro Chávez V.
Ingeniero Rec. Nat. Renovables Sra. Claudia Lizana Z.
Ingeniero Civil Sra. Scarlett Vásquez P.
Abogado Sr. Álvaro Villablanca
Antropólogo Sr. Luis Hernández A.
Ingeniero Rec. Nat. Renovables Sr. Yuri Castillo A.
Ingeniero Civil Srta. Bárbara Astudillo C.
Antropólogo Sr. Andrés Lagarrigue I.
Ingeniero Rec. Nat. Renovables (E) Sr. Wilson Ureta P.
Ingeniero Rec. Nat. Renovables (E) Srta. María Inés Cartes
Ingeniero Rec. Nat. Renovables (E) Srta. Pía García P.
Ingeniero en Medio Ambiente y Recursos Naturales (E) Sr. Raimundo Barrios O.

ÍNDICE ADDENDUM MAGIC-MAULE

		Página
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO MAGIC	4
2.1	Generalidades	4
2.2	Tablas Descriptivas de Entrada Modelo MAGIC	8
2.3	Proceso de Simulación	13
2.4	Tablas Descriptivas de Resultados Modelo MAGIC	14
3.	IMPLEMENTACIÓN MODELACIÓN INTEGRADA MAGIC-MAULE	18
3.1	Generalidades	18
3.2	Actualización Modelo MAGIC-MAULE	25
3.2.1	Acuíferos	29
3.2.2	Aportes a Hoyas Intermedias	35
3.2.3	Canales Matrices y Secundarios	36
3.2.4	Captaciones Puntuales	43
3.2.5	Centrales Hidroeléctricas	45
3.2.6	Descargas Puntuales	50
3.2.7	Embalses	53
3.2.8	Nodos Principales y Secundarios	62
3.2.9	Pozos	125
3.2.10	Caudal Ecológico	126
3.2.11	Zonas de Riego	126
3.2.12	Sectores Urbanos	140
4.	CALIBRACIÓN	145
4.1	Proceso de Calibración/ Verificación	145
4.2	Parámetros de Calibración	147
4.3	Resultados del Proceso de Calibración	148
4.3.1	Estaciones Fluviométricas de Calibración	151
4.3.2	Embalses de Calibración	161
4.3.3	Análisis de la Variación del Volumen del Sistema Acuífero	169
4.3.4	Análisis de los Flujos de Entrada y Salida a los Sectores Acuíferos	172
4.4	Conclusiones del Proceso de Calibración	175

ÍNDICE FIGURAS

Página

2.1-1	Ejemplo Red de Modelación Modelo Magic-Maule	5
3.2-1	Topología Magic - Maule	27
3.2.1-1	Acuíferos	31
3.2.1-2	Esquema Topológico de Acuíferos	33
3.2.2-1	Esquema Topológico de Aportes Naturales	36
3.2.3-1	Canales Matrices y Secundarios	39
3.2.3-2	Esquema Topológico de Canales Matrices y Secundarios	41
3.2.4-1	Esquema Topológico de las Captaciones Puntuales	43
3.2.5-1	Ubicación Centrales Hidroeléctricas	47
3.2.5-2	Esquema Topológico de Las Centrales Hidroeléctricas	49
3.2.6-1	Ubicación Descargas Puntuales	51
3.2.6-2	Esquema Topológico Descargas Puntuales	53
3.2.7-1	Ubicación Embalses	55
3.2.7-2	Esquema Topológico Embalses	57
3.2.8-1	Ubicación de Nodos	63
3.2.8-2	Esquema Topológico de Nodos	65
3.2.8.3-1	Estaciones Pluviométricas Usadas en Modelación y Distribución Precipitaciones Anuales	69
3.2.8.3-2	Esquema de Transposición Zona de Riego v/s Estación Pluviométrica	71
3.2.8.3-3	Esquema de Transposición Zona de Riego v/s Estaciones Pluviométricas	72
3.2.8.3-4	Ejemplo de Aplicación	75
3.2.8.4-1	Clasificación Cuencas	85
3.2.9.4-2	Régimen Cuencas	87
3.2.8.4-3	Diagrama Conceptual Modelo Pluvial (MPL)	95
3.2.8.4-4	Comparación Hidrogramas Cuenca Los Puercos Calibración Modelo MPL	100
3.2.8.4-5	Validación Modelo MPL	102
3.2.8.4-6	Razón Caudal Invierno/Caudal Anual	103
3.2.8.4-7	Isolíneas de Evapotranspiración	107
3.2.11-1	Ubicación Zonas de Riego	127
3.2.11-2	Representación Topológica Zonas de Riego	129
3.2.11.5-1	Relación Precipitación-Precipitación Efectiva	131
3.2.12-1	Sectores Urbanos Considerados en la Modelación	141
4.3-1	Estaciones y Embalses Utilizados en la Calibración	149
4.3.1-1	Resultados Calibración NO-020: Río Maule en Armerillo	153
4.3.1-2	Resultados Calibración NO-344: Río Claro en Camarico	154
4.3.1-3	Resultados Calibración NO-471: Río Claro en Talca	155
4.3.1-4	Resultados Calibración NO-136: Río Claro en Rauquén	156

ÍNDICE FIGURAS

Página

4.3.1-5	Resultados Calibración NO-466: Río Perquilauquén en Quella	157
4.3.1-6	Resultados Calibración NO-467: Río Loncomilla en Bodega	158
4.3.1-7	Resultados Calibración NO-469: Río Loncomilla en Las Brisas	159
4.3.1-8	Resultados Calibración NO-017: Río Maule en Longitudinal	160
4.3.1-9	Resultados Calibración NO-357: Río Maule en Forel	161
4.3.2-1	Resultados Calibración EM-01: Embalse Laguna del Maule	163
4.3.2-2	Resultados Calibración EM-02: Embalse Laguna La Invernada	164
4.3.2-3	Resultados Calibración EM-03: Embalse Melado	165
4.3.2-4	Resultados Calibración EM-04: Embalse Colbún	166
4.3.2-5	Resultados Calibración EM-06: Embalse Bullileo	167
4.3.2-6	Resultados Calibración EM-07: Embalse Digua	168
4.3.2-7	Resultados Calibración EM-08: Embalse Tutuvén	169
4.3.3-1	Variación Volumen Acumulado Sector Acuífero Asociado al Río Maule	171

ÍNDICE CUADROS

Página

2.1-1	Objetos Modelo MAGIC	7
2.2-1	Tablas que Componen la Estructura de Entrada de Datos Modelo MAGIC	9
2.4-1	Tablas que Componen la Estructura de Salida de Datos MAGIC	15
2.4-2	Tablas que Componen la Estructura de Salida de Datos MAGIC Balances Globales	17
3.1-1	Tablas Modificadas y/o Actualizadas Modelo MAGIC-Maule	19
3.2.1.2-1	Modificaciones tabla AC_QZV	34
3.2.1.3-1	Modificaciones Tabla AC_QZVE	35
3.2.3.1-1	Modificaciones Tabla CA_TRAMOS	42
3.2.5-1	Características Centrales Hidroeléctricas	45
3.2.7.4-1	Curva Filtración (m ³ /s) v/s Volumen (Mm ³)	59
3.2.7.5-1	Volumen de Alerta por Embalse	59
3.2.7.7-1	Curva Q máx (m ³ /s) v/s Volumen (Mm ³)	60
3.2.7.9-1	Curva Superficie Espejo de Agua (m ²) v/s volumen Embalsado (Mm ³)	61
3.2.7.9-2	Curva Cota Espejo de Agua (msnm) v/s Volumen Embalsado (Mm ³)	61
3.2.8.2-1	Estaciones Fluviométricas Consideradas para la Calibración	66
3.2.8.3-1	Estaciones Pluviométricas Consideradas	67
3.2.8.3-2	Coeficientes Cálculo Precipitaciones Zonas De Riego	77
3.2.8.3-3	Precipitaciones Promedio Zonas de Riego (mm)	80
3.2.8.4-1	Caracterización Aportes Naturales	89
3.2.8.4-2	Caracterización Trasvase de Cuencas	89
3.2.8.4-3	Caracterización Cuencas Laterales	89
3.2.8.4-4	Parámetros Modelo MPL	98
3.2.8.4-5	Indicadores Calibración Modelo MPL	99
3.2.8.4-6	Análisis de Sensibilidad (x10 ⁻⁵) Parámetros Modelo MPL	99
3.2.8.4-7	Validación Modelo MPL. Río Purapel En Nirivilo	101
3.2.8.4-8	Evaporación Cuencas No-Controladas (Mm)	109
3.2.8.4-9	Superficie Cuencas Aportes Naturales y Cuencas Laterales	111
3.2.8.4-10	Coeficientes Cálculo de Precipitaciones Sub-Cuencas	113
3.2.8.4-11	Precipitación Promedio (mm) Aportes Naturales y Cuencas Laterales. Período 1980-2006	115
3.2.8.4-12	Estadística Río Maule en Armerillo en Régimen Natural	117
3.2.8.4-13	Factores de Transposición de Caudales de Invierno y Verano	119
3.2.8.4-14	Elementos Correlación Achibueno en La Recoba	120
3.2.8.4-15	Estadística Río Achibueno en La Recoba	121
3.2.8.4-16	Factores de Transposición de Cuencas Grupo #2	121
3.2.8.4-17	Antecedentes para la Transposición de Caudales Cuencas Ficticias	122

ÍNDICE CUADROS

Página

3.2.8.4-18	Caudales Promedio Aportes Naturales y Cuencas Laterales (m ³ /s) Período 1980-2006	123
3.2.11.8-1	Comparación Variación Superficie (ha)	133
3.2.11.8-2	Características Tranques de Regulación Nocturna por Zona de Riego	136
3.2.11.10-1	Métodos de Riego	139
3.2.12-1	Zonas Urbanas Cuenca Río Maule	143
3.2.12.1-1	Evolución Temporal Superficie Principales Ciudades Cuenca Río Maule	143
4.3-1	Estaciones Incluidas Proceso Calibración	151
4.3-2	Embalses Incluidos en el Proceso de Calibración	151
4.3.1-1	Resultados Proceso de Calibración Estaciones Fluviométricas	152
4.3.2-1	Resultados Proceso de Calibración Embalses	162
4.3.3-1	Volúmenes Relativos al Total. Sectores Acuíferos	170
4.3.3-2	Variación Volumen Acumulado Acuífero Asociado al Río Maule	172
4.3.4-1	Caudales de Entrada y Salida. Sectores Acuíferos	173
4.3.4-2	Variación Flujos Entrada Salida. Sectores Acuíferos	174

ÍNDICE ANEXOS

- 1 Descripción Modelo MAGIC
- 2 Tablas Modificadas Modelo MAGIC-Maule
- 3 Minuta Visita Técnica Estaciones Pluviométricas
- 4 Estadísticas Cuenca Los Puercos
- 5 Estadística Ruta de Nieves Estación Lo Aguirre

ADDENDUM MODELO MAGIC-MAULE

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos son una herramienta muy usada para representar el funcionamiento de un sistema hidrológico. Es así como, en el año 1997 la DGA contrató a la empresa consultora CONIC-BF Ingenieros Civiles para desarrollar un modelo matemático operacional de la cuenca del Río Maule. Este modelo fue denominado “ModMaule”, y consideraba tanto cantidad como calidad del agua.

En el año 2003, la DGA a través de la empresa consultora AC Ingenieros Consultores, actualizó parte de los datos del modelo existente, mediante el estudio Plan Director del Maule-Fase I, verificando la información de base considerada para ciertos datos del modelo, y agregando la información disponible posterior al término del estudio de 1997.

Al mismo tiempo, la DGA desde el 2000, se encontraba desarrollando un modelo matemático de tipo genérico, llamado MAGIC, para ser usado en diferentes cuencas de Chile, entre ellas el río Maule.

En el año 2004 la DGA, a través de la empresa Rodhos Asesoría y Proyectos Ltda., realizó una actualización e implementación de algunas de las tablas que el modelo MAGIC-Maule requeriría, pero enfocado principalmente a actualizar la información de superficie bajo riego con la cooperación de los regantes.

Finalmente, en el año 2006, la CNR a través de la empresa GCF Ingenieros Consultores, y teniendo a la DGA como contraparte técnica, complementó una interfaz gráfica que liga el sistema SIG como plataforma para la implementación y ejecución del modelo MAGIC pero enfocado a la implementación y calibración preliminar en la cuenca del río Maule.

Es así como se obtiene, a través de este último estudio, un modelo de referencia, visado por la DGA y que será considerado un elemento de base para la modelación y actualización en este estudio. Es importante hacer notar que la modelación en ejecución es un instrumento de gestión para la evaluación de los proyectos del Plan Director, mejorándola en términos temporales y topológicos, para extender hasta el año 2006 -de una manera representativa- cada uno de los períodos que involucran los diferentes elementos considerados en la modelación.

En resumen, el actual proyecto de modelación del Río Maule se basa en los siguientes estudios:

- Ref. 1:** Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuenca del Río Maule, VII Región, SIT N°44. CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores, 1997
- Ref. 2:** Asesoría a la Dirección General de Aguas para Formación del Rol de Regantes Río Maule. Luis Arrau del Canto, 2001
- Ref. 3:** Estudio Hidrogeológico del Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII. AC Ingenieros Consultores, 2002
- Ref. 4:** Estudio Bases para la Formulación del Plan Director para la Cuenca del Río Maule, SIT N°90. AC Ingenieros Consultores, 2003
- Ref. 5:** Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG Para el Manejo y Planificación, Cuencas de Maule, Mataquito e Itata. CNR-DGA. GCF Ingenieros Consultores Ltda., 2006

Por otra parte, el modelo MAGIC queda descrito en los siguientes estudios de la DGA:

- Ref. 6:** Modelación Analítica, Genérica e Integrada de Cuencas: Manual de Referencia Técnica, SIT N°107. DGA, 2005
- Ref. 7:** Modelación Analítica, Genérica e Integrada de Cuencas: Manual de Usuario, SIT N°107, DGA. 2005

Finalmente, la aplicación del modelo MAGIC a las cuencas de los ríos Aconcagua, Choapa, Elqui, Limarí, y Maule se presenta en los siguientes estudios:

- Ref. 8:** Estudio E Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG Para el Manejo y Planificación en las Cuencas de Aconcagua y Maule. CNR-Centro de Estudios en Percepción Remota y SIG, 2004.
- Ref. 9:** Aplicación de Metodologías Para Determinar la Eficiencia de Uso del Agua. Estudio de Caso en la Región de Coquimbo, Gobierno Regional - Región de Coquimbo. CAZALAC con la Asesoría de Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda., 2006.
- Ref. 10:** Estudio Bases para la Formulación del Plan Director para la Cuenca del Río Maule, SIT N°130, Conic-BF Ingenieros Civiles Consultores, 2007.
- Ref. 11:** Diagnóstico de Caudales en Cuencas No Controladas en Recuperación, Cuencas de Aconcagua y Maipo. CNR, GCF Ingenieros Consultores Ltda., 2007.

En estos estudios se presenta la aplicación del modelo MAGIC en diferentes etapas de su implementación. Por ejemplo, en los estudios de la Ref. 10 y 11, el modelo incluye el tratamiento de los sectores urbanos, lo que no se incluye en el estudio de la Ref. 5, ya que esa funcionalidad fue implementada posteriormente a la realización del estudio.

Adicionalmente, se consideran los siguientes estudios para caracterizar los suelos en la cuenca del Río Maule y especialmente en la cuenca del Estero Los Puercos:

Ref. 12: Estudio Agrológico, Materiales y Símbolos, VII Región. CIREN, 1999.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO MAGIC

2.1 GENERALIDADES

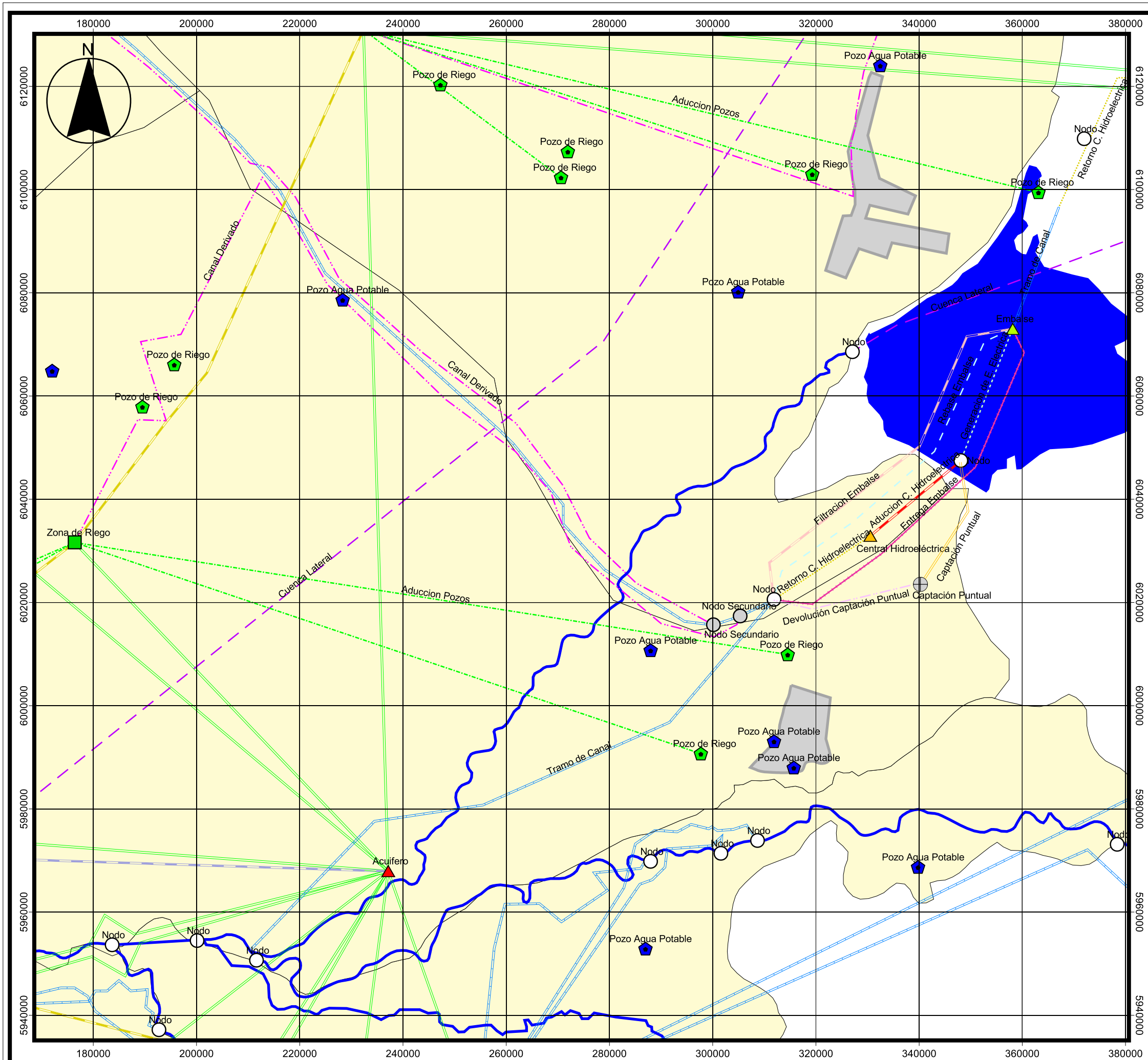
La plataforma **MAGIC**, acrónimo de **M**odelación **A**nalítica, **G**enérica e **I**ntegrada de **C**uencas, es una plataforma de modelación hidrológica desarrollada por la DGA, y cuyas características se presentan en la publicación de la Ref. 6 y 7.

El programa MAGIC está diseñado en lenguaje de programación Delphi 7.0™, dado lo cual, tiene las cualidades de la programación orientada a objetos. En este tipo de programación computacional, los programas son divididos en entes llamados **objetos** que pueden comunicarse, intercambiar información, y colaborar unos con otros, lo que la hace perfecta para la adecuada definición de cuencas hidrográficas.

Conforme a la naturaleza de todas las relaciones matemáticas y computacionales involucradas en él, se considera a MAGIC como un modelo analítico y desde el punto de vista de su capacidad de aplicación a cualquier cuenca (siempre que exista información), se considera que es genérico. Además posee la capacidad de integrar tanto el sistema superficial como subterráneo de la cuenca analizada, en la forma de balances de agua entre los elementos.

En términos generales, para realizar la simulación del balance hídrico en la cuenca, MAGIC utiliza 14 objetos, cuyos atributos los definen parámetros que permiten caracterizarlos, los cuales se ingresan en una base de datos MS ACCESS™ que contiene la topología de la red de simulación y una o más tablas para cada objeto que contienen los datos de entrada del modelo, alcanzando un número total de 56 tablas (en la versión 2.0 del MAGIC). Los diferentes objetos que definen el modelo MAGIC se presentan en el Cuadro 2.1-1, junto con el número de tablas que tienen asociados. Detalle acerca de las características de cada uno de estos objetos se presenta en forma resumida en el Anexo 1 de este addendum y el detalle se puede encontrar en la Ref. 6 (<http://sad.dga.cl/manualesMGC>).

En general, cualquier sistema hidrográfico es representable usando MAGIC. Como ejemplo se muestra en la Figura 2.1-1 una vista parcial de la cuenca del río Maule, en la que se muestra algunos de los distintos objetos usados para representar la cuenca. En este ejemplo se observa nodos, sectores de riego, retornos desde los sectores de riego, y otros elementos. Es importante indicar, que MAGIC permite construir una red topológica lo más cercana a la realidad, considerando la complejidad de las interconexiones entre cada uno de los elementos.



SIMBOLOGÍA

- | | |
|---|---|
| <p>Objetos Magic</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Acuífero ◆ Agua Potable ⊠ Aporte Natu ⊕ Captacion P ▲ Central Hid ⊠ Cuenca Late ● Descarga Puntual ▲ Embalse ○ Nodo ○ Nodo Secund ○ Otros usos ◆ Riego ■ Zona de Rie <p>Embalses</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Embalses ■ Centros Urbanos ■ Zonas de Riego | <p>Conectores</p> <ul style="list-style-type: none"> — Aduccion C. Hidroelectrica — Aduccion Pozos — Afloramiento de Acuífero — Aporte Natural — Canal Derivado — Captación Puntual — Caudal Subterráneo de Sali — Cuenca Lateral — Descarga Puntual — Entrega Embalse — Filtración Embalse — Generación de E. Electrica — Percolación Z. Riego — Rebase Embalse — Retorno C. Hidroelectrica — Retorno Cap. Puntual — Retorno Zona de Riego — Tramo de Canal — Tramo de Río |
|---|---|

Datos Cartográficos
Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19
Zona Sur

Datos Geodésicos
Elipsoide Internacional 1909
Provisional South American Datum 1956

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES:
LUIS ARRAU DEL CANTO
CONSULTORES EN INGENIERÍA
HIDRÁULICA Y DE RIEGO

PROYECTO:
PLAN DIRECTOR PARA LA
GESTIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE

PLANO:
EJEMPLO RED
TOPOLÓGICA
MAGIC-MAULE

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS
SR. RODRIGO WEISNER

JEFE DE DEPARTAMENTO
SR. PEDRO RIVERA

INSPECTOR FISCAL
SR. ANDRÉS ARRIAGADA

ESCALA
1:750000
0 10 20 km

FIGURA:
2-1-1

FECHA:
MAYO DE 2008

**CUADRO 2.1-1
OBJETOS MODELO MAGIC**

Nº	Código	Objeto	Nº de Tablas
1	AC	Acuífero	4
2	AN	Aporte Natural	1
3	CA	Canal (matriz, tramos de canal, canales derivados)	3
4	CL	Cuenca Lateral	1
5	CP	Captación Puntual	3
6	CH	Central Hidroeléctrica	2
7	DP	Descarga Puntual	2
8	EM	Embalse	10
9	NO	Nodo (principal y secundario)	6
10	PO	Pozos	3
11	QE	Caudal Ecológico	1
12	TR	Río y Tramos de Río	3
13	ZR	Zonas de Riego	12
14	SU	Sectores Urbanos	5
Total			56

Fuente: Manual de Referencia Técnica MAGIC–DGA, 2005 (Ref. 6)

En el modelo MAGIC, el sistema hidráulico es descrito mediante una malla de elementos de diferente tipo. Dichos elementos u objetos, están relacionados entre sí a través de sus entradas y salidas, definiendo una topología particular, los que permiten reproducir los flujos de aguas a nivel mensual, en todos los puntos de interés definidos conforme el uso actual y futuro del sistema. De esta forma, cada tipo de objeto generado en la topología del modelo es capaz de representar los distintos tipos de demandas o flujos existentes. Particularmente en el caso de las demandas, las correspondientes al riego son consideradas al procesar cada uno de los objetos denominados **Sectores de Riego (ZR)**, mientras que las demandas de agua potable son consideradas al procesar los objetos **Sectores Urbanos (SU)**. Las demandas de aguas subterráneas son extraídas al procesar los objetos **Acuíferos (AC)**, pudiendo dichas demandas ser de riego, agua potable, industrial u otro. Es importante indicar adicionalmente que las demandas superficiales de otro tipo, pueden ser representadas a través de las **Captaciones Puntuales (CP)** en algún punto del río o ríos.

La oferta de agua ó disponibilidad del recurso producto de la hidrología, es representada a través de caudales medios mensuales en **cuencas de cabecera (AN)** y **cuencas laterales (CL)**, los cuales son incorporados en objetos predefinidos. De estos caudales, algunos son controlados o medidos directamente, otros

indirectamente, y otros que deben ser generados en forma sintética, tanto para cuencas pluviales, nivales, y mixtas.

A grandes rasgos, las aguas subterráneas son representadas a través de **Acuíferos**, concebidos como objetos que tienen definidos una “geometría acuífera”, entendible como un volumen de almacenamiento subterráneo. Las entradas al volumen de acuífero, pueden provenir de otros acuíferos o de un caudal subterráneo inicial, de recarga de riego, recargas de canales y cauces, de recarga de lluvia y de recarga de los sectores urbanos o de agua potable; las salidas pueden ser a otros acuíferos a través del flujo pasante subterráneo y hacia la superficie, como afloramiento al río u otro objeto. Adicionalmente, estos objetos pueden variar su volumen almacenado, de acuerdo a la operación y uso del sistema. Sin embargo, la representación del sistema subterráneo, se idealiza como un acuífero libre con una geometría prismática, dado lo cual la calibración de los parámetros físicos se realiza considerando los volúmenes almacenados en el tiempo en cada acuífero. Para esto se deben usar como medio de verificación los volúmenes almacenados, considerando para ello los niveles históricos de los pozos en cada acuífero.

Los **Embalses (EM)** han sido representados como objetos, los que operan con almacenamiento superficial. Las entradas corresponden al flujo superficial, y las salidas corresponden, por ejemplo, a caudales de entrega para riego, generación hidroeléctrica, filtraciones, evaporación, percolación, y eventuales vertimientos.

Los ríos y los esteros se dividen en tramos de cierta longitud, definidos por un **Nodo (NO)** en su inicio y otro en su término. Estos nodos son los que permiten representar puntos donde interesa conocer el caudal disponible para un sector de riego, para un canal de trasvase, para un embalse, o bien, para comparar con valores históricamente observados.

Adicionalmente, los elementos del sistema desde el punto de vista topológico que busca representar la realidad, se caracterizan principalmente por medio de los **Nodos** (principales y secundarios), que reciben y distribuyen aguas, **Tramos de Río** (conector) (**TR**), que conducen aguas de un nodo a otro considerando pérdidas por percolación, y los objetos **Canales** (conector) (**CA**) que transportan flujos de un nodo a otro. Estos objetos, entre otros, principalmente permiten ordenar la estructura básica de la topología y la interrelación de todos los objetos que condicionan la física del modelo, y a su vez permite su control, calibración, y gestión.

2.2 TABLAS DESCRIPTIVAS DE ENTRADA MODELO MAGIC

Como se mencionó anteriormente, cada uno de estos objetos tiene asociado una o más tablas en la base de datos de entrada y genera una o más archivos de textos como resultado de la modelación. La base de datos utilizada por este modelo, está compuesta de 56 tablas, cuyos nombres y contenidos se presentan en el

Cuadro 2.2-1. Un aspecto importante es la comprobación topológica de la red de modelamiento y que se cumplan las restricciones de conexión asociadas a los objetos.

**CUADRO 2.2-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENTRADA
DE DATOS MODELO MAGIC**

Nº Objeto	Objeto Asociado	Nº Tabla	Nombre	Descripción
1	Acuíferos	1	AC_PARAM	Parámetros físicos y geométricos de los acuíferos
		2	AC_QZS	Caudales subterráneos de salida de los acuíferos
		3	AC_QZV	Caudales de afloramiento totales de los acuíferos
		4	AC_QZVE	Caudales de afloramiento en la sección de entrada de los acuíferos
2	Aportes Hoyas Intermedias	5	AN_PARAM	Aportes naturales al sistema: número de nodo y estadística asociada
3	Canales Matrices	6	CA_TRAMOS	Parámetros que describen detalladamente a cada uno de los canales matrices: capacidad, eficiencia, longitud, acuífero asociado
		7	CA_PARAM	Parámetros que describen, en forma general, a los canales matrices del sistema: nombre y objeto asociado
	Canales Secundarios	8	CA_DER	Parámetros que describen a los canales derivados: capacidad, eficiencia, longitud, acuífero asociado, y porcentaje captado del canal matriz
4	Cuenca Lateral	9	CL_PARAM	Aportes intermedios al sistema: número de nodo y estadística asociada
5	Captaciones Puntuales	10	CP_PARAM	Descripción de las captaciones puntuales: nodo ubicación, caudal, y acuífero asociado
		11	CP_RETORNOS	Retornos desde las captaciones puntuales: código y fracción que retorna
		12	CP_Q	Caudales a captar mensualmente desde las captaciones puntuales

CUADRO 2.2-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENTRADA
DE DATOS MODELO MAGIC
(Continuación)

Nº Objeto	Objeto Asociado	Nº Tabla	Nombre	Descripción
6	Centrales Hidroeléctricas	13	CH_Param	Parámetros que describen a las centrales hidroeléctricas: caudal de diseño, rendimiento, altura bruta, potencia instalada, y número de unidades
		14	CH_Q	Caudales a generar mensualmente por las centrales hidroeléctricas
7	Descargas Puntuales	15	DP_PARAM	Descripción de las descargas puntuales: nombre y nodo de ubicación
		16	DP_Q	Caudales descargados desde las descargas puntuales
8	Embalses	17	EM_NODOS	Códigos de nodos abastecidos por embalses
		18	EM_PARAM	Parámetros que describen cada uno de los embalses existentes: nombre, nodo asociado, volumen máximo, volumen muerto, volumen inicial, acuífero asociado, año y mes de inicio de operación
		19	EM_DEMGE	Caudales demandados para generación de energía por cada uno de los embalses existentes
		20	EM_FV	Coefficientes polinomio cúbico para estimar infiltración del embalse en función del volumen embalsado
		21	EM_CA	Curvas de alerta de los embalses
		22	EM_QGENMAX	Caudales máximos mensuales desde embalses para generación
		23	EM_QV	Coefficientes polinomio cúbico para estimar caudal máximo de entrega del embalse en función del volumen embalsado
		24	EM_SALIDAS	Salida de los embalses.
		25	EM_SVH	Coefficientes polinomio cúbico para estimar espejo de agua del embalse en función del volumen embalsado

CUADRO 2.2-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENTRADA
DE DATOS MODELO MAGIC
(Continuación)

Nº Objeto	Objeto Asociado	Nº Tabla	Nombre	Descripción
8	Embalses	26	EM_TASEV	Tasas de evaporación mensual de cada embalse
9	Nodos Principal y Secundario	27	NO_DIST	Distribución de derechos permanentes y eventuales en los nodos
		28	NO_DIST_Q	Caudales demandados a los nodos
		29	NO_PARAM	Caudales a partir de los que se reparte el caudal afluente en forma eventual
		30	EST_CALIB	Estaciones fluviométricas para la calibración del modelo
		31	ESTAD_PP	Estadísticas de precipitaciones de estaciones asociadas a zonas de riego
		32	ESTAD_Q	Estadísticas de caudales aportados por cuencas laterales, cuencas de entrada y caudales de estaciones para calibración
10	Pozos	33	PO_PARAM	Parámetros de los pozos: coordenadas, acuífero asociado, tipo de uso, y zona de riego asociada (cuando corresponde)
		34	PO_Q	Caudales mensuales de bombeo nominal en los pozos
		35	PO_USOS	Usos de pozos
11	Caudal Ecológico	36	QE_PARAM	Caudales ecológicos por tramos
12	Tramos de Río	37	RI_TRAMOS	Parámetros de los tramos de ríos: nodo inicial y final, acuífero asociado, largo, ancho, espesor, permeabilidad del lecho, pendiente, y rugosidad
		39	SECCIONES	Secciones de los ríos: número de las secciones legales por río
13	Zonas de Riego	40	ZR_AC_NNM	Necesidades netas mensuales áreas cultivadas en zonas de riego
		41	ZR_ANC_NNM	Necesidades netas mensuales áreas no cultivadas en zonas de riego
		42	ZR_CULT_ETP	Kc de los cultivos

CUADRO 2.2-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENTRADA
DE DATOS MODELO MAGIC
(Continuación)

Nº Objeto	Objeto Asociado	Nº Tabla	Nombre	Descripción
13	Zonas de Riego	43	ZR_CULT_PAR	Otros parámetros cultivos: distribución de cultivos por zona de riego, tipo de riego asociado, coeficiente de percolación, tipo de suelo, y porcentaje del área regada según método de riego
		44	ZR_CULT_PEF	Precipitación efectiva en zonas de riego
		45	ZR_CULT_SC	Superficies cultivadas por tipo de cultivos en zonas de riego
		46	ZR_PARAM	Parámetros de las zonas de riego: estadística de precipitación asociada, coeficiente de isoyetas, y condiciones iniciales
		47	ZR_QPR	Percolaciones de las zonas de riego a los acuíferos
		48	ZR_RET	Retornos superficiales de las zonas de riego
		49	ZR_SR	Otros parámetros de las zonas de riego: superficie regada, superficie máxima regable, volumen de regulación nocturna, horas de riego diario, eficiencia de aplicación, eficiencia de distribución, coeficiente global de derrames, coeficiente global de percolación, coeficiente global de reuso de los derrames, coeficiente global de reuso de los derrames, factor de reducción del déficit, y parámetros modelo MPL
		50	CULT_TIPOS	Tipos de cultivos
		51	MR_TIPOS	Tipos de métodos de riego y eficiencias

CUADRO 2.2-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENTRADA
DE DATOS MODELO MAGIC
(Continuación)

Nº Objeto	Objeto Asociado	Nº Tabla	Nombre	Descripción
14	Sector Urbanos	52	SU_AREAS	Áreas de los sectores urbanos
		53	SU_PARAM	Parámetros de los sectores urbanos: estadística de precipitación asociada, coeficiente de isoyetas, coeficiente de pérdidas al acuífero, coeficiente de retornos, coeficiente de escorrentía superficial, y coeficiente de pérdidas por percolación subterránea
		54	SU_Q	Caudal a captar
		55	SU_QPR	Percolaciones
		56	SU_RETORNOS	Retornos a nodos

Fuente: Adaptado del Manual de Referencia Técnica MAGIC–DGA, 2005 (Ref. 6)

2.3 PROCESO DE SIMULACIÓN

En este acápite se describe el proceso de simulación que realiza el modelo MAGIC. La descripción que se presenta fue extraída del Manual de Referencia Técnica MAGIC (Ref. 6). La simulación de la cuenca del Maule al interior del MAGIC se lleva a cabo desde aguas arriba hacia aguas abajo para cada uno de los nodos que definen los ríos del sistema. Realiza un ciclo a nivel mensual para el período de simulación, que en este caso corresponde al año hidrológico (Abril–Marzo), y dentro de éste efectúa otro ciclo de iteraciones para calcular todos los caudales de entrada y salida en todos los nodos del sistema. En una primera iteración se calcula en cada nodo el caudal afluente producto de los aportes de cuencas de cabecera e intermedias (para los nodos de cabecera), de los tramos de río (para los nodos intermedios), de las descargas puntuales existentes, y los tramos de canal. En esta primera iteración no se consideran las entregas de los embalses, de los acuíferos ni de los derrames de las zonas de riego, ya que dichos objetos aún no empiezan a ser operados.

Al finalizar la primera iteración para todos los nodos del sistema, se operan los embalses y se calculan sus entregas para riego e hidroelectricidad, se operan los acuíferos y se calculan sus afloramientos y caudales efectivamente bombeados hacia el sistema superficial y se operan las zonas de riego, calculando sus derrames

y percolaciones al sistema subterráneo. De esta forma, en las iteraciones siguientes, el cálculo del caudal afluente a los nodos se hace conociendo todos los caudales involucrados, incluso las entregas de los embalses, de los acuíferos y los derrames de las zonas de riego calculados al final de la iteración anterior.

El modelo sigue iterando dentro del ciclo mensual hasta asegurar que los caudales de salida de las zonas de riego, embalses y acuíferos coincidan con los correspondientes caudales afluentes a los nodos del sistema.

En cada iteración dentro del ciclo mensual, el caudal total afluente a cada nodo se reparte de acuerdo al porcentaje que tenga asignado cada uno de los objetos que reciben caudal desde dicho nodo. Esta característica puede ser utilizada, por ejemplo, para simular la asignación de caudal en un determinado nodo de acuerdo al porcentaje de caudal permanente y/o eventual ingresado a dicho nodo.

2.4 TABLAS DESCRIPTIVAS DE RESULTADOS MODELO MAGIC

En el Cuadro 2.4-1 se presenta una descripción de las salidas asociadas a los objetos o componentes del MAGIC. Posteriormente, en el Cuadro 2.4-2 se presenta un resumen con las salidas que corresponden a balances globales.

CUADRO 2.4-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE SALIDA DE DATOS MAGIC

Nº	Objeto Asociado	Salidas
1	Acuíferos	Volumen inicial, caudal de afloramiento en la sección de entrada, caudal subterráneo en la sección de entrada, caudal de recarga, caudal de bombeo total, caudal de bombeo para riego, caudal de bombeo para otro uso, caudal subterráneo en la sección de salida, caudal de afloramiento total, caudal equivalente al volumen final y volumen final.
2	Aporte Natural	Verificación topológica
3	Canal	Caudal afluente, percolación y salida
4	Central Hidroeléctrica	Caudal demandado, efluente y energía generada
5	Cuenca Lateral	Verificación topológica
	Captación Puntual	Caudales demandados, captados, percolados, y de retorno total
	Descarga Puntual	Caudal mensual descargado
6	Embalses	Volumen bruto almacenado al inicio y fin del mes, volumen útil al final del mes, cota al final del mes, caudal demandado para energía, demandado para riego, afluente, de entrega para energía, de rebase, de filtración, de evaporación y de percolación.
7	Nodos	Caudal total demandado por los objetos que poseen porcentajes de distribución permanentes sobre su caudal afluente, caudal total afluente y caudal faltante para satisfacer su demanda total.
8	Pozo	Caudal bombeado mensualmente
9	Caudal Ecológico	Porcentaje de satisfacción del caudal ecológico establecido por el usuario.
10	Tramo de Río	Caudal afluente, percolación y salida

CUADRO 2.4-1
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE SALIDA DE DATOS MAGIC
(Continuación)

Nº	Objeto Asociado	Salidas
11	Zonas de Riego	Caudal total demandado, caudal total afluente, caudal afluente en exceso (no captado por el canal que alimenta la zona), caudal proveniente del bombeo para riego, caudal bombeado para riego que es efectivamente utilizado, caudal bombeado para riego pero que no fue utilizado para satisfacer la demanda, caudal captado por el canal alimentador de la zona durante las horas de riego, caudal captado por el tranque de regulación existente durante las horas en que no se riega, caudal total afluente (suma del canal más el tranque) durante las horas de riego, caudal utilizado para satisfacer la demanda evapotranspirativa de la zona, caudal derramado, caudal total percolado (riego más precipitaciones), caudal en exceso no captado por el tranque de regulación, caudal utilizado para suplir la demanda total, porcentaje de satisfacción de la demanda, horas que tarda en llenarse el tranque de regulación, caudal de percolación producto de la lluvia, caudal de percolación producto del riego, caudal total de retorno superficial y evapotranspiración total calculada por el modelo pluvial
12	Sectores Urbanos	Lluvia aportante disponible total, caudal en el sector, caudales: demandado, superficial, bombeado, afluente total, captado, sobrante, de retorno, percolado, de retorno de lluvia, de retorno total, percolado total.

Fuente: Adaptado del Manual de Referencia Técnica MAGIC–DGA, 2005 (Ref. 6)

CUADRO 2.4-2
TABLAS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE SALIDA DE DATOS MAGIC
BALANCES GLOBALES

Nº	Balance	Salidas
1	Caudales	Balance total a nivel de nodo para cada uno de los objetos asociados a este.
2	Riego	Balance General de los sectores de riego
3	Subterráneo	Balance General de los objetos acuíferos

Fuente: Adaptado del Manual de Referencia Técnica MAGIC–DGA, 2005 (Ref. 6)

3. IMPLEMENTACIÓN MODELACIÓN INTEGRADA: MAGIC-MAULE

3.1 GENERALIDADES

Tomando como base los antecedentes del estudio de la Ref. 6, se procedió a identificar los elementos que se deben actualizar en la base de datos del modelo MAGIC-Maule presentada en el estudio de la Ref. 5, mediante la revisión y actualización de la base de datos existente hasta marzo del 2004. Posteriormente se completó la base de datos hasta el año 2006 (Marzo), para lo cual se emplean los antecedentes generados en el presente estudio. Entre otros cambios, se considera modificar la información hidrológica (pluviometría y fluviometría), superficies cultivadas, coeficientes de cultivos. Adicionalmente, se considera extender la proyección de demandas.

Particularmente para efectos del modelo MAGIC-Maule, se han identificado 49 de las 56 tablas señaladas en el Cuadro 2.2-1, para las cuales se extienden, actualizan, o modifican con información hasta Marzo de 2006. En el Cuadro 3.1-1 se identifican y detallan todas las tablas que se modifican para lograr la actualización.

La información detallada de las Tablas modificadas se presenta en el Anexo 2.

**CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE**

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
1	Acuíferos	2	AC_QZS	Se definen salidas de flujo subterráneo para todos los acuíferos
		3	AC_QZV	Se definen afloramientos de flujo subterráneo para todos los acuíferos
		4	AC_QZVE	Se representa la situación de afloramientos a la entrada en todos los acuíferos
2	Aportes Hoyas Intermedias	5	AN_PARAM	Se modificó la descripción del origen de los datos AN-39, 72, 73, 93 y 94 se calculan como aportes nivales en vez de mixto
3	Canales Matrices	6	CA_TRAMOS	Se modificaron nodos de entrega, caudales de porteo, y eficiencias
		7	CA_PARAM	-Se define NO-026 como nodo de entrega del canal Alimentador Isla Rama Maule. -Se definen nuevos acuíferos de destino de percolación de tramos de los canales Maule Norte Alto y Maule Norte Bajo. -Se cambia capacidad de porteo de los canales Alimentador Isla Rama Maule y Alimentador Melado. La nueva capacidad es igual a la capacidad de conducción del canal multiplicada por su eficiencia. -Se recalcula la eficiencia de tramos de canal.
	Canales Secundarios	8	CA_DER	La eficiencia todos los canales derivados se considera del 100%.

CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE
(Continuación)

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
5	Captaciones Puntuales	10	CP_PARAM	Se definen nuevas captaciones puntuales (CP) para representar captaciones de agua potable (Constitución y Linares), centrales hidroeléctricas (Cipreses, Isla-Curillinque-Loma Alta, Pehuenche, Colbún-Machicura y San Ignacio) y entregas desde embalse Laguna del Maule
		11	CP_RETORNOS	Define los retornos desde captaciones de agua potable, centrales y entregas Laguna del Maule, modeladas como captaciones puntuales
		12	CP_Q	Incluye caudales de demanda de nuevas captaciones de agua potable, centrales y entregas históricas desde Laguna del Maule
6	Centrales Hidroeléctricas	13	CH_Param	Se cambian códigos de centrales hidroeléctricas, capacidades y factores de pérdida de altura bruta a neta
		14	CH_Q	Todos los caudales demandados se consideran iguales a cero
7	Descargas Puntuales	15	DP_PARAM	Considera nueva descarga puntual correspondiente al trasvase desde Quebrada Honda para el agua potable de Constitución.
		16	DP_Q	Se agregan caudales de trasvase desde Qda. Honda.

CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE
(Continuación)

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
8	Embalses	17	EM_NODOS	-Se cambian códigos de embalses. -Se redefinen nodos alimentados por embalses..
		18	EM_PARAM	-Se cambian códigos de embalses. -Nuevo V _{máx} de Laguna La Invernada: 180 Mm ³ . (Este valor se ajusta a los máximos volúmenes registrados).
		19	EM_DEMGE	-Se cambian códigos de embalses. -Los caudales demandados para generación de energía fueron representados en las demandas de captaciones puntuales
		20	EM_FV	-Se cambian códigos de embalses. -Se define nueva curva de filtraciones para Laguna La Invernada -Se cambia curva de filtraciones del embalse Bullileo
		21	EM_CA	Se cambian códigos de embalses
		22	EM_QGENMAX	Se cambian códigos de embalses
		23	EM_QV	Se cambian códigos de embalses
		24	EM_SALIDAS	-Se cambian códigos de embalses, filtraciones, entrega energía, entrega a nodos y rebases -Se cambian los nodos de destino de la entrega a nodos de los embalses Laguna La Invernada y Machicura

CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE
(Continuación)

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
8	Embalses	25	EM_SVH	-Se cambian códigos de embalses -Se consideran nuevos ajustes de curvas Cota-Volumen para los embalses Laguna del Maule y Colbún
		26	EM_TASEV	Se cambian códigos de embalses
9	Nodos Principal y Secundario	27	NO_DIST	Se definen las captaciones puntuales que representan centrales, con sus respectivos porcentajes de captación. Además se define la captación puntual que representa las entregas desde la Laguna del Maule.
		30	EST_CALIB	Se eliminó una estación de calibración, y se agregaron 2
		31	ESTAD_PP	-Se considera la inclusión de los años hidrológicos 2004/05 a 2005/06, e inclusión de estadísticas específicas para las zonas de riego representadas por 2 estaciones pluviométricas o por hasta 4 estaciones para el caso de los aportes naturales o cuencas laterales -Se incluye adicionalmente los caudales generados para las cuencas laterales y aportes naturales

**CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE
(Continuación)**

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
9	Nodos Principal y Secundario	32	ESTAD_Q	-Se considera la inclusión de los años hidrológicos 2004/05 a 2005/06 para las estaciones de calibración, cuando esta información está disponible -Se incluye adicionalmente los caudales generados para las cuencas laterales y aportes naturales, como resultado de la inclusión de los nuevos antecedentes hidrológicos
10	Pozos	33	PO_PARAM	Se agregaron pozos al sistema y se juntaron los pozos captando desde cada acuífero: un pozo por cada zona de riego y tipo de uso.
		34	PO_Q	Se incluye la distribución de caudales para los pozos
		35	PO_USOS	Se cambian factores de uso para los usos: Riego, Agua Potable e Industria
11	Caudal Ecológico	36	QE_PARAM	Valores caudales ecológicos
13	Zonas de Riego	40	ZR_AC_NNM	Incluye la necesidades netas mensuales para las zonas cultivadas para los períodos 1980/90 y 1990/06
		41	ZR_ANC_NNM	Incluye la necesidades netas mensuales para las zonas no-cultivadas para los períodos 1980/90 y 1990/06
		42	ZR_CULT_ETP	Incluye los coeficientes de cultivo y evapotranspiraciones mensuales para las zonas cultivadas en los períodos 1980/90 y 1990/06

CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE
(Continuación)

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
13	Zonas de Riego	43	ZR_CULT_PAR	Incluye porcentajes de área que ocupa cada método de riego en cada tipo de cultivo dentro de un sector de riego
		44	ZR_CULT_PEF	Incluye las precipitaciones efectivas calculadas por zona de riego posteriormente a la inclusión de los años hidrológicos 2003/04 a 2005/06
		45	ZR_CULT_SC	Se definen superficies cultivadas por cada tipo de cultivos. Se distinguen los periodos 1980/90 y 1990/06
		46	ZR_PARAM	Se cambian estaciones pluviométricas asociadas a cada sector de riego. Se cambian coeficientes de isoyetas
		47	ZR_QPR	Se redefinen acuíferos de destino y porcentajes de distribución a cada acuífero de la percolación desde cada sector de riego
		48	ZR_RET	Se redefinen objetos de destinos y porcentajes de distribución para los derrames desde cada sector de riego
		49	ZR_SR	Se define distribución temporal de cultivos, volumen de regulación nocturna, eficiencia de aplicación de riego, factores de percolación y derrame promedio para sectores de riego, horas de aplicación de riego y parámetros de MPL
		50	CULT_TIPOS	Se incluye una readecuación de los cultivos tipo

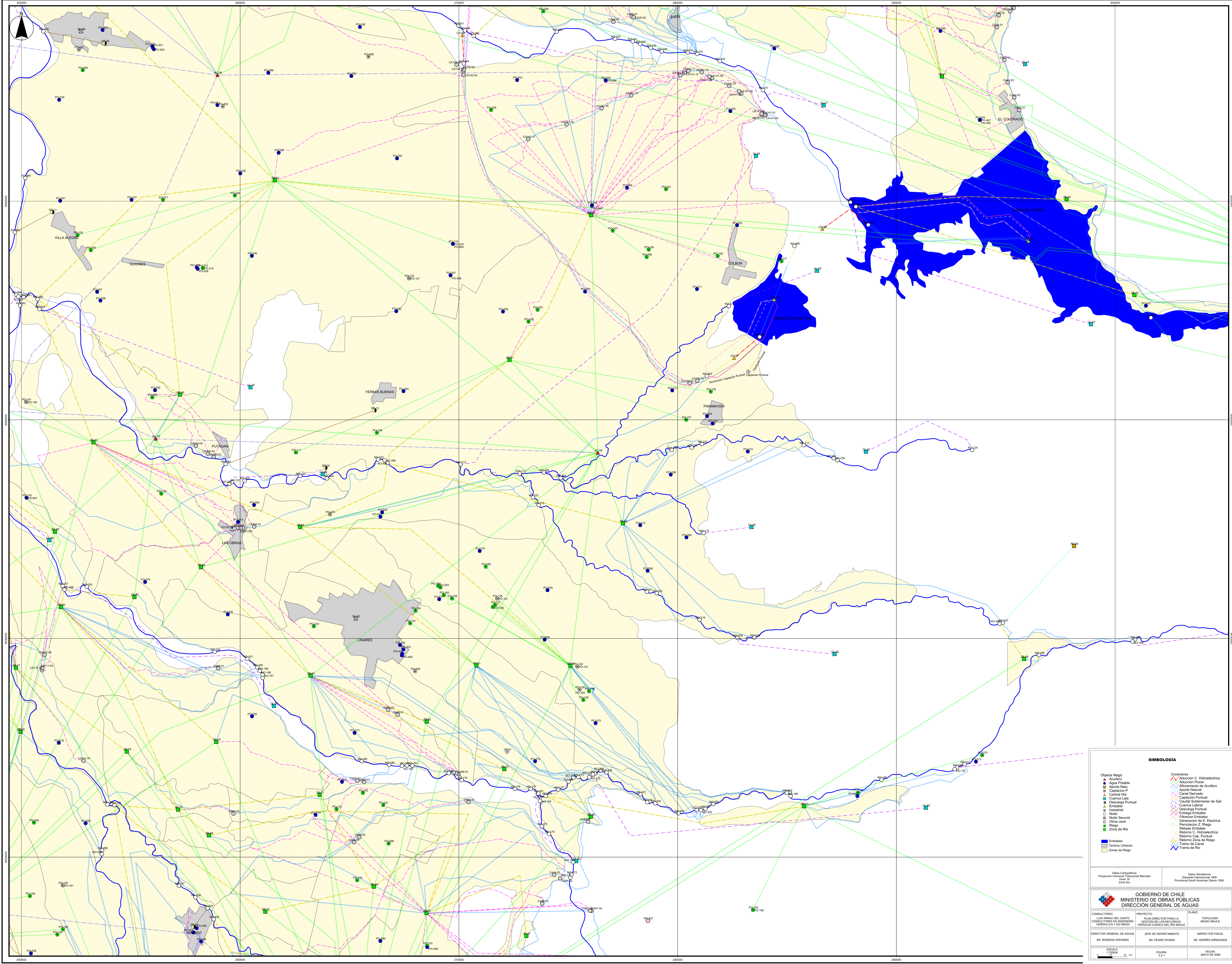
**CUADRO 3.1-1
TABLAS MODIFICADAS Y/O ACTUALIZADAS
MODELO MAGIC-MAULE
(Continuación)**

# Objeto	Objeto Asociado	# Tabla	Nombre	Descripción
13	Zonas de Riego	51	MR_TIPOS	Incluye una readecuación de la definición de los cultivos tipo originalmente definida
14	Sectoros Urbanos	52	SU_AREAS	Áreas de los sectores urbanos
		53	SU_PARAM	Parámetros de los sectores urbanos
		54	SU_Q	Caudal a captar superficialmente
		55	SU_QPR	Se definieron los parámetros para caracterizar la percolación desde las zonas urbanas
		56	SU_RETORNOS	Nodos de retorno

Fuente: Elaboración Propia

3.2 ACTUALIZACIÓN MODELO MAGIC-MAULE

En primer lugar se presenta en la Figura 3.2-1 la topología que describe parcialmente la cuenca del río Maule. En lo que se sigue se presenta una breve descripción de las tablas MAGIC-Maule de su contenido, y forma en que se genera la información contenida en ellas, siguiendo el ordenamiento dado en el Cuadro 3.1-1.



SIMBOLOGIA

<ul style="list-style-type: none"> ▲ Acuífero ● Agua Potable ■ Aporte Natu. ● Captación P ▲ Central Hid. ● Cuenca Late ● Descharge Puntual ▲ Embalse ● Industrial ○ Nudo ○ Nudo Secund. ○ Otros usos ● Riego de Rio ■ Zonas de Rio ■ Embalses ■ Cuenca Urbana ■ Zonas de Riego 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Aducción C. Hidroeléctrica ▲ Aducción Pases ▲ Almacenamiento de Acuífero ▲ Aporte Natural ▲ Canal Derramado ▲ Captación Puntual ▲ Caudal Subterráneo de Salit ▲ Cuenca Lateral ▲ Descharge Puntual ▲ Entrega Embalse ▲ Filtrosación Z. Riego ▲ Generación de E. Eléctrica ▲ Riego C. Hidroeléctrica ▲ Retorno Cap. Puntual ▲ Retorno Zona de Riego ▲ Tramo de Canal ▲ Tramo de Río
---	--

Datos Cartográficos
Proyección Universal Transversal Mercator
Escala 1:50,000
Folio 17
Zona Sur

Datos Geométricos
Época Internacional 1956
Proyección South American Datum 1956

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

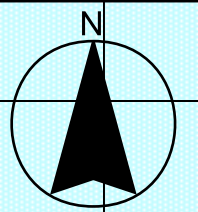
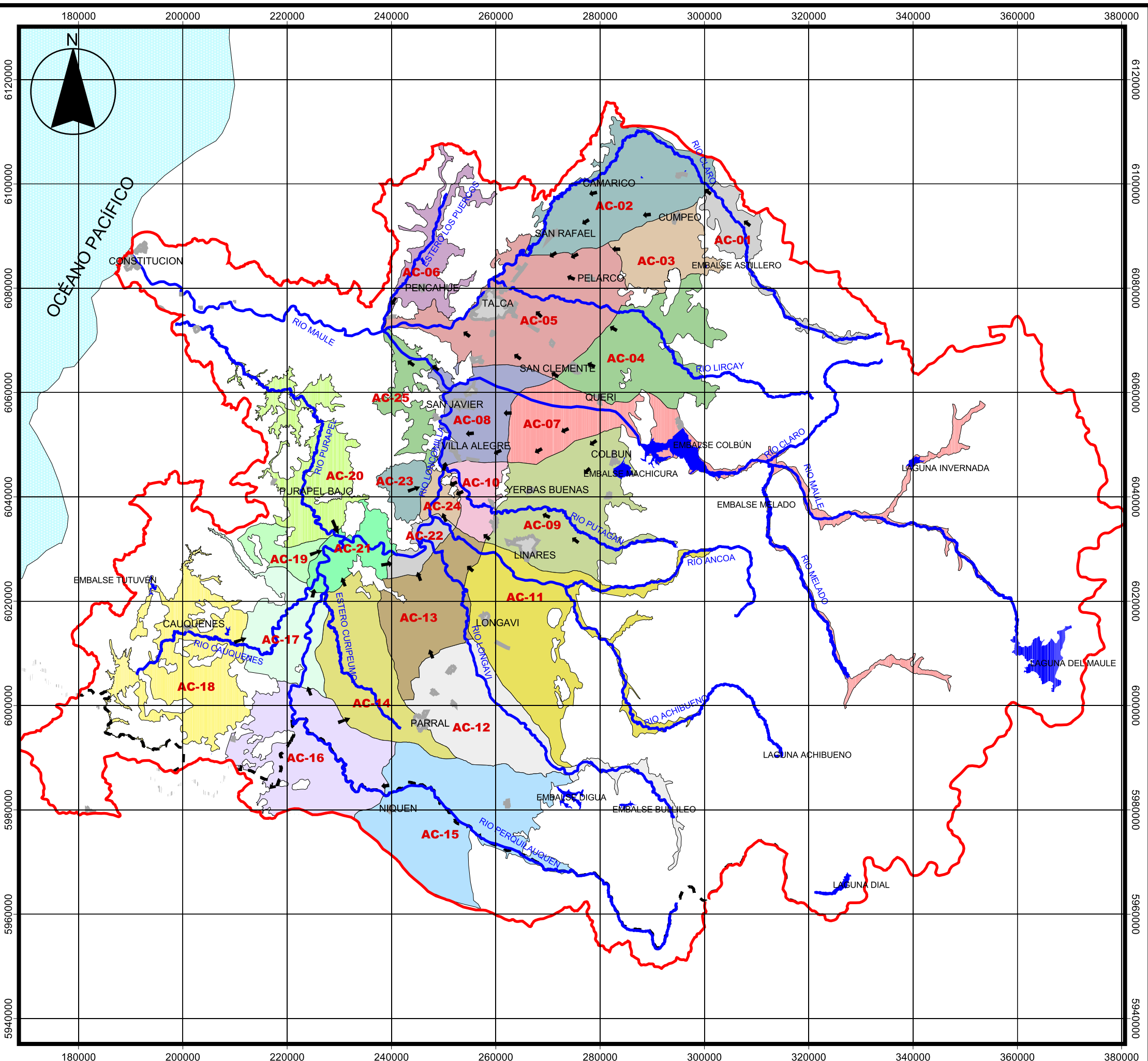
CONSULTORES: LUIS ARNALDE DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERIA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÍCOS CUENCA DEL RÍO MAGALLE	PLANO: TOPOLOGÍA MAGDAMALE
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISSNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIGADA
ESCALA 1:50,000	FOLIO 3.2.1	FECHA MAYO DE 2008

3.2.1 ACUÍFEROS

Para la definición del objeto acuífero, se cuenta con la información recopilada en el estudio de la Ref. 4 y posteriormente actualizada en el estudio de la Ref. 5.

En la Figura 3.2.1-1 se muestra la sectorización de acuíferos utilizada, la que fue presentada en el estudio de la Ref. 5. En esta figura se observa claramente la ubicación de los sectores acuíferos y la dirección del flujo según lo definido en el estudio antes referido. En lo que se refiere a las características geométricas e hidráulicas de los sectores acuíferos, no se efectuaron cambios en los valores considerados en los estudios de referencia mencionados. Sin embargo, fue necesario revisar la topología de los sectores acuíferos, corrigiendo los objetos de destino de las salidas subterráneas y afloramientos desde algunos sectores acuíferos.

Topológicamente los sectores de acuíferos quedan representados de manera tal que pueden recibir y entregar agua, tal como se observa en la Figura 3.2.1-2. En esta figura el sector de acuífero se representa con un triángulo rojo, y se distinguen claramente las relaciones con otros elementos topológicos, incluyendo otros sectores acuíferos.



OCEANO PACIFICO

SIMBOLOGÍA

- Limite Cuenca Maule
- Limite regional viii
- Océano Pacifico
- Hidrografía principal
- Embalses
- Centros Urbanos
- Delimitación Acuíferos
- Dirección del Flujo

Datos Cartográficos
Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19
Zona Sur

Datos Geodésicos
Elipsoide Internacional 1909
Provisional South American Datum 1956



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES:
LUIS ARRAU DEL CANTO
CONSULTORES EN INGENIERÍA
HIDRÁULICA Y DE RIEGO

PROYECTO:
PLAN DIRECTOR PARA LA
GESTIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE

PLANO:
ZONIFICACIÓN SECTORES
ACUÍFEROS CUENCA
RÍO MAULE

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS
SR. RODRIGO WEISNER

JEFE DE DEPARTAMENTO
SR. PEDRO RIVERA

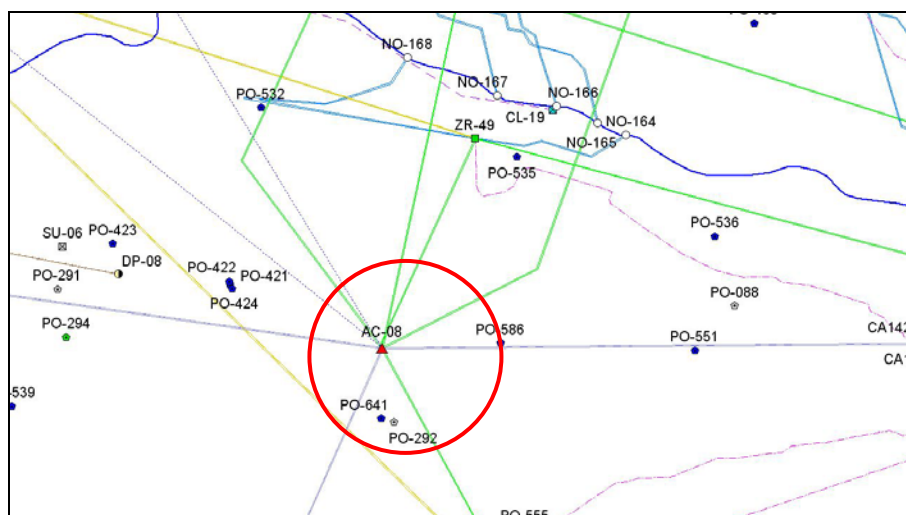
INSPECTOR FISCAL
SR. ANDRÉS ARRIAGADA

ESCALA
1:750000

FIGURA:
3.2.1-1

FECHA:
MAYO DE 2008

**FIGURA 3.2.1-2
ESQUEMA TOPOLÓGICO DE SECTORES ACUÍFEROS**



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.1 Tabla #2: AC_QZS

La base de datos de la Ref. 5, utilizado como base para este estudio, no definía las salidas subterráneas de los últimos tres sectores acuíferos de la cuenca, los cuales, por no tener otro sector acuífero aguas abajo, deben entregar sus aportes al flujo superficial en la forma de afloramientos. En la Tabla #2 del Anexo 2 se encuentra la tabla modificada en la que se definen los nodos en los que aflora el flujo subterráneo proveniente de los acuíferos AC-05, 06 y 25. En el Cuadro 3.2.1.1-1 se presentan los datos incorporados a la base de datos seleccionada.

3.2.1.2 Tabla #3: AC_QZV

Todos los acuíferos tienen la posibilidad de generar afloramientos verticales. Fue necesario redefinir el destino y distribución de algunos afloramientos y definir afloramientos y destinos para otros acuíferos que no contaban con ellos.

En la Tabla #3 del Anexo 2 se encuentra la tabla modificada en la que se incorporaron cambios en los nodos de destino, porcentajes de distribución y se definieron afloramientos de acuíferos que antes no habían sido considerados. En el Cuadro 3.2.1.2-1 se presentan los registros que fueron modificados y/o agregados.

**CUADRO 3.2.1.2-1
MODIFICACIONES TABLA AC_QZV**

Código	Acuífero	zv (°/1)	Nodo Final
QZV-01	AC-01	1,0	NO-340
QZV-02	AC-02	0,25	NO-470
QZV-03	AC-02	0,75	NO-441
QZV-04	AC-03	1,0	NO-436
QZV-05	AC-04	1,0	NO-007
QZV-07	AC-05	0,25	NO-471
QZV-11	AC-07	1,0	NO-162
QZV-14	AC-09	0,3	NO-112
QZV-15	AC-09	0,7	NO-403
QZV-17	AC-11	0,2	NO-125
QZV-18	AC-11	0,8	NO-192
QZV-19	AC-12	1,0	NO-285
QZV-20	AC-13	0,85	NO-438
QZV-21	AC-13	0,15	NO-400
QZV-22	AC-14	0,6	NO-320
QZV-23	AC-14	0,4	NO-322
QZV-24	AC-15	0,5	NO-308
QZV-25	AC-15	0,5	NO-309
QZV-28	AC-17	0,5	NO-409
QZV-29	AC-17	0,5	NO-320
QZV-34	AC-22	0,5	NO-467

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.3 Tabla #4: AC_QZVE

MAGIC considera la posibilidad de que un sector acuífero que recibe un aporte subterráneo en su entrada no tenga la capacidad para conducir todo el caudal entregado debido a sus características geométricas e hidráulicas en la sección de entrada. En esta situación se produce un “afloramiento vertical en la entrada”.

Se definieron afloramientos verticales en la entrada para todos los sectores acuíferos que contaban con un sector acuífero aguas arriba dado que en la base de datos de la Ref. 5 no se definió este tipo de afloramientos.

En la Tabla #4 del Anexo 2 se encuentra la tabla en la que se incorporaron los afloramientos en la entrada. En el Cuadro 3.2.1.3-1 se presentan los registros que fueron agregados.

**CUADRO 3.2.1.3-1
MODIFICACIONES TABLA AC_QZVE**

Código	Acuífero Inicial	zve (%/1)	Nodo Final
QZVE-01	AC-07	0,30	NO-150
QZVE-02	AC-07	0,70	NO-164
QZVE-03	AC-08	1,00	NO-351
QZVE-04	AC-01	1,00	NO-340
QZVE-05	AC-02	1,00	NO-137
QZVE-06	AC-03	1,00	NO-436
QZVE-07	AC-04	0,50	NO-141
QZVE-08	AC-04	0,25	NO-314
QZVE-09	AC-04	0,25	NO-422
QZVE-10	AC-09	1,00	NO-403
QZVE-11	AC-10	1,00	NO-366
QZVE-12	AC-11	0,60	NO-426
QZVE-13	AC-11	0,40	NO-327
QZVE-14	AC-12	1,00	NO-438
QZVE-15	AC-13	0,90	NO-438
QZVE-16	AC-13	0,10	NO-327
QZVE-17	AC-14	1,00	NO-322
QZVE-18	AC-15	1,00	NO-318
QZVE-19	AC-16	1,00	NO-466
QZVE-20	AC-17	1,00	NO-409
QZVE-21	AC-18	1,00	NO-409
QZVE-22	AC-19	1,00	NO-410
QZVE-23	AC-20	1,00	NO-411
QZVE-24	AC-21	1,00	NO-381
QZVE-25	AC-22	1,00	NO-326
QZVE-26	AC-23	1,00	NO-408
QZVE-27	AC-24	1,00	NO-362

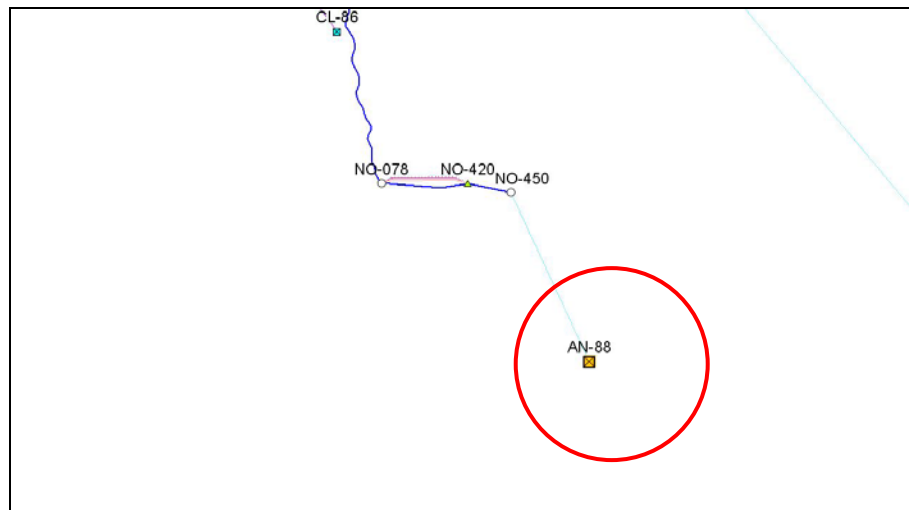
Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 APORTES HOYAS INTERMEDIAS

Para la definición del aporte de las hoyas intermedias, se cuenta con la información recopilada en el estudio de la Ref. 5, y posteriormente modificada en el transcurso de este estudio. El detalle de las modificaciones realizadas, y la ubicación de estos aportes naturales se presenta posteriormente en el Acápite 3.2.8.4.

Topológicamente los aportes naturales quedan representados de manera tal que entregan agua a un nodo predefinido, tal como se observa en la Figura 3.2.2-1. En esta figura el aporte natural se representa con un cuadrado amarillo, y el nodo al que entrega se representa con una línea celeste.

**FIGURA 3.2.2-1
ESQUEMA TOPOLÓGICO DE APORTES NATURALES**



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2.1 Tabla #5: AN_PARAM

Se modificó la descripción del origen de los datos AN-39, 72, 73, 93 y 94 se calculan como aportes nivales en vez de aportes nivo-pluviales tal como se hizo en el estudio de la Ref. 5.

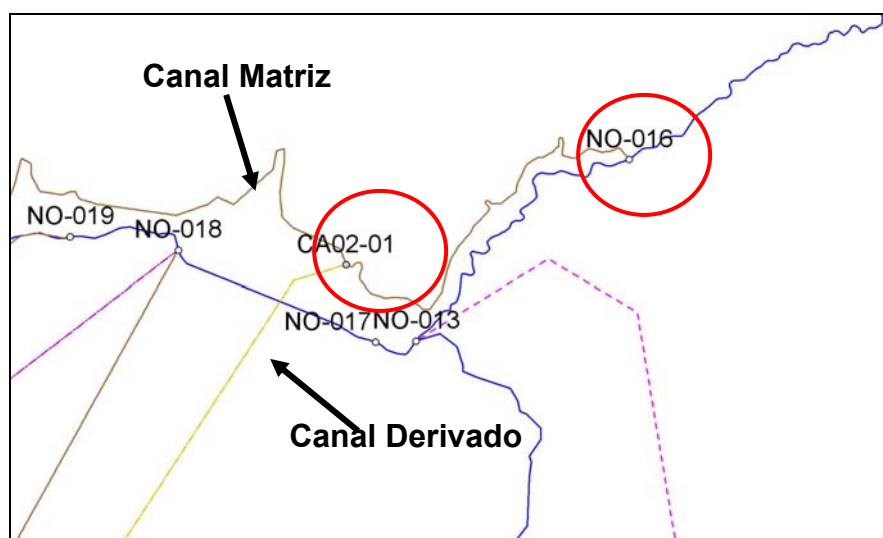
En la Tabla #5 del Anexo 2 se encuentra la tabla con la definición del método de cálculo para los aportes naturales, tal como se presenta posteriormente en el Acápite 3.2.8.4.

3.2.3 CANALES MATRICES Y SECUNDARIOS

En la situación final, la cuenca fue representada con un total de 172 canales matrices, con una longitud total de 2.664,6 km y 58 canales secundarios, 2.279,9 km. La representación de estos canales se presenta esquemáticamente en la Figura 3.2.3-1. Como ejemplo, en la Figura 3.2.3-2, se presenta la representación topológica de un canal matriz que capta en el río Maule, del que posteriormente nace un canal derivado.

En el contexto de este estudio, y para lograr una mejor representación del sistema fue necesario efectuar algunos cambios en lo que se refiere a la topología y características físicas de algunos canales, tal como se indica en lo que sigue.

FIGURA 3.2.3-2
ESQUEMA TOPOLÓGICO DE CANALES MATRIZ Y DERIVADOS



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.1 Tabla #6: CA_TRAMOS

Se cambió el nodo de entrega del Alimentador Isla Rama Maule (CA-196, CT-445). Inicialmente dicho nodo era el NO-445, un nodo que no forma parte de ningún cauce pero que definía la ubicación de la captación de la Central Isla. Sin embargo, al representar las centrales hidroeléctricas a través de captaciones puntuales (CP) en vez de las tablas de centrales incorporadas en MAGIC, se producían pérdidas de agua en dicho nodo en los meses en que los aportes eran mayores que la demanda definida para la Central Isla; esa pérdida ocurría debido a que el NO-445 no forma parte de ningún tramo de río y el caudal “sobrante” no tenía salida hacia ningún objeto. El problema tiene su origen en la imposibilidad de asignar una estadística de caudales captados por el Alimentador Isla Rama Maule en la modalidad en la cual se corrió el MAGIC (canales captan un porcentaje del caudal afluente al nodo en el que se ubica la bocatoma). Dado lo anterior, se optó por definir como nodo de entrega del Alimentador Isla Rama Maule al NO-026, el cual forma parte del Río Cipreses. En el NO-026 también se definió la devolución de la Central Cipreses y la captación para las centrales Isla, Curillinque y Loma Alta.

Se cambió la capacidad de porteo de los canales Alimentador Isla Rama Maule (CA-196) y Alimentador Melado (CA-192, CT-438). Se adoptó esta medida a fin de representar mejor el flujo superficial observado aguas arriba del embalse Colbún. Debido al estrechamiento del acuífero en el sector donde se ubica el embalse Colbún, la mayor parte del flujo subterráneo aflora pasando a formar parte de los

volúmenes observados en el embalse Colbún. Según esto, la percolación proveniente de estos canales puede llegar a formar parte importante de los flujos y volúmenes observados debido al gran caudal que conducen. Recordemos que MAGIC efectúa un balance entre todos los aportes, salidas y volumen disponible en un acuífero y determina un volumen de afloramientos, el cual se distribuye entre nodos definidos en porcentajes determinados; si el acuífero se encuentra lleno la mayor parte del tiempo, como es el caso del acuífero aguas arriba del embalse Colbún, entonces prácticamente todas las percolaciones desde canales se unirán al flujo superficial como afloramientos. Dadas las grandes dimensiones del acuífero AC-07 y la gran cantidad de percolaciones de canales y aportes de flujo subterráneo que recibe, resulta imposible configurar los afloramientos subterráneos de manera que las percolaciones provenientes de estos canales afloren en los nodos del sector del embalse Colbún en las cantidades en que en realidad ocurren. Debido a todo esto, y considerando además que no existen extracciones importantes de otros usos aguas arriba del embalse Colbún, se consideró como una buena medida adoptar, para los alimentadores Isla Rama Maule y Alimentador Melado, una eficiencia ficticia igual al 100% y una nueva capacidad de porteo igual a la capacidad de conducción del canal multiplicada por su eficiencia real, lo cual equivale a pensar que la percolación proveniente de estos canales se une inmediatamente al flujo superficial. Sólo se consideraron estos canales dado que conducían los mayores caudales y tenían los caudales de percolación más importantes.

Otro cambio efectuado fue la modificación de los valores de eficiencia de tramos de canal en aquellos canales que contaban con varios tramos. Los valores de eficiencia promedio para los canales son del orden del 80 o 90%. Se recalcularon los valores de eficiencia de los tramos de canal de manera que la multiplicación de la eficiencia de todos los tramos de cómo resultado la eficiencia promedio del canal.

En la Tabla #6 del Anexo 2 se encuentra la tabla en la que se incorporaron los cambios antes mencionados. En el Cuadro 3.2.3.1-1 se presenta los cambios efectuados en la configuración del Alimentador Isla Rama Maule (CA-196) y del Alimentador Melado (CA-192).

**CUADRO 3.2.3.1-1
MODIFICACIONES TABLA CA_TRAMOS**

Código	Canal	Nodo Inicial	Objeto Final	Acuífero	Nº del Tramo	Capacidad [m ³ /s]	Eficiencia [%/1]
CT-438	CA192	NO-429	NO-421	AC-07	0	112	1
CT-445	CA196	NO-427	NO-026	AC-07	0	38,4	1

Fuente: Elaboración Propia

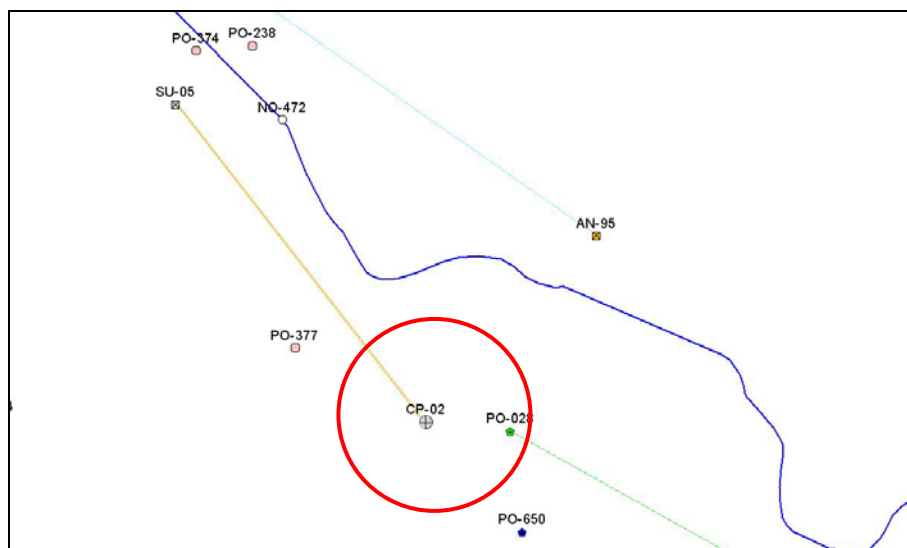
3.2.3.2 Tabla #8: CA_DER

Se consideró una eficiencia de 100% para los canales derivados. La eficiencia real del canal fue considerada en la eficiencia de los tramos de canal.

3.2.4 CAPTACIONES PUNTUALES

Las captaciones puntuales se usaron para representar las captaciones superficiales de agua potable, centrales hidroeléctricas y caudales de entrega desde Laguna del Maule. En la Figura 3.2.4-1 se presenta un esquema topológico que representa el caso específico de la localidad de Constitución, en la que se presenta la captación superficial ubicada en el sector de quebrada Las Raíces, y que es una de las fuentes que abastece la ciudad.

**FIGURA 3.2.4-1
ESQUEMA TOPOLÓGICO DE LAS CAPTACIONES PUNTUALES**



Fuente: Elaboración Propia

Es importante hacer notar que la versión del MAGIC disponible, considera demandas mensuales promedio de las centrales hidroeléctricas en el periodo a simular. Ya sea que se trate de centrales de pasada o de embalse, la demanda por generación de hidroelectricidad se debe ingresar como un único valor de caudal para cada mes, expresado en m^3/s , siendo ese valor el promedio de los caudales demandados en cada mes para todo el periodo. Lo anterior hace imposible representar en el modelo las demandas reales de generación hidroeléctrica y en una cuenca como la del río

Maule, donde la generación de energía es tan importante, hará imposible la calibración, en particular, la calibración de los embalses. A fin de representar en el modelo la demanda real del sector hidroeléctrico se decidió modelar la extracción de este sector a través de captaciones puntuales (CP), objetos que considera el modelo y que permiten captar caudales definidos en cada uno de los meses del periodo simulado. De esta manera, se crearon 5 nuevas captaciones puntuales, con el fin de representar las centrales.

Se debe mencionar además que se usó una captación puntual para la captación de agua potable superficial de la ciudad de Constitución, una para la ciudad de Linares y otra para representar las entregas históricas desde el embalse Laguna del Maule.

3.2.4.1 Tabla #10: CP_PARAM

Esta tabla presenta las características físicas y topológicas de las captaciones puntuales. Se consideró 2 captaciones puntuales para representar captaciones superficiales de agua potable (Constitución y Linares), 5 para representar centrales hidroeléctricas (Cipreses, Isla-Curillinque-Loma Alta, Pehuenche, Colbún-Machicura, y San Ignacio) y 1 para representar las entregas desde el embalse Laguna del Maule. Sus características y topología se muestran en la Tabla #10 del Anexo 2.

3.2.4.2 Tabla #11: CP_RETORNOS

Esta tabla presenta la magnitud (en %) y dirección de los retornos (objeto final) desde las captaciones superficiales. Sus valores se presentan en la Tabla #11 del Anexo 2.

3.2.4.3 Tabla #12: CP_Q

Esta tabla presenta los caudales o demandas asignados a las captaciones puntuales. Sus valores se presentan en la Tabla #12 del Anexo 2. Para el caso de las captaciones puntuales que representan las centrales hidroeléctricas, estos caudales se calcularon usando las estadísticas de energía obtenidas desde los anuarios del CEDEC que maneja el Sistema Interconectado Central. Para el caso de captaciones puntuales que representan captaciones de agua potable, las estadísticas de caudales fueron obtenidas de la empresa sanitaria de la región. Las estadísticas de caudales de la captación puntual que representa las entregas históricas de la Laguna del Maule fueron obtenidas en su mayor parte del estudio de la Ref. 2.

3.2.5 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Tal como se explicó anteriormente, las centrales hidroeléctricas se representan mediante captaciones puntuales. No obstante lo anterior, para mejor comprensión, se presenta en la Figura 3.2.5-1, la ubicación de las centrales propiamente tal, y en el Cuadro 3.2.5-1 las características de las centrales consideradas. Es importante indicar que las centrales Isla, Curillinque y Loma Alta fueron modeladas como una captación puntual única. Esto se hizo a fin de simplificar la representación del sistema. Es importante indicar que el caudal que pasa por la central Isla es el mismo que pasa por las centrales Curillinque y Loma Alta. Por otra parte, no se está representando exactamente el punto de descarga del canal de evacuación de las centrales, ya que su ubicación ha ido cambiando en el tiempo. Este último hecho no afecta los resultados que arroja el modelo ni la calibración pues en la zona en que se emplazan las descargas de los canales de devolución de las centrales no hay actividad agrícola ni estaciones de aforo.

Las centrales Colbún y Machicura también fueron representadas a través una única captación puntual. Cabe aclarar que en términos de promedios mensuales el caudal que pasa por la central Colbún es el mismo que pasa por la central Machicura

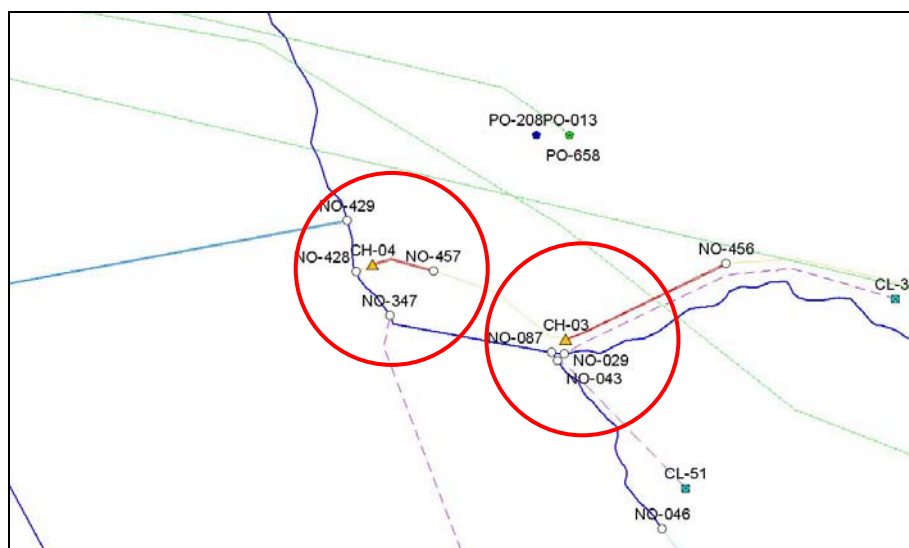
**CUADRO 3.2.5-1
CARACTERÍSTICAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

Nombre	Propietario	Año Puesta en Servicio	Tipo Central	Tipo Turbina	Nº de Unidades	Gasto Central (m ³ /s)	Altura de Caída (m)	Potencia Total (kW)
Cipreses	ENDESA	1955	Embalse	Pelton	3	36,4	349,5	101.400
Isla	ENDESA	1963-64	Pasada	Francis	2	84,0	92,0	68.000
Curillinque	PEHUENCHE S.A.	1993	Pasada	Francis	1	84,0	114,3	85.000
Loma Alta	PEHUENCHE S.A.	1997	Pasada	Francis	1	84,0	50,4	38.000
Pehuencche	PEHUENCHE S.A.	1991	Embalse	Francis	2	300,0	206,0	500.000
Colbún	COLBÚN S.A.	1985	Embalse	Francis	2	280,0	168,0	400.000
Machicura	COLBÚN S.A.	1985	Embalse	Kaplan	2	280,0	37,0	90.000
San Ignacio	COLBÚN S.A.	1996	Pasada	Kaplan	1	194,0	21,0	37.000

Fuente: CDEC

Por otra parte, en la Figura 3.2.5-2 se presenta la descripción topológica de las centrales. En esta figura, se observan 2 centrales representadas por un triángulo, junto con su aducción.

**FIGURA 3.2.5-2
ESQUEMA TOPOLÓGICO DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**



Fuente: Elaboración Propia

Aunque no se representa a las centrales hidroeléctricas a través de las tablas CH_PARAM y CH_Q, y que por lo tanto para correr el modelo no se requerirá completarlas, en la base de datos se llena de todas maneras la tabla CH_PARAM pero solo con fines informativos, a fin de contar con datos actualizados relativos a la capacidad de generación hidroeléctrica en la cuenca. La tabla CH_Q se llena con valores nulos a fin de que las centrales definidas en estas tablas queden inactivas.

3.2.5.1 Tabla #13: CH_PARAM

Esta tabla presenta los parámetros de las centrales hidroeléctricas tales como caudal máximo, potencia instalada, rendimiento, altura de caída. Con respecto a la base de la Ref. 5, se cambiaron los códigos de las centrales, se adecuaron sus capacidades y factores de pérdida, y la altura fue modificada de altura bruta a altura neta. Los valores se presentan en la Tabla #13 del Anexo 2.

3.2.5.2 Tabla #14: CH_Q

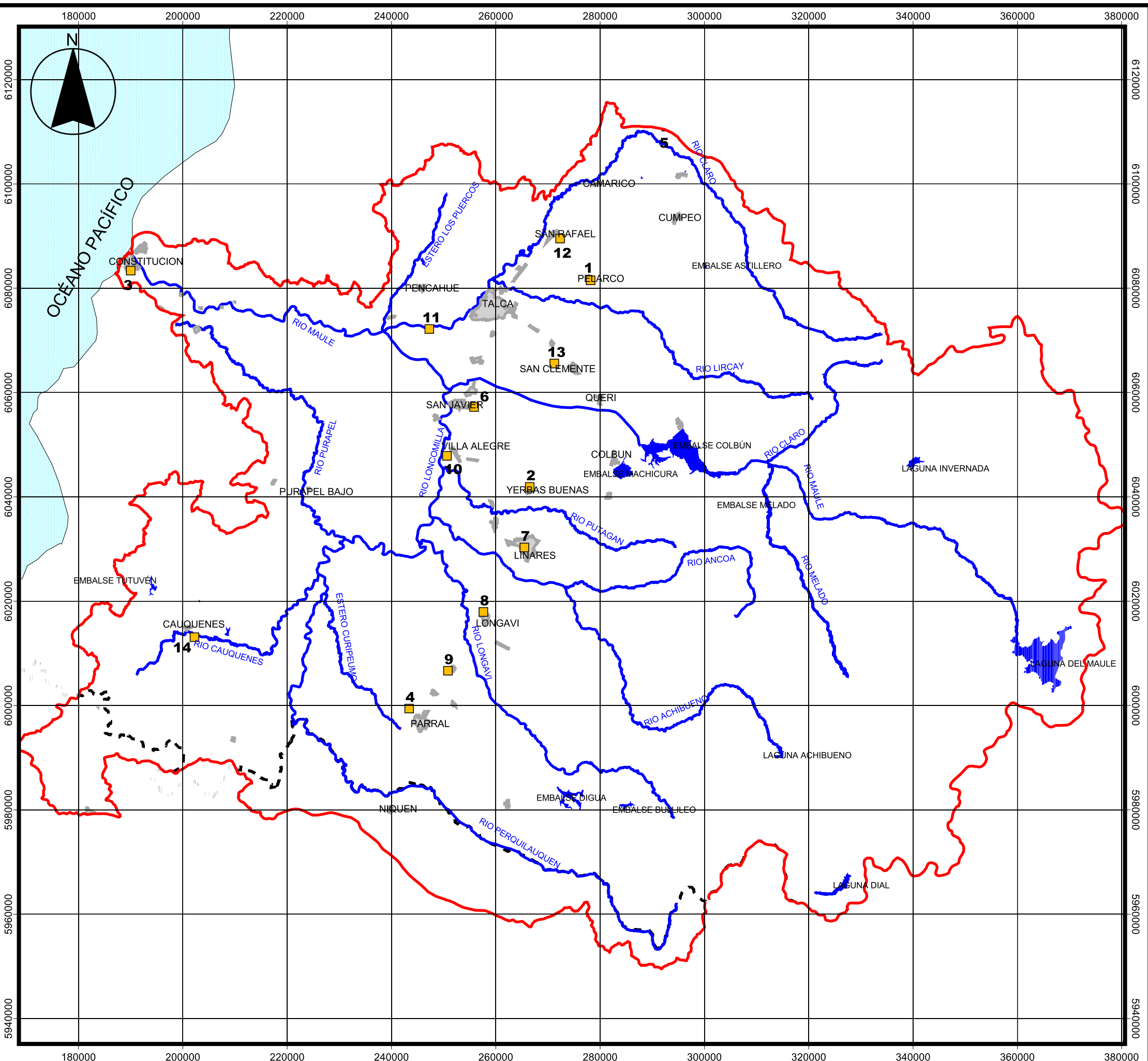
Esta tabla presenta las demandas medias mensuales de las centrales hidroeléctricas. Los valores se presentan en la Tabla #14 del Anexo 2.

Dado que las centrales se están modelando a través de captaciones puntuales, ésta tabla se completa con ceros de modo que las centrales definidas en la tabla CH queden inactivas.

3.2.6 DESCARGAS PUNTUALES

Las descargas puntuales sirven para representar las entregas puntuales a ríos, como por ejemplo desde las plantas de tratamiento de aguas servidas, las que son mostradas como ejemplo de descargas puntuales en la Figura 3.2.6-1.

En lo que respecta a la topología, se muestra como ejemplo en la Figura 3.2.6-2 la ciudad de Talca con 2 descargas: en primer lugar la planta de tratamiento de aguas servidas, y en segundo lugar la descarga desde la fábrica de papel y cartón Schorr y Concha S.A.




ID	Nombre Descarga
1	A.S. Pelarco
2	A.S. Yervas Buenas
3	A.S. Constitucion
4	A.S. Parral
5	A.S. Molina
6	A.S. San Javier
7	A.S. Linares
8	A.S. Longavi
9	A.S. Retiro
10	A.S. Villa Alegre
11	A.S. Talca
12	A.S. San Rafael
13	A.S. San Clemente
14	A.S. Cauquenes

SIMBOLOGÍA

Limite Cuenca Maule	Descargas Puntuales
Limite regional viii	
Océano Pacifico	
Hidrografia principal	
Embalses	
Centros Urbanos	

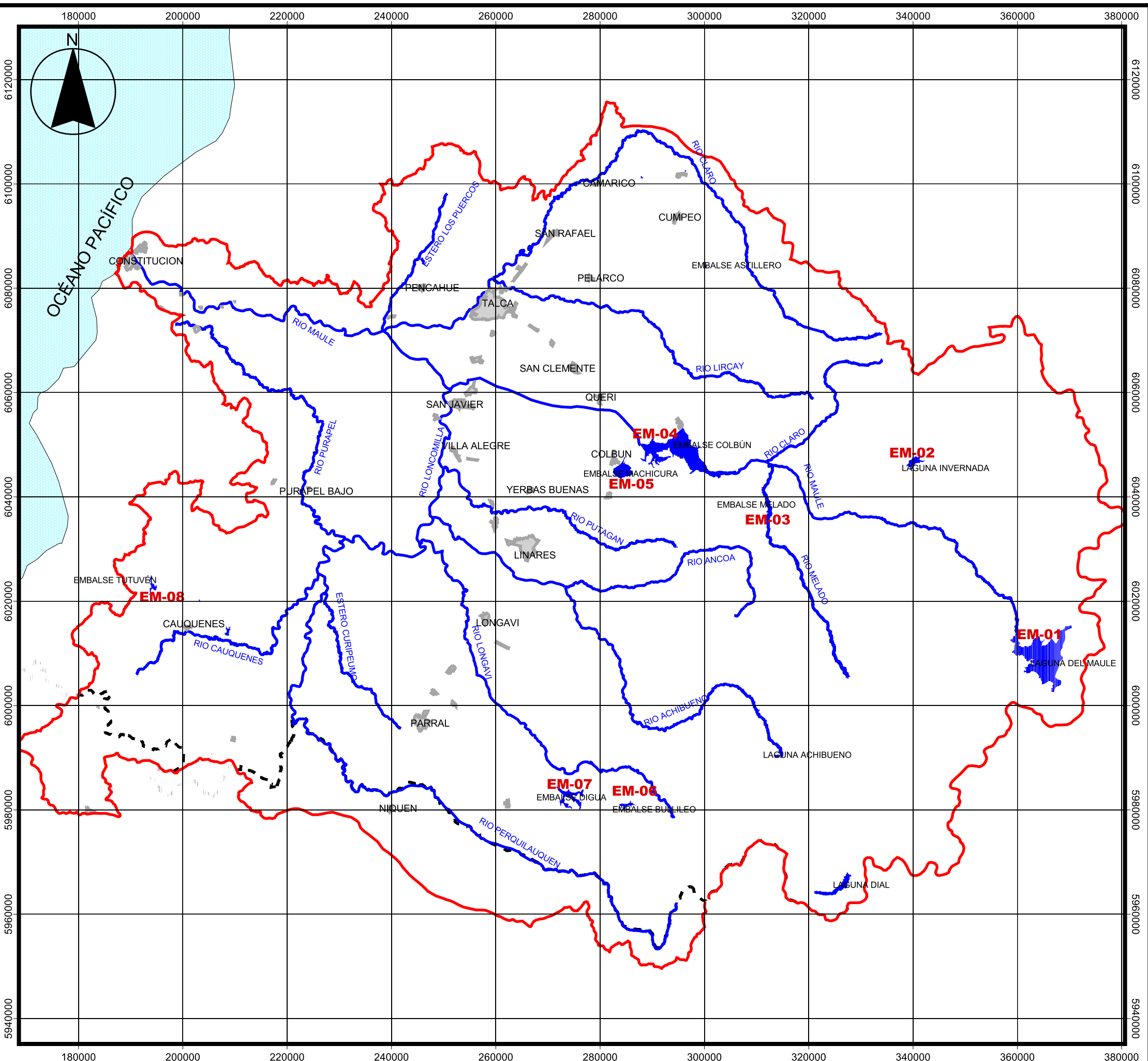
Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---


GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
--	--	---

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.6-1	FECHA: MAYO DE 2008
------------------------	--------------------	------------------------



Código MAGIC	NOMBRE EMBALSE
EM-01	LAGUNA DEL MAULE
EM-02	LAGUNA INVERNADA
EM-03	EMBALSE MELADO
EM-04	EMBALSE COLBÚN
EM-05	EMBALSE MACHICURA
EM-06	EMBALSE BULLILEO
EM-07	EMBALSE DIGUA
EM-08	EMBALSE TUTUVÉN

SIMBOLOGÍA

- ▭ Limite Cuenca Maule
- Limite regional viii
- Océano Pacifico
- ▬ Hidrografia principal
- Embalses
- Centros Urbanos

Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

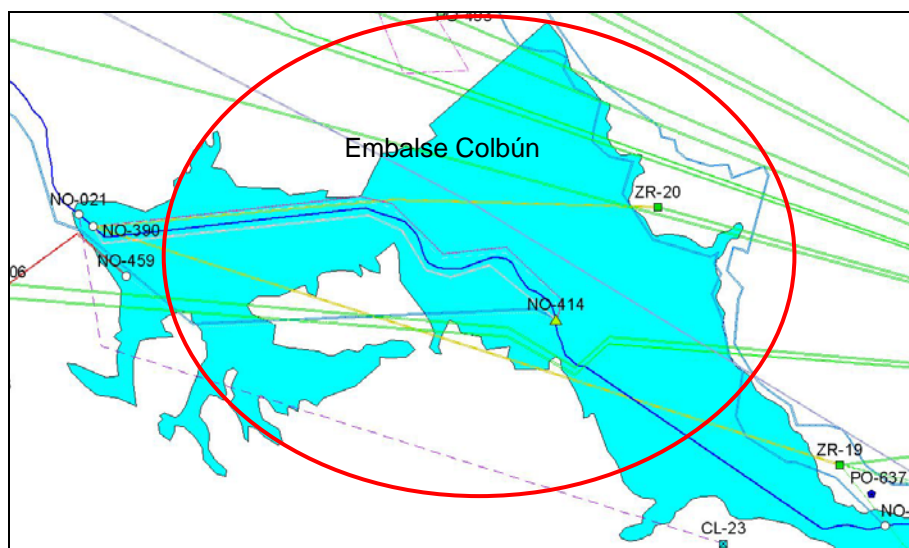
CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: EMBALSES CONSIDERADOS EN LA MODELACIÓN
--	--	---

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.7-1	FECHA: MAYO DE 2008
------------------------	--------------------	------------------------

Desde el punto de vista topológico un embalse recibe agua, puede almacenarla para entregarla para riego o hidroelectricidad. El caso hidroeléctrico del embalse Colbún se presenta en la Figura 3.2.7-2.

**FIGURA 3.2.7-2
ESQUEMA TOPOLÓGICO EMBALSES**



Fuente: Elaboración Propia

El embalse Machicura constituye un caso especial en este modelo, ya que fue definido con todas sus características físicas y operativas pero se dejó desconectado del sistema al momento de definir el sistema de generación Colbún-Machicura, representado por una única central hidroeléctrica (CP-06) que capta sus aguas en la salida del embalse Colbún y las lleva directamente al canal Machicura que comienza en la salida del embalse del mismo nombre.

Los códigos de embalse utilizados cambiaron respecto de los utilizados en la base de datos del MAGIC-Maule (Ref. 5).

3.2.7.1 Tabla #17: EM_NODOS

Esta tabla presenta los nodos del modelo que son abastecidos por los embalses, y fueron definidos utilizando la cobertura de canales de la cuenca. Para esto se consideró cada nodo que contaba con bocatomas de canales de riego. El número de nodos a ser alimentados por un embalse tiene un máximo de 20 nodos. Los cambios

presentados obedecen a un reordenamiento de los embalses, y nuevas consideraciones en los nodos a ser abastecidos por cada embalse.

En el caso particular del embalse Laguna del Maule, se contaba con una estadística de caudales de entrega en todo el periodo simulado, la cual fue impuesta al embalse a través de una captación puntual ubicada en el nodo NO-062, inmediatamente aguas abajo del embalse.

Los nodos a alimentar por cada embalse se presentan en la Tabla #17 del Anexo 2.

3.2.7.2 Tabla #18: EM_PARAM

Esta tabla presenta los parámetros de los embalses, incluyendo volumen máximo, volumen muerto, y acuífero subyacente. En este caso, sólo se consideró un reordenamiento de los datos y un cambio de los códigos de embalses presentados en la base de datos MAGIC-Maule incluida en el estudio de la Ref. 5, los que se incluyen en la Tabla #18 del Anexo 2.

3.2.7.3 Tabla #19: EM_DEMGE

Esta tabla presenta las demandas de centrales de muro para generación hidroeléctrica. Dado que en la cuenca las centrales se están modelando como captaciones puntuales, se tiene que esta tabla no tiene valores. Independientemente de esto, con fines de visualización se presenta la Tabla #19 del Anexo 2.

3.2.7.4 Tabla #20: EM_FV

La información de las filtraciones desde los embalses proviene del estudio de la Ref. 1 a excepción de la curva de filtraciones para Laguna La Invernada la cual fue estimada con información presentada en esa misma referencia. Las curvas consideradas se presentan en el Cuadro 3.2.7.4-1. Además, se estima curva de filtraciones para la Laguna La Invernada en base a información entregada en el estudio de la Ref. 5. Los parámetros correspondientes se presentan en la Tabla #20 del Anexo 2.

3.2.7.6 Tabla #22: EM_QGENMAX

Esta tabla presenta los máximos caudales que cada embalse puede destinar para generación hidroeléctrica. Al igual que en el caso de la tabla EM_DEMGE, ésta tabla no tiene valores; pese a ello se presenta la Tabla #22 del Anexo 2 con fines de visualización.

3.2.7.7 Tabla #23: EM_QV

Esta tabla presenta las curvas de descarga de cada embalse, es decir, las curvas que relacionan el máximo caudal que un embalse es capaz de entregar en función del volumen almacenado. Las curvas se presentan en el Cuadro 3.2.7.7-1. Los parámetros correspondientes se presentan en la Tabla #23 del Anexo 2.

**CUADRO 3.2.7.7-1
CURVA Q MÁX (m³/s) v/s VOL (Mm³)**

Embalse	Curva
Lag. Maule	$6,498806 \times 10^{-8} V^3 - 2,3067 \times 10^{-4} V^2 - 0,26258 V + 16,454$
Lag. Invernada	$9,61983 \times 10^{-6} V^3 - 3,93079 \times 10^{-3} V^2 + 0,46865 V + 23,97719$
Melado	$9,09091 V - 927,27273$
Colbún	$0,25257 V - 86,88356$
Machicura	$21,53846 V - 904,61538$
Bullileo	$0,10576 V - 0,0181$
Digua	$1,31467 \times 10^{-5} V^3 + 5,92576 \times 10^{-3} V^2 + 0,73152 V - 1,71357$
Tutuvén	$3,24675 V - 1,94805$

Fuente: GCF-CNR-DGA, 2006 (Ref. 5)

3.2.7.8 Tabla #24: EM_SALIDAS

Esta tabla presenta la definición topológica para representar las salidas desde los embalses. En este caso la tabla se modificó de manera de reordenar los parámetros presentados en la base de datos original del modelo MAGIC-Maule, la que se muestra en la Tabla #24 del Anexo 2.

3.2.7.9 Tabla #25: EM_SHV

Esta tabla presenta los parámetros para el cálculo de la superficie y la cota del espejo en función del volumen embalsado. Las curvas utilizadas son las mismas consideradas en la base de datos del MAGIC-Maule a excepción de las curvas Cota=f(V) de la Laguna del Maule y embalse Colbún, las que fueron estimadas con información obtenida en el desarrollo del presente estudio.

Los polinomios correspondientes a las curvas consideradas se muestran en los Cuadros 3.2.7.9-1 y 3.2.7.9-2. Los parámetros correspondientes se presentan en la Tabla #25 del Anexo 2.

**CUADRO 3.2.7.9-1
CURVA SUPERFICIE ESPEJO DE AGUA (m²) v/s VOLUMEN EMBALSADO(Mm³)**

Embalse	Curva
Lag. Maule	$2,7764 \times 10^{-3} V^3 - 8,8784 V^2 + 18173 V + 4,3329 \times 10^7$
Lag. Invernada	$0,79473 V^3 - 362,1 V^2 + 74465 V + 1289670$
Melado	$123633 V - 11967200$
Colbún	$-2,60189 V^3 + 7051,03 V^2 - 2695530 V + 1729080000$
Machicura	$141818 V$
Bullileo	$21,0947 V^3 - 2367,63 V^2 + 104440 V - 83027,6$
Digua	$0,572894 V^3 - 261,482 V^2 + 60535,1 V + 130459$
Tutuvén	$211,103 V^3 - 10066,5 V^2 + 234593 V + 219844$

Fuente: GCF-CNR-DGA, 2006 (Ref. 5)

**CUADRO 3.2.7.9-2
CURVA COTA ESPEJO DE AGUA (msnm) v/s VOLUMEN EMBALSADO (Mm³)**

Embalse	Curva
Lag. Maule (*)	$7,356 \times 10^{-10} V^3 - 3,748 \times 10^{-6} V^2 + 0,0236 V + 2152$
Lag. Invernada	$2,5406 \times 10^{-6} V^3 - 1,3978 \times 10^{-3} V^2 + 0,37941 V + 1280$
Melado	$4,78523 \times 10^{-6} V^3 - 2,32651 \times 10^{-3} V^2 + 0,60979 V + 596,644$
Colbún (*)	$-3,1454 \times 10^{-8} V^3 + 7,823 \times 10^{-5} V^2 - 0,02547 V + 402,653$
Machicura	$0,58182 V + 396$
Bullileo	$3,02305 \times 10^{-4} V^3 - 0,0406359 V^2 + 2,19183 V + 622,825$
Digua	$1,28899 \times 10^{-5} V^3 - 5,69134 \times 10^{-3} V^2 + 0,959344 V + 337,589$
Tutuvén	$1,92259 \times 10^{-3} V^3 - 0,0907173 V^2 + 1,77824 V + 157,109$

(*) Relaciones obtenidas en el desarrollo de este estudio

Fuente: Modificado a partir de GCF-CNR-DGA, 2006 (Ref. 5)

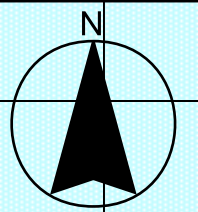
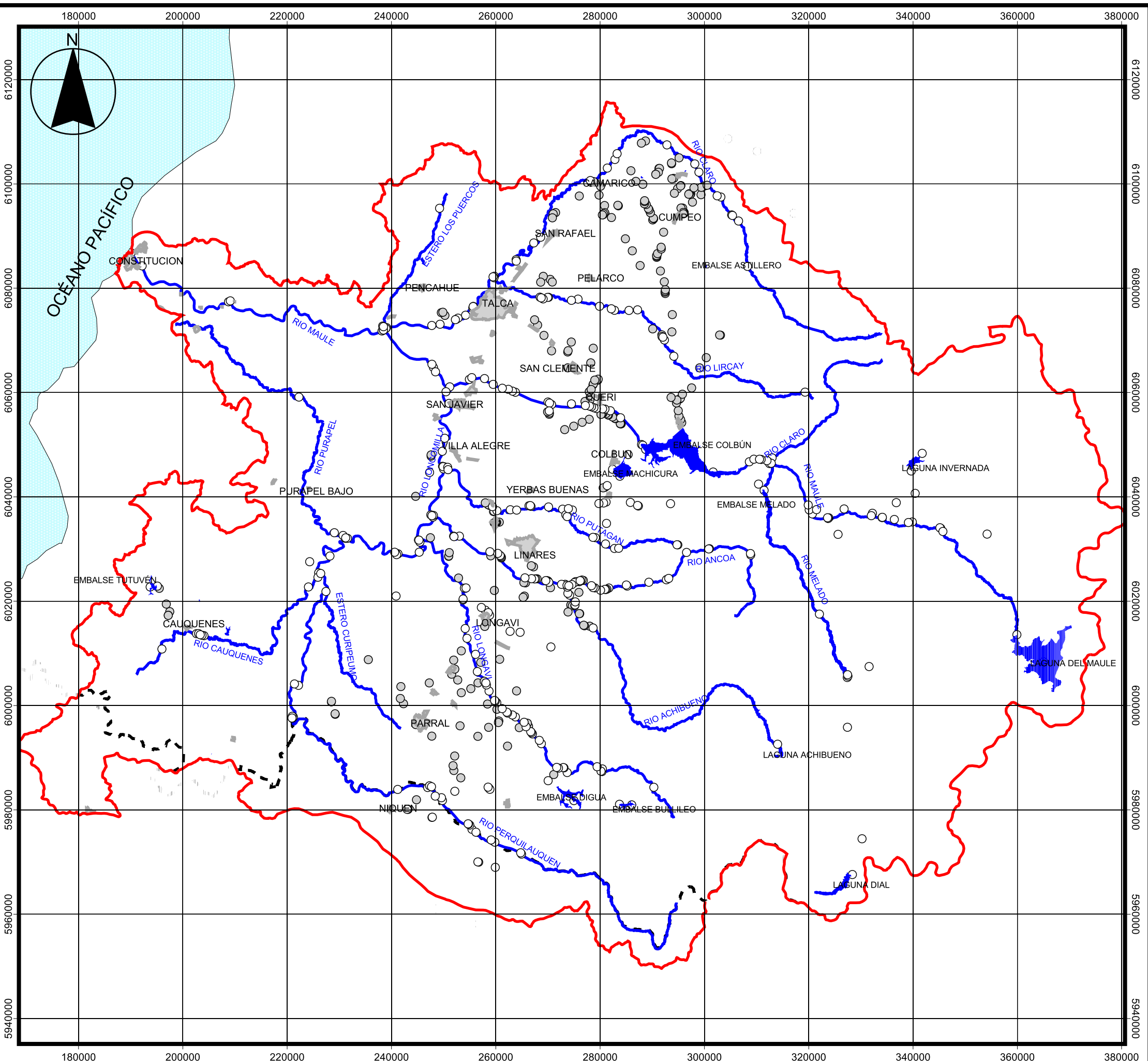
3.2.7.10 Tabla #26: EM_TASEV

Esta tabla presenta los parámetros para el cálculo de la evaporación desde los embalses, la que fue ordenada de la base de datos original y validada. Los parámetros correspondientes se presentan en la Tabla #26 del Anexo 2.

3.2.8 NODOS PRINCIPAL Y SECUNDARIO

Los nodos principales corresponden a una discretización del sistema a modelar. La mayoría de las veces se utiliza para representar puntos de un cauce en el que se quiera efectuar un balance o en los que ocurra alguna singularidad (bocatomas de canales, captaciones y/o descargas puntuales, aportes de cabecera o laterales, etc.). Los nodos secundarios corresponden a puntos de un canal en los que nace un canal derivado. Tanto los nodos principales como secundarios pueden ser alimentados con diferentes tipos de relaciones y estadísticas que permiten caracterizar el recurso en su totalidad. La totalidad de los nodos se presentan en la Figura 3.2.8-1.

En la Figura 3.2.8-2 se presenta un esquema topológico de los nodos, en el que se muestran .diversas características de los nodos, tales como conectados a acuíferos, zonas de riego, y otros nodos.



SIMBOLOGÍA

- ▭ Limite Cuenca Maule
- Límite regional viii
- Océano Pacifico
- ▬ Hidrografía principal
- Embalses
- Centros Urbanos
- Nodo Principal
- Nodo Secundario

Datos Cartográficos
Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19
Zona Sur

Datos Geodésicos
Elipsoide Internacional 1909
Provisional South American Datum 1956



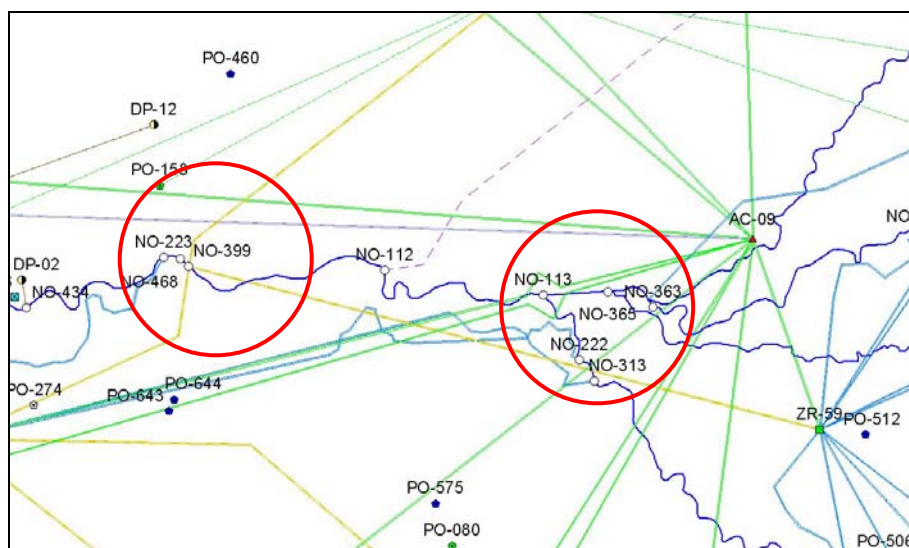
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: NODOS
--	--	---------------------

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.8-1	FECHA: MAYO DE 2008
------------------------	--------------------	------------------------

**FIGURA 3.2.8-2
ESQUEMA TOPOLÓGICO DE NODOS**



Fuente: Elaboración Propia

3.2.8.1 Tabla #27: NO_DIST

En primer lugar se presenta la tabla NO_DIST. El número de nodos se redujo desde 371 nodos a 363, con un total de 532 estradas en la base original y 524 entradas en la base modificada (esto es porque algunos nodos presentan múltiples conexiones). La reducción de nodos se debe a que se eliminaron nodos que no cumplían algún tipo de función para la definición del sistema. Esta tabla define la forma como se efectúa la distribución del agua en cada nodo del sistema, asignando porcentajes del caudal afluente a cada uno de los objetos que demandan sobre dicho nodo. La tabla completa se muestra en la Tabla #27 del Anexo 2.

3.2.8.2 Tabla #30: EST_CALIB

Esta tabla presenta el listado de estaciones de calibración. En la versión original de la base de datos (Ref. 5), se tenían 8 estaciones de calibración. En la nueva versión se tienen 9 estaciones, de las cuales 2 son nuevas, tal como se muestra en el Cuadro 3.2.8.2-1. La estación Río Putagán en Yervas Buenas fue eliminada como estación de calibración, dada la gran intervención que tiene su sección de control, lo cual altera la medición haciéndola poco confiable. Esto se detectó en una visita a terreno realizada por la Inspección Fiscal entre los días 10 y 13 de Septiembre de 2007, tal como se indica en el Anexo 3. El detalle de la información se presenta en la Tabla #30 del Anexo 2.

**CUADRO 3.2.8.2-1
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS PARA LA CALIBRACIÓN**

Nombre	Origen	Código BNA	UTM (m)		Estado
			Este	Norte	
Río Claro en Camarico	P	07372001-k	282.705	6.104.573	V
Río Claro en Talca	P	07379001-8	252.155	6.073.809	S
Río Claro en Rauquén	N	07379002-6	207.660	6.077.495	V
Río Maule en Armerillo	P	07321001-7	309.995	6.047.229	V
Río Maule en Longitudinal	N	07322001-7	254.658	6.061.696	V
Río Loncomilla en Las Brisas	P	07359001-9	249.545	6.055.323	V
Río Maule en Forel	P	07383001-k	208.621	6.077.251	V
Loncomilla en Bodega	P	07357002-6	245.058	6.031.783	V
Perquilauquén en Quella	P	07335001-8	222.048	6.003.814	V

P: Previa N: Nueva
V: Vigente S: Suspendida

Fuente: Banco Nacional de Aguas

3.2.8.3 Tabla #31: ESTAD_PP

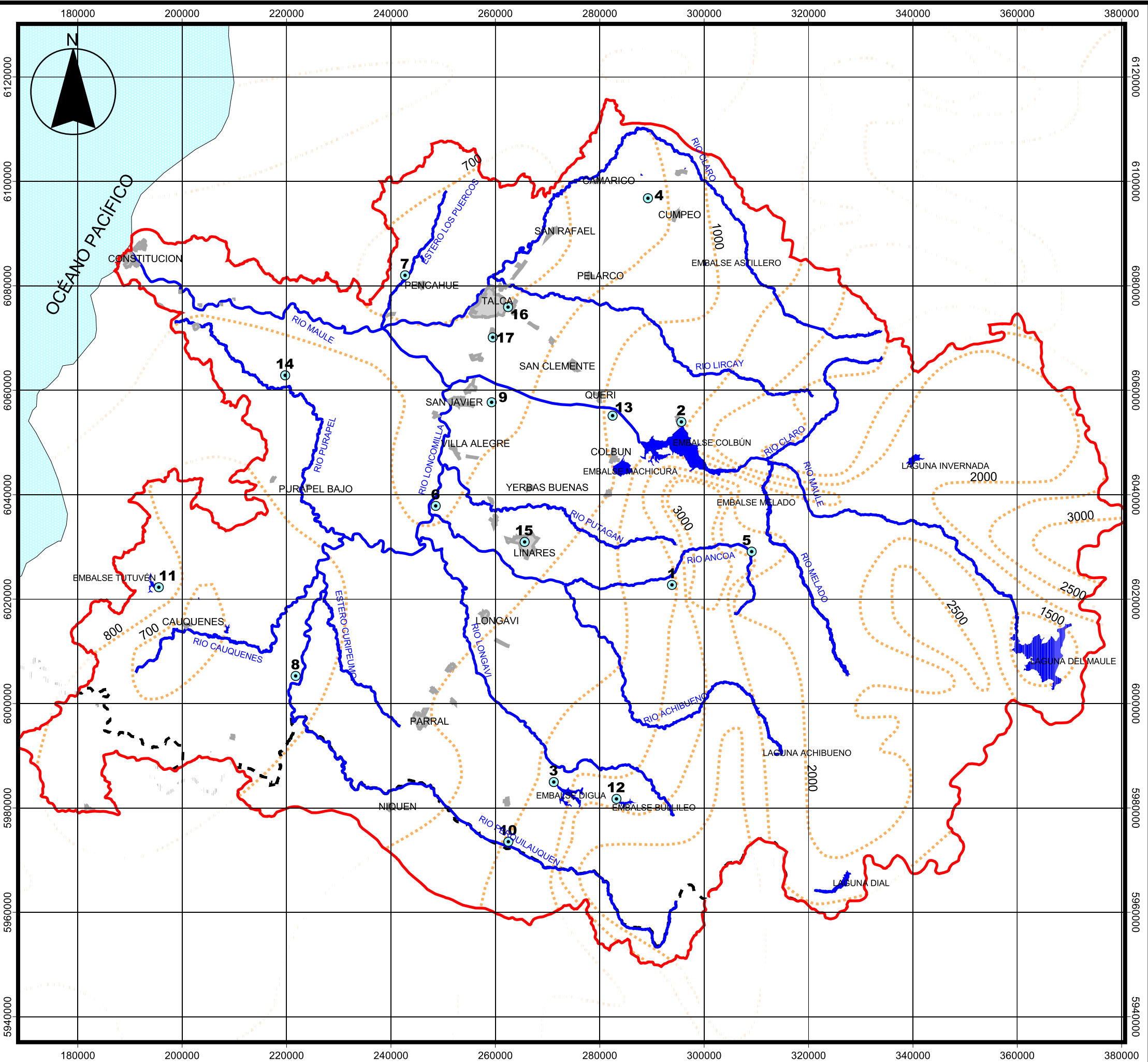
Para la generación de las estadísticas de precipitación que se requieren para el modelo, se debe diferenciar entre zonas de riego, cuencas laterales, aportes naturales, y sectores urbanos. Para los sectores urbanos, el análisis se presenta posteriormente en el Acápite 3.2.12. El punto de partida son las estaciones de precipitación consideradas, las que se presentan en el Cuadro 3.2.8.3-1. Adicionalmente, en la Figura 3.2.8.3-1 se presenta la ubicación de las estaciones, junto con las isoyetas con 50% de probabilidad. Estas isoyetas fueron actualizadas a partir del Balance Hídrico de Chile desarrollado por la DGA en 1987, previa verificación de su validez.

**CUADRO 3.2.8.3-1
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS**

ID	Estaciones Pluviométricas	Precipitación Anual (mm)
1	Ancoa Embalse	1.600
2	Colorado	1.400
3	Digua Embalse	1.570
4	El Guindo	660
5	Hornillo	2.210
6	Melozal	750
7	Pencahue	650
8	Quella	720
9	San Javier	730
10	San Manuel en Perquilauquén	1.430
11	Tutuvén Embalse	930
12	Bullileo Embalse	2.170
13	Colbún (Maule Sur)	1.050
14	Nirivilo	845
15	Linares	900
16	Talca U.C.	680
17	Huapi	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se utiliza la información de las estaciones existentes para evaluar la precipitación en los diferentes puntos de la cuenca: cuencas laterales, aportes naturales, y zonas urbanas. Esto se logra mediante la técnica de transposición de precipitaciones, la que en su forma más tradicional establece que la precipitación de un sector de riego cualquiera, como el indicado en la Figura 3.2.8.3-2, puede ligarse a la estadística de precipitaciones de la estación pluviométrica indicada, y las curvas isoyetas definidas para la zona.



ID	Nombre Estación	PP 50% probable (mm)
1	ANCOA EMBALSE	1600.0
2	COLORADO	1400.0
3	DIGUA EMBALSE	1570.0
4	EL GUINDO	660.0
5	HORNILLO	2210.0
6	MELOZAL	750.0
7	PENCAHUE	650.0
8	QUELLA	720.0
9	SAN JAVIER	730.0
10	SAN MANUEL EN PERQUILAUQUEN	1530.0
11	TUTUVEN EMBALSE	930.0
12	BULLILEO EMBALSE	2170.0
13	COLBUN (MAULE SUR)	1050.0
14	NIRIVILO	845.0
15	LINARES	900.0
16	TALCA U.C.	680.0
17	HUAPI	1000.0

SIMBOLOGÍA

- ▭ Limite Cuenca Maule
- Limite regional viii
- Océano Pacífico
- ▬ Hidrografia principal
- Embalses
- Centros Urbanos
- ⋯ Isoyetas 2006
- Estaciones Pluviométricas Consideradas

Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---

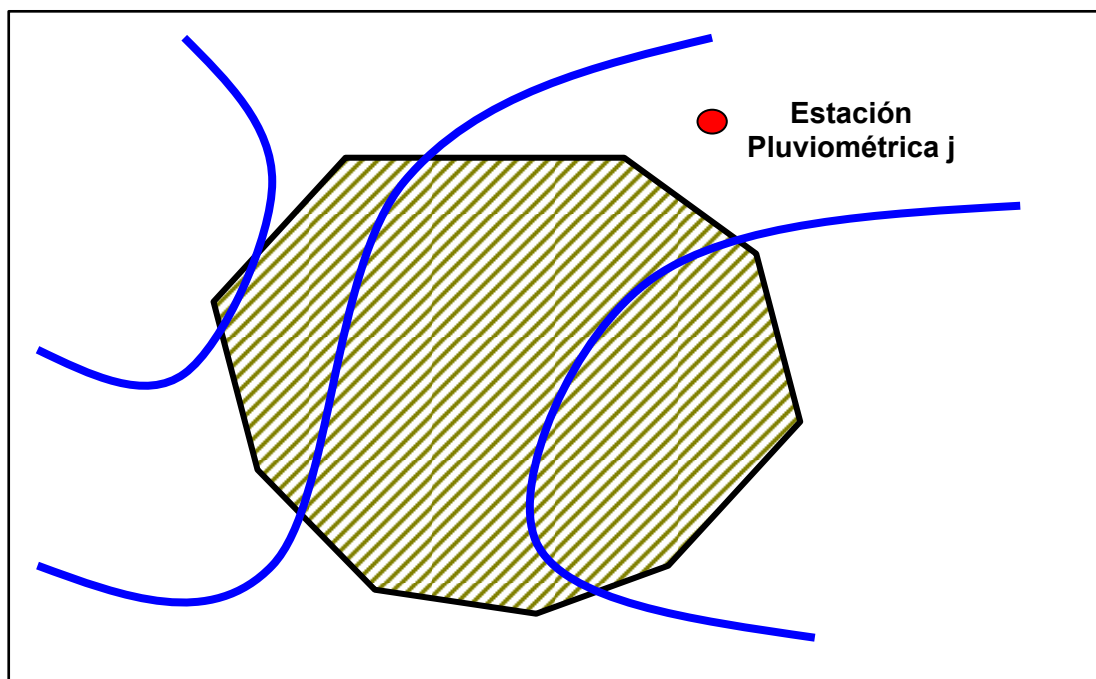
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS E ISOYETAS
--	--	--

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.8.3-1	FECHA: MAYO DE 2008
------------------------	----------------------	------------------------

FIGURA 3.2.8.3-2
ESQUEMA DE TRANSPOSICIÓN
ZONA DE RIEGO V/S ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA (1 ESTACIÓN)



Fuente: Elaboración Propia

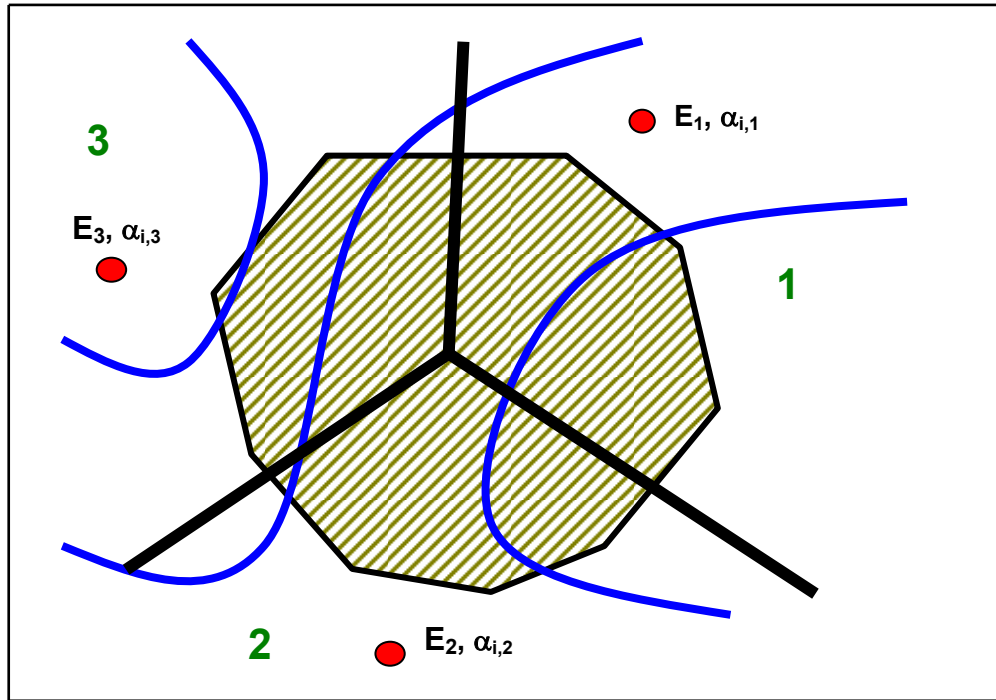
Esta relación de transposición está dada por la relación:

$$P_i = \frac{P_{a,i}}{P_{a,j}} P_j$$

En que $P_{a,i}$ es la precipitación anual 50% en el sector "i", calculada con el uso de isoyetas de la Figura 3.2.8.3-2, $P_{a,j}$ es la precipitación anual 50% en estación "j", y P_j es la estadística de precipitaciones de la estación "j".

Tomando como punto de partida este método de transposición para una estación, se propone un método generalizado en el que se consideran mas estaciones para caracterizar una zona particular, tal como se presenta en la Figura 3.2.8.3-3. En esta figura se identifican 3 zonas definidas por la intersección de la zona en estudio, y el polígono de Thiessen dado por las líneas gruesas.

FIGURA 3.2.8.3-3
ESQUEMA DE TRANSPOSICIÓN
ZONA DE RIEGO V/S ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS (VARIAS ESTACIONES)



Fuente: Elaboración Propia

El método de análisis es el siguiente:

1. Se genera una red de influencia con las estaciones pluviométricas distribuidas en toda la cuenca, con el fin de evaluar una red de polígonos de Thiessen, los que se usan para determinar las estaciones pluviométricas que caracterizan cada zona de riego.
2. Se evalúa para cada zona de riego la o las estaciones pluviométricas de influencia. A modo de ejemplo, se reescribe la relación anterior para el caso de la Figura 3.2.8.2-3, en el que se tienen 3 componentes, una para cada sub-zona:

$$P_i^1 = \frac{P_{a,i}^1}{P_{a,1}} P_1 \quad P_i^2 = \frac{P_{a,i}^2}{P_{a,2}} P_2 \quad P_i^3 = \frac{P_{a,i}^3}{P_{a,3}} P_3$$

En estas nuevas relaciones, el súper-índice representa el efecto en cada una de las estaciones o sub-zonas en la precipitación del sector "i".

3. Con el fin de superponer los tres efectos, se debe evaluar que porcentaje de la zona de riego es representada por cada sub-zona. Esto se hace usando polígonos de Thiessen, los que permiten evaluar el área de influencia de la estación. Esto se representa con un coeficiente $\alpha_{i,j}$ (zona i, estación j).

4. De esta manera se puede evaluar la precipitación en toda la zona de riego, dada como el efecto combinado de las tres estaciones:

$$P_i = \alpha_{i,1} \frac{P_{a,i}^1}{P_{a,1}} P_1 + \alpha_{i,2} \frac{P_{a,i}^2}{P_{a,2}} P_2 + \alpha_{i,3} \frac{P_{a,i}^3}{P_{a,3}} P_3$$

5. Finalmente, se asume que la precipitación evaluada con las isoyetas en la sub-zona 1 es igual al valor en la sub-zona 2, y al valor en la sub-zona 3. Este supuesto no está lejos de la realidad, ya que las zonas de riego son, de por sí, sectores relativamente homogéneos desde el punto de vista geomorfológico. Esto es equivalente a plantear que:

$$P_{a,i} \approx P_{a,i}^1 \approx P_{a,i}^2 \approx P_{a,i}^3$$

6. De esta manera la relación anterior se simplifica a:

$$P_i = \alpha_{i,1} \frac{P_{a,i}}{P_{a,1}} P_1 + \alpha_{i,2} \frac{P_{a,i}}{P_{a,2}} P_2 + \alpha_{i,3} \frac{P_{a,i}}{P_{a,3}} P_3$$

7. Finalmente, esta relación puede simplificarse y generalizarse a:

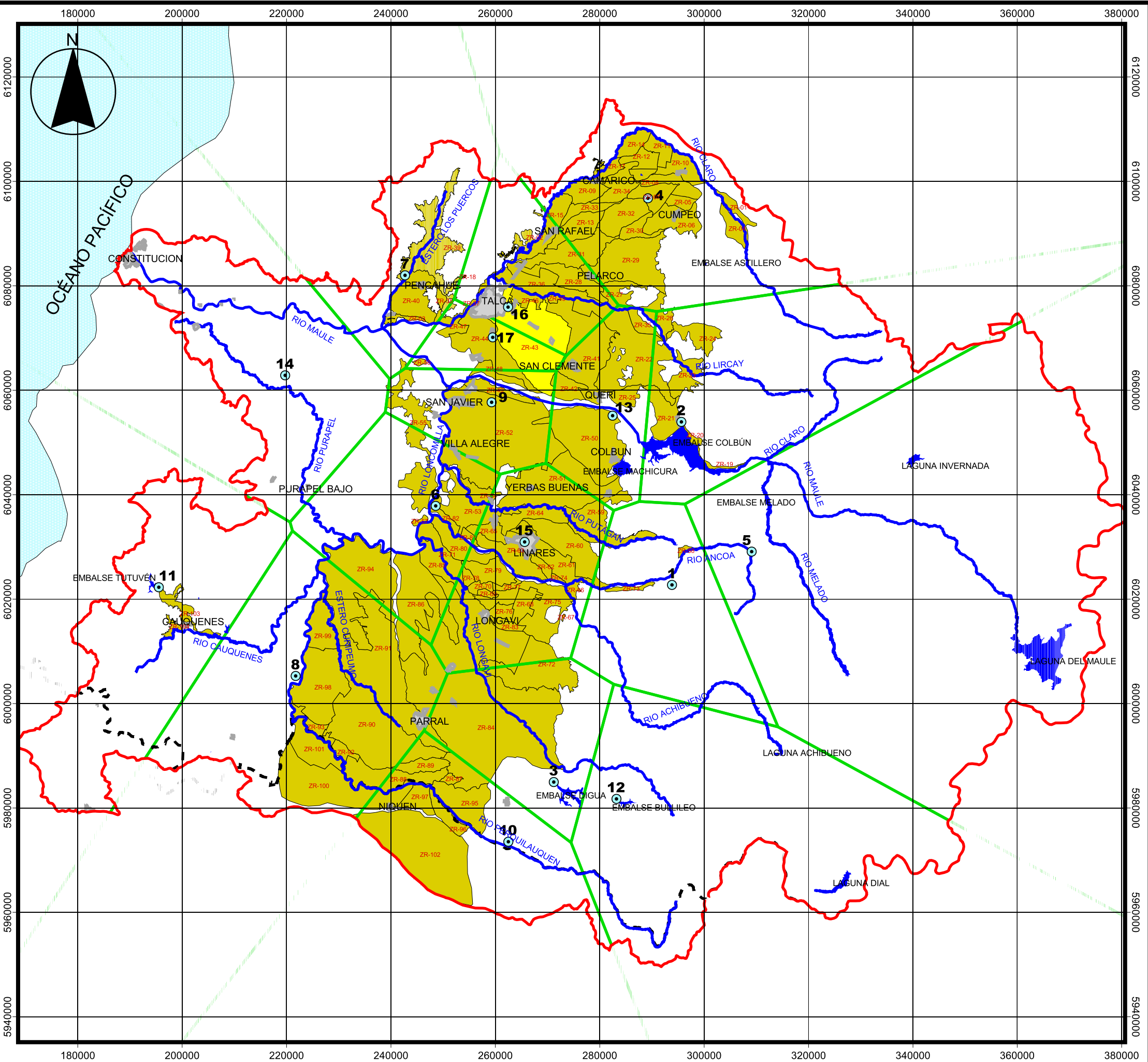
$$P_i = \sum_k^N \alpha_{i,k} \frac{P_{a,i}}{P_{a,k}} P_k = \sum_{k=1}^N \text{Coef}_{i,k} P_k$$

$$\text{Con } \text{Coef}_{i,k} = \alpha_{i,k} \frac{P_{a,i}}{P_{a,k}}$$

- Para el caso particular de la cuenca del Maule, se presentan en la Figura 3.2.8.3-4 las estaciones consideradas, las isoyetas generadas (las mismas presentadas anteriormente), y los polígonos de Thiessen generados.

En la Figura 3.2.8.3-4 se destaca el caso de la zona de riego 43, la que queda representada por cuatro estaciones: Colbún con un 0,3% Huapi con un 39,2%, San Javier con un 11,1%, y Talca U.C. con el restante 49,4%. Para el análisis posterior, sólo se consideraron aquellas estaciones con un efecto superior al 10% de la zona de riego bajo análisis. De esta manera, la diferencia se prorrateó entre las estaciones restantes. Para el caso presentado para la zona ZR-43, se eliminó el efecto de la estación Colbún, y el efecto de las restantes estaciones aumentó a 39,3%, 11,1% y 49,6%. Aplicando este protocolo de trabajo, se preparó el Cuadro 3.2.8.3-2, en el que se presentan los coeficientes que permiten calcular la precipitación para cada zona de riego. Es importante indicar, que de las 104 zonas de riego, 74 son representadas

por una sola estación, 20 por 2 estaciones, y 10 por 3 estaciones. Por último, se presentan en el Cuadro 3.2.8.3-3 un resumen con las zonas de riego y el valor promedio mensual de las precipitaciones.



ID	Nombre Estación	PP 50% probable (mm)
1	ANCOA EMBALSE	1600.0
2	COLORADO	1400.0
3	DIGUA EMBALSE	1570.0
4	EL GUINDO	660.0
5	HORNILLO	2210.0
6	MELOZAL	750.0
7	PENCAHUE	650.0
8	QUELLA	720.0
9	SAN JAVIER	730.0
10	SAN MANUEL EN PERQUILAUQUEN	1530.0
11	TUTUVEN EMBALSE	930.0
12	BULLILEO EMBALSE	2170.0
13	COLBUN (MAULE SUR)	1050.0
14	NIRIVILO	845.0
15	LINARES	900.0
16	TALCA U.C.	680.0
17	HUAPI	1000.0

SIMBOLOGÍA

Límite Cuenca Maule	Isoyetas 2006
Límite regional viii	Polígonos de Thiessen
Océano Pacífico	Estaciones Pluviométricas Consideradas
Hidrografía principal	Zonas de Riego
Embalses	

Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS, ISOYETAS, POLÍGONOS DE THIESSEN Y SECTORIZACIÓN DE ZONAS DE RIEGO
---	---	--

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
---	---	---

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.8.3-4	FECHA: MAYO DE 2008
-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

CUADRO 3.2.8.3-2
COEFICIENTES CÁLCULO DE PRECIPITACIONES
ZONAS DE RIEGO

Zona de Riego		Est #1			Est #2			Est #3		
Nº	P _{50%} (mm)	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 1	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 2	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 3
ZR-01	1.130	660	100,0	1,71						
ZR-02	700	660	21,8	0,23	680	78,2	0,81			
ZR-03	700	650	100,0	1,08						
ZR-04	1.110	660	100,0	1,68						
ZR-05	860	660	100,0	1,30						
ZR-06	830	660	100,0	1,26						
ZR-07	770	660	100,0	1,17						
ZR-08	850	660	100,0	1,29						
ZR-09	730	660	100,0	1,11						
ZR-10	890	660	100,0	1,35						
ZR-11	810	660	100,0	1,23						
ZR-12	780	660	100,0	1,18						
ZR-13	710	660	82,3	0,89	680	17,7	0,18			
ZR-14	780	660	100,0	1,18						
ZR-15	690	660	44,2	0,46	680	55,8	0,57			
ZR-16	770	660	100,0	1,17						
ZR-17	750	660	100,0	1,14						
ZR-18	690	680	100,0	1,01						
ZR-19	1.570	1.400	100,0	1,12						
ZR-20	1.570	1.400	100,0	1,12						
ZR-21	1.350	1.400	100,0	0,96						
ZR-22	1.040	1.050	69,0	0,68	1.400	18,9	0,14	680	12,0	0,18
ZR-23	1.300	1.400	100,0	0,93						
ZR-24	1.130	1.400	100,0	0,81						
ZR-25	1.120	1.050	100,0	1,07						
ZR-26	980	1.050	16,0	0,15	1.400	51,6	0,36	660	32,4	0,48
ZR-27	850	1.050	6,2	0,05	660	72,7	0,94	680	21,1	0,26
ZR-28	740	680	100,0	1,09						
ZR-29	800	660	100,0	1,21						
ZR-30	740	660	100,0	1,12						
ZR-31	720	660	47,4	0,52	680	52,6	0,56			
ZR-32	740	660	100,0	1,12						
ZR-33	720	660	100,0	1,09						
ZR-34	750	660	100,0	1,14						
ZR-35	980	1.050	100,0	0,93						
ZR-36	720	680	100,0	1,06						
ZR-37	700	1.000	43,2	0,30	650	18,7	0,20	680	38,1	0,39
ZR-38	600	650	100,0	0,92						
ZR-39	700	650	100,0	1,08						
ZR-40	690	650	100,0	1,06						
ZR-41	870	1.050	64,7	0,54	680	35,3	0,45			
ZR-42	870	1.050	100,0	0,83						
ZR-43	770	1.000	39,3	0,30	730	11,1	0,12	680	49,6	0,56
ZR-44	735	1.000	87,6	0,64	730	12,4	0,13			

CUADRO 3.2.8.3-2
COEFICIENTES CÁLCULO DE PRECIPITACIONES
ZONAS DE RIEGO
(Continuación)

Zona de Riego		Est #1			Est #2			Est #3		
Nº	P _{50%} (mm)	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 1	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 2	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 3
ZR-45	740	680	100,0	1,09						
ZR-46	710	680	100,0	1,04						
ZR-47	705	1.000	100,0	0,71						
ZR-48	755	1.000	30,9	0,23	730	69,1	0,71			
ZR-49	770	730	100,0	1,05						
ZR-50	960	1.050	100,0	0,91						
ZR-51	910	1.050	31,6	0,27	900	68,4	0,69			
ZR-52	810	1.050	4,3	0,03	750	14,0	0,15	730	81,7	0,91
ZR-53	830	900	17,2	0,16	750	82,8	0,92			
ZR-54	840	900	14,2	0,13	750	85,8	0,96			
ZR-55	800	750	59,0	0,63	730	41,0	0,45			
ZR-56	750	1.000	100,0	0,75						
ZR-57	800	750	100,0	1,07						
ZR-58	2.580	1.600	100,0	1,61						
ZR-59	1.190	1.600	22,1	0,16	1.050	12,1	0,14	900	65,8	0,87
ZR-60	1.070	1.600	6,6	0,04	900	93,4	1,11			
ZR-61	1.020	900	100,0	1,13						
ZR-62	990	900	100,0	1,10						
ZR-63	950	900	100,0	1,06						
ZR-64	920	900	100,0	1,02						
ZR-65	900	900	82,0	0,82	750	18,0	0,22			
ZR-66	1.160	900	100,0	1,29						
ZR-67	1.170	900	100,0	1,30						
ZR-68	1.020	900	100,0	1,13						
ZR-69	910	900	100,0	1,01						
ZR-70	900	900	100,0	1,00						
ZR-71	855	750	100,0	1,14						
ZR-72	1.270	1.570	69,9	0,57	900	30,1	0,43			
ZR-73	1.570	1.600	100,0	0,98						
ZR-74	1.050	900	100,0	1,17						
ZR-75	1.060	900	100,0	1,18						
ZR-76	980	900	100,0	1,09						
ZR-77	940	900	100,0	1,04						
ZR-78	890	900	100,0	0,99						
ZR-79	910	900	100,0	1,01						
ZR-80	865	900	26,6	0,26	750	73,4	0,85			
ZR-81	870	900	22,7	0,26	750	77,3	0,90			
ZR-82	815	750	100,0	1,09						
ZR-83	1.020	900	100,0	1,13						
ZR-84	1.110	1.570	60,6	0,43	900	26,9	0,33	720	12,6	0,19
ZR-85	875	900	13,0	0,13	750	87,0	1,01			
ZR-86	870	900	9,3	0,09	750	69,6	0,81	720	21,1	0,26

**CUADRO 3.2.8.3-2
COEFICIENTES CÁLCULO DE PRECIPITACIONES
ZONAS DE RIEGO
(Continuación)**

Zona de Riego		Est #1			Est #2			Est #3		
Nº	P _{50%} (mm)	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 1	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 2	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef 3
ZR-87	980	1.530	100,0	0,64						
ZR-88	910	720	55,1	0,70	1.530	44,9	0,27			
ZR-89	980	1.530	100,0	0,64						
ZR-90	900	720	89,2	1,12	1.530	10,8	0,06			
ZR-91	890	1.570	3,1	0,02	720	92,4	1,14	1.530	4,5	0,03
ZR-92	860	720	100,0	1,19						
ZR-93	815	720	100,0	1,13						
ZR-94	810	750	52,2	0,56	720	47,8	0,54			
ZR-95	1.125	1.530	100,0	0,74						
ZR-96	1.075	1.530	100,0	0,70						
ZR-97	980	1.530	100,0	0,64						
ZR-98	800	720	100,0	1,11						
ZR-99	785	720	100,0	1,09						
ZR-100	875	720	82,8	1,01	1.530	17,2	0,10			
ZR-101	830	720	100,0	1,15						
ZR-102	1.130	1.530	100,0	0,74						
ZR-103	740	930	100,0	0,80						
ZR-104	700	930	100,0	0,75						

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 3.2.8.3-3
PRECIPITACIONES PROMEDIO
ZONAS DE RIEGO (mm)**

Nº	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
ZR-01	68	200	252	216	150	96	57	28	19	12	8	24	1.130
ZR-02	48	132	161	131	84	64	29	15	7	5	5	17	699
ZR-03	41	126	154	135	92	60	33	17	12	8	6	15	699
ZR-04	66	196	248	212	147	95	56	28	19	12	8	24	1.110
ZR-05	52	152	192	164	114	73	43	22	14	9	6	19	860
ZR-06	50	147	185	159	110	71	42	21	14	9	6	18	830
ZR-07	46	136	172	147	102	66	39	19	13	8	6	17	770
ZR-08	51	150	190	163	113	73	43	21	14	9	6	18	850
ZR-09	44	129	163	140	97	62	37	18	12	8	5	16	730
ZR-10	53	157	199	170	118	76	45	22	15	9	7	19	890
ZR-11	49	143	181	155	107	69	41	20	14	8	6	17	810
ZR-12	47	138	174	149	103	67	39	20	13	8	6	17	780
ZR-13	51	137	169	134	96	67	33	17	7	4	4	18	737
ZR-14	47	138	174	149	103	67	39	20	13	8	6	17	780
ZR-15	48	131	161	129	86	64	30	15	7	5	5	17	699
ZR-16	46	136	172	147	102	66	39	19	13	8	6	17	770
ZR-17	45	133	168	143	99	64	38	19	13	8	6	16	750
ZR-18	41	121	155	142	83	61	31	16	10	9	5	15	690
ZR-19	91	262	343	308	208	134	86	43	25	20	11	31	1.561
ZR-20	91	262	343	308	208	134	86	43	25	20	11	31	1.561
ZR-21	78	225	295	265	179	115	74	37	21	17	9	27	1.342
ZR-22	75	187	232	210	124	94	51	24	15	8	8	24	1.052
ZR-23	75	217	284	255	172	111	71	36	21	16	9	26	1.293
ZR-24	65	188	247	221	150	96	62	31	18	14	8	22	1.124
ZR-25	67	192	236	227	141	90	57	31	19	11	7	21	1.099
ZR-26	70	177	228	191	128	91	49	23	13	7	7	23	1.006
ZR-27	61	163	201	161	113	80	39	20	9	5	5	21	879
ZR-28	44	130	166	153	89	65	33	17	11	10	6	16	740
ZR-29	48	142	179	153	106	68	40	20	13	8	6	17	800
ZR-30	44	131	165	142	98	63	37	19	12	8	5	16	740
ZR-31	50	137	168	135	91	67	31	16	7	5	5	18	731
ZR-32	44	131	165	142	98	63	37	19	12	8	5	16	740
ZR-33	43	127	161	138	95	61	36	18	12	7	5	16	720
ZR-34	45	133	168	143	99	64	38	19	13	8	6	16	750
ZR-35	59	168	207	198	123	79	50	27	16	10	6	18	961
ZR-36	43	127	162	149	87	63	32	16	11	10	6	16	720
ZR-37	46	129	159	132	87	65	32	15	9	5	5	17	701
ZR-38	35	108	132	116	79	51	28	15	10	7	5	13	599
ZR-39	41	126	154	135	92	60	33	17	12	8	6	15	699
ZR-40	40	124	152	133	91	59	32	17	12	8	6	15	689
ZR-41	62	159	194	173	102	79	41	20	11	6	7	20	874
ZR-42	52	149	183	176	110	70	44	24	15	9	6	16	853
ZR-43	58	155	193	155	103	80	41	20	11	8	8	21	852
ZR-44	47	133	162	132	81	64	29	15	7	6	5	18	699
ZR-45	44	130	166	153	89	65	33	17	11	10	6	16	740
ZR-46	42	125	160	147	85	62	32	16	11	9	5	16	710

**CUADRO 3.2.8.3-3
PRECIPITACIONES PROMEDIO
ZONAS DE RIEGO (mm)
(Continuación)**

Nº	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
ZR-47	41	119	155	141	93	61	39	19	13	8	6	14	711
ZR-48	91	234	284	207	154	129	71	38	19	16	20	34	1.297
ZR-49	97	261	326	270	191	139	87	45	31	23	22	34	1.527
ZR-50	57	164	202	194	121	77	49	27	16	10	6	18	942
ZR-51	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
ZR-52	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
ZR-53	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ZR-54	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
ZR-55	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
ZR-56	44	126	165	150	99	65	42	20	14	9	7	15	756
ZR-57	52	140	190	165	97	70	35	19	12	10	7	16	813
ZR-58	162	448	549	502	355	241	152	76	47	31	25	52	2.644
ZR-59	88	226	264	224	146	111	60	27	15	9	14	26	1.209
ZR-60	79	208	238	197	130	100	52	24	13	8	13	24	1.083
ZR-61	64	179	224	202	130	89	49	26	17	14	12	23	1.015
ZR-62	62	174	218	196	127	87	48	25	16	13	12	22	985
ZR-63	60	167	209	188	122	83	46	24	15	13	12	21	945
ZR-64	58	161	202	182	118	80	45	23	15	12	11	20	915
ZR-65	66	174	203	167	108	84	42	20	11	6	11	20	910
ZR-66	73	203	255	230	148	101	56	29	19	16	14	26	1.154
ZR-67	74	205	257	232	150	102	57	29	19	16	14	26	1.164
ZR-68	64	179	224	202	130	89	49	26	17	14	12	23	1.015
ZR-69	57	160	200	180	116	80	44	23	15	12	11	20	905
ZR-70	57	158	198	178	115	79	44	23	15	12	11	20	895
ZR-71	55	150	203	176	103	75	37	21	13	11	8	17	869
ZR-72	90	244	278	220	152	123	72	31	17	11	18	28	1.285
ZR-73	99	273	334	305	216	147	92	46	29	19	15	31	1.609
ZR-74	66	184	231	208	134	92	51	26	17	14	13	23	1.044
ZR-75	67	186	233	210	136	93	51	27	17	14	13	23	1.054
ZR-76	62	172	216	194	125	86	48	25	16	13	12	22	975
ZR-77	59	165	207	186	120	82	46	24	15	13	11	21	935
ZR-78	56	156	196	176	114	78	43	22	14	12	11	20	885
ZR-79	57	160	200	180	116	80	44	23	15	12	11	20	905
ZR-80	63	162	203	164	103	81	37	19	10	6	8	19	876
ZR-81	63	162	205	165	104	82	37	19	10	6	8	20	881
ZR-82	53	143	193	168	98	72	36	20	12	10	7	16	828
ZR-83	64	179	224	202	130	89	49	26	17	14	12	23	1.015
ZR-84	78	216	244	193	133	106	61	27	14	10	15	25	1.123
ZR-85	77	198	254	204	127	101	45	23	12	8	10	24	1.084
ZR-86	63	166	204	163	103	81	37	20	9	7	8	20	881
ZR-87	30	84	109	98	60	42	22	12	8	7	4	11	486
ZR-88	50	146	158	127	84	63	30	18	7	6	7	18	713
ZR-89	30	84	109	98	60	42	22	12	8	7	4	11	486
ZR-90	60	180	189	150	101	76	37	22	7	8	9	21	860

**CUADRO 3.2.8.3-3
PRECIPITACIONES PROMEDIO
ZONAS DE RIEGO (mm)
(Continuación)**

Nº	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
ZR-91	61	184	192	152	103	78	39	23	8	8	9	22	879
ZR-92	53	162	189	165	109	72	42	24	13	11	10	18	867
ZR-93	50	153	179	156	104	68	40	22	12	10	9	17	821
ZR-94	58	160	187	149	96	75	34	19	8	7	8	19	819
ZR-95	35	96	126	113	69	48	25	14	9	8	5	12	558
ZR-96	33	92	120	108	66	46	24	13	8	7	5	12	533
ZR-97	30	84	109	98	60	42	22	12	8	7	4	11	486
ZR-98	49	150	175	153	102	67	39	22	12	10	9	17	806
ZR-99	48	148	172	151	100	66	38	22	12	10	9	17	791
ZR-100	56	169	177	141	95	71	35	21	7	7	8	20	808
ZR-101	51	156	182	159	106	70	40	23	12	10	9	18	836
ZR-102	35	97	126	113	69	48	25	14	9	8	5	12	561
ZR-103	46	136	166	159	100	61	31	18	12	8	7	15	760
ZR-104	44	129	157	150	95	58	29	17	11	8	7	15	719
Promedio	58	158	195	170	113	79	46	25	17	13	12	22	867

Fuente: Elaboración Propia

La información contenida en la tabla ESTAD_PP incluye las estadísticas de sólo 13 de las 17 estaciones, que se requieren para generar las estadísticas que son representadas por sólo una estación en las zonas de riego (un total de 74). Para las estaciones representadas por sólo una estación, la estadística se calcula como la estadística de la estación base multiplicado por el coeficiente de isoyetas representado por "Coef 1" en el Cuadro 3.2.8.3-2. De acuerdo a lo anterior, en la tabla ESTAD_PP, se presenta en primer lugar las estadísticas de las estaciones pluviométricas seleccionadas (EST-01 a EST-13). Adicionalmente, se presenta en la base de datos las estadísticas de aquellas zonas de riego que requieren más de una estación para su cálculo (un total de 30), estadísticas que se incluyen en la tabla ESTAD_PP como estadísticas EST-14 a EST-52.

3.2.8.4 Tabla #32: ESTAD_Q

a) Generalidades

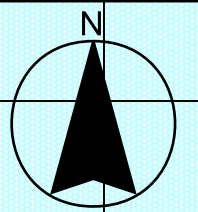
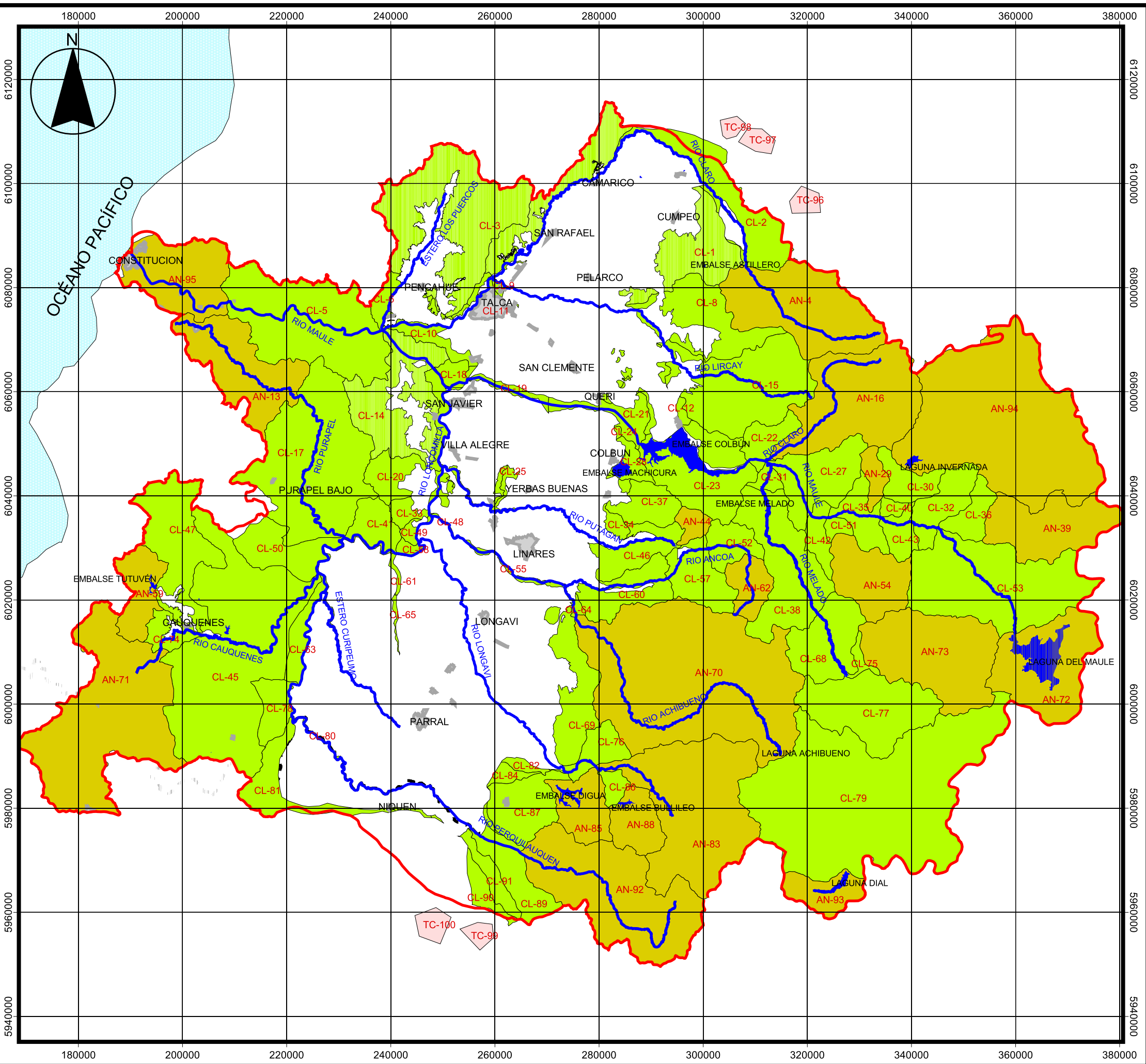
En la cuenca del río Maule existe una cantidad importante de sub-cuencas con y sin control fluviométrico que se han considerado en la modelación superficial MAGIC-Maule, por lo que el presente acápite tiene por finalidad presentar el proceso de actualización para las estadísticas existentes hasta el año hidrológico 2005/6.

Es importante indicar que para las cuencas sin control fluviométrico, es necesario emplear métodos sintéticos de generación de caudales, tales como la aplicación de modelos matemáticos para cuencas pluviales o nivo-pluviales.

De acuerdo a la sectorización definida en el estudio de la Ref. 5, la cuenca se descompone en un total de 92 cuencas no-controladas (CNC). Estas CNC se dividen a su vez en 3 categorías: Aportes Naturales (AN), Cuencas Laterales (CL), y Traslase de Cuencas (TC). Aportes naturales se refiere a las sub-cuencas de cabecera, y cuencas laterales son sub-cuencas intermedias ubicadas en los sectores de riego o con algún grado de intervención, tal como se visualiza en la Figura 3.2.8.4-1. Por otra parte, el régimen de estas cuencas se divide en 3 categorías: pluvial, nivo-pluvial o nival, caracterización que se presenta espacialmente en la Figura 3.2.8.4-2. La información anterior se presenta resumida en el Cuadro 3.2.8.4-1, en el que se presenta un listado con la denominación de los aportes naturales, en el Cuadro 3.2.8.4-2 se presenta la misma información para los trasvases, y en el Cuadro 3.2.8.4-3 las cuencas laterales.

- Modelo Pluvial
- Modelo Nivo-Pluvial (tanto para cuencas nivales como nivo-pluviales)
- Modelo Pluvial para Cuencas Ficticias

La explicación de éstos métodos de generación se presentan posteriormente en este acápite (letras b, c y d).



OCEANO PACÍFICO

SIMBOLOGÍA

- Límite Cuenca Maule
 - Límite regional viii
 - Océano Pacífico
 - Hidrografía principal
 - Embalses
 - Centros Urbanos
- Tipo de Aporte**
 - Cuenca Lateral
 - Aporte Natural
 - Traslase de Cuencas

Datos Cartográficos
Proyección Universal Transversal Mercator
Huso 19
Zona Sur

Datos Geodésicos
Elipsoide Internacional 1909
Provisional South American Datum 1956



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES:
LUIS ARRAU DEL CANTO
CONSULTORES EN INGENIERÍA
HIDRÁULICA Y DE RIEGO

PROYECTO:
PLAN DIRECTOR PARA LA
GESTIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE

PLANO:
CLASIFICACIÓN
SUB CUENCAS
MAGIC-MAULE

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS
SR. RODRIGO WEISNER

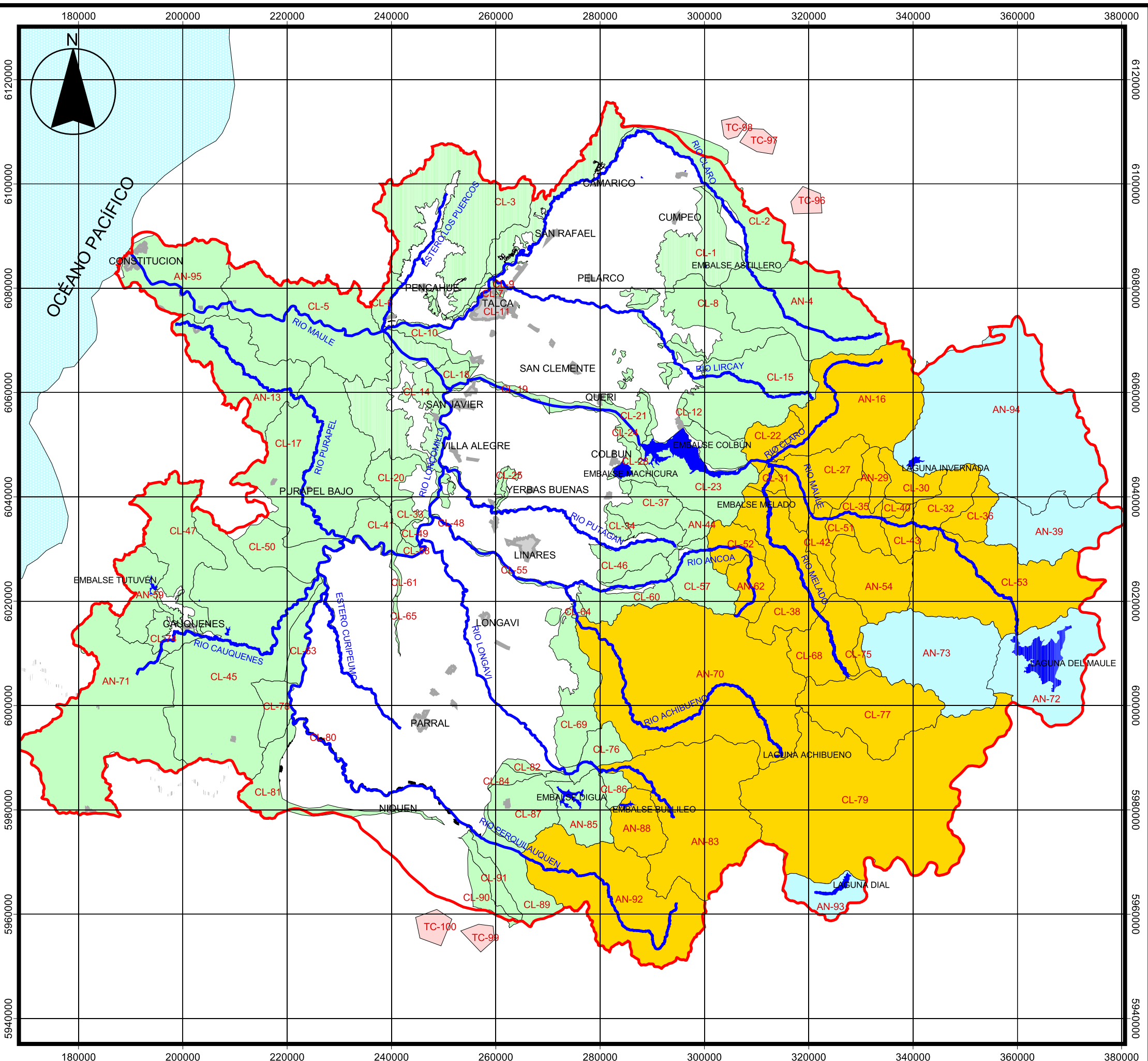
JEFE DE DEPARTAMENTO
SR. PEDRO RIVERA

INSPECTOR FISCAL
SR. ANDRÉS ARRIAGADA

ESCALA
1:750000
0 10 20 km

FIGURA:
3.2.8.4-1

FECHA:
MAYO DE 2008



SIMBOLOGÍA

<ul style="list-style-type: none"> Límite Cuenca Maule Límite regional viii Océano Pacífico Hidrografía principal Embalses Centros Urbanos 	<p>Régimen de Sub Cuenclas</p> <ul style="list-style-type: none"> Nival Nivo Pluvial Pluvial Traslase de Cuenca
--	---

Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: RÉGIMENES SUB CUENCLAS MAGIC-MAULE
--	--	---

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.8.4-2	FECHA: MAYO DE 2008
------------------------	----------------------	------------------------

**CUADRO 3.2.8.4-1
CARACTERIZACIÓN APORTES NATURALES**

Código	Denominación	Régimen
AN-4	Río Claro en Cabecera	Pluvial
AN-13	Río Purapel en Nirivilo	Pluvial
AN-16	Río Claro en San Carlos	Nivo-pluvial
AN-29	Estero Corrientes en cota 820	Nivo-pluvial
AN-39	Río Puelche en cota 1.400	Nival
AN-44	Río Putagán	Pluvial
AN-54	Río Colorado en cota 800	Nivo-pluvial
AN-59	Río Tutuvén	Pluvial
AN-62	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	Nivo-pluvial
AN-70	Río Achibueno en Los Peñascos	Nivo-pluvial
AN-71	Río Cauquenes en el Arrayán	Pluvial
AN-72	Afluente Laguna del Maule	Nival
AN-73	Río De La Puente en cota 1.220	Nival
AN-83	Río Longaví en la Quiriquina	Nivo-pluvial
AN-85	Río Catillo	Nivo-pluvial
AN-88	Afluente Embalse Bullileo	Nivo-pluvial
AN-92	Río Perquilauquén en San Manuel	Nivo-pluvial
AN-93	Afluente a Laguna El Dial	Nival
AN-94	Afluente Laguna La Invernada	Nival
AN-95	Río Maule en Forel	Pluvial

Fuente: Preparado a partir de la Referencia 6

**CUADRO 3.2.8.4-2
CARACTERIZACIÓN TRASVASE DE CUENCAS**

Código	Denominación	Régimen
AN-96	Cuenca ficticia - Canal Pelarco-Buena Unión Lontué	Trasvase
AN-97	Cuenca ficticia - Canal Purísima-Concepción Lontué	Trasvase
AN-98	Cuenca ficticia - Canal Cumpeo Lontué	Trasvase
AN-99	Cuenca ficticia - Canal Caro Saldaña	Trasvase
AN-100	Cuenca ficticia - TUC San Pedro y Arrau o Ñiquén	Trasvase

Fuente: Preparado a partir de la Referencia 6

**CUADRO 3.2.8.4-3
CARACTERIZACIÓN CUENCAS LATERALES**

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 Perquillauquén	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	Nivo-pluvial
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 Yerbas Buenas y Bocatoma Canal Melozal	Pluvial
CL-27	Río Maule en bocatoma Aducción C. Melado	Nivo-pluvial
CL-28	Descarga Central Chiburgo	Pluvial
CL-30	Río Cipreses entre Laguna La Invernada y Canal Alimentador Cipreses Central Isla	Nivo-pluvial
CL-31	Río Melado en junta con río Maule	Nivo-pluvial
CL-32	Río Maule entre Río Puelche y Canal Alimentador Maule Central Isla	Nivo-pluvial
CL-33	Río Loncomilla entre Río Achibueno y Río Putagán	Pluvial
CL-34	Río Rari en Rari	Pluvial
CL-35	Río Colorado entre Cota 800 y Río Maule en Canal Alimentador C. Pehuenche	Nivo-pluvial
CL-36	Río Puelche entre Cota 1.400 y Río Maule	Nivo-pluvial
CL-37	Río Rari en Rari	Pluvial
CL-38	Río Melado entre Bocatoma Canal Melado y Embalse Melado	Nivo-pluvial

**CUADRO 3.2.8.4-3
CARACTERIZACIÓN CUENCAS LATERALES
(Continuación)**

Código	Denominación	Régimen
CL-40	Río Cipreses entre Canal Alimentador Cipreses Central Isla y Río Maule	Nivo-pluvial
CL-41	Río Perquillauquén entre Río Purapel y Estero Parral	Pluvial
CL-42	Río Maule entre Río Cipreses y Canal Alimentador C. Pehuenche	Nivo-pluvial
CL-43	Río Maule entre Canal Alimentador Maule Central Isla y Río Cipreses	Nivo-pluvial
CL-45	Río Cauquenes entre Río Tutuvén y Río Perquillauquén	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 Perquillauquén	Pluvial
CL-49	Río Loncomilla entre Río Longaví y Río Achibueno	Pluvial
CL-50	Río Perquillauquén entre Quella y Río Purapel	Pluvial
CL-51	Río Colorado en cota 800	Nivo-pluvial
CL-52	Río Ancoa antes Túnel Canal Melado	Nivo-pluvial
CL-53	Río Maule entre Laguna del Maule y Río Puelche	Nivo-pluvial
CL-55	Río Achibueno entre Río Ancoa Estero Curiceco	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	Esteros Parral entre Canal Calivoro y Río Perquillauquén	Pluvial
CL-63	Río Perquillauquén entre Quella y Río Purapel	Pluvial
CL-64	Río Achibueno entre Los Peñascos y Río Ancoa	Pluvial
CL-65	Esteros Parral entre Panamericana y Canal Calivoro	Pluvial
CL-68	Río Melado entre Río De La Puente y Bocatoma Canal Melado	Nivo-pluvial
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	Nivo-pluvial
CL-76	Río Longaví entre La Quiriquina y Longitudinal	Pluvial
CL-77	Río Guaiquivilo entre Embalse Guaiquivilo y Río De La Puente	Nivo-pluvial
CL-78	Río Perquillauquén entre Bocatoma Canal Per – Ñiquén y Quella	Pluvial
CL-79	Río Guaiquivilo entre Laguna del Dial y Embalse Guaiquivilo	Nivo-pluvial
CL-80	Río Perquillauquén entre Bocatoma Canal Per – Ñiquén y Quella	Pluvial
CL-81	Río Ñiquén entre Llegada Canal Per – Ñiquén y Río Perquillauquén	Pluvial

CUADRO 3.2.8.4-3
CARACTERIZACIÓN CUENCAS LATERALES
(Continuación)

Código	Denominación	Régimen
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	Nivo-pluvial
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: Preparado a partir de la Referencia 6

b) Generación Cuencas No-Controladas Pluviales: Modelo MPL

Para generar la escorrentía asociada a las cuencas no controladas con régimen pluvial, se utiliza el modelo de generación sintética de caudales medios mensuales denominado MPL, el cual ha sido aplicado en diferentes estudios de la DGA a numerosas cuencas del país. Entre ellas cabe mencionar, el río Maule, el estero Puyehue al norte de Loncoche, la cuenca del río Mulchén en Mulchén, y últimamente, las cuencas de los ríos Ligua y Petorca, la del río Aconcagua y la del estero Quilimarí.

En el estudio de la Ref. 3 se calibró el modelo MPL con la cuenca pluvial de Estero Los Puercos en Puente Los Puercos, proceso que se actualiza en el marco de este estudio, dado que se han identificado que algunos factores se encuentran fuera del rango posible físico que los define, por lo que se tendría una calibración matemáticamente adecuada, pero que viola las restricciones físicas del proceso en estudio.

DESCRIPCIÓN MODELO MPL: El modelo MPL se describe en el diagrama de la Figura 3.2.8.4-3. El modelo asume que parte de la lluvia escurre superficialmente en forma inmediata. Del remanente, parte se infiltra hasta que la humedad del suelo alcanza la capacidad de campo. Por último, el agua en exceso escurre superficialmente. Por otra parte, del agua que infiltra, una fracción percola al acuífero

subterráneo, hasta que este acuífero se satura. Desde ese momento, el agua en exceso se suma a la escorrentía.

El modelo MPL está dado por 10 parámetros los que se describen a continuación:

- Parámetro A: Coeficiente de transposición con respecto a la estación base elegida para obtener la precipitación media sobre la cuenca (°/1)
- Parámetro B: Coeficiente que multiplica el dato de evapotranspiración de bandeja con el fin de obtener la evapotranspiración potencial media sobre la cuenca (°/1)
- FC: Representa la tasa de infiltración del suelo saturado (mm/día)
- ALFA: Representa la tasa de variación de la infiltración por unidad de variación del grado de humedad (°/1)
- S_{CC}: Grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo (%)
- S_{MÍN}: Grado de humedad correspondiente al punto de marchitez permanente (%)
- S_{CRIT}: Grado de humedad crítico por sobre la cual la tasa de evapotranspiración corresponde a la potencial (%)
- K: Constante de tiempo del embalse subterráneo (días)
- P_{MÍN}: Parámetro que representa el porcentaje de la precipitación que se manifiesta como escorrentía superficial inmediata en la cuenca (°/1)

Es importante indicar que en la calibración presentada en el estudio de la Ref. 3, la capacidad de campo finalmente evaluada está fuera del rango esperado, dado que no sobrepasa un valor de 55%¹. Es necesario indicar que el parámetro anterior fue obtenido después de una extensiva experimentación para diferentes tipos de suelos y condiciones de humedad presente en el terreno. En todo caso, dado que se acepta que la capacidad de campo modelada tome en cuenta otros efectos de humedad libre por sobre el suelo, se espera que este valor no supere en un 40% el valor máximo anteriormente presentado, lo que equivale a una humedad máxima de 75%. Adicionalmente, Saxton et Al. proponen evaluar la humedad crítica como una función de las otras humedades, y viene dada en forma aproximada por la ecuación:

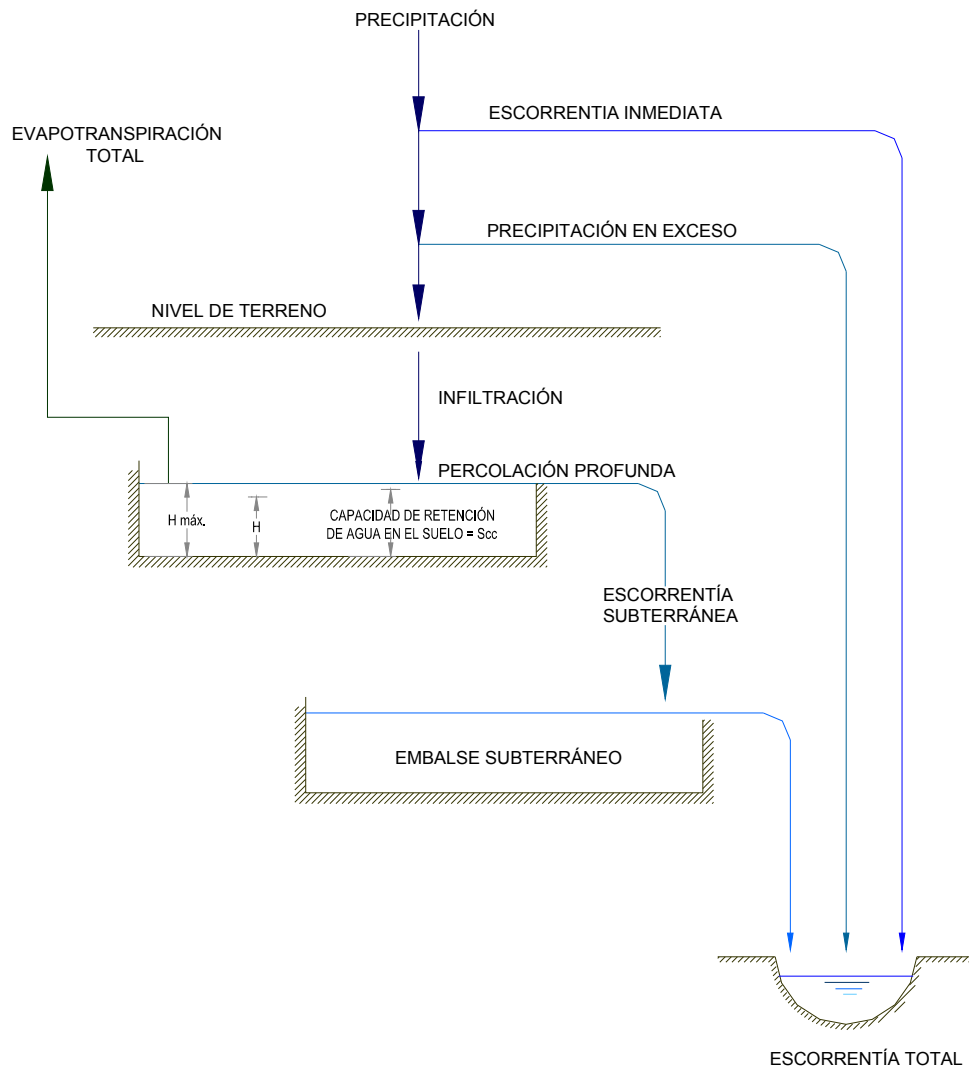
$$S_{CRIT} = 0,6 S_{CC} + 0,4 S_{MÍN}$$

Por la razón expuesta anteriormente, se requiere una nueva calibración del modelo MPL que tome en cuenta rangos de variación más realistas. Adicionalmente, la humedad crítica calibrada, no obedece a la relación presentada anteriormente, por lo que también debe modificarse para que corresponda a la humedad crítica propuesta por Saxton et. Al. Es importante indicar, que esta nueva calibración está basada en trabajos de terreno específicos para la cuenca.

¹ Saxton, K. E., y Rawls, W. J. .“Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions”, Journal of the Soil Science Society of America, 2006 (70)

En resumen, para el trabajo de terreno, se seleccionó nuevamente la cuenca del estero Los Puercos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar el suelo de la cuenca, para lo cual se seleccionaron 10 puntos. En cada uno de estos puntos se realizó un muestreo agrológico y una prueba de infiltración. El muestreo agrológico permite evaluar el porcentaje de arena, arcilla, limo, materia orgánica en el suelo, capacidad de campo, y humedad mínima. Por otra parte, las pruebas de infiltración permiten evaluar la tasa de infiltración al acuífero.

FIGURA 3.2.8.4-3
DIAGRAMA CONCEPTUAL MODELO PLUVIAL (MPL)



Fuente: Elaboración Propia

Con la información anterior, y el modelo SWC propuesto por Saxton et. Al., se puede evaluar la capacidad de campo, la humedad mínima y la tasa de infiltración, lo que permite verificar el funcionamiento del modelo propuesto por Saxton et Al. Esto es muy importante, ya que con el fin de caracterizar los suelos de la cuenca del Maule en forma completa, el muestreo en la cuenca del Estero Los Puercos no es suficiente. Por lo anterior, se utilizaron los resultados obtenidos por el CIREN en el estudio de la Ref. 12. Lo que se hizo posteriormente fue comparar los resultados medidos en la cuenca con los resultados obtenidos del estudio del CIREN, de

manera de validar el trabajo anterior. De este modo, se dispone de información validada que permite caracterizar la cuenca del estero Los Puercos y posteriormente, la del río Maule.

Indicadores Cuantitativos de Ajuste: Para este análisis se consideran 5 indicadores cuantitativos:

- **RM:** Razón de Masas
- **RV:** Razón de Varianzas
- **NS:** Coeficiente de Eficiencia de Nash-Suttcliffe
- **FB_NS:** Coeficiente de Eficiencia para Flujos Bajos
- **FA_NS:** Coeficiente de Eficiencia para Flujos Altos

Estos indicadores se definen en las siguientes ecuaciones. En estas ecuaciones " Q_i " y " \tilde{Q}_i " representan los valores observados y generados con el modelo. Por otra parte, " \bar{Q} " y " $\bar{\tilde{Q}}$ " representan el promedio de los valores observados y generados, respectivamente. Es importante indicar que estos indicadores tienen un significado por sí mismos, ya que se conoce de antemano que su valor óptimo es igual a 1.

Razón de Masas: Este coeficiente permite comparar la masa total observada con la masa total modelada. Cuando el modelo describe perfectamente lo observado, el coeficiente RM es igual a 1. Cuando el coeficiente es mayor que 1, el modelo sobreestima la masa total, y cuando es menor que 1, la masa es subestimada.

$$RM = \frac{\sum_i \tilde{Q}_i}{\sum_i Q_i}$$

Razón de Varianzas: Este coeficiente permite comparar las varianzas entre lo modelado y lo observado. Cuando el modelo describe perfectamente lo observado, la razón de varianzas es igual a 1. Al igual que en el caso de la masa, un valor mayor a 1 significa que el modelo sobreestima la varianza. De la misma manera, cuando el coeficiente es menor que 1, la varianza se subestima.

$$RV = \frac{\sum_i (\tilde{Q}_i - \bar{\tilde{Q}})^2}{\sum_i (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Coefficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe: Este indicador muestra la proporción de la variable que se explica por el modelo estadístico considerado. Este valor varía entre $-\infty$ (cuando el modelo no explica lo observado) y 1 (cuando el modelo explica perfectamente lo observado). Es importante indicar que este coeficiente fue desarrollado explícitamente para analizar series de tiempo hidrológicas, por lo que es perfecto para los fines requeridos. Este coeficiente viene dado por la ecuación:

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_i - \tilde{Q}_i)^2}{\sum_i (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Coefficiente de Eficiencia Para Flujos Bajos²: En este caso, el coeficiente de determinación fue adaptado de manera que los flujos bajos tengan mayor influencia en el cálculo del error. Esto se logra considerando el logaritmo del error. La interpretación del resultado es igual a la del coeficiente R^2 , pero limitado a la representación de los flujos bajos.

$$FB_NS = 1 - \frac{\sum_i (\ln(Q_i) - \ln(\tilde{Q}_i))^2}{\sum_i (\ln(Q_i) - \ln(\bar{Q}))^2}$$

Coefficiente de Eficiencia Para Flujos Altos²: En este caso, el coeficiente de eficiencia fue adaptado de manera que los flujos altos tengan mayor influencia en el cálculo del error. Esto se logra cambiando la referencia hasta el promedio del caudal observado. La interpretación del resultado es igual a la del coeficiente R^2 , pero limitado a la representación de los flujos altos.

$$FA_NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_i + \bar{Q})(Q_i - \tilde{Q}_i)^2}{\sum_i (Q_i + \bar{Q})(Q_i - \bar{Q})^2}$$

Calibración Cuenca Estero Los Puercos: Para calibrar el modelo MPL en la cuenca elegida, se comenzó el proceso con los resultados de un muestreo agrológico desarrollado en 10 puntos elegidos en la cuenca con el fin de obtener información de buena calidad para el proceso de calibración. Adicionalmente se consideró la información agrológica contenida en el estudio de la Ref. 12 como una forma de conocer rangos de variación efectivamente medidos para estos parámetros.

El resultado del proceso de calibración se presenta en 3 cuadros y 1 figura. Las estadísticas usadas para representar el sistema de la cuenca del estero Los Puercos

² Indicador propuesto por Hoffmann L, El Idrissi A, Pfister L, Hingray B, Guex F, Musy A, Humbert J, Drogue G, Leviandier T., Development of regionalized hydrological models in an area with short hydrological observation series, River Research and Applications, 20(3), 243-254, 2004.

se presentan en el Anexo 4. El Cuadro 3.2.8.4-4 muestra los parámetros obtenidos en el estudio de la Ref. 3 y los parámetros obtenidos en este estudio. Por otra parte, el Cuadro 3.2.8.4-5 muestra el valor de los indicadores de ajuste obtenidos cuando se consideran los parámetros presentados en el Cuadro 3.2.8.4-4. Adicionalmente, el Cuadro 3.2.8.4-6 se presenta un análisis de sensibilidad de los parámetros modelados. Finalmente, la Figura 3.2.8.4-4 muestra el hidrograma observado y el modelado en este estudio.

Es importante indicar que los parámetros A y B definidos anteriormente no son sujetos de la calibración. Por otra parte, para los parámetros S_{CC} , $S_{MÍN}$, y S_{CRIT} se eligió un valor inicial igual al valor medio de las mediciones observadas durante el muestreo realizado. Para el proceso de calibración esos valores se movieron en el rango $\pm 50\%$ con respecto al valor inicial. Los resultados mostrados en el Cuadro 3.2.5.3-4 muestran que 2 de los parámetros son iguales en ambas calibraciones. Los otros valores son diferentes. Una diferencia importante en el análisis se relaciona con el tratamiento de los parámetros que representan el suelo: S_{CC} , $S_{MÍN}$, y S_{CRIT} . En las aplicaciones previas del modelo MPL (Ref. 3) se consideró una variación de estos parámetros que alcanza hasta un valor máximo de 100%. En particular, para el parámetro S_{CC} se llegó a un valor de 98%, lo que en términos prácticos significa que la muestra está casi completamente saturada. Lo anterior no se considera como una situación real, por lo que se limitó el rango de variación a un valor máximo igual a un 40% superior al valor base, lo que es equivalente a 75% aproximadamente, tal como se indicó anteriormente.

**CUADRO 3.2.8.4-4
PARÁMETROS MODELO MPL**

Parámetros	AC Ingenieros 2002	Este Estudio 2007	Rango de Variación Utilizado
FC	3,7	72	-
Alfa	40	40	-
P_{mín}	0,1	0,1	0-1
K_{emb sub}	17	29,75	-
S_{cc}	98%	46%	40-75
S_{crit}	54%	32%	5-40
S_{mín}	7%	11%	-
H_{máx}	580	550	

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 3.2.8.4-5
INDICADORES CALIBRACIÓN MODELO MPL**

CRITERIO DE AJUSTE	VALOR INDICADOR		DIFERENCIA C/R VALOR ÓPTIMO (%)	
	AC Ingenieros 2002	Este Estudio	AC Ingenieros 2002	Este Estudio
Razón de Masas	1,463	1,316	-46,3	-31,6
Razón de Varianzas	1,857	1,166	-85,7	-16,6
Coefficiente de Determinación	0,597	0,641	40,3	35,9
Eficiencia en Flujos Bajos	0,431	0,661	56,9	33,9
Eficiencia en Flujos Altos	0,759	0,825	24,1	17,5

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del Cuadro 3.2.8.4-5 muestran que con la nueva calibración, se consigue un mejoramiento de los 5 indicadores de ajuste. El mayor mejoramiento se produce para las varianzas.

**CUADRO 3.2.8.4-6
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ($\times 10^{-5}$)
PARÁMETROS MODELO MPL**

CRITERIO DE AJUSTE	FC	P _{MÍN}	ALFA	K	S _{cc}	S _{mín}	H _{MÁX}
CR1	2	2	40.000	40	-800	500	-70
CR2	6	5	-50.000	-2.000	-2.000	100	-200
CR3	-2	-2	40.000	100	400	-4.000	40
CR4	-0,05	-0,05	-60.000	3.000	10	-9	0,8
CR5	-2	-1	20.000	600	300	-3.000	30

Fuente: Elaboración Propia

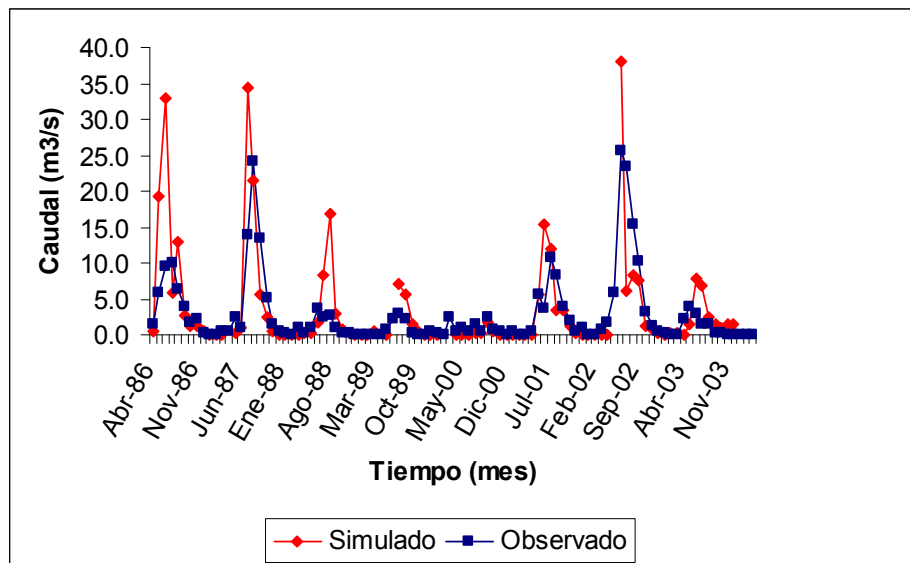
Para el análisis de sensibilidad se calcularon los coeficientes de sensibilidad con la relación:

$$S = \frac{\text{Indicador}(X_0 + \alpha) - \text{Indicador}(X_0)}{\alpha}$$

En que Indicador representa cada una de las medidas de error utilizadas, X_0 representa el valor del parámetro analizado, y α representa la perturbación para el parámetro considerado.

El análisis de sensibilidad muestra que el modelo es bastante insensible a los parámetros FC , $P_{MÍN}$, K , y $H_{MÁX}$. Esto sugiere que estos parámetros pueden usarse para aplicar el modelo en otras cuencas. Por otra parte, el modelo es muy sensible al parámetro $ALFA$, y con sensibilidad baja para la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. No obstante lo anterior, el parámetro $ALFA$ será utilizado para otras cuencas ya que no es posible variarlo con la limitada información disponible. Por otra parte, dado que el modelo tiene una baja sensibilidad a los parámetros de humedad del suelo, permite caracterizar las cuencas con parámetros propios que en este caso se obtuvieron del estudio agrológico del Maule citado anteriormente.

FIGURA 3.2.8.4-4
COMPARACIÓN HIDROGRAMAS CUENCA LOS PUERCOS
CALIBRACIÓN MODELO MPL



Fuente: Elaboración Propia

Validación Cuenca Río Purapel en Nirivilo: Para el proceso de validación se aplicaron los parámetros obtenidos anteriormente a la cuenca de del estero Los Puercos. Los parámetros S_{CC} y $S_{MÍN}$ se calcularon usando como base la información contenida en el estudio de la Ref. 12. El proceso de selección de estos parámetros es el siguiente:

1. Se comparan los valores finales obtenidos para la calibración del modelo MPL (β_{MPL}), con los valores iniciales ($\beta_{MPL,0}$). Luego se calcula la razón entre estos valores:

$$\hat{\alpha} = \frac{\beta_{MPL}}{\beta_{MPL,0}}$$

2. Se evalúan los valores promedio ($\bar{\beta}$) de los parámetros en base a los antecedentes del estudio agrológico
3. De esta manera se evalúa el valor de los parámetros del modelo MPL para la cuenca del estero Nirivilo (y otras cuencas) con la ecuación:

$$\beta_{MPL} = \hat{\alpha} \bar{\beta}$$

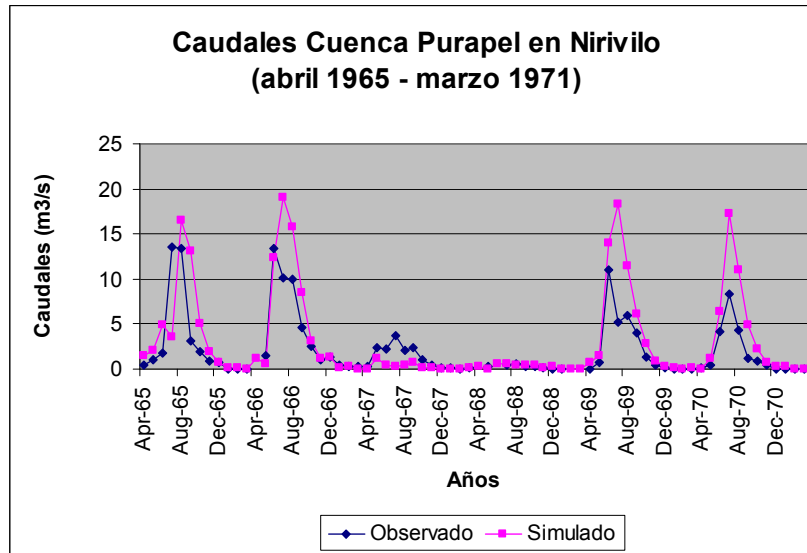
Para el caso de la cuenca en estudio, el valor de $\hat{\alpha}$ es muy similar a 1, por lo que se usaron los valores evaluados para la cuenca Los Puercos. Los resultados obtenidos con este proceso se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-7 y en la Figura 3.2.8.4-5. Si bien es cierto los parámetros obtenidos muestran bastante discrepancia entre el valor modelado y el medido, claramente se observa que la tendencia se reproduce. Lo anterior permite aceptar que el modelo es válido, pero sin olvidar que es sólo una aproximación.

**CUADRO 3.2.8.4-7
VALIDACIÓN MODELO MPL
RÍO PURAPEL EN NIRIVILO**

Parámetro	Valor
A	0,95
B	0,85
FC	72
Alfa	40
P_{min}	0,1
K	29,75
S_{cc}	46
Scrit	32
S_{min}	11
H_{máx}	550
Área	276,09
CR1	1,469
CR2	2,284
CR3	0,088
CR4	0,471
CR5	0,235

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 3.2.8.4-5
VALIDACIÓN MODELO MPL**



Fuente: Elaboración Propia

c) Modelo de Generación Cuencas No-Controladas Nivo-Pluviales

La caracterización de las cuencas nivo-pluviales se realiza aplicando un mismo modelo de tipo nivo-pluvial, aplicado en forma distinta a 2 tipos de cuencas: cuencas que son controladas por Maule en Armerillo, y las cuencas que quedan definidas por el río Achibueno. La aplicación a cada tipo de cuenca se presenta posteriormente.

Se trata de un método de transposición que considera el área, la lluvia y la altura media de la cuenca. De acuerdo con las características de las cuencas, se debe escoger una estación con estadística de caudales medios mensuales como estadística base para cada cuenca.

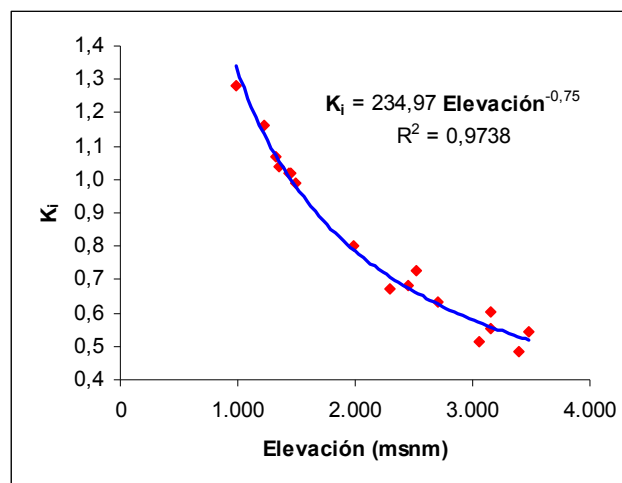
Lo primero a realizar en el método de transposición de caudales es el cálculo de los caudales del período de invierno, abril a septiembre, multiplicando los caudales de la estadística base por un factor de invierno y, análogamente, los caudales de verano usando un factor de verano.

Puede establecerse entonces, que el caudal medio de invierno, Q_i , es el producto de un factor, K_i , que depende de la altura media de la cuenca, por el caudal medio anual, Q_a , o sea:

$$Q_i = K_i Q_a$$

En las cuencas nivales ocurre que el caudal medio de invierno, relativo al anual, decrece con la altura media de la cuenca, lo que se explica por las menores temperaturas a mayores alturas. Esto quiere decir que, si simplemente se aplica una transposición por unidad de área, desde una estación a otra de mayor altura media, se sobre estima el caudal. Por lo anterior, es que se debe conocer la relación que existe entre el factor K_i y la altura media de la cuenca, tal como se muestra en la Figura 3.2.8.4-6.

**FIGURA 3.2.8.4-6
RAZÓN CAUDAL INVIERNO/CAUDAL ANUAL**



Fuente: Actualizado a Partir de Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.-DGA, 2000

El caudal medio de verano, Q_v , el de invierno y el anual deben satisfacer la relación:

$$Q_v = 2 Q_a - Q_i$$

Relación que al introducir Q_i queda,

$$Q_v = (2 - K_i) Q_a$$

Aplicando estas relaciones a la cuenca de interés y a la de la estación base se obtienen los factores de invierno y de verano que se necesitan para la transposición.

De acuerdo con lo anterior, en la cuenca X y en la cuenca base B se cumple:

$$Q_{ix} = K_{ix} Q_{ax}$$

$$Q_{ib} = K_{ib} Q_{ab}$$

expresiones que combinadas conducen a

$$Q_{ix} = \frac{K_{ix}}{K_{ib}} \frac{Q_{ax}}{Q_{ab}} Q_{ib}$$

relación de la cual se obtiene el factor de transposición de invierno buscado

$$FT_{ix} = \frac{K_{ix}}{K_{ib}} \frac{Q_{ax}}{Q_{ab}}$$

Análogamente, para los caudales de verano

$$Q_{vx} = (2 - K_{ix}) Q_{ax}$$

$$Q_{vb} = (2 - K_{ib}) Q_{ab}$$

de las cuales se deduce el factor de transposición de verano

$$FT_{vx} = \frac{2 - K_{ix}}{2 - K_{ib}} \frac{Q_{ax}}{Q_{ab}}$$

Los factores definidos requieren los caudales medios anuales de la cuenca X y de la cuenca base. El caudal medio anual de la cuenca X es desconocido pero se estima con la relación de Turc que se aplicó en el Balance Hídrico de Chile en varias cuencas del país. Esta relación depende de la lluvia anual, P_a (mm), y de la temperatura media anual, T_a (°C).

Según Turc, el déficit de escorrentía medio, De (mm), en una cuenca, es

$$De = \frac{P_a}{\sqrt{0.9 + (P_a/L)^2}}$$

donde L es el factor térmico dado por $L = 300 + 25 T_a + 0,05 T_a^3$

Como en un período largo de varios años la variación de almacenamiento tiende a cero, el déficit de escorrentía, De , tiende a la evapotranspiración real de la cuenca, Et .

La escorrentía, R_a , se obtiene entonces como la diferencia entre la lluvia P_a y la evapotranspiración E_t . El caudal medio anual se calcula convirtiendo la escorrentía R_a a caudal con el área A (km^2) de la cuenca y los segundos del año, así,

$$R_a = P_a - D_e = P_a - E_t \text{ (mm)}$$

$$Q_a = R_a \frac{A}{31,536} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Es importante indicar que para la aplicación de esta metodología, se debe conocer la estadística de una estación que se va a usar como patrón para la generación. Otro aspecto importante, es que el modelo no hace una distinción directa entre cuencas nivo-pluviales y nivales puras. La distinción queda implícita en el valor del parámetro K_i utilizado.

d) Caracterización Cuencas No-Controladas Pluviales

Para la aplicación del modelo MPL se requiere conocer la evapotranspiración, los parámetros CC, PPM y Scrit del modelo MPL, y la precipitación.

La evapotranspiración se se evaluó en base a la información de los distritos agroclimáticos evaluados para la cuenca del Maule. Esta información fue intersectada con los sectores de riego usando ArcView 3.2™, y de esta manera se obtuvieron las evapotranspiraciones potenciales presentadas en la Figura 3.2.8.4-7 y en el Cuadro 3.2.8.4-8 para cada cuenca no-controlada.

Las superficies de las cuencas laterales y aportes naturales se evaluaron usando ArcView 3.2™, y se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-9. En este mismo cuadro se presentan los valores adoptados para los parámetros CC, PPM, y Scrit. Estos valores se adoptaron siguiendo la metodología presentada anteriormente en el Acápite 3.2.8.4 b).

**CUADRO 3.2.8.4-8
EVAPORACIÓN CUENCAS NO-CONTROLADAS (mm)**

Código	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
AN-4	65	33	23	21	27	47	71	119	156	193	150	119	1.024
AN-13	68	34	24	22	28	49	74	124	162	201	156	124	1.067
AN-44	64	33	23	21	27	47	70	118	154	191	148	117	1.011
AN-59	70	36	25	22	29	51	77	128	167	208	161	128	1.100
AN-71	71	36	25	23	30	52	78	130	170	211	163	130	1.116
AN-95	64	33	23	21	27	47	70	118	154	191	148	117	1.011
CL-1	72	37	25	23	30	52	79	132	172	214	166	132	1.134
CL-2	71	36	25	23	30	52	78	130	170	211	164	130	1.120
CL-3	71	36	25	23	30	52	78	130	170	211	164	130	1.118
CL-5	69	35	25	22	29	51	76	127	166	207	160	127	1.095
CL-6	71	36	25	23	30	52	78	130	170	212	164	130	1.122
CL-7	73	37	26	24	31	53	80	134	175	217	169	134	1.152
CL-8	71	36	25	23	30	52	78	131	171	212	165	131	1.126
CL-9	73	37	26	24	31	53	81	134	176	218	169	134	1.156
CL-10	74	38	26	24	31	54	81	136	177	220	171	135	1.167
CL-11	74	38	26	24	31	54	82	136	178	221	171	136	1.170
CL-12	73	37	26	23	30	53	80	134	175	217	169	134	1.151
CL-14	74	38	26	24	31	54	81	136	177	220	171	135	1.165
CL-15	67	34	24	21	28	49	73	122	160	199	154	122	1.053
CL-17	72	36	25	23	30	52	79	131	171	213	165	131	1.129
CL-18	76	39	27	24	32	55	83	139	182	226	175	139	1.198
CL-19	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-20	75	38	27	24	31	55	82	138	180	223	173	137	1.184
CL-21	74	38	26	24	31	54	81	135	177	220	171	135	1.165
CL-23	69	35	24	22	29	50	75	126	164	204	158	125	1.080
CL-24	73	37	26	24	31	53	80	134	175	218	169	134	1.153
CL-25	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-26	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-28	72	37	25	23	30	52	79	132	172	214	166	132	1.133
CL-33	76	39	27	24	32	55	83	139	182	226	175	139	1.195
CL-34	74	38	26	24	31	54	81	135	177	220	171	135	1.165
CL-37	70	36	25	23	29	51	77	129	168	209	162	129	1.107
CL-41	75	38	27	24	31	55	82	137	180	223	173	137	1.182
CL-45	75	38	27	24	32	55	83	138	181	224	174	138	1.189
CL-46	72	37	26	23	30	53	79	132	173	215	167	132	1.139
CL-47	69	35	25	22	29	51	76	127	166	207	160	127	1.095
CL-48	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-49	76	39	27	24	32	55	84	139	182	226	176	139	1.199
CL-50	74	38	26	24	31	54	82	137	178	222	172	136	1.174
CL-55	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-57	66	33	23	21	27	48	72	120	157	195	151	120	1.033
CL-58	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-60	72	37	26	23	30	53	80	133	173	215	167	133	1.142
CL-61	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-63	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-64	75	38	27	24	31	55	83	138	181	224	174	138	1.188
CL-65	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200

**CUADRO 3.2.8.4-8
EVAPORACIÓN CUENCAS NO-CONTROLADAS (mm)
(Continuación)**

Código	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
CL-69	73	37	26	24	31	54	81	135	176	218	170	134	1.157
CL-74	76	39	27	24	32	55	83	139	181	225	175	139	1.194
CL-76	69	35	24	22	29	50	76	127	166	206	160	127	1.090
CL-78	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-80	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-81	76	39	27	24	32	55	84	140	182	226	176	139	1.200
CL-82	74	37	26	24	31	54	81	135	176	219	170	135	1.159
CL-84	74	38	26	24	31	54	81	135	177	220	170	135	1.164
CL-87	72	37	26	23	30	53	80	133	173	216	167	133	1.142
CL-89	72	37	25	23	30	53	79	132	173	214	166	132	1.136
CL-90	74	38	26	24	31	54	82	136	178	221	172	136	1.171
CL-91	74	38	26	24	31	54	81	135	177	220	171	135	1.165

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 3.2.8.4-9
SUPERFICIE CUENCAS
APORTES NATURALES Y
CUENCAS LATERALES**

Código	Superficie (km²)	S_{CC} (%)	S_{CRIT} (%)	S_{MIN} (%)
AN-4	378,24	34,9	27,6	16,7
AN-13	278,22	34,7	26,3	13,7
AN-44	32,65	41,2	33,4	21,6
AN-71	642,53	34,7	26,3	13,7
AN-95	247,07	34,7	26,3	13,7
CL-1	335,12	34,3	27,2	16,5
CL-2	207,22	34,9	27,9	17,3
CL-3	440,42	30,5	22,6	10,8
CL-5	452,38	34,7	26,3	13,7
CL-6	31,92	25,4	18,3	7,7
CL-7	21,07	31,6	23,8	12,0
CL-8	186,74	35,3	27,7	16,2
CL-9	7,66	35,8	27,6	15,2
CL-10	50,99	29,7	22,1	10,7
CL-11	15,79	33,1	25,4	14,0
CL-12	27,27	34,7	26,7	14,8
CL-14	248,53	32,5	25,0	13,8
CL-15	345,47	36,2	29,0	18,3
CL-17	536,20	34,7	26,3	13,7
CL-18	25,45	30,8	23,0	11,4
CL-19	23,75	33,3	25,6	14,1
CL-20	106,20	32,6	25,2	14,0
CL-21	63,54	35,0	26,9	14,7
CL-22	62,03	34,6	26,8	15,3
CL-23	264,83	36,8	28,8	16,7
CL-24	2,32	37,1	29,6	18,5
CL-25	14,11	34,9	27,3	16,0
CL-26	19,99	35,4	27,9	16,6
CL-28	35,12	37,4	30,1	19,2
CL-33	44,10	36,7	28,3	15,8
CL-34	23,35	38,6	31,0	19,7
CL-37	80,90	43,7	35,7	23,7
CL-41	75,45	41,8	32,6	18,7
CL-45	765,70	30,0	21,9	9,8
CL-46	99,59	38,8	31,1	19,5
CL-47	242,47	30,0	21,9	9,8
CL-48	1,79	37,0	28,3	15,2
CL-49	12,65	38,5	29,5	16,0
CL-50	129,20	42,8	33,4	19,3
CL-55	17,33	37,1	28,8	16,3
CL-57	118,29	39,8	31,4	18,9

**CUADRO 3.2.8.4-9
SUPERFICIE CUENCAS
APORTES NATURALES Y
CUENCAS LATERALES
(Continuación)**

Código	Superficie (km²)	S_{CC} (%)	S_{CRIT} (%)	S_{MÍN} (%)
CL-58	12,00	39,6	30,9	17,8
CL-60	118,85	38,0	29,9	17,8
CL-61	6,50	40,6	31,6	18,2
CL-63	61,00	43,0	33,3	18,8
CL-64	8,37	38,8	30,8	18,8
CL-65	4,98	40,6	31,6	18,2
CL-69	163,00	36,9	28,9	17,0
CL-74	44,02	30,0	21,9	9,8
CL-76	68,45	37,2	29,3	17,6
CL-78	68,28	43,9	33,9	19,0
CL-80	5,85	36,2	27,5	14,4
CL-81	111,44	33,9	25,0	11,6
CL-82	13,62	40,6	31,7	18,3
CL-84	24,14	31,3	23,4	11,5
CL-87	140,67	25,1	17,6	6,3
CL-89	113,74	24,8	17,2	6,0
CL-90	41,82	30,7	22,6	10,6
CL-91	47,60	30,7	22,6	10,6

Fuente: Elaboración Propia

Para las cuencas laterales y aportes naturales, se aplica la misma metodología de polígonos de Thiessen que para el caso de la precipitación en las zonas de riego (ver Acápites 3.2.8.3), pero, se acepta que puede tenerse el efecto de hasta 4 estaciones pluviométricas, lo que es equivalente hasta 4 Coeficientes de precipitación, los que se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-10.

Finalmente, en el Cuadro 3.2.8.4-11, se presentan las precipitaciones promedio de las cuencas laterales y aportes naturales.

**CUADRO 3.2.8.4-10
COEFICIENTES CÁLCULO DE PRECIPITACIONES
SUB-CUENCAS**

Sub-Cuenca		Est 1			Est 2			Est 3			Est 4		
Sub Cuenca	P _{50%} (mm)	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef
AN-04	1.750	1.400	69,8%	0,87	660	30,2%	0,80						
AN-13	801	845	100,0%	0,95									
AN-16	2.421	1.400	61,2%	1,06	2.210	38,8%	0,43						
AN-44	2.991	1.600	48,6%	0,91	2.210	51,4%	0,70						
AN-59	803	930	100,0%	0,86									
AN-71	753	720	5,1%	0,05	930	94,9%	0,77						
AN-95	758	845	100,0%	0,90									
CL-01	850	660	81,8%	1,05	680	18,2%	0,23						
CL-02	1.150	660	100,0%	1,74									
CL-03	700	650	70,7%	0,76	680	29,3%	0,30						
CL-05	775	845	77,7%	0,71	650	22,3%	0,27						
CL-06	698	650	100,0%	1,07									
CL-07	695	680	100,0%	1,02									
CL-08	1.132	1.050	4,9%	0,05	1.400	60,9%	0,49	660	34,2%	0,59			
CL-09	759	1.050	17,1%	0,12	680	82,9%	0,92						
CL-10	709	1.000	47,0%	0,33	650	53,0%	0,58						
CL-11	702	1.000	5,8%	0,04	680	94,2%	0,97						
CL-12	1.166	1.050	21,8%	0,24	1.400	58,5%	0,49	1.000	19,8%	0,23			
CL-14	830	750	27,2%	0,30	845	29,4%	0,29	650	18,0%	0,23	730	25,4%	0,29
CL-15	1.950	1.400	100,0%	1,39									
CL-17	801	750	29,6%	0,32	845	70,4%	0,67						
CL-18	755	1.000	41,2%	0,31	730	58,8%	0,61						
CL-19	777	1.000	4,9%	0,04	730	95,1%	1,01						
CL-20	798	750	72,0%	0,77	730	28,0%	0,31						
CL-21	1.101	1.050	100,0%	1,05									
CL-23	1.900	1.400	76,1%	1,03	2.210	23,9%	0,21						
CL-24	1.120	1.050	100,0%	1,07									
CL-25	825	900	44,5%	0,41	750	55,5%	0,61						
CL-26	903	900	89,2%	0,90	730	10,8%	0,13						
CL-28	1.422	1.050	85,2%	1,15	1.400	14,8%	0,15						
CL-33	803	900	5,1%	0,05	750	94,9%	1,02						
CL-34	1.388	1.600	57,6%	0,50	1.050	27,0%	0,36	900	15,4%				
CL-37	2.000	1.600	52,2%	0,65	1.050	16,7%	0,32	1.400	31,1%				
CL-41	830	750	100,0%	1,11									
CL-45	734	720	67,3%	0,69	930	32,7%	0,26						
CL-46	1.764	1.600	95,2%	1,05	900	4,8%	0,09						

**CUADRO 3.2.8.4-10
COEFICIENTES CÁLCULO DE PRECIPITACIONES
SUB-CUENCAS
(Continuación)**

Sub-Cuenca		Est 1			Est 2			Est 3			Est 4		
Sub Cuenca	P _{50%} (mm)	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef	P _{50%} (mm)	α (%)	Coef
CL-47	787	930	100,0%	0,85									
CL-48	850	750	100,0%	1,13									
CL-49	850	750	100,0%	1,13									
CL-50	778	750	13,5%	0,14	720	35,4%	0,38	930	51,1%				
CL-55	1.000	900	90,8%	1,01	750	9,2%	0,12						
CL-57	2.751	1.600	79,5%	1,37	2.210	20,5%	0,26						
CL-58	850	750	100,0%	1,13									
CL-60	1.567	1.600	92,8%	0,91	900	7,2%	0,13						
CL-61	828	750	100,0%	1,10									
CL-63	810	720	100,0%	1,13									
CL-64	1.199	900	100,0%	1,33									
CL-65	872	750	62,0%	0,72	720	38,0%	0,46						
CL-69	1.471	1.600	7,7%	0,07	1.570	67,4%	0,63	900	24,9%				
CL-74	720	930	100,0%	0,77									
CL-76	1.839	2.170	55,5%	0,47	1.570	44,5%	0,52						
CL-78	800	720	100,0%	1,11									
CL-80	840	720	100,0%	1,17									
CL-81	827	720	94,9%	1,09	1.530	5,1%	0,03						
CL-82	1.392	1.570	100,0%	0,89									
CL-84	1.299	1.570	78,2%	0,65	1.530	21,8%	0,19						
CL-87	1.527	1.570	49,3%	0,48	1.530	50,7%	0,51						
CL-89	1.700	1.530	100,0%	1,11									
CL-90	1.470	1.530	100,0%	0,96									
CL-91	1.509	1.530	100,0%	0,99									

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 3.2.8.4-11
PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm)
APORTES NATURALES Y CUENCAS LATERALES
PERÍODO 1980-2006

Codigo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
AN04	125	312	410	339	230	161	88	41	23	14	12	40	1.795
AN13	51	162	181	160	105	72	33	13	4	5	5	17	809
AN16	173	431	555	459	311	217	123	53	33	17	18	49	2.439
AN44	221	549	672	554	385	273	162	68	41	19	27	57	3.028
AN59	53	170	186	163	105	69	27	17	6	4	7	19	824
AN71	50	159	174	152	98	65	26	16	6	4	6	18	772
AN95	49	153	172	152	100	68	31	12	4	4	5	16	766
CL01	59	161	203	161	115	80	40	20	9	5	5	21	877
CL02	83	224	277	218	160	110	54	27	12	7	6	29	1.208
CL03	44	136	164	134	91	65	29	14	8	5	5	18	712
CL05	50	157	177	154	102	71	32	13	5	5	5	17	789
CL06	47	144	166	135	94	67	29	14	8	5	4	18	729
CL07	37	116	158	130	81	61	30	14	7	4	7	17	661
CL08	81	204	265	220	149	105	57	26	15	9	8	26	1.163
CL09	43	128	172	144	89	67	34	16	9	5	7	18	730
CL10	47	135	164	136	94	67	33	14	9	5	5	17	725
CL11	38	117	160	131	82	61	31	14	8	4	7	17	670
CL12	82	202	265	229	147	106	60	26	17	9	9	26	1.180
CL14	73	200	239	187	129	101	50	25	11	10	12	26	1.061
CL15	138	334	452	381	250	177	101	45	28	17	15	42	1.980
CL17	53	157	185	158	102	73	33	14	5	5	6	17	809
CL18	85	219	267	198	146	120	67	35	18	14	18	31	1.217
CL19	110	281	337	238	181	155	86	48	22	20	25	41	1.544
CL20	74	188	237	180	121	100	49	27	13	10	12	25	1.037
CL21	81	199	242	227	130	100	56	26	16	8	9	25	1.119
CL23	135	333	437	365	244	171	97	42	26	15	14	39	1.920
CL24	82	203	246	231	132	102	57	27	16	8	9	25	1.138
CL25	60	156	191	155	99	77	37	18	10	6	8	19	835
CL26	73	194	222	179	120	95	50	24	12	8	13	23	1.014
CL28	104	255	315	291	170	129	72	34	21	10	11	32	1.444
CL33	58	148	192	153	95	76	33	17	9	6	7	18	813
CL34	103	252	308	269	173	130	76	34	20	10	14	30	1.421
CL37	147	353	451	389	254	186	110	49	30	16	19	43	2.046
CL41	60	152	199	159	98	79	34	18	10	6	7	19	841
CL45	53	135	176	141	87	70	30	16	8	5	6	17	744
CL46	127	324	423	338	209	167	73	38	20	13	15	40	1.787
CL47	54	167	176	145	96	69	32	19	6	6	8	19	799
CL48	64	152	190	161	110	81	50	22	13	6	9	18	875
CL49	56	180	197	173	111	73	28	18	6	4	7	20	872
CL50	53	162	178	149	97	69	30	18	7	5	7	19	793
CL55	73	194	224	184	120	93	47	22	12	7	12	22	1.011

LUIS ARRAU DEL CANTO

Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riego

Addendum Modelo MAGIC-Maule - 115

CUADRO 3.2.8.4-11
PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm)
APORTES NATURALES Y CUENCAS LATERALES
PERÍODO 1980-2006
(Continuación)

Codigo	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
CL57	205	497	616	517	355	257	157	68	40	20	28	55	2.815
CL58	61	156	204	163	101	81	35	18	10	6	7	19	861
CL60	118	281	350	297	202	148	91	40	23	12	17	33	1.612
CL61	60	152	199	159	98	78	34	18	10	6	7	19	839
CL63	57	172	179	142	96	72	36	21	7	7	9	20	818
CL64	88	234	266	220	145	111	57	26	14	8	15	27	1.212
CL65	62	170	203	161	103	81	37	20	9	7	8	21	882
CL69	104	281	323	257	177	143	84	36	20	13	21	32	1.491
CL74	47	152	167	146	94	62	24	15	5	4	6	17	739
CL76	127	333	403	313	223	174	110	49	27	17	23	38	1.839
CL78	56	170	177	140	95	71	35	21	7	7	8	20	808
CL80	59	179	185	147	100	75	37	22	7	8	9	21	849
CL81	57	171	178	141	96	72	35	21	7	7	8	20	814
CL82	96	266	303	235	166	137	84	36	20	13	21	30	1.409
CL84	81	222	255	199	138	113	67	29	16	11	16	25	1.172
CL87	80	219	255	202	135	108	61	28	16	10	14	26	1.153
CL89	60	164	198	163	100	75	34	19	10	7	7	21	858
CL90	52	142	172	141	87	65	29	16	9	6	6	18	742
CL91	54	146	176	145	89	66	30	17	9	6	6	18	762

Fuente: Elaboración Propia

e) Caracterización Cuencas No-Controladas Nivo-Pluviales

Tal como se indicó anteriormente, para la aplicación de la metodología seleccionada, se requiere conocer a estadística de una estación conocida. Por esta razón, las cuencas sujetas a este tipo de generación de caudales se dividen en 2 grupos:

- **Grupo 1:** Controladas por Maule en Armerillo
- **Grupo 2:** Controladas por Achibueno en la Recova

e.1) Cuencas Grupo #1: Las cuencas incluidas en este grupo son AN-16, CL-22, CL-27, AN-29, CL-30, CL-31, CL-32, CL-35, CL-36, CL-38, AN-39, CL-40, CL-42, CL-43, CL-51, CL-53, AN-54, CL-68, AN-72, AN-73, CL-75, CL-77, CL-79, AN-93, y AN-94. Tal como se indicó previamente, estas cuencas quedan controladas por Maule en Armerillo (RMA), de tal manera que el caudal medido en Armerillo en

régimen natural puede escribirse como la suma de los caudales de las cuencas componentes. Ahora, dado que el caudal de las cuencas componentes se escribe como una componente de verano y una de invierno, por lo que se tiene la siguiente relación:

$$RMA_a = RMA_I + RMA_V$$

Es importante indicar que el caudal de la estación Río Maule en Armerillo se obtiene de la Ref. 5 actualizado siguiendo la metodología de generación de caudal a régimen natural presentada en el estudio de la Ref. 4. Este proceso consiste en considerar los diferentes aportes y extracciones al río de manera de llevar el caudal a su régimen sin intervención o natural. En algunos casos en que no se contaba con toda la información, se procedió por correlación para rellenar los valores faltantes, los que en la estadística están marcados con rojo. El resultado de este proceso se presenta en el Cuadro 3.2.8.4-12.

CUADRO 3.2.8.4-12
ESTADÍSTICA RÍO MAULE EN ARMERILLO EN RÉGIMEN NATURAL

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	442,5	684,0	615,5	366,2	276,3	239,0	306,6	390,6	453,6	266,3	172,7	146,9
1981	123,5	546,2	334,7	358,1	276,7	235,0	298,3	386,5	269,1	196,9	129,0	110,7
1982	97,9	182,9	357,8	486,3	318,8	468,4	429,1	554,6	836,2	679,1	399,6	208,2
1983	145,7	133,3	238,8	232,2	222,4	209,1	348,2	491,0	295,1	159,3	124,3	107,2
1984	93,2	130,5	154,9	361,8	182,5	301,4	517,9	621,8	796,0	485,8	244,0	174,4
1985	149,6	191,9	197,4	291,7	149,8	184,6	305,8	381,2	242,0	151,6	109,4	93,9
1986	155,7	357,7	755,2	303,2	351,6	260,7	340,9	527,3	582,8	337,0	202,1	184,0
1987	134,4	150,3	100,3	475,5	317,5	274,2	463,1	633,5	468,4	242,9	155,0	120,5
1988	151,5	132,5	144,1	179,4	266,5	186,0	291,0	444,4	298,1	134,9	99,0	133,0
1989	77,3	78,3	84,2	130,7	243,2	189,7	260,7	389,5	503,5	355,4	173,5	124,6
1990	108,3	137,2	90,6	89,1	142,9	245,5	224,2	219,1	147,8	136,7	116,1	81,6
1991	155,3	260,7	368,6	343,0	298,8	307,1	298,0	392,6	375,6	253,2	154,5	123,2
1992	132,9	320,2	381,6	247,0	194,6	257,7	331,3	502,2	523,5	310,4	175,5	128,2
1993	155,1	240,5	379,8	279,2	258,2	270,6	312,6	369,9	337,5	206,1	151,6	118,2
1994	133,2	141,2	253,2	352,3	238,9	263,3	322,6	381,2	301,4	192,9	153,4	118,5
1995	145,2	158,6	320,8	301,8	232,1	329,4	327,8	569,7	432,2	209,1	154,4	133,3
1996	174,3	148,9	200,1	159,3	181,9	184,1	194,9	163,9	140,0	84,3	154,4	133,3
1997	155,6	178,5	477,4	296,7	450,4	497,8	416,7	527,0	663,8	435,6	215,0	139,6
1998	148,9	124,1	124,1	97,0	88,2	98,5	116,1	85,8	72,5	62,4	56,7	52,5
1999	52,6	67,0	119,0	116,3	178,7	314,3	407,4	495,2	319,4	153,6	135,9	92,2
2000	81,0	83,0	481,0	439,0	246,0	296,0	377,0	500,0	681,0	350,0	176,0	118,0
2001	107,0	284,0	274,0	599,0	376,0	304,0	360,0	413,0	292,0	211,0	136,0	204,0
2002	131,0	249,0	297,0	260,0	654,0	404,0	460,0	670,0	765,0	350,0	238,0	183,0
2003	138,0	121,0	406,0	228,0	150,0	181,0	246,0	290,0	195,0	133,0	119,0	92,0
2004	227,0	105,0	174,0	194,0	181,0	262,0	252,0	303,0	259,0	135,0	141,6	122,3
2005	83,1	206,5	470,4	348,6	488,8	322,6	365,4	586,5	557,6	271,7	177,5	106,7

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, el caudal de invierno y de verano de la cuenca “j” viene dado por:

$$RMA_{i,j} = FT_{i,j} RMA_i$$

$$RMA_{v,j} = FT_{v,j} RMA_v$$

Ahora bien, como el caudal de invierno y de verano vienen dado por la contribución de todas las subcuencas, se tiene:

$$RMA_i = \sum_j FT_{i,j} RMA_i$$

De donde se obtiene la condición: $\sum_j FT_{i,j} = 1$

Dado que en general esta condición no se cumple, esto se traduce en normalizar los coeficientes FT, tanto para verano como invierno.

Por otra parte se conoce el caudal generado por las cuencas de cabecera Río Puelche (AN-39), Laguna del Maule (AN-72), Laguna Dial (AN-93), y Laguna Invernada (AN-94) para el período 1980/81-1994/95. Esta información se obtuvo del estudio de la Ref. 1. Por otra parte, las estadísticas generadas en el estudio de la Ref. 1 para las cuencas AN-39, AN-93 y AN-94, en conjunto con la estadística medida para la cuenca AN-72 se usarán como contraste del modelo ajustado para verificar la bondad de ajuste del modelo.

Aplicando mínimos cuadrados a las estadísticas seleccionadas, se obtuvo que el ajuste de los coeficientes de transposición permitió reducir en un 73% el error para la Laguna del Maule. Para la Laguna Dial, la reducción fue aún más alta llegando a un 91%. Por otra parte, para el Río Puelche la reducción del error es de 82%, y para la Laguna La Invernada se obtiene la menor reducción, la que es igual a un 60%.

Como resumen, se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-13 los factores de transposición para caudales de invierno y verano para las cuencas en estudio.

CUADRO 3.2.8.4-13
FACTORES DE TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES DE INVIERNO Y VERANO

Cuenca	Original		Ajustado	
	FT _I	FT _V	FT _I	FT _V
AN-16	0,0859	0,0824	0,0949	0,0893
CL-22	0,0173	0,0088	0,0191	0,0095
CL-27	0,0400	0,0219	0,0442	0,0237
AN-29	0,0065	0,0063	0,0071	0,0068
CL-30	0,0112	0,0112	0,0124	0,0122
CL-31	0,0046	0,0015	0,0051	0,0017
CL-32	0,0154	0,0171	0,0170	0,0185
CL-35	0,0140	0,0087	0,0155	0,0095
CL-36	0,0106	0,0116	0,0117	0,0126
CL-38	0,0572	0,0350	0,0632	0,0379
AN-39	0,0516	0,0664	0,0321	0,0458
CL-40	0,0030	0,0016	0,0033	0,0017
CL-42	0,0090	0,0043	0,0100	0,0047
CL-43	0,0095	0,0071	0,0105	0,0077
CL-51	0,0032	0,0012	0,0035	0,0013
CL-53	0,0833	0,0924	0,0921	0,1002
AN-54	0,0311	0,0308	0,0343	0,0334
CL-68	0,0297	0,0248	0,0329	0,0269
AN-72	0,0248	0,0311	0,0303	0,0662
AN-73	0,0665	0,0771	0,0735	0,0836
CL-75	0,0028	0,0023	0,0031	0,0025
CL-77	0,0459	0,0436	0,0508	0,0472
CL-79	0,1914	0,1859	0,2114	0,2016
AN-93	0,0239	0,0231	0,0120	0,0155
AN-94	0,1615	0,2039	0,1102	0,1401

Fuente: Elaboración Propia

La última fase del análisis consiste en trasladar los caudales a nivel de temporada a caudales medios mensuales. Con este fin se distribuyó el caudal estacional siguiendo la distribución observada para Maule en Armerillo. De esta forma, se obtienen los caudales para cada una de las cuencas nivales o nivo-pluviales del grupo #1. Es importante hacer notar que la mayor desventaja de este método es no poder tomar en cuenta efectos de desfase de flujos que se observa en la realidad, ya que los caudales aportantes se suman instantáneamente.

e.2) Cuencas Grupo #2: Las cuencas incluidas en este grupo son CL-52, AN-62, AN-70, AN-83, AN-88, y AN-92. Para este caso se determinó que Achibueno en la Recova es representativa de las condiciones imperantes. El problema es que esta estadística sólo posee información desde 1988 en adelante. Para rellenar los años faltantes se correlacionó con Maule en Armerillo, y además incorporando el efecto de

la lluvia anual medida en la cuenca y la medición de la ruta de nieve de la estación Lo Aguirre (valor anual, la estadística completa se presenta en el Anexo 5), según consta en el estudio de la Ref. 5. Los distintos datos usados para la correlación se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-14.

**CUADRO 3.2.8.4-14
ELEMENTOS CORRELACIÓN ACHIBUENO EN LA RECOVA**

Año	Achibueno (m ³ /s)	Armerillo (m ³ /s)	Nieve (m)	Precipitación (mm)
1988	32,9	205,0	11,9	1,413,5
1989	23,5	217,5	38,0	1,210,8
1990	24,0	144,9	20,2	1,061,6
1991	57,1	277,5	63,3	2,168,8
1992	54,2	292,1	62,3	1,953,9
1993	60,3	256,6	37,2	1,807,2
1994	43,4	237,7	28,3	1,615,2
1995	47,0	276,2	23,5	1,699,3
1996	16,0	159,9	16,3	883,8
1997	64,4	371,2	34,6	2,422,6
1998	9,8	93,9	15,9	651,4
1999	34,3	204,3	15,2	1,487,0
2000	57,1	319,0	18,8	1,975,9
2001	55,3	296,7	19,8	2,266,9
2002	82,8	388,4	21,0	2,234,0
2003	29,9	191,6	5,8	1,253,9
2004	37,8	196,3	10,8	1,520,8
2005	78,0	332,1	24,0	2,204,8

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación de correlación resultante es:

$$\text{Achibueno} = 0,1278 \text{ Armerillo} - 0,01238 \text{ Nieve} + 0,01739 \text{ PP} - 16,13785$$

Correlación que presenta un R² de 91,6%.

De esta manera se completó la estadística de Achibueno en la Recova a nivel anual. Posteriormente, se llevó la estadística a nivel mensual distribuyendo el caudal siguiendo la distribución de Maule en Armerillo. El resultado de este proceso se presenta en el Cuadro 3.2.8.4-15. En este cuadro se presentan en rojo los valores obtenidos por correlación.

**CUADRO 3.2.8.4-15
ESTADÍSTICA RÍO ACHIBUENO EN LA RECOVA**

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	81,3	125,6	113,1	67,3	50,8	43,9	56,3	71,7	83,3	48,9	31,7	27,0
1981	22,7	100,5	61,6	65,9	50,9	43,2	54,9	71,1	49,5	36,2	23,7	20,4
1982	19,2	35,9	70,3	95,6	62,7	92,1	84,3	109,0	164,3	133,5	78,5	40,9
1983	21,4	19,6	35,0	34,1	32,6	30,7	51,1	72,1	43,3	23,4	18,2	15,7
1984	17,4	24,4	28,9	67,5	34,1	56,2	96,6	116,0	148,5	90,7	45,5	32,5
1985	26,2	33,6	34,5	51,0	26,2	32,3	53,5	66,7	42,3	26,5	19,1	16,4
1986	29,3	67,4	142,3	57,1	66,3	49,1	64,3	99,4	109,9	63,5	38,1	34,7
1987	23,6	26,5	17,7	83,7	55,9	48,3	81,5	111,5	82,5	42,8	27,3	21,2
1988	7,5	10,8	45,5	50,1	88,8	43,0	40,8	49,1	31,0	14,7	8,3	5,0
1989	3,3	4,5	14,7	31,8	70,8	39,0	37,2	38,2	19,7	9,4	6,6	6,9
1990	14,6	28,8	17,8	18,5	32,2	85,3	36,8	23,9	12,9	7,4	5,7	4,6
1991	13,4	222,6	98,7	96,5	33,5	52,2	46,0	41,6	43,0	21,2	9,0	7,7
1992	19,5	139,1	148,7	74,2	27,9	46,6	52,8	58,3	40,4	24,3	12,0	6,1
1993	13,8	67,7	301,8	84,1	61,9	45,6	36,7	34,3	44,2	17,6	8,9	7,1
1994	15,7	25,7	74,5	165,9	39,9	54,5	46,8	42,1	32,3	12,3	6,5	4,3
1995	17,0	11,8	107,8	111,8	67,6	71,4	52,4	54,9	38,4	15,6	8,5	6,6
1996	9,3	8,5	45,0	16,3	22,6	23,9	21,2	18,5	9,8	7,0	5,7	4,2
1997	35,5	32,1	166,8	68,8	96,0	107,2	102,6	66,4	48,7	27,7	14,1	6,7
1998	15,9	13,5	15,2	10,7	9,9	14,2	12,4	7,4	6,7	4,9	3,7	3,4
1999	2,2	11,2	35,4	28,3	47,7	115,3	55,3	49,4	26,9	12,3	21,2	6,6
2000	5,2	10,7	221,5	103,7	54,6	95,1	53,9	47,5	41,8	27,2	16,1	8,4
2001	10,1	72,8	87,4	192,2	98,6	49,1	38,6	33,5	28,9	11,3	7,3	33,6
2002	152,3	74,2	81,2	71,3	225,5	81,4	85,5	72,3	66,4	48,1	22,4	12,8
2003	7,4	8,9	106,2	52,2	22,5	39,1	42,0	37,8	18,3	10,5	7,2	6,8
2004	61,7	15,5	51,5	57,8	44,3	66,9	46,8	54,8	29,2	14,2	6,5	4,4
2005	2,7	57,3	149,7	164,7	232,5	89,5	52,9	76,5	58,3	31,0	15,0	6,6

Fuente: Elaboración Propia

Lo último que resta es la determinación de los factores de transposición, los que se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-16.

**CUADRO 3.2.8.4-16
FACTORES DE TRANSPOSICIÓN CUENCAS GRUPO #2**

Cuenca	FT _I	FT _V
CL-52	0,07615	0,07991
AN-62	0,07745	0,11649
AN-70	1,00000	1,00000
AN-83	0,53368	0,68400
AN-88	0,12619	0,10145
AN-92	0,39830	0,30938

Fuente: Elaboración Propia

f) Generación Caudales Cuencas Ficticias

Para las cuencas ficticias del Cuadro 3.2.8.4-2 se procedió mediante transposición de las estadísticas. Para esto se determinó la precipitación anual representativa para cada una de las cuencas. Para las cuencas AN-96, AN-97, y AN-98 la estadística representativa es de la estación Lontué, y para las cuencas AN-99 y AN-100 con la estación Ñuble, tal como se indica en el Cuadro 3.2.8.4-17. Posteriormente se eligió para que años las precipitaciones de los años a rellenar son similares a las precipitaciones medidas en años en los que se conce la estadística, lo que se indica como año a rellenar y año base en el Cuadro 3.2.8.4-17. Por último, se transpuso los caudales usando como factor de transposición la razón entre la precipitación anual del año a rellenar y la del año base.

**CUADRO 3.2.8.4-17
ANTECEDENTES PARA LA TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES
CUENCAS FICTICIAS**

Cuenca	Precipitación	Año		Año	
		A Rellenar	Base	A Rellenar	Base
AN-95	Lontué	2004	1992	2005	2002
AN-96	Lontué	2004	1992	2005	2002
AN-97	Lontué	2004	1992	2005	2002
AN-98	Ñuble	2004	1993	2005	1993
AN-99	Ñuble	2004	1993	2005	1993

Fuente: Elaboración Propia

g) Resultados Generación de Caudales Cuencas No-Controladas

Finalmente se presentan en el Cuadro 3.2.8.4-18 los caudales promedios generados con el modelo pluvial y nivo-pluvial. Las estadísticas completas se presentan en el Anexo 2 en la Tabla #32.

CUADRO 3.2.8.4-18
CAUDALES PROMEDIO
APORTES NATURALES Y CUENCAS LATERALES (m³/s)
PERÍODO 1980-2006

Código	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
CL-1	0,777	4,272	12,905	16,827	14,392	9,612	4,775	1,940	0,714	0,278	0,152	0,299
CL-2	0,744	5,131	12,783	15,263	13,036	9,090	4,865	2,069	0,755	0,288	0,139	0,258
CL-3	0,771	3,815	11,730	16,811	14,485	9,352	4,336	1,674	0,641	0,258	0,164	0,320
AN-4	2,814	16,752	37,819	44,666	37,771	27,068	15,686	7,147	2,804	1,067	0,511	0,761
CL-5	0,886	5,567	14,461	19,392	17,031	11,004	5,245	2,059	0,739	0,310	0,176	0,325
CL-6	0,058	0,358	0,941	1,227	1,060	0,694	0,333	0,133	0,051	0,020	0,011	0,023
CL-7	0,030	0,150	0,486	0,719	0,618	0,392	0,187	0,073	0,028	0,011	0,009	0,014
CL-8	0,632	3,888	10,346	13,125	11,193	7,680	4,099	1,720	0,652	0,254	0,131	0,209
CL-9	0,013	0,057	0,195	0,296	0,251	0,159	0,076	0,029	0,011	0,005	0,003	0,006
CL-10	0,093	0,482	1,373	1,876	1,657	1,086	0,525	0,205	0,081	0,032	0,019	0,035
CL-11	0,023	0,111	0,367	0,546	0,468	0,295	0,140	0,054	0,021	0,008	0,007	0,011
CL-12	0,096	0,561	1,482	1,940	1,652	1,126	0,604	0,253	0,098	0,038	0,021	0,030
AN-13	0,564	3,670	9,378	12,662	11,127	7,157	3,434	1,348	0,475	0,202	0,113	0,200
CL-14	0,690	4,545	11,625	14,324	11,954	8,278	4,327	1,781	0,659	0,283	0,187	0,258
CL-15	2,991	16,506	37,063	44,280	37,324	26,626	15,586	7,125	2,818	1,079	0,526	0,749
AN-16	13,142	19,979	29,564	28,918	26,370	25,991	31,266	39,109	37,123	21,982	14,828	11,580
CL-17	1,119	6,627	17,576	23,669	20,487	13,187	6,313	2,489	0,899	0,378	0,225	0,388
CL-18	0,090	0,580	1,453	1,711	1,428	1,048	0,596	0,259	0,098	0,042	0,029	0,034
CL-19	0,123	0,840	1,897	2,080	1,711	1,307	0,784	0,358	0,139	0,060	0,040	0,043
CL-20	0,311	1,886	5,047	6,206	5,064	3,533	1,869	0,775	0,291	0,124	0,086	0,112
CL-21	0,213	1,250	3,146	4,270	3,549	2,371	1,283	0,543	0,210	0,079	0,046	0,068
CL-22	2,716	3,973	5,726	5,531	5,113	5,201	6,293	4,120	3,944	2,373	1,556	1,222
CL-23	2,491	14,285	31,274	36,788	31,023	22,269	13,165	6,096	2,423	0,912	0,449	0,593
CL-24	0,008	0,049	0,120	0,161	0,133	0,089	0,048	0,021	0,008	0,003	0,002	0,003
CL-25	0,033	0,177	0,480	0,637	0,527	0,344	0,166	0,065	0,025	0,010	0,007	0,011
CL-26	0,058	0,369	0,903	1,122	0,930	0,638	0,334	0,136	0,051	0,021	0,016	0,020
CL-27	6,293	9,207	13,268	12,817	11,848	12,052	14,583	10,307	9,867	5,938	3,893	3,058
CL-28	0,172	1,112	2,558	3,247	2,687	1,847	1,039	0,451	0,173	0,065	0,036	0,049
AN-29	0,989	1,504	2,226	2,177	1,985	1,957	2,354	2,971	2,820	1,670	1,127	0,880
CL-30	1,759	2,574	3,709	3,583	3,312	3,369	4,077	5,291	5,065	3,048	1,998	1,570
CL-31	0,723	1,058	1,524	1,473	1,361	1,385	1,675	0,721	0,690	0,415	0,272	0,214
CL-32	2,415	3,533	5,091	4,918	4,546	4,624	5,595	8,044	7,700	4,634	3,038	2,387
CL-33	0,100	0,475	1,407	1,926	1,595	1,038	0,503	0,200	0,077	0,031	0,021	0,033
CL-34	0,109	0,708	1,644	2,036	1,711	1,204	0,689	0,302	0,115	0,043	0,027	0,031
CL-35	2,204	3,224	4,647	4,489	4,150	4,221	5,107	4,119	3,943	2,373	1,556	1,222
CL-36	1,672	2,446	3,524	3,405	3,147	3,202	3,874	5,459	5,226	3,145	2,062	1,620
CL-37	0,819	4,618	9,794	11,582	9,769	7,088	4,297	2,024	0,800	0,299	0,159	0,191
CL-38	8,987	13,148	18,948	18,304	16,921	17,212	20,826	16,476	15,774	9,492	6,223	4,889
AN-39	4,779	6,242	7,864	7,177	7,036	7,663	10,421	20,030	18,585	11,013	6,906	5,333
CL-40	0,476	0,696	1,004	0,969	0,896	0,912	1,103	0,755	0,723	0,435	0,285	0,224
CL-41	0,176	0,807	2,459	3,406	2,842	1,866	0,912	0,366	0,140	0,057	0,037	0,058

CUADRO 3.2.8.4-18
CAUDALES PROMEDIO
APORTES NATURALES Y CUENCAS LATERALES (m³/s)
PERÍODO 1980-2006
(Continuación)

Código	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
CL-42	1,416	2,072	2,985	2,884	2,666	2,712	3,281	2,039	1,952	1,175	0,770	0,605
CL-43	1,498	2,191	3,158	3,051	2,820	2,869	3,471	3,360	3,216	1,936	1,269	0,997
AN-44	0,640	3,142	5,945	6,632	5,608	4,175	2,650	1,316	0,532	0,197	0,101	0,117
CL-45	1,738	8,483	24,779	33,674	27,772	18,034	8,741	3,494	1,338	0,542	0,357	0,568
CL-46	0,663	4,412	10,146	11,842	9,553	6,812	3,769	1,601	0,626	0,241	0,134	0,175
CL-47	0,513	3,272	8,025	10,310	8,688	5,644	2,716	1,108	0,391	0,174	0,121	0,191
CL-48	0,005	0,020	0,058	0,080	0,070	0,048	0,026	0,011	0,004	0,002	0,001	0,001
CL-49	0,028	0,178	0,456	0,618	0,530	0,333	0,148	0,057	0,021	0,008	0,006	0,010
CL-50	0,268	1,441	3,864	5,293	4,549	2,910	1,341	0,532	0,191	0,082	0,059	0,097
CL-51	0,500	0,732	1,055	1,019	0,942	0,958	1,159	0,558	0,534	0,322	0,211	0,166
CL-52	1,898	3,659	6,657	5,625	4,851	4,438	4,110	4,684	4,059	2,403	1,435	1,078
CL-53	13,102	19,168	27,624	26,685	24,669	25,094	30,362	43,498	41,642	25,060	16,429	12,907
AN-54	4,781	7,218	10,629	10,374	9,483	9,400	11,320	14,593	13,884	8,257	5,527	4,324
CL-55	0,051	0,311	0,766	0,981	0,818	0,552	0,284	0,114	0,043	0,017	0,013	0,016
CL-57	1,974	9,967	19,384	22,024	18,688	13,927	8,882	4,412	1,773	0,650	0,345	0,386
CL-58	0,029	0,139	0,415	0,565	0,468	0,307	0,150	0,060	0,023	0,009	0,006	0,009
AN-59	0,236	1,551	3,956	5,336	4,574	2,884	1,291	0,501	0,180	0,072	0,051	0,087
CL-60	0,687	4,295	9,758	11,812	10,045	7,246	4,303	1,952	0,761	0,285	0,171	0,177
CL-61	0,015	0,070	0,213	0,293	0,244	0,160	0,078	0,031	0,012	0,005	0,003	0,005
AN-62	1,931	3,721	6,771	5,721	4,933	4,513	4,180	6,828	5,917	3,503	2,092	1,571
CL-63	0,136	0,750	1,896	2,443	2,079	1,373	0,682	0,285	0,100	0,047	0,033	0,050
CL-64	0,031	0,210	0,491	0,599	0,495	0,344	0,184	0,075	0,028	0,011	0,008	0,010
CL-65	0,012	0,064	0,178	0,236	0,196	0,129	0,063	0,026	0,010	0,004	0,003	0,004
CL-68	4,676	6,841	9,859	9,523	8,804	8,956	10,836	11,695	11,196	6,738	4,417	3,470
CL-69	0,745	5,561	12,497	14,437	11,973	8,781	5,203	2,295	0,868	0,341	0,235	0,231
AN-70	24,929	48,049	87,420	73,874	63,700	58,278	53,971	58,611	50,790	30,074	17,959	13,487
AN-71	1,243	7,632	19,772	27,077	23,287	14,584	6,464	2,505	0,898	0,367	0,266	0,459
AN-72	5,711	7,035	8,276	7,334	7,159	7,290	10,593	26,074	27,128	16,181	9,976	7,600
AN-73	10,454	15,294	22,040	21,291	19,682	20,021	24,224	36,284	34,736	20,904	13,704	10,766
CL-74	0,081	0,486	1,255	1,735	1,489	0,914	0,395	0,152	0,055	0,022	0,017	0,030
CL-75	0,436	0,638	0,919	0,887	0,820	0,835	1,010	1,066	1,020	0,614	0,402	0,316
CL-76	0,446	3,176	6,868	7,733	6,455	4,818	3,009	1,433	0,566	0,220	0,130	0,122
CL-77	7,222	10,566	15,228	14,710	13,599	13,833	16,737	20,509	19,634	11,815	7,746	6,085
CL-78	0,150	0,805	2,047	2,661	2,278	1,505	0,747	0,312	0,109	0,051	0,036	0,056
CL-79	30,086	44,015	63,432	61,274	56,646	57,621	69,718	87,519	83,785	50,420	33,055	25,969
CL-80	0,014	0,083	0,202	0,254	0,212	0,140	0,070	0,029	0,010	0,005	0,003	0,005
CL-81	0,247	1,442	3,568	4,533	3,816	2,506	1,240	0,517	0,182	0,084	0,059	0,092
CL-82	0,054	0,404	0,943	1,100	0,916	0,679	0,409	0,182	0,069	0,028	0,019	0,018

CUADRO 3.2.8.4-18
CAUDALES PROMEDIO
APORTES NATURALES Y CUENCAS LATERALES (m³/s)
PERÍODO 1980-2006
(Continuación)

Código	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
AN-83	18,677	58,445	83,916	83,784	69,336	61,983	52,094	39,973	27,217	21,188	19,861	14,388
CL-84	0,079	0,553	1,328	1,588	1,316	0,949	0,545	0,234	0,089	0,036	0,026	0,027
AN-85	0,869	5,613	12,018	13,514	11,281	8,419	5,263	2,512	0,993	0,385	0,227	0,212
CL-86	0,249	1,430	3,049	3,439	2,890	2,149	1,355	0,665	0,264	0,102	0,055	0,053
CL-87	0,478	3,276	7,784	9,365	7,697	5,444	3,036	1,286	0,490	0,198	0,137	0,155
AN-88	3,146	6,063	11,032	9,322	8,038	7,354	6,811	5,946	5,153	3,051	1,822	1,368
CL-89	0,283	1,698	4,224	5,533	4,547	2,951	1,432	0,569	0,218	0,090	0,056	0,097
CL-90	0,085	0,456	1,188	1,626	1,354	0,861	0,405	0,157	0,061	0,026	0,017	0,030
CL-91	0,100	0,546	1,416	1,925	1,601	1,023	0,484	0,188	0,072	0,031	0,020	0,036
AN-92	9,929	19,138	34,819	29,424	25,372	23,212	21,497	18,133	15,714	9,304	5,556	4,173
AN-93	1,461	2,860	3,570	2,272	2,258	3,016	5,318	7,717	5,432	2,533	1,560	1,254
AN-94	17,374	20,288	26,156	24,429	24,769	31,127	34,632	59,613	60,052	40,122	23,931	19,670
AN-95	0,471	2,981	7,709	10,509	9,294	5,992	2,876	1,129	0,398	0,169	0,095	0,168

Fuente: Elaboración Propia

3.2.9 POZOS

Los pozos son usados para extraer/inyectar agua desde/hacia el acuífero subterráneo. Es importante indicar que el agua extraída/inyectada puede tener distintos usos, tales como riego, uso potable, industrial, u otros (en general desconocido).

3.2.9.1 Tabla #33: PO_PARAM

Esta tabla presenta las características de los pozos de bombeo, tales como acuífero desde el que se realiza la extracción, caudal y tipo de uso, y fue actualizada con la inclusión de 287 nuevos sondajes. Ahora bien, por razones prácticas, los sondajes no son incluidos en forma individual en la base de datos, sino que se incluyen en forma consolidada como un pozo por tipo de uso, por sector de riego alimentado y por cada uno de los acuíferos identificados. Sus valores se presentan en la Tabla #33 del Anexo 2.

3.2.9.2 Tabla #34: PO_Q

Esta tabla presenta los caudales mensuales de bombeo desde los pozos de bombeo. En esta tabla no sólo se incrementó el número de pozos considerados (en términos

de caudal bombeado), sino que también temporalmente, extendiendo la estadística hasta el año 2005/06. Sus valores se presentan en la Tabla #34 del Anexo 2.

Cabe mencionar que el modelo se corrió con la opción de “Bombeo por déficit”, lo cual significa que, en el caso de los pozos usados para riego, el bombeo se efectuará sólo cuando exista un déficit de agua que los aportes superficiales no puedan satisfacer. Por lo cual, los caudales asociados a pozos de riego registrados en esta tabla no corresponden a los bombeos observados en la simulación.

3.2.9.3 Tabla #35: PO_USOS

Esta tabla presenta el factor de uso asociado a los distintos tipos de usos, los que se presentan en la Tabla #35 del Anexo 2. Los valores de estos parámetros fueron evaluados a partir de una encuesta realizada en terreno durante el período Agosto-Septiembre del 2007. Con el trabajo de terreno se evaluó que el factor de uso potable es igual a 0,69, el de riego igual a 0,14, y el industrial igual a 0,32.

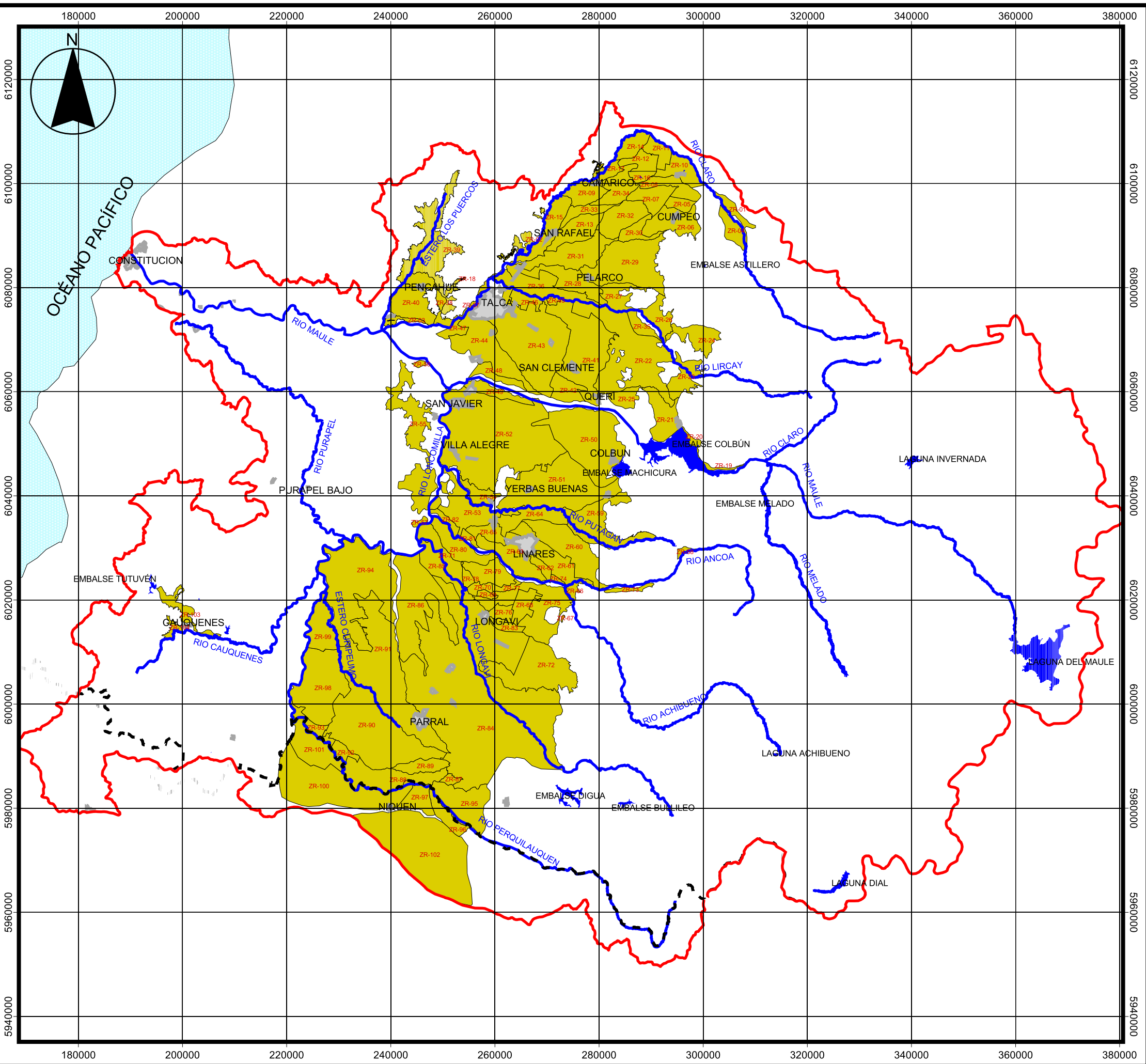
3.2.10 CAUDAL ECOLÓGICO

El objeto caudal ecológico es un objeto especial no topológico que impone una restricción de caudal al nodo o tramo de río seleccionado. En el caso de esta modelación, la Tabla #36 del MAGIC fue poblada con los valores de los caudales ecológicos calculados por la DGA para diversos puntos de la cuenca. Esta información es sólo referencial, ya que la versión actual de MAGIC no maneja este parámetro en forma adecuada. En todo caso, la inclusión de los caudales ecológicos se hace a posteriori verificando el cumplimiento de la normativa.








3.2.11 ZONAS DE RIEGO

Del estudio de la Ref. 5 se adoptaron las 104 zonas de riego que ahí se describen, las cuales se presentan en la Figura 3.2.11-1. Dado que no se cuenta con información agronómica de detalle para antes de 1980, se decidió modelar el sistema sólo entre los años 1980 y 2006, dividido en 2 períodos de tiempo: 1980-1990 y 1990-2006.


Topológicamente las zonas de riego reciben agua a través de canales, ríos, o acuíferos mediante pozos de bombeo, tal como lo muestra la Figura 3.2.11-2.



SIMBOLOGÍA

	Límite Cuenca Maule		Zonas de Riego
	Límite regional viii		
	Océano Pacifico		
	Hidrografía principal		
	Embales		
	Centros Urbanos		

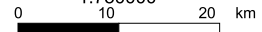
Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---



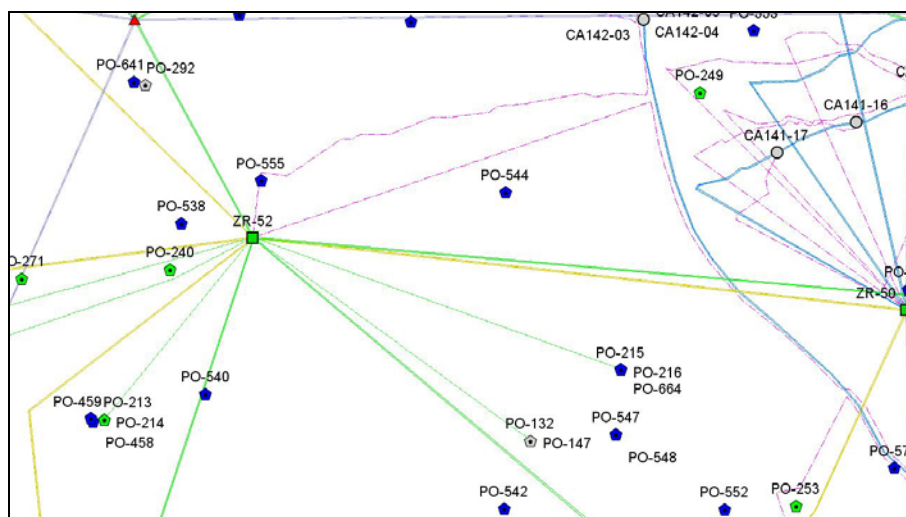
GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: ZONAS DE RIEGO
--	--	--------------------------

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.11-1	FECHA: MAYO DE 2008
---	---------------------	------------------------

**FIGURA 3.2.11-2
REPRESENTACIÓN TOPOLÓGICA ZONAS DE RIEGO**



Fuente: Elaboración Propia

3.2.11.1 Tabla #40: ZR_AC_NNM

Esta tabla presenta las necesidades netas mensuales (NNM) promedio de las áreas cultivadas en las zonas de riego, lo que equivale a la demanda promedio de agua para riego a nivel predial. Esta demanda se calcula con la relación:

$$NNM_m = \text{Máx} \left(\sum_{i=1}^{104} \sum_{j=1}^{N_c} \alpha_i^j K_{c,m}^j ET_{o,m} - PP_{e,m}, 0 \right)$$

Donde:

- α_i^j representa el porcentaje cultivado con el cultivo j en el sector de riego i
- $K_{c,m}^j$ representa el coeficiente de cultivo j para el mes m

Para evaluar las NNM se requiere identificar previamente 3 tipos de información: Cultivos, evapotranspiración, y precipitación efectiva.

a) Identificación de Cultivos: Para la identificación de los cultivos se aceptó como válida la distribución de cultivos presentada en el estudio de la Ref. 1, para el período 1980-1990, y en el de la Ref. 5 para el período 1990-2006. Para el primer período, se consideran 20 tipos de cultivos, y para el segundo 20 tipos distintos mas variaciones de los mismos dependiendo de la textura del suelo en que los vegetales son plantados. Incluyendo variaciones, se tiene un total de 204 tipos de cultivos, según lo que se presenta posteriormente en el Acápite 3.2.11.9.

b) Evapotranspiración Potencial: Otro elemento necesario para la evaluación de las demandas de agua es la evaporación potencial, la que se evaluó en base a la información de los distritos agroclimáticos evaluados para la cuenca del Maule. Esta información fue intersectada con los sectores de riego usando ArcView 3.2™, y de esta manera se obtuvieron las evapotranspiraciones potenciales presentadas en el Acápite 3.2.11.3.

c) Precipitación Efectiva: El último elemento para el análisis es la evaluación de la precipitación efectiva por cada sector de riego. Para esto se utilizó la metodología de Blannay y Cridle modificada por Horacio Merlet y Fernando Santibáñez (1986). Esta metodología permite calcular la cantidad de precipitación que efectivamente puede utilizarse para satisfacer las necesidades evapotranspirativas de la vegetación. Los resultados de este análisis se presentan en el Acápite 3.2.11.5.

Los valores de las NNM para las zonas cultivadas se presentan en la Tabla #40 del Anexo 2.

3.2.11.2 Tabla #41: ZR_ANC_NNM

Esta tabla presenta las necesidades netas mensuales promedio de las áreas no-cultivadas en las zonas de riego, lo que equivale a la demanda promedio de agua las zonas anexas al terreno regado (caminos, matorrales, otros). Para el cálculo se usa la misma metodología usada para evaluar las necesidades netas mensuales de las zonas cultivadas. Sus valores se presentan en la Tabla #41 del Anexo 2.

3.2.11.3 Tabla #42: ZR_CULT_ETP

Esta tabla presenta los coeficientes de cultivos por cultivo en cada zona de riego, junto a sus evapotranspiraciones mensuales. Estos parámetros se presentan por cultivo, e indirectamente por período de tiempo modelado, ya que los cultivos considerados en ambos períodos en estudio son diferentes. Para el período 1980-1990 los valores se adoptaron del estudio de la Ref. 1, y para el período restante del estudio de la Ref. 5. Los valores adoptados para el análisis se presentan en la Tabla #42 del Anexo 2.

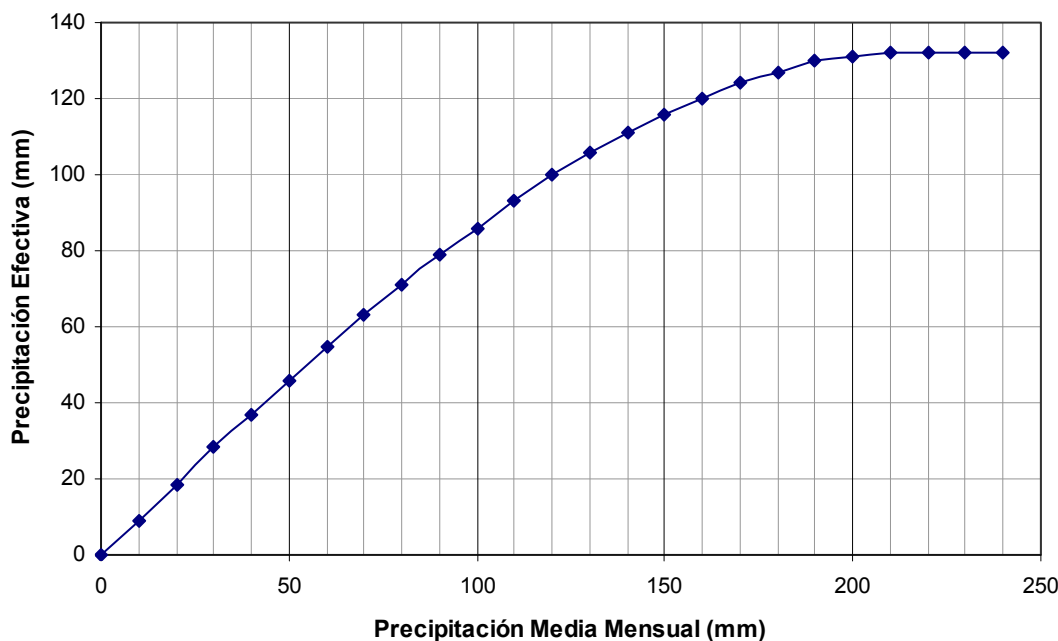
3.2.11.4 Tabla #43: ZR_CULT_PAR

Esta tabla presenta la percolación asociada a cada tipo de cultivo junto con la distribución de los tipos de riego por cultivo en cada zona de riego. Sus valores se presentan en la Tabla #43 del Anexo 2.

3.2.11.5 Tabla #44: ZR_CULT_PEF

Como punto de partida para el análisis, se usaron las precipitaciones promedio por zona de riego incluidas anteriormente en el Cuadro 3.2.8.3-3. Para el cálculo de la precipitación efectiva se se utiliza la metodología de Blanney y Cridle modificada por Horacio Merlet y Fernando Santibáñez en el año 1986. Esta metodología permite calcular la cantidad de precipitación que efectivamente puede utilizarse para satisfacer las necesidades evapotranspirativas de la vegetación. En la Figura 3.2.11.5-1 se muestra la relación entre precipitación media y precipitación efectiva, que es la precipitación que puede usarse para satisfacer las necesidades de riego de un terreno cultivado. Posteriormente, se presentan en la Tabla #44 del Anexo 2 las precipitaciones efectivas calculadas con este procedimiento.

**FIGURA 3.2.11.5-1
RELACIÓN PRECIPITACIÓN-PRECIPITACIÓN EFECTIVA**



3.2.11.6 Tabla #45: ZR_CULT_SC

Esta tabla presenta la distribución de superficie regada por cultivo en cada zona de riego, a lo largo del tiempo. Al igual que para el caso de la Tabla ZR_CULT_ETP para el período 1980-1990 los valores se adoptaron del estudio de la Ref. 1, y para el período restante del estudio de la Ref. 5. Sus valores se presentan en la Tabla #45 del Anexo 2.

3.2.11.7 Tabla #46: ZR_ PARAM

Esta tabla presenta por una parte la estadística de precipitación asociada a cada zona de riego, incluyendo el coeficiente de isoyetas, el que fue calculado en este estudio siguiendo la metodología presentada en el Acápite 3.2.11.3. Al igual que para las Tablas #43 y #45, para el período 1980-1990 los valores se adoptaron del estudio de la Ref. 1, y para el período restante del estudio de la Ref. 5. Sus valores se presentan en la Tabla #46 del Anexo 2.

3.2.11.8 Tabla #49: ZR_ SR

Esta tabla presenta la distribución temporal de superficie regada y la máxima regable en cada zona de riego. Esta información se presenta en el Cuadro 3.2.11.8-1.

**CUADRO 3.2.11.8-1
COMPARACIÓN VARIACIÓN SUPERFICIE (ha)**

ZONA DE RIEGO	ÁREA MÁXIMA REGABLE	ÁREA CULTIVADA PERÍODO 1980-1990	ÁREA CULTIVADA PERÍODO 1991-2006
1	1.239	196	660
2	1.667	38	684
3	656	118	111
4	1.775	717	936
5	1.119	451	593
6	4.227	1.768	2.317
7	2.841	1.151	1.503
8	2.548	1.044	1.363
9	2.805	1.094	1.151
10	2.930	1.063	1.594
11	1.876	658	997
12	1.893	759	991
13	3.656	1.494	1.494
14	2.144	800	1.133
15	4.031	1.691	1.704
16	805	323	421
17	969	389	530
18	21	0	4
19	329	119	219
20	461	188	304
21	3946	1.528	2.613
22	15.351	6.243	10.064
23	3.058	1.269	2.045
24	3.094	1.274	2.054
25	1.655	678	1.092
26	2.385	974	1.570
27	2.537	1.034	1.667
28	4.813	1.989	3.212
29	10.625	4.338	4.331
30	1.733	719	722
31	6.135	2.492	4.024
32	4.270	1.728	1.726
33	1.680	690	689
34	3.489	1.432	1.430
35	1.382	559	902
36	5.030	2.047	3.315
37	1.110	127	739
38	470	0	81
39	9.949	0	1.699
40	5.727	55	974
41	12.087	4.981	8.042
42	2.422	987	1.592
43	16.343	6.711	10.843
44	8.104	3.351	5.430
45	345	139	225
46	1.304	535	863

CUADRO 3.2.11.8-1
COMPARACIÓN VARIACIÓN SUPERFICIE (ha)
(Continuación)

ZONA DE RIEGO	ÁREA MÁXIMA REGABLE	ÁREA CULTIVADA PERÍODO 1980-1990	ÁREA CULTIVADA PERÍODO 1991-2006
47	957	398	689
48	1.610	653	1.052
49	1.997	674	1.509
50	14.004	6.930	10.133
51	14.214	7.240	10.399
52	29.682	15.512	21.844
53	5.779	2.324	4.227
54	1.615	658	1.264
55	9.420	1.761	5.989
56	232	0	144
57	294	89	183
58	303	0	194
59	6.897	2.122	4.390
60	7.400	2.803	4.640
61	4.385	1.729	2.751
62	880	349	451
63	4.508	1.816	2.352
64	3.606	1.428	2.601
65	1.705	734	1.161
66	595	183	313
67	48	7	24
68	2.077	825	1.069
69	406	165	214
70	772	309	400
71	2.995	1.178	1.903
72	9.870	3.914	5.111
73	659	257	411
74	228	89	115
75	8.054	3.180	4.137
76	1.116	452	585
77	568	227	294
78	617	244	316
79	3.196	1.274	1.650
80	3.831	1.516	1.963
81	491	191	302
82	729	287	372
83	1.028	412	533
84	64.947	21.669	15.473
85	2.969	931	703
86	12.623	3.875	2.987
87	527	86	150
88	6.408	1.058	1.845
89	2.133	352	612

**CUADRO 3.2.11.8-1
COMPARACIÓN VARIACIÓN SUPERFICIE (ha)
(Continuación)**

ZONA DE RIEGO	ÁREA MÁXIMA REGABLE	ÁREA CULTIVADA PERÍODO 1980-1990	ÁREA CULTIVADA PERÍODO 1991-2006
90	18.148	2.987	4.259
91	19.656	3.338	4.749
92	998	164	287
93	1.475	243	424
94	18.328	3.044	4.339
95	6.290	566	1.819
96	2.101	279	597
97	2.440	397	691
98	10.759	1.769	2.525
99	4.169	688	982
100	14.899	2.431	4.243
101	4.720	767	1.338
102	22.577	1.474	5.557
103	2.027	21	1.152
104	580	6	337
Total	532.578	168.010	241.407

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente se dispone de información relativa a regulación nocturna la que no se disponía previamente. Esta información se presenta en el Cuadro 3.2.11.8-2.

**CUADRO 3.2.11.8-2
CARACTERÍSTICAS TRANQUES DE
REGULACIÓN NOCTURNA
POR ZONA DE RIEGO**

Zona de Riego	Volumen Regulación Nocturna (miles m³)
ZR-01	0,0
ZR-02	14,3
ZR-03	3,0
ZR-04	109,5
ZR-05	69,5
ZR-06	271,2
ZR-07	176,0
ZR-08	159,5
ZR-09	76,6
ZR-10	185,9
ZR-11	116,4
ZR-12	116,0
ZR-13	40,3
ZR-14	132,4
ZR-15	45,9
ZR-16	49,3
ZR-17	49,3
ZR-18	0,1
ZR-19	91,3
ZR-20	127,2
ZR-21	1.089,7
ZR-22	4.195,4
ZR-23	853,2
ZR-24	856,0
ZR-25	454,9
ZR-26	594,4
ZR-27	555,3
ZR-28	821,3
ZR-29	2.316,4
ZR-30	127,4
ZR-31	84,2
ZR-32	171,4
ZR-33	20,7
ZR-34	218,8
ZR-35	376,1
ZR-36	579,7
ZR-37	4,8

**CUADRO 3.2.11.8-2
CARACTERÍSTICAS TRANQUES DE
REGULACIÓN NOCTURNA
POR ZONA DE RIEGO
(Continuación)**

Zona de Riego	Volumen Regulación Nocturna (miles m³)
ZR-38	2,2
ZR-39	45,8
ZR-40	26,2
ZR-41	3.065,7
ZR-42	663,7
ZR-43	1.628,9
ZR-44	75,2
ZR-45	2,7
ZR-46	7,0
ZR-47	0,0
ZR-48	0,0
ZR-49	0,6
ZR-50	60,7
ZR-51	58,3
ZR-52	25,6
ZR-53	12,0
ZR-54	0,0
ZR-55	0,8
ZR-56	0,0
ZR-57	0,0
ZR-58	0,9
ZR-59	31,3
ZR-60	0,0
ZR-61	9,0
ZR-62	1,8
ZR-63	9,5
ZR-64	7,6
ZR-65	3,8
ZR-66	1,3
ZR-67	0,3
ZR-68	11,8
ZR-69	2,4
ZR-70	4,4
ZR-71	16,8
ZR-72	56,4
ZR-73	1,3
ZR-74	0,5
ZR-75	45,7

**CUADRO 3.2.11.8-2
CARACTERÍSTICAS TRANQUES DE
REGULACIÓN NOCTURNA
POR ZONA DE RIEGO
(Continuación)**

Zona de Riego	Volumen Regulación Nocturna (miles m³)
ZR-76	6,5
ZR-77	3,2
ZR-78	3,5
ZR-79	18,2
ZR-80	21,7
ZR-81	1,0
ZR-82	1,5
ZR-83	5,9
ZR-84	122,5
ZR-85	1,1
ZR-86	3,7
ZR-87	0,0
ZR-88	0,0
ZR-89	0,0
ZR-90	0,0
ZR-91	3,0
ZR-92	0,0
ZR-93	0,0
ZR-94	5,4
ZR-95	0,0
ZR-96	0,0
ZR-97	0,0
ZR-98	16,4
ZR-99	0,0
ZR-100	114,1
ZR-101	0,5
ZR-102	0,0
ZR-103	3.639,0
ZR-104	1.063,5
TOTAL	26.093,1

Fuente: Elaboración Propia

El resumen de la información considerada se presenta en la Tabla #49 del Anexo 2.

3.2.11.9 Tabla #50: CULT_TIPOS

Esta tabla presenta el listado de los cultivos considerados en el Anexo 2. Tal como en los casos anteriores, para el período 1980-1990 los valores se adoptaron del estudio de la Ref. 1, y para el período restante del estudio de la Ref. 5.

3.2.11.10 Tabla #51: MR_TIPOS

Esta tabla presenta el listado de los métodos de riego considerados junto a su eficiencia. Durante el trabajo de modelación, se detectó que estos valores están intercambiados, ya que al comparar la superficie de riego asociada el método de riego según lo informado en el estudio de la Ref. 4, se tiene que un 85% de la cuenca está bajo riego tecnificado, lo que se contradice con la realidad. Por esta razón, se intercambiaron los valores de los métodos de riego para hacerlos concordantes con la superficie regada, tal como se muestra en la tercera columna del Cuadro 3.2.11.10-1.

**CUADRO 3.2.11.10-1
MÉTODOS DE RIEGO**

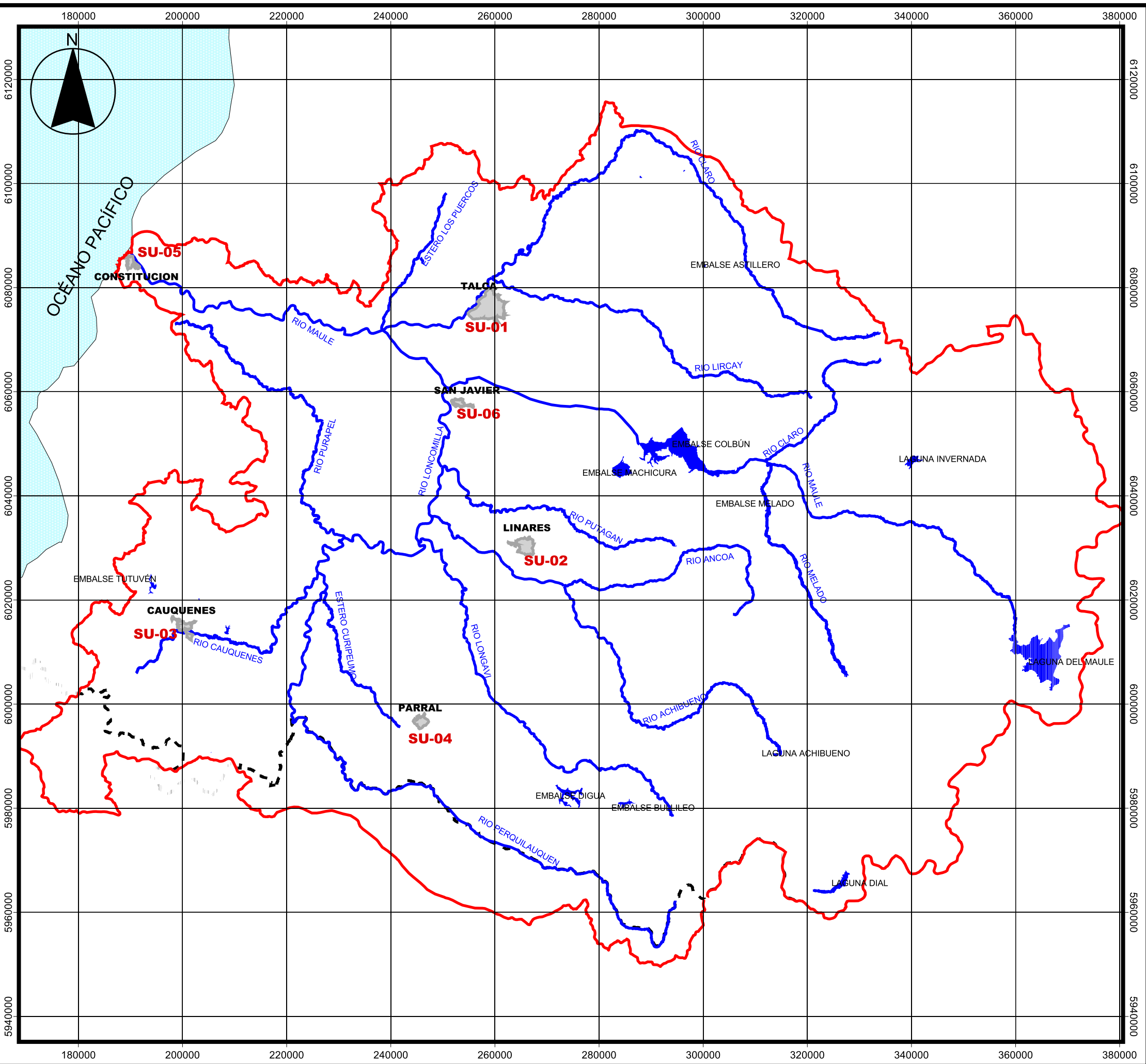
Código	Base Ref. 4	Superficie Regada (%)	Base Modificada
MR-01	Tendido	0,6	Aspersión
MR-02	Surco	7,8	Platabanda
MR-03	Tazas	2,4	Goteo
MR-04	Curvas de nivel (Tablero)	2,0	Tazas
MR-05	Platabanda (Mangas)	1,4	Micro
MR-06	Goteo	53,0	Surco
MR-07	Aspersión	32,8	Tendido
MR-08	Microaspersión	0,0	Curva de Nivel

Fuente: Información Contraparte Técnica

Sus valores se presentan en la Tabla #51 del Anexo 2.

3.2.12 SECTORES URBANOS

En lo que respecta a sectores urbanos, este objeto no estaba disponible cuando se realizó el estudio de la Ref. 5, por lo que se hace necesario llenar las 5 tablas asociadas a este objeto. En forma general, el sector urbano representa las zonas urbanas mayores que se reconocen en la cuenca, tal como se muestra en la Figura 3.2.12-1. Para fines de esta modelación, se consideran 6 zonas urbanas, cada una asociada a una comuna, las que se presentan en el Cuadro 3.2.12-1.



SIMBOLOGÍA

	Limite Cuenca Maule		Sectores Urbanos Considerados en la Modelación
	Limite regional viii		
	Océano Pacifico		
	Hidrografia principal		
	Embalses		

Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: SECTORES URBANOS CONSIDERADOS EN LA MODELACIÓN
---	---	---

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
---	---	---

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 3.2.12-1	FECHA: MAYO DE 2008
-------------------------------	----------------------------	-------------------------------

**CUADRO 3.2.12-1.
ZONAS URBANAS CUENCA RÍO MAULE**

Código	Nombre
SU-01	TALCA
SU-02	LINARES
SU-03	CAUQUENES
SU-04	PARRAL
SU-05	CONSTITUCION
SU-06	SAN_JAVIER

Fuente: Elaboración Propia

3.2.12.1 Tabla #52: SU_AREAS

En esta tabla se presenta la evolución temporal del área de los sectores urbanos para el período 1980-2006. Esta evolución se evaluó con información del MINVU y fotografías aéreas, y se muestra en el Cuadro 3.2.12.1-1, para algunos años con información. Para los restantes años, se interpoló en forma no-lineal. Los resultados de la interpolación se incluyen en la Tabla #52 del Anexo 2.

**CUADRO 3.2.12.1-1
EVOLUCIÓN TEMPORAL SUPERFICIE PRINCIPALES CIUDADES
CUENCA RÍO MAULE**

Ciudad	1975(*)	1989(*)	1993(**)	1999(*)	2003(**)
Talca	1604	1785	1824	2517	2647
Linares	623,9	695,4	709	874,6	951,6
Cauquenes	347,8	411,3	449	515,2	532,8
Parral	288,9	341,4	350,4	429,8	448,8
Constitución	228,7	254,3	272,4	345,4	374,7
San Javier	176,1	204,1	220,7	290,2	311,5

Fuente: Elaboración Propia

3.2.12.2 Tabla #53: SU_PARAM

Esta tabla presenta los parámetros para las zonas urbanas tales como estadística pluviométrica asociada, coeficiente de isoyetas, y pérdidas en la red. Los datos de precipitación asociada a cada sector urbano se calculó usando los polígonos de Thiesen generados previamente, y que fueron mostrados previamente en la Figuras 3.2.11.3-2. Usando los polígonos se muestra que cada sector urbano queda

caracterizado por una única estación pluviométrica, tal como se muestra en la Tabla #52 del Anexo 2. Para esas estaciones se calculó el coeficiente de isoyetas usando la información de precipitaciones anteriormente presentada en la Figura 3.2.8.3-1. Por último, el porcentaje de pérdidas, se calculó usando la información de pérdidas facilitada por la empresa sanitaria Aguas Nuevo Sur Maule S.A. (ANSM).

3.2.12.3 Tabla #54: SU_Q

Esta tabla presenta la distribución del caudal a captar superficialmente para cada sector urbano en función del tiempo, lo que de acuerdo a la información disponible, sólo Constitución se abastece parcialmente con recursos superficiales. La fuente de información para esta tabla es el Plan de Desarrollo de la Empresa Sanitaria ANSM. Los valores se presentan en la Tabla #52 del Anexo 2.

3.2.12.4 Tabla #55: SU_QPR

Esta tabla presenta la magnitud y dirección de las percolaciones en los sectores urbanos, los que se calcularon intersectando la ubicación de las zonas urbanas con los acuíferos mostrados en la Figura 3.2.1-1 usando la herramienta computacional ArcView 3.2™ . Los valores se presentan en la Tabla #53 del Anexo 2.

3.2.12.5 Tabla #56: SU_RETORNOS

Esta tabla presenta la magnitud y dirección de los retornos a los sectores urbanos, los que se evaluaron analizando la ubicación de los sectores urbanos y la geomorfología del sector para evaluar la más probable ruta de los retornos considerados, información que fue evaluada en este estudio. Los valores se presentan en la Tabla #54 del Anexo 2.

4. CALIBRACIÓN

La última componente del desarrollo del modelo MAGIC-MAULE es la calibración del modelo. Este análisis se presenta separado en 4 partes:

- Proceso de Calibración/Validación
- Parámetros de Calibración
- Resultados del Proceso de Calibración/Validación
- Conclusiones del Proceso de Calibración/Validación

4.1 PROCESO DE CALIBRACIÓN/VERIFICACIÓN

Posterior al llenado de tablas del modelo y verificación de la topología correspondiente a cada uno de los elementos que intervienen en la estructura del modelo, se realizó un proceso de calibración, por medio de un ajuste de diversos parámetros que se encuentran incorporados en las tablas del MAGIC y que representan algún efecto físico de la interrelación de los elementos que forman la topología del Modelo. Este proceso comprende una secuencia de cambios conforme a la lógica de “prueba y error”, es decir, se modifica uno o más parámetros, se verifican los resultados, y si el cambio es negativo se retorna al valor original. Por el contrario, si se mejora el ajuste entre los resultados de la modelación y los datos observados, se continúa con el proceso.

El ajuste entre los valores simulados y medidos se caracterizan con el cálculo de 10 indicadores de ajuste:

1. **RM:** Razón de Masas
2. **RV:** Razón de Varianzas
3. **NS:** Coeficiente de Eficiencia
4. **FB_NS:** Eficiencia en Flujos Bajos
5. **FA_NS:** Eficiencia en Flujos Altos
6. **RMS:** Raíz del Valor Error Cuadrático Medio (m^3/s)
7. RMS Normalizado
8. **MAE:** Valor medio del Error Absoluto (m^3/s)
9. MAE Normalizado
10. **RMS/MAE:** Razón entre los errores cuadrático y absoluto

Los primeros 5 indicadores fueron anteriormente definidos en el Acápito 3.2.8.4. Por otra parte, los restantes parámetros han sido definidos para lograr una mejor caracterización del ajuste. Estos parámetros vienen dados por:

Raíz del error cuadrático medio (RMS):

- $$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_i (Q_i - Q_o)^2}{N}}$$

Raíz del error cuadrático medio Normalizado:

- $$\text{RMS NORMALIZADO} = \frac{\text{RMS}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}}$$

Error Medio Absoluto (MAE):

- $$\text{MAE} = \frac{\sum_i |Q_i - Q_o|}{N}$$

Error Medio Absoluto Normalizado:

- $$\text{MAE NORMALIZADO} = \frac{\text{MAE}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}}$$

Para el análisis posterior es necesario entender el comportamiento de los índices y su significado. En primer lugar los primeros 5 indicadores son autosuficientes, es decir, su valor es suficiente para saber cómo es el ajuste entre modelo y datos observados.

Para los 2 primeros indicadores, si el valor es cercano a "1" se está frente a un buen ajuste. Al mismo tiempo un mal ajuste es un valor cercano a "0". Por otra parte, los indicadores de eficiencia pueden variar entre $-\infty$ y 1. en que "1" significa que se tiene un buen ajuste. Un valor cercano a "0" representa una situación con un 50% de ajuste, y un mal ajuste queda representado por un valor negativo, mientras más negativo más deficiente es el ajuste.

Por otra parte, para tener un significado de los otros indicadores, se debe comparar el valor entre ellos de manera de saber cuál es el menor, y por ende, cuál es el mejor.

4.2 PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN

La calibración del modelo tuvo sus mayores dificultades en la representación del comportamiento de embalses y de las centrales hidroeléctricas asociadas y en ello se enfocaron los mayores esfuerzos. Debido a los grandes caudales demandados a los embalses con fines de generación hidroeléctrica, una mala representación ocasionaba en los flujos observados efectos de gran magnitud. Principalmente se trabajó en mejorar la representación topológica de centrales hidroeléctricas y en el cálculo de aportes pluviales y nivales generados por los modelos de generación usados.

Una vez alcanzada la mejor representación posible de los embalses y centrales, se trabajó en afinar algunos parámetros, los cuales se mencionan a continuación:

- **Zv:** Este parámetro se encuentra en la tabla AC_QZV y corresponde a la fracción del afloramiento superficial total desde acuíferos que va a dar a algún nodo del sistema de escurrimiento superficial. Este parámetro resultó de gran importancia debido a que los acuíferos se encuentran llenos la mayor parte del tiempo y prácticamente todas las percolaciones desde canales y sectores de riego retornan al sistema superficial. Fueron estimados en función de las áreas de acuífero aportantes hacia algún sector de la cuenca en el que, debido a estrechamientos del valle, deberían ocurrir los afloramientos. Debido a las grandes dimensiones de algunos de los acuíferos definidos, resultó difícil lograr una representación de los afloramientos cuando estos ocurrían en distintos sectores del mismo acuífero. Los porcentajes del afloramiento total asignados a los distintos nodos fueron afinados de modo de mejorar el ajuste a los caudales y volúmenes observados.
- **Porcentaje de derechos permanentes:** Este parámetro se encuentra en la tabla NO_DIST. Corresponde al porcentaje del caudal afluente a un nodo que será captado por un objeto. En particular, se calibró los porcentajes asociados a las captaciones de las centrales hidroeléctricas de modo que pudieran captar su caudal demandado la mayor parte del tiempo sin afectar otras demandas que pudieran haber en el mismo nodo.

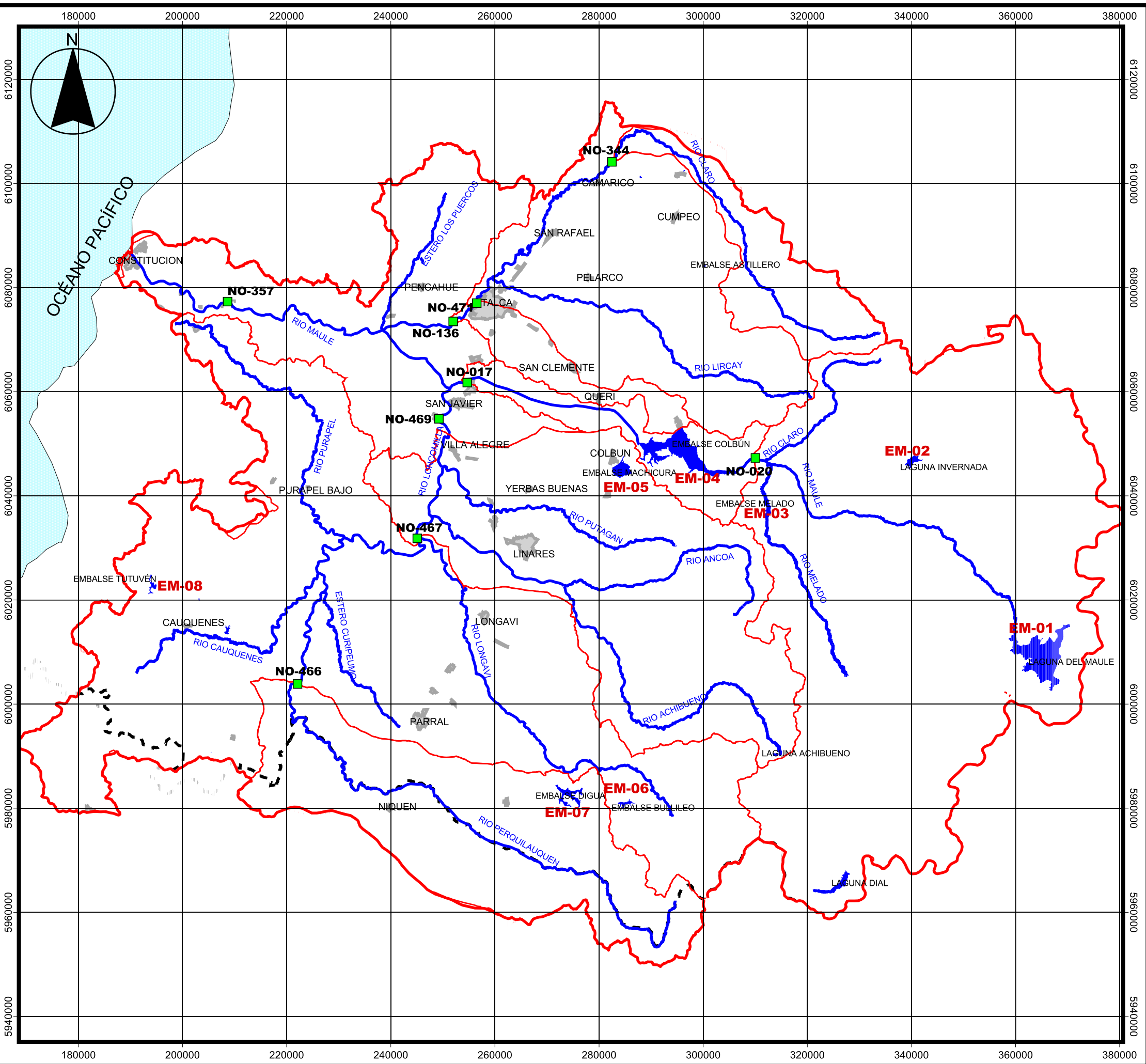
La simulación efectuada con la información obtenida en la etapa de recopilación de antecedentes mostró ajustes aceptables en la mayor parte de la cuenca por lo que no se efectuaron mayores ajustes a otros parámetros de canales, sectores de riego, acuíferos, tramos de río, etc.

Adicionalmente durante este proceso se recalibró el modelo MPL y el modelo nivo-pluvial para la generación de caudales en las cuencas no controladas.

4.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN

En esta sección se entregan los resultados del proceso de calibración, conforme la metodología antes señalada.

En primer lugar se presentan en la Figura 4.3-1 las estaciones y los embalses usados para la calibración. Para esto se consideran 9 estaciones fluviométricas y 6 embalses, los que se presentan en los Cuadros 4.3-1 y 4.3-2, respectivamente.



Código MAGIC	NOMBRE EMBALSE	USO
EM-01	LAGUNA DEL MAULE	HIDRO.-RIEGO
EM-02	LAGUNA INVERNADA	HIDRO.
EM-03	EMBALSE MELADO	HIDRO.
EM-04	EMBALSE COLBÚN	HIDRO.
EM-05	EMBALSE MACHICURA	HIDRO.
EM-06	EMBALSE BULLILEO	RIEGO
EM-07	EMBALSE DIGUA	RIEGO
EM-08	EMBALSE TUTUVÉN	RIEGO

CÓDIGO NODO	NOMBRE ESTACIÓN
NO-017	MAULE EN LONGITUDINAL
NO-020	MAULE EN ARMERILLO
NO-136	CLARO EN RAUQUEN
NO-344	CLARO EN CAMARICO
NO-357	MAULE EN FOREL
NO-466	PERQUILAUQUEN EN QUELLA
NO-467	LONCOMILLA EN BODEGA
NO-469	LONCOMILLA EN LAS BRISAS
NO-471	CLARO EN TALCA

SIMBOLOGÍA

<ul style="list-style-type: none"> □ Limite Cuenca Maule — Limite regional viii Océano Pacifico — Hidrografia principal Embalses Centros Urbanos 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Estaciones fluviométricas usadas en Calibración Limite Cuenas Aportantes a Estaciones Fluviométricas
---	---

Datos Cartográficos Proyección Universal Transversal Mercator Huso 19 Zona Sur	Datos Geodésicos Elipsoide Internacional 1909 Provisional South American Datum 1956
---	---

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

CONSULTORES: LUIS ARRAU DEL CANTO CONSULTORES EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y DE RIEGO	PROYECTO: PLAN DIRECTOR PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CUENCA DEL RÍO MAULE	PLANO: ELEMENTOS DE CALIBRACIÓN
--	--	------------------------------------

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS SR. RODRIGO WEISNER	JEFE DE DEPARTAMENTO SR. PEDRO RIVERA	INSPECTOR FISCAL SR. ANDRÉS ARRIAGADA
--	--	--

ESCALA 1:750000 	FIGURA: 4.3-1	FECHA: MAYO DE 2008
------------------------	------------------	------------------------

**CUADRO 4.3-1
ESTACIONES INCLUIDAS EN PROCESO DE CALIBRACIÓN**

Nodo	Estación
NO-020	Río Maule en Armerillo
NO-344	Río Claro en Camarico
NO-471	Río Claro en Talca
NO-136	Río Claro en Rauquén
NO-466	Río Perquilauquén en Quella
NO-467	Río Loncomilla en Bodega
NO-469	Río Loncomilla en Las Brisas
NO-017	Río Maule en Longitudinal
NO-357	Río Maule en Forel

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO 4.3-2
EMBALSES INCLUIDOS EN EL PROCESO DE CALIBRACIÓN**

Código	Nodo	Embalse
EM-01	NO-419	Laguna del Maule
EM-02	NO-418	Laguna La Invernada
EM-03	NO-421	Melado
EM-04	NO-414	Colbún
EM-06	NO-420	Bullileo
EM-07	NO-417	Digua
EM-08	NO-416	Tutuvén

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE CALIBRACIÓN

Se alcanzó una calibración aceptable en la mayor parte de las estaciones siendo la más deficiente la estación Maule en Longitudinal, cuya estadística observada si bien es cierto es confiable, se estima que está muy influenciada por lo que ocurre en los embalses, lo que en definitiva se traduce en un muy mal ajuste debido a la incertidumbre sobre los datos de los embalses. En el Cuadro 4.3.1-1 se presenta un resumen con los valores de los indicadores de bondad de la calibración para cada una de las estaciones.

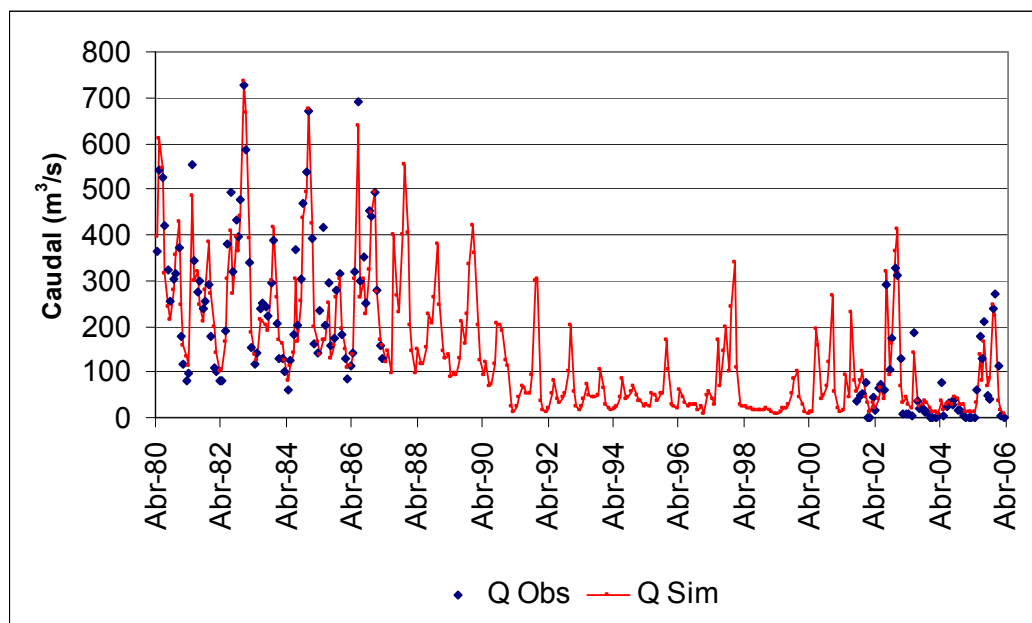
**CUADRO 4.3.1-1
RESULTADOS PROCESO DE CALIBRACIÓN:
ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS**

Parámetros	Nodos								
	020	344	471	136	466	467	469	017	357
Razón de Masas	0,97	1,27	0,97	1,05	0,93	1,26	1,23	0,69	1,01
Razón de Varianzas	1,00	0,97	1,00	1,00	0,99	0,96	0,96	0,83	1,00
Coefficiente de Eficiencia (Nash & Sutcliffe)	0,88	0,43	0,59	0,81	0,80	0,84	0,87	0,27	0,83
Eficiencia en Flujos Bajos	0,86	0,17	-1,09	0,38	0,77	0,73	0,78	-0,35	0,71
Eficiencia en Flujos Altos	0,89	0,63	0,79	0,88	0,78	0,89	0,92	0,26	0,90
RMS (m ³ /s)	53,55	15,54	42,63	39,19	36,07	76,31	112,3	113,5	194,2
RMS Normalizado	0,08	0,13	0,10	0,11	0,09	0,07	0,07	0,17	0,07
MAE (m ³ /s)	41,14	10,03	32,21	29,04	20,81	52,61	83,31	88,49	121,5
MAE Normalizado	0,06	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,13	0,04
RMS/MAE	1,30	1,55	1,32	1,35	1,73	1,45	1,35	1,28	1,60

Fuente: Elaboración Propia

- a) **Río Maule en Armerillo (NO-020):** La Figura 4.3.1-1 muestra gráficamente las estadísticas simuladas versus la observadas en esta estación. Se debe mencionar que la estadística observada en el periodo Abril 80/Marzo 87 corresponde a información proporcionada por ENDESA, y la estadística observada en el periodo Octubre 01/Marzo 06 corresponde a información DGA. De acuerdo al Cuadro 4.3.1-1, la calibración lograda en este nodo es bastante buena al tener valores cercanos a la unidad en los 5 primeros indicadores. El coeficiente de eficiencia, de 0,88 es el mejor dentro de todas las estaciones de calibración. El error medio absoluto (MAE) de 41,14 m³/s parece bastante alto, sin embargo, corresponde sólo a un 6% de error respecto al rango de caudales observados (MAE Normalizado). El buen ajuste obtenido se debe en gran parte a que se contaba con la estadística de caudales entregados por el embalse Laguna del Maule, la cual fue impuesta en el modelo.

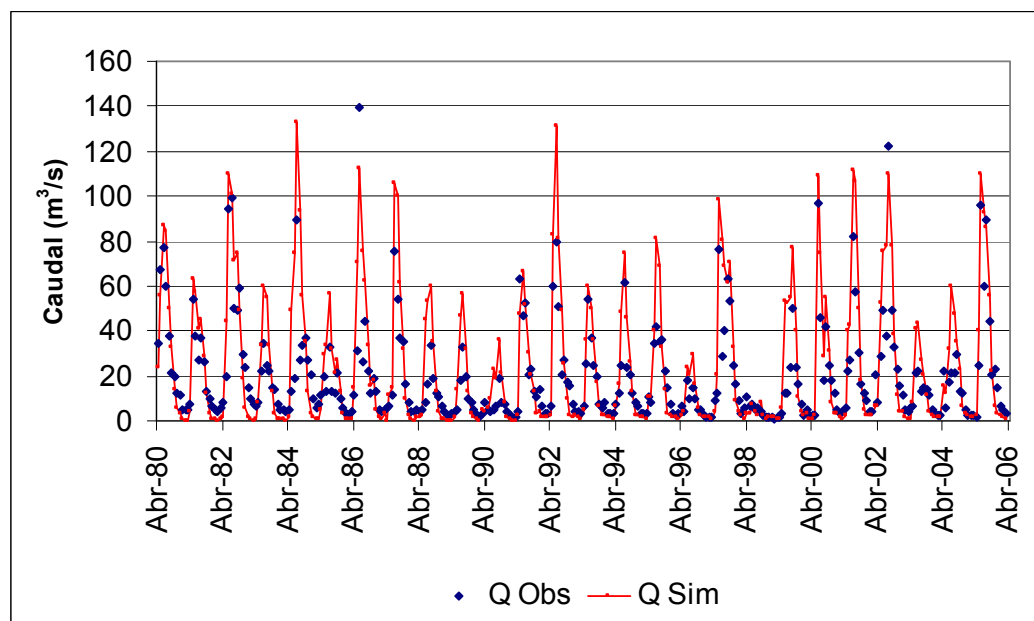
**FIGURA 4.3.1-1
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-020: RÍO MAULE EN ARMERILLO**



Fuente: Elaboración Propia

- b) Río Claro en Camarico (NO-344):** La Figura 4.3.1-2 muestra gráficamente las estadísticas simuladas versus las observadas en esta estación. Pese a que en este gráfico se observa un ajuste aceptable entre caudales simulados y observados, los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran que el ajuste es pobre, alcanzando a penas un coeficiente de eficiencia de 0,43. El error medio absoluto es de 10,03 m³/s lo que corresponde a un error del 8% respecto del rango de caudales observados. El mal ajuste acusado por los indicadores mencionados, se debe a que los caudales extremos no pudieron ser representados correctamente por el modelo, lo cual puede deberse a las dificultades para reproducir caudales pluviales que se ajustaran tanto a los valores observados altos como a los bajos; también influye en forma importante el hecho de no conocer con mayor exactitud la evolución de las áreas dedicadas a cultivo en esta subcuenca.

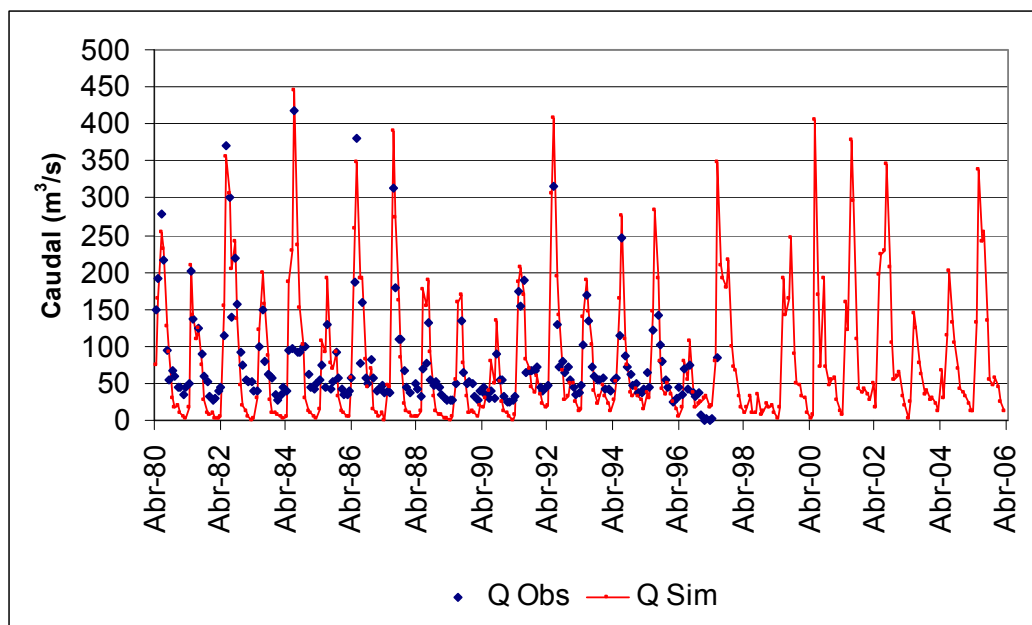
FIGURA 4.3.1-2
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-344: RÍO CLARO EN CAMARICO



Fuente: Elaboración Propia

- c) **Río Claro en Talca (NO-471):** La Figura 4.3.1-3 muestra gráficamente las estadísticas simuladas versus las observadas en esta estación. Se observa una reproducción de tendencias aceptable, sin embargo hay problemas en la reproducción de los caudales bajos. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran que el ajuste es pobre, alcanzando a penas un coeficiente de eficiencia de 0,59. El error medio absoluto es de 32,21 m³/s lo que corresponde a un error del 8% respecto del rango de caudales observados. El mal ajuste acusado por los indicadores de bondad, es consecuencia de los problemas ya mencionados en la estación río Claro en Camarico, acentuado además por el hecho de que en la simulación efectuada los canales Maule Norte Alto y Maule Norte Bajo no están conduciendo la suficiente cantidad de agua hacia los sectores de riego del río Lircay debido a que el embalse Colbún permanece más bajo que lo observado, situación que limita la extracción de estos canales.

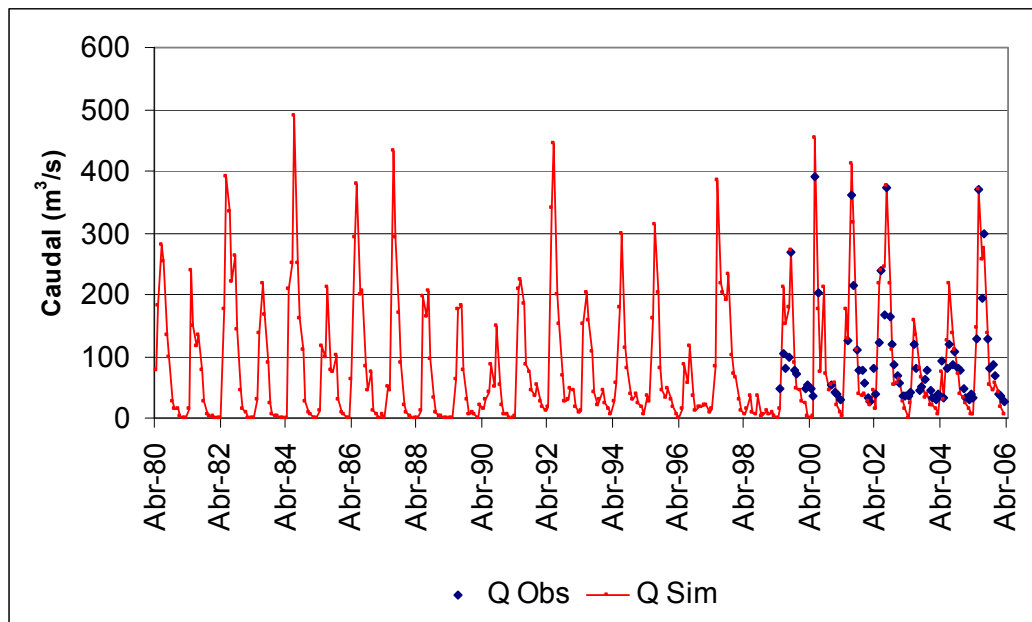
**FIGURA 4.3.1-3
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-471: RÍO CLARO EN TALCA**



Fuente: Elaboración Propia

- d) Río Claro en Rauquén (NO-136):** En la Figura 4.3.1-4 se muestran las estadísticas simuladas versus las observadas en esta estación. La situación es similar a las dos estaciones anteriores, sin embargo, en el periodo en el que se cuenta con estadísticas el ajuste a los caudales extremos, pese a que mejora, sigue siendo deficiente. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran un mejor ajuste, alcanzando un coeficiente de eficiencia de 0,81. El error medio absoluto es de 29,04 m³/s lo que corresponde a un error del 8% respecto del rango de caudales observados. La mejoría en el ajuste se debe a los afloramientos de flujo subterráneo definidos en el sector.

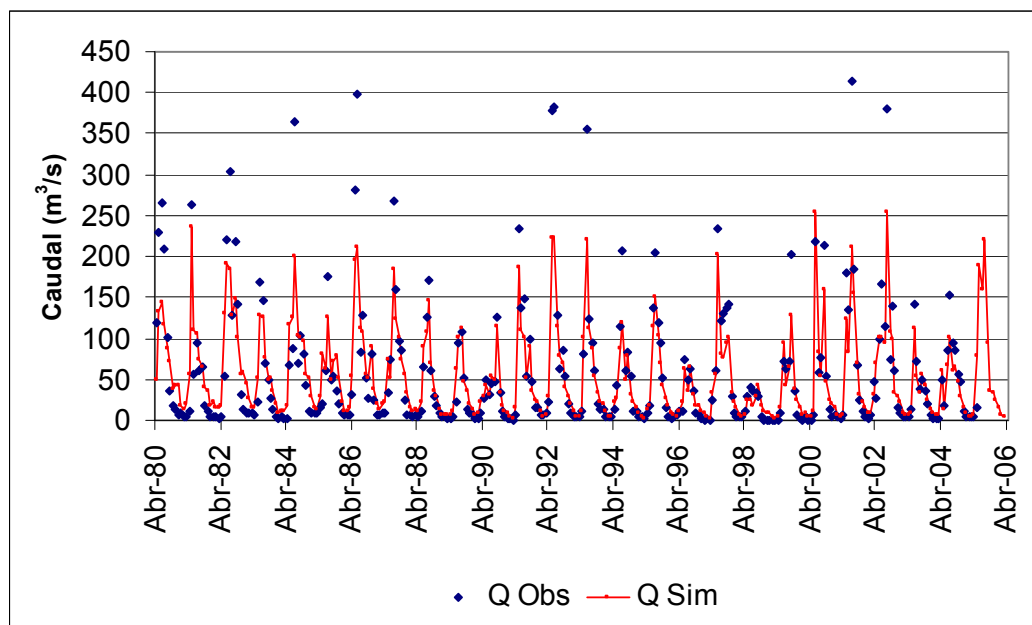
FIGURA 4.3.1-4
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-136: RÍO CLARO EN RAUQUÉN



Fuente: Elaboración Propia

- e) **Río Perquilauquén en Quella (NO-466):** En la Figura 4.3.1-5 se muestran las estadísticas simuladas versus las observadas en esta estación. Se observa un buen ajuste entre la curva de caudales simulados y los caudales observados pero con dificultades para reproducir los caudales peaks. El ajuste a los caudales bajos es también muy bueno. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran un ajuste aceptable, alcanzando un coeficiente de eficiencia de 0,80. El error medio absoluto es de 20,81 m³/s lo que corresponde a un error del 5% respecto del rango de caudales observados. En general, las 2 estaciones ubicadas en los ríos Loncomilla y 1 en el Perquilauquén muestran un buen ajuste a los caudales observados.

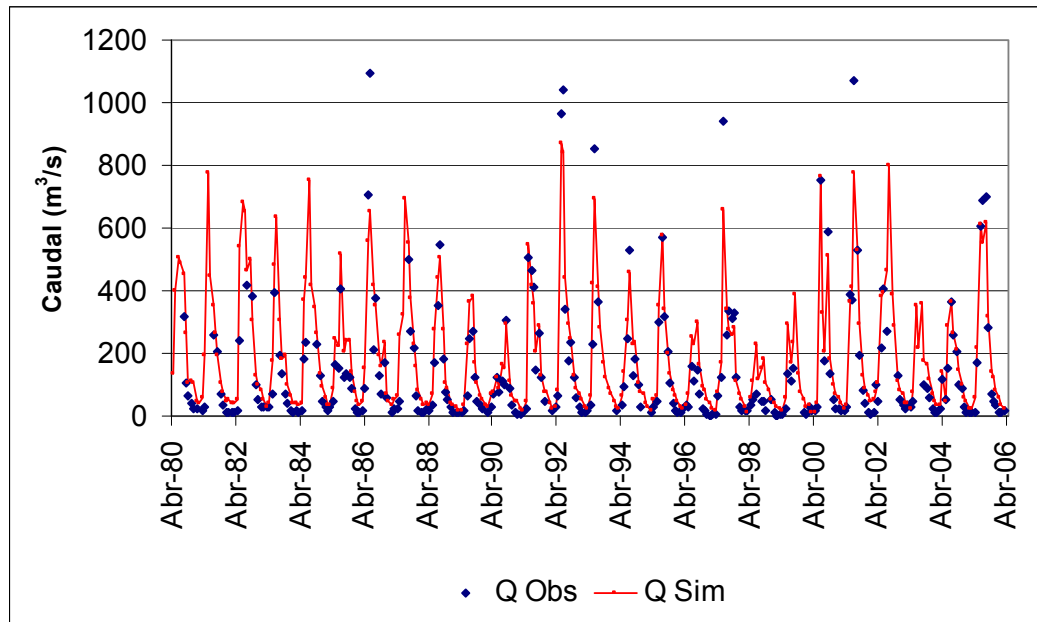
**FIGURA 4.3.1-5
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-466: RÍO PERQUILAUQUÉN EN QUELLA**



Fuente: Elaboración Propia

- f) **Río Loncomilla en Bodega (NO-467):** La Figura 4.3.1-6 muestra las estadísticas simuladas versus las observadas en esta estación. Se observa un buen ajuste entre la curva de caudales simulados y los caudales observados pero con dificultades para reproducir los caudales peaks. En el periodo 1980-1985 se observa sobrestimación de los peaks de invierno y desde 1986 en adelante la subestimación de esos peaks ocurre con mayor frecuencia. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran un buen ajuste, alcanzando un coeficiente de eficiencia de 0,84. El error medio absoluto es de 52,61 m³/s lo que corresponde a un error del 5% respecto del rango de caudales observados.

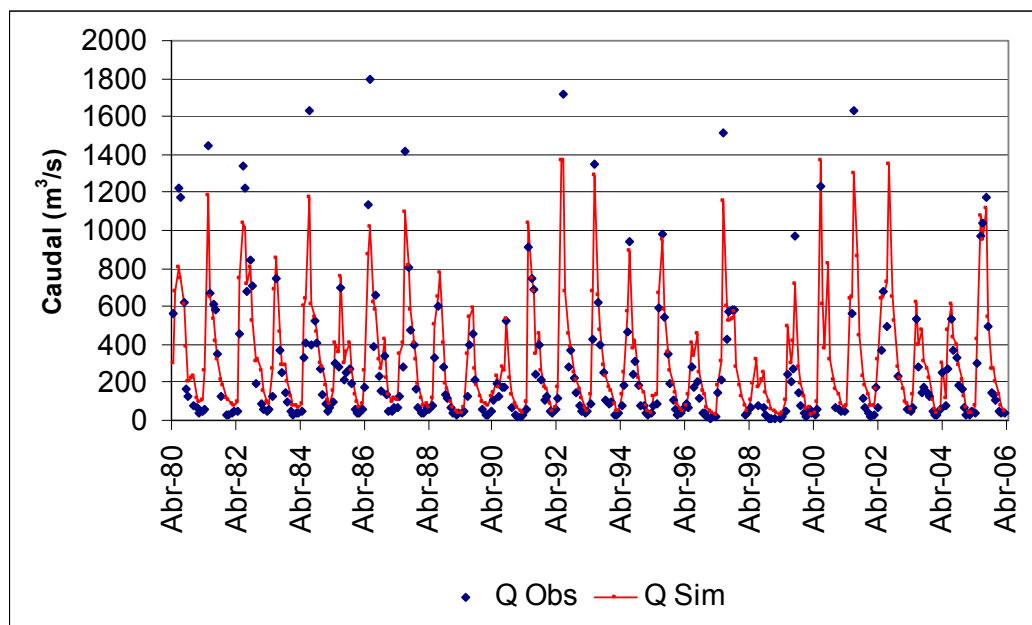
**FIGURA 4.3.1-6
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-467: RÍO LONCOMILLA EN BODEGA**



Fuente: Elaboración Propia

- g) Río Loncomilla en Las Brisas (NO-469):** Esta estación es la última en el río Loncomilla antes de desembocar en el río Maule. En la Figura 4.3.1-7 se muestran las estadísticas simuladas versus las observadas en esta estación. De igual forma que en las 2 estaciones anteriores, se observa un buen ajuste entre la curva de caudales simulados y los caudales observados pero con ciertas dificultades para reproducir los caudales peaks. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran un buen ajuste, siendo el coeficiente de eficiencia de 0,87 el segundo mejor valor dentro de todas las estaciones consideradas. El error medio absoluto es de 83,31 m³/s lo que corresponde a un error del 5% respecto del rango de caudales observados.

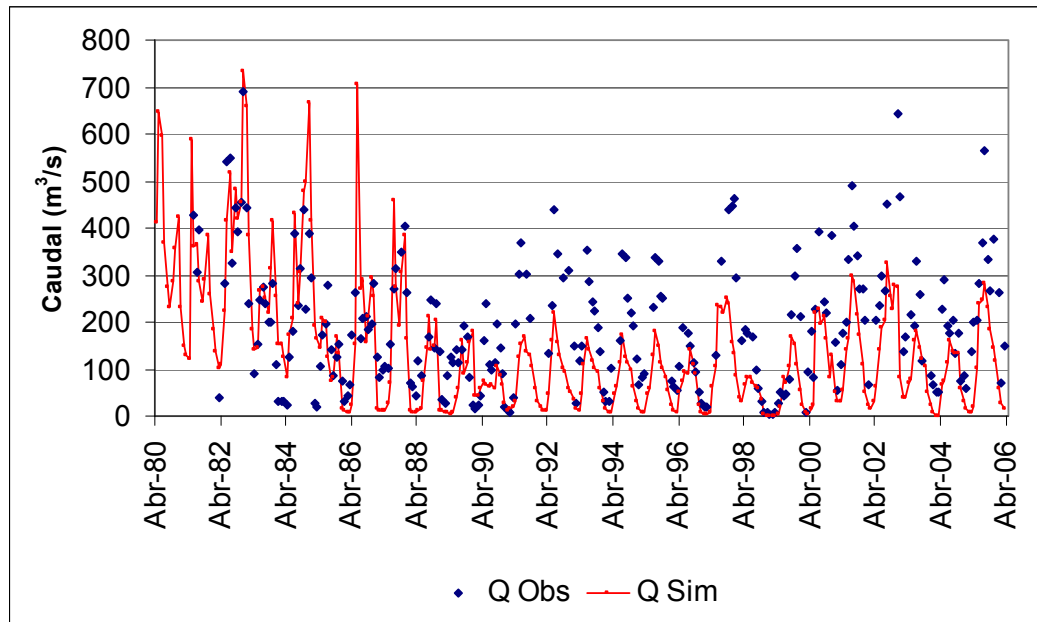
**FIGURA 4.3.1-7
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-469: RÍO LONCOMILLA EN LAS BRISAS**



Fuente: Elaboración Propia

- h) Río Maule en Longitudinal (NO-017):** En la Figura 4.3.1-8 se muestran las estadísticas simuladas versus las estadísticas observadas en esta estación. Esta estación constituye el peor ajuste dentro de todas las estaciones de calibración consideradas. No existe correspondencia entre caudales observados y simulados, ni siquiera una reproducción de la tendencia observada. La información recogida de la DGA indica que esta estación es confiable. Además, como los caudales simulados por el modelo en este sector dependen casi exclusivamente del comportamiento del embalse Colbún (entregas al río Maule y a la Central Machicura), es que el ajuste es deficitario ya que no fue posible calibrar los embalses en forma adecuada, tal como se indica posteriormente en el Acápito 4.3.2. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran un coeficiente de eficiencia de 0,27. El error medio absoluto es de 88,49 m³/s lo que corresponde a un error del 13% respecto del rango de caudales observados.

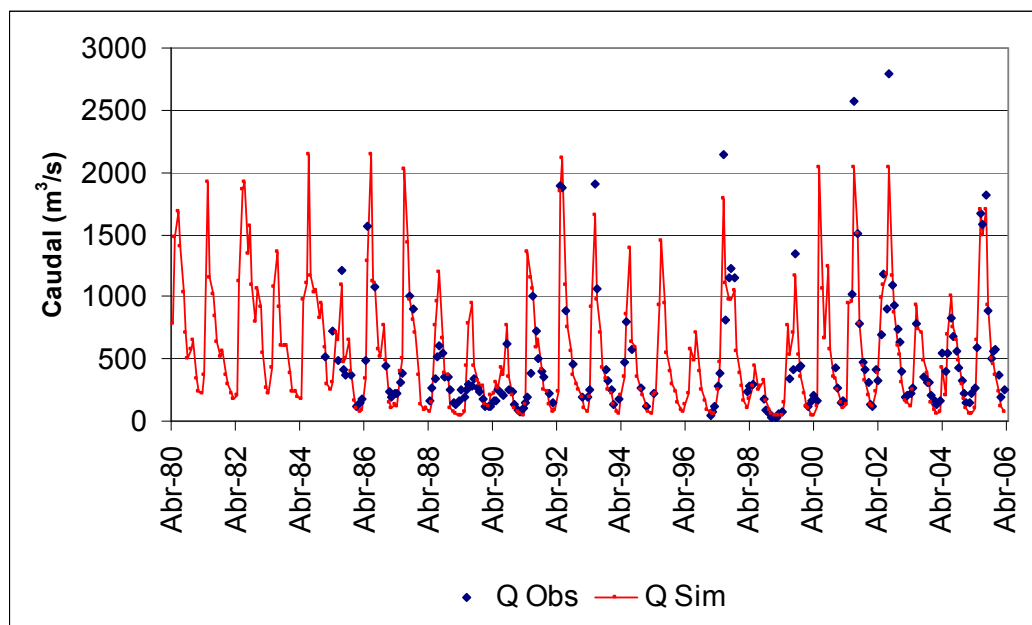
FIGURA 4.3.1-8
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-017: RÍO MAULE EN LONGITUDINAL



Fuente: Elaboración Propia

- i) **Río Maule en Forel (NO-357):** Esta estación corresponde a la última con que se cuenta en el río Maule antes de su salida al mar; se encuentra ubicada aguas arriba de la ciudad de Constitución. En la Figura 4.3.1-9 se muestran las estadísticas simuladas versus las estadísticas observadas en esta estación. Pese al pésimo nivel de ajuste alcanzado en la estación Maule en Longitudinal, se observa en Maule en Forel un ajuste aceptable, evidenciando esto la importancia que tienen los caudales del río Loncomilla en los caudales observados a la salida de la cuenca del río Maule. Algunos peaks de invierno se subestiman, otros se subestiman. Los caudales bajos simulados son más altos que los observados la mayor parte del periodo simulado. Los indicadores del Cuadro 4.3.1-1 muestran un coeficiente de eficiencia de 0,83. El error medio absoluto es de 121,55 m³/s lo que corresponde a un error del 4% respecto del rango de caudales observados.

**FIGURA 4.3.1-9
RESULTADOS CALIBRACIÓN
NO-357: RÍO MAULE EN FOREL**



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 EMBALSES DE CALIBRACIÓN

A excepción del embalse Digua, todos los demás embalses muestran indicadores de ajuste de la calibración deficientes. No fue posible obtener una mejor reproducción de los niveles observados, debido principalmente a la falta de información histórica respecto al balance de los embalses. Otro elemento que debe considerarse, es que los embalses que consideran uso hidroeléctrico, la demanda no es de origen local, sino que de origen externo, ya que viene dado por las demandas al sistema interconectado central (SIC).

Los valores de indicadores de bondad de ajuste se presentan a modo referencial, dado que el análisis se refiere principalmente a la tendencia simulada respecto de la observada. El Cuadro 4.3.2-1 presenta los indicadores de calibración obtenidos para cada embalse.

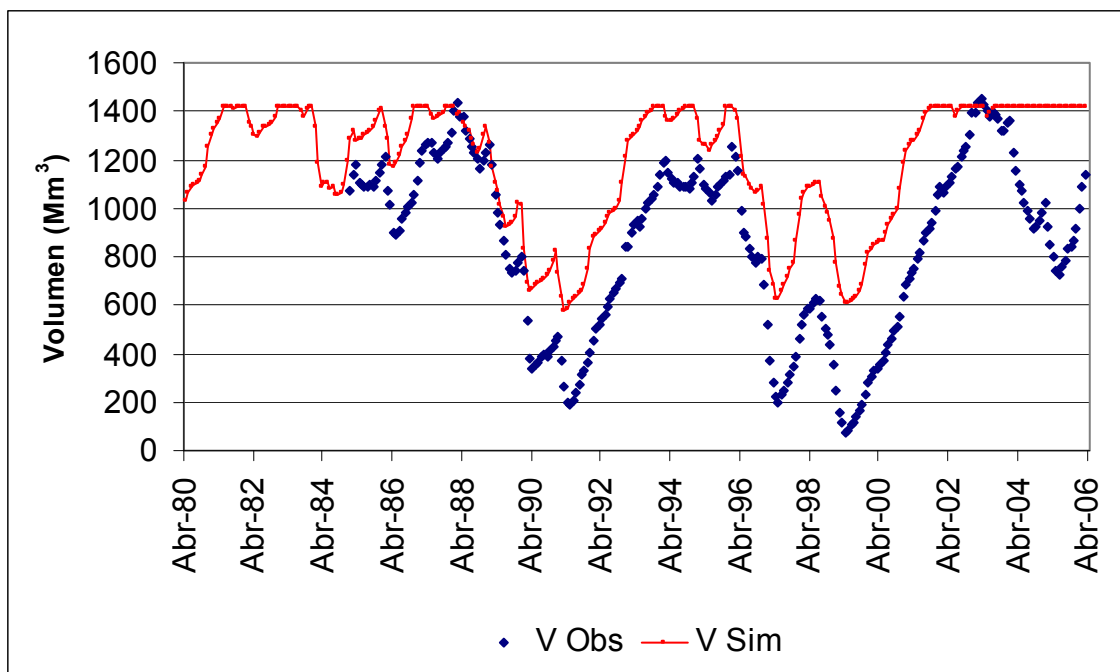
**CUADRO 4.3.2-1
RESULTADOS PROCESO DE CALIBRACIÓN: EMBALSES**

Parámetros	Embalses						
	EM-01	EM-02	EM-03	EM-04	EM-06	EM-07	EM-08
Razón de Masas	1,37	0,99	1,02	0,81	1,08	0,89	0,81
Razón de Varianzas	0,43	1,00	0,95	0,71	0,96	0,97	0,93
Coefficiente de Eficiencia (Nash & Sutcliffe)	0,05	-0,26	-0,61	-1,01	0,54	0,76	0,26
Eficiencia en Flujos Bajos	0,18	-0,14	-0,57	-1,01	0,36	0,69	-1,02
Eficiencia en Flujos Altos	0,07	-0,24	-0,59	-1,36	0,58	0,73	0,21
RMS (Mm ³)	355,20	66,08	10,83	430,16	15,09	39,67	3,96
RMS Normalizado	0,26	0,39	0,32	0,33	0,24	0,17	0,28
MAE (Mm ³)	315,85	51,26	8,47	337,30	11,08	28,48	2,94
MAE Normalizado	0,23	0,30	0,25	0,26	0,18	0,13	0,20
RMS/MAE	1,12	1,29	1,28	1,28	1,36	1,39	1,35

Fuente: Elaboración Propia

a) Embalse Laguna del Maule (EM-01): La Figura 4.3.2-1 presenta gráficamente los volúmenes simulados y los observados. No existe ajuste alguno entre ambas series de datos pero se observa que se logra reproducir la tendencia observada en los volúmenes históricos registrados. La principal dificultad para calibrar el embalse es la falta de información respecto al balance histórico: se conocen las salidas pero no se tiene seguridad de los caudales de entrada ni de las filtraciones que podrían estar ocurriendo.

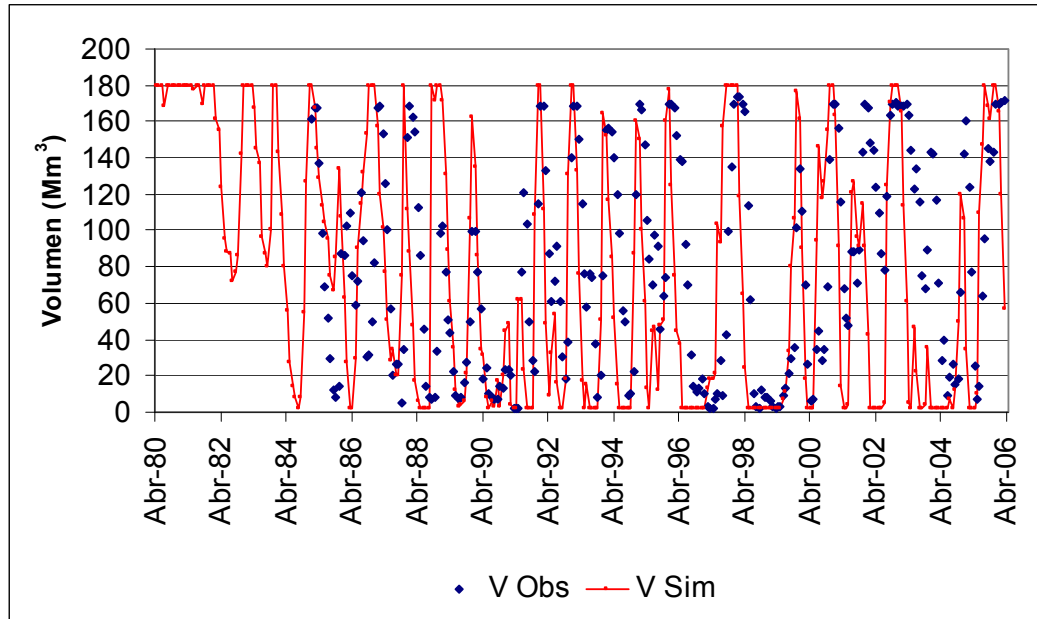
**FIGURA 4.3.2-1
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-01: EMBALSE LAGUNA DEL MAULE**



Fuente: Elaboración Propia

b) Embalse Laguna La Invernada (EM-02): La Figura 4.3.2-2 presenta gráficamente los volúmenes simulados y los observados en este embalse. No se logra reproducir el comportamiento observado. Las principales dificultades tienen que ver con la falta de información del balance del embalse. La salida más importante de este embalse es la entrega para la Central Cipreses; ésta fue estimada en función de la estadística de energía (en GWh) generados por la central, pero el método en sí trae asociada también cierta incertidumbre. La curva de filtraciones adoptada también resulta dudosa; se estimó en función de caudales de filtración citados en el estudio de la Ref. 4, sin embargo, los autores del estudio cuestionaron el uso de esa información por considerar demasiado altos los caudales.

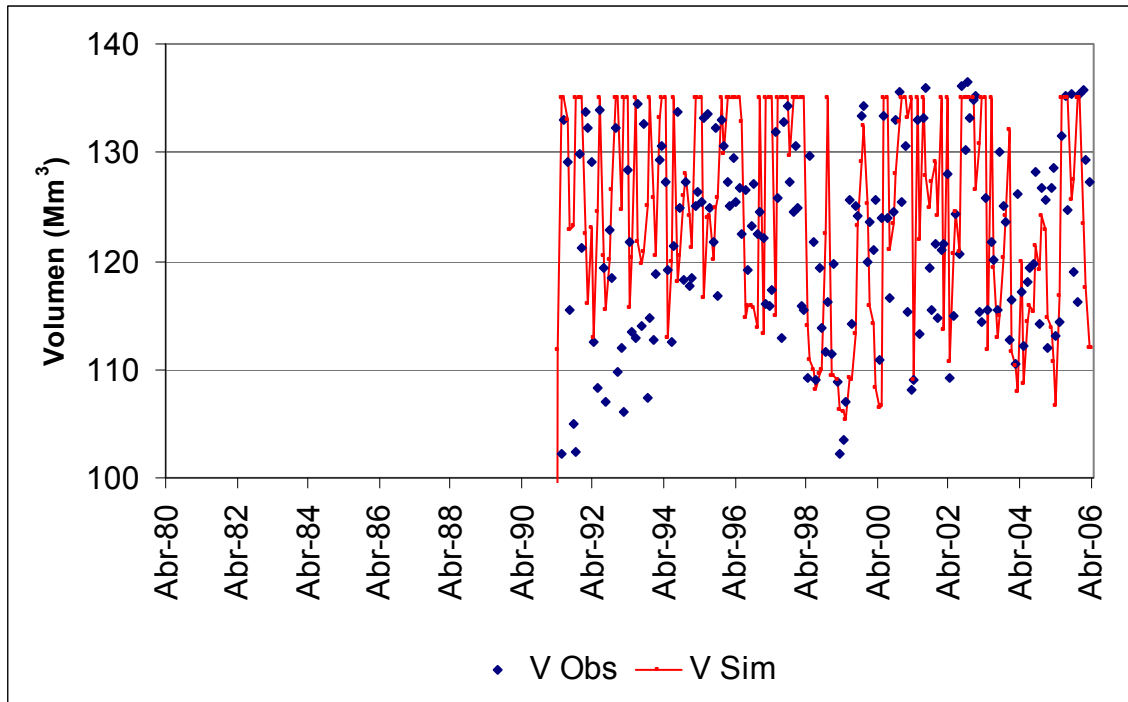
**FIGURA 4.3.2-2
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-02: EMBALSE LAGUNA LA INVERNADA**



Fuente: Elaboración Propia

c) Embalse Melado (EM-03): La Figura 4.3.2-3 presenta gráficamente los volúmenes simulados versus los observados en este embalse. No se logra reproducir el comportamiento observado. Las principales dificultades tienen que ver con la falta de información respecto del balance del embalse. No se pudo acceder a una estadística histórica del canal Alimentador Melado ni tampoco del canal Melado que trasvasa caudales importantes hacia la cuenca del río Ancoa. Los caudales de entrega para la Central Pehuenche debieron ser estimados en función de la estadística de energía generados por la central, pero el método en sí trae asociada también cierta incertidumbre, tal como fue indicado anteriormente.

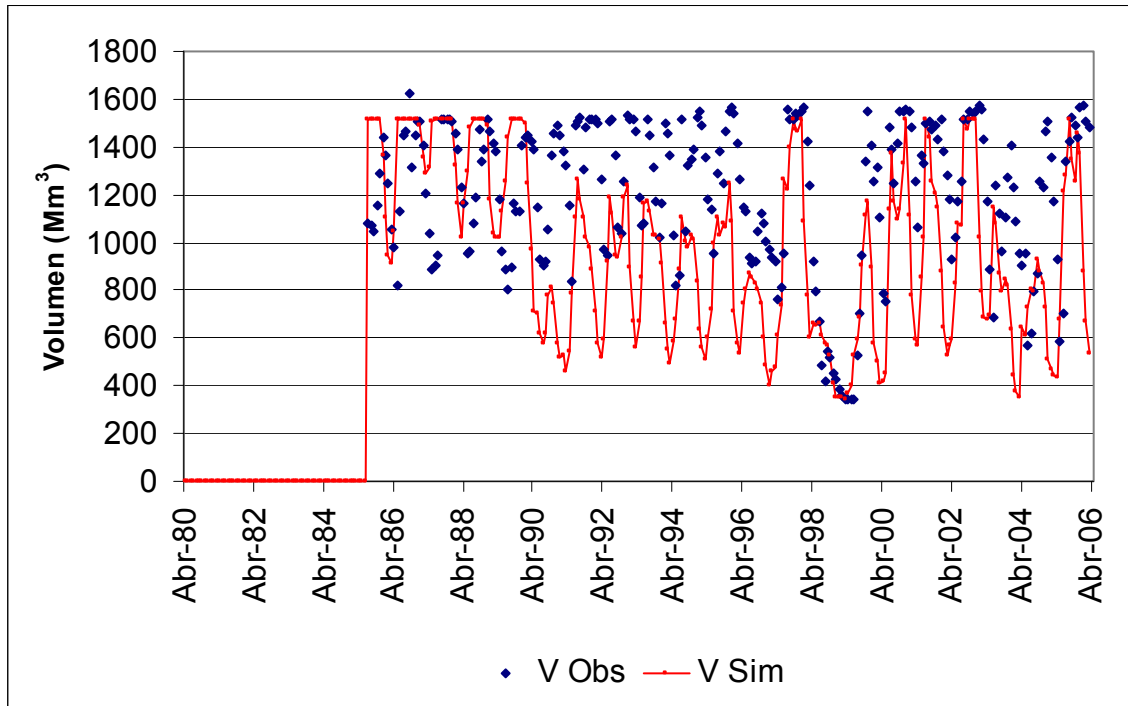
**FIGURA 4.3.2-3
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-03: EMBALSE MELADO**



Fuente: Elaboración Propia

d) Embalse Colbún (EM-04): La Figura 4.3.2-4 presenta gráficamente los volúmenes simulados versus los observados en este embalse. Existe cierta similitud de tendencias pero no se logra reproducir el comportamiento observado. Las principales dificultades tienen que ver con la falta de información respecto del balance del embalse. Colbún S.A. facilitó información de los balances de los embalses Colbún y Machicura para el periodo 1991-2007, sin embargo, existían contradicciones en los caudales registrados. No se pudo acceder a una estadística completa de las extracciones de los canales Maule Norte Alto, Maule Norte bajo y Maule Sur; los caudales captados por estos canales son significativos y afectan fuertemente a los volúmenes embalsados. También afecta el mal ajuste logrado en Laguna del Maule.

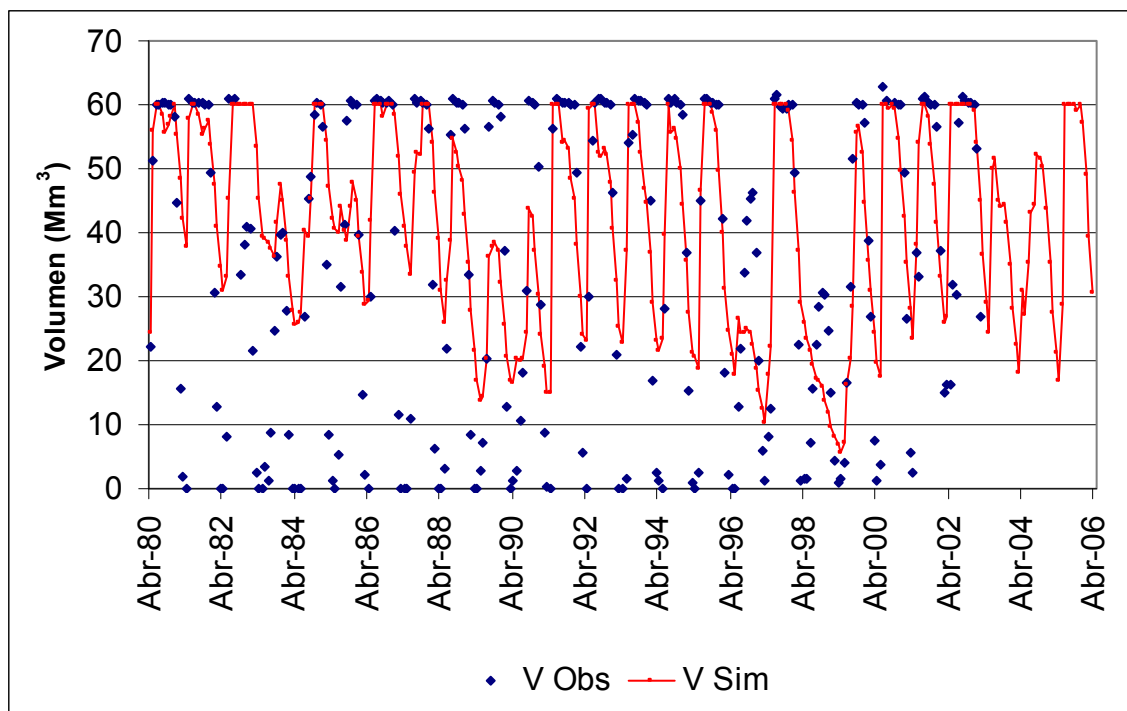
**FIGURA 4.3.2-4
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-04: EMBALSE COLBÚN**



Fuente: Elaboración Propia

e) Embalse Bullileo (EM-06): La Figura 4.3.2-5 presenta gráficamente los volúmenes simulados versus los observados en este embalse. Se logra obtener cierta similitud entre las tendencias de ambas series de datos, sin embargo los volúmenes simulados no alcanzan los mínimos observados. La ausencia de estadísticas de los caudales entregados en el periodo completo simulado impidió lograr un mejor ajuste.

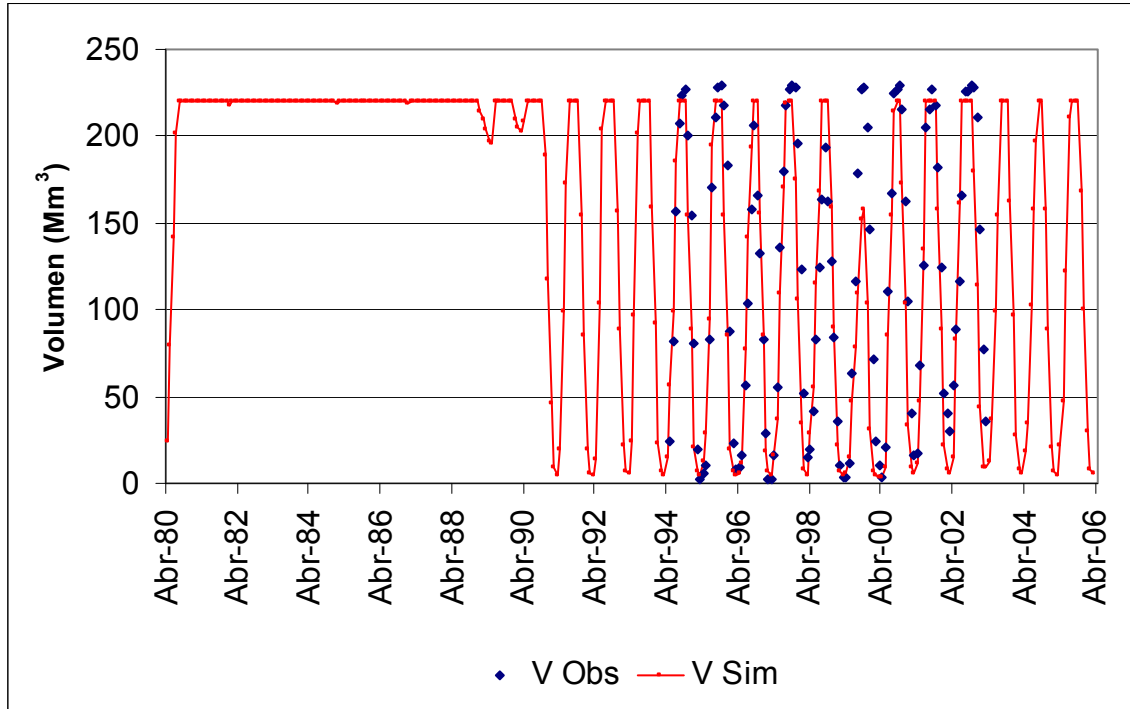
**FIGURA 4.3.2-5
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-06: EMBALSE BULLILEO**



Fuente: Elaboración Propia

f) Embalse Digua (EM-07): La Figura 4.3.2-6 muestra el gráfico de volúmenes simulados versus observados. Se logra representar muy bien el comportamiento de volúmenes embalsados en el periodo simulado. En este embalse tampoco se contó con datos del balance para todo el periodo simulado, sin embargo, se obtuvo un excelente ajuste, pese a no haber impuesto estadísticas de caudales de entrada o salida.

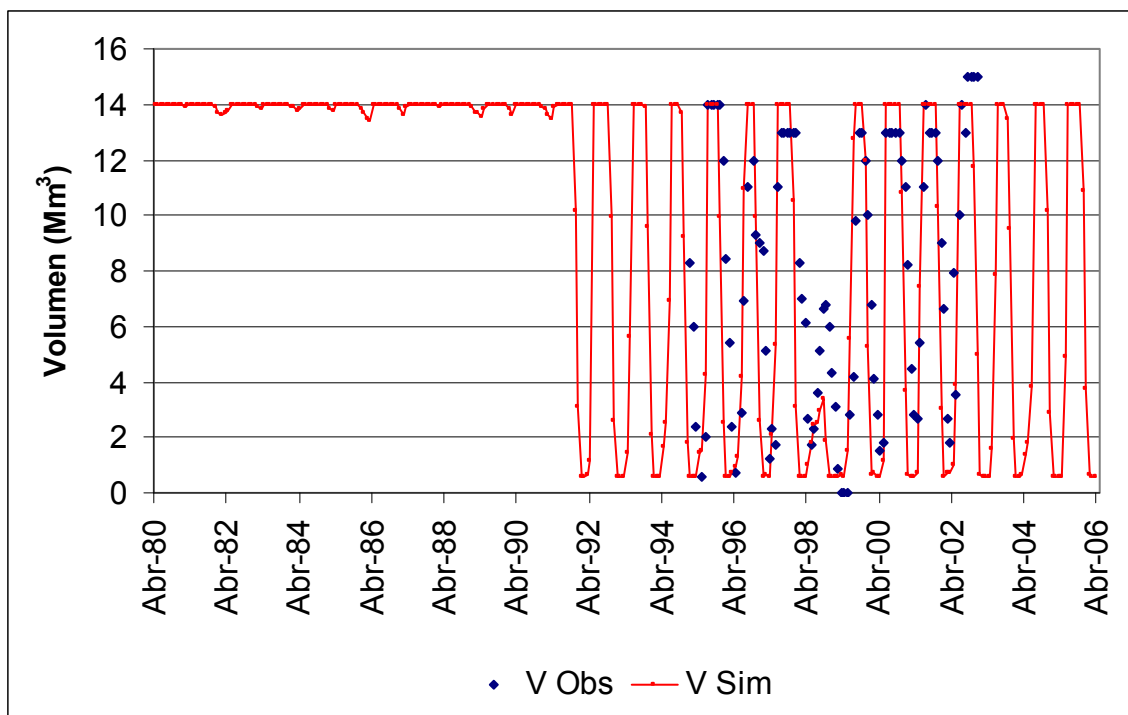
**FIGURA 4.3.2-6
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-07: EMBALSE DIGUA**



Fuente: Elaboración Propia

g) Embalse Tutuvén (EM-08): La Figura 4.3.2-7 muestra el gráfico de volúmenes simulados versus observados. Se logra representar en forma aceptable las tendencias observadas en los volúmenes embalsados en el periodo simulado. En este embalse tampoco se contó con datos del balance para todo el periodo simulado, sin embargo, se obtuvo un buen ajuste, pese a no haber impuesto estadísticas de caudales de entrada o salida.

**FIGURA 4.3.2-7
RESULTADOS CALIBRACIÓN
EM-08: EMBALSE TUTUVÉN**



Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL VOLUMEN DEL SISTEMA ACUÍFERO

Con el fin de complementar el análisis presentado anteriormente, se presente un análisis de la variación del volumen del sistema acuífero en el área de estudio. Para esto se analizó la variación del volumen mensual de cada sector acuífero normalizado (con respecto al volumen máximo). De esta forma se preparó el Cuadro 4.3.3-1 en el que se muestra para cada uno de los sectores acuíferos el valor medio para el período de análisis y los valores máximos y mínimos de este valor para la serie de tiempo.

Los resultados presentados en el Cuadro 4.3.3-1 muestran que todos los sectores acuíferos se encuentran completamente saturados en algún momento, ya que el valor máximo para todos ellos es igual a 1. Adicionalmente, se observa que en promedio los sectores de acuíferos se encuentran llenos un 81,5% del tiempo, aunque es necesario indicar que no necesariamente al mismo tiempo. El caso del sector acuífero 15, el cual se encuentra lleno sólo un 1,0% del tiempo, pero su nivel

mínimo de llenado alcanza a 0,92, lo que ocurre es que la diferencia entre el volumen más frecuente y el máximo es muy pequeño. Una situación similar a esta ocurre en el sector acuífero 22.

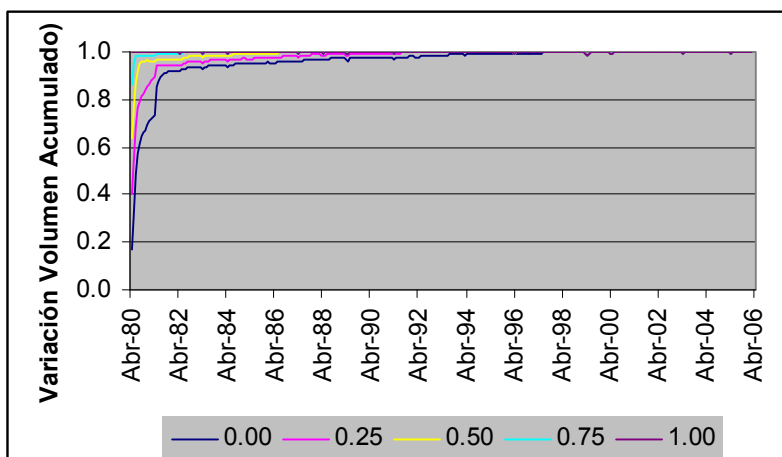
**CUADRO 4.3.3-1
VOLÚMENES RELATIVOS AL TOTAL
SECTORES ACUÍFEROS**

Sector Acuífero	Máximo	Promedio	Mínimo	Tiempo Acuífero Completo (%)
AC-01	1,00	0,95	0,47	74,0
AC-02	1,00	1,00	0,84	98,1
AC-03	1,00	0,98	0,52	88,5
AC-04	1,00	0,97	0,07	65,4
AC-05	1,00	0,99	0,62	93,9
AC-06	1,00	0,97	0,14	92,6
AC-07	1,00	0,99	0,16	97,4
AC-08	1,00	0,98	0,07	95,2
AC-09	1,00	1,00	0,25	98,4
AC-10	1,00	0,99	0,11	92,0
AC-11	1,00	1,00	1,00	100,0
AC-12	1,00	1,00	0,92	98,1
AC-13	1,00	1,00	1,00	100,0
AC-14	1,00	1,00	0,97	96,2
AC-15	1,00	1,00	0,92	1,0
AC-16	1,00	1,00	1,00	100,0
AC-17	1,00	1,00	1,00	100,0
AC-18	1,00	0,73	0,01	16,7
AC-19	1,00	1,00	1,00	100,0
AC-20	1,00	0,90	0,01	44,6
AC-21	1,00	1,00	1,00	100,0
AC-22	1,00	1,00	0,79	1,9
AC-23	1,00	0,96	0,54	84,6
AC-24	1,00	1,00	0,50	99,7
AC-25	1,00	1,00	1,00	100,0
Mínimo	1,00	0,73	0,01	1,0
Promedio	1,00	0,98	0,60	81,5
Máximo	1,00	1,00	1,00	100,0

Fuente: Elaboración Propia

Por último se presenta la Figura 4.3.3-1 que muestra la evolución del volumen almacenado para todo el acuífero para diferentes condiciones iniciales del volumen en el acuífero: 0%, 25%, 50%, 75% y 100%.

FIGURA 4.3.3-1
VARIACIÓN VOLUMEN ACUMULADO
SECTOR ACUÍFERO ASOCIADO AL RÍO MAULE



Fuente: Elaboración Propia

A partir de la información representada en la Figura 4.3.3-1 se calculó el porcentaje del tiempo que el acuífero se encuentra completamente lleno para diferentes valores de la condición inicial, desde sectores acuíferos completamente vacíos hasta sectores acuíferos llenos. Esta información se muestra en el Cuadro 4.3.3-2. Adicionalmente en este cuadro se muestra el volumen acumulado en el acuífero para las diferentes condiciones iniciales. La información anterior muestra que el volumen inicial considerado para los sectores acuíferos es importante para definir lo que pasa al principio del período, pero que cuando se considera el período de análisis como un todo, su importancia es mínima.

CUADRO 4.3.3-2
VARIACIÓN VOLUMEN ACUMULADO
ACUÍFERO ASOCIADO AL RÍO MAULE

Volumen Inicial (%)	Tiempo a Volumen Lleno (%)	Volumen Acumulado (%)
0	14,1	95,6
25	19,9	97,6
50	28,2	98,9
75	36,9	99,6
100	42,3	99,9

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA A LOS SECTORES ACUÍFEROS

Un último elemento considerado para el análisis es relativo a los flujos de entrada y salida a los sectores acuíferos. Con este fin se evaluó para cada sector acuífero los caudales máximos, promedio, y mínimos de entrada y salida a cada uno de ellos. Estos flujos se presentan en el Cuadro 4.3.4-1. Es importante notar la gran diferencia entre estos flujos, lo que se explica dado que parte del flujo se almacena en cada sector acuífero, y parte es entregado como bombeo.

**CUADRO 4.3.4-1
CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA
SECTORES ACUÍFEROS**

Sector Acuífero	Entrada (m ³ /s)			Salida (m ³ /s)		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
AC-01	7,71	1,07	0,00	0,11	0,08	0,00
AC-02	68,30	10,75	0,07	0,34	0,34	0,17
AC-03	20,84	3,20	0,00	0,18	0,17	0,08
AC-04	64,48	10,69	0,03	2,67	2,57	0,15
AC-05	110,46	20,77	0,31	0,59	0,58	0,27
AC-06	24,12	3,05	0,01	0,00	0,00	0,00
AC-07	66,52	18,56	2,66	3,21	3,18	0,39
AC-08	63,70	14,10	1,47	0,29	0,29	0,07
AC-09	89,59	17,94	0,22	0,21	0,21	0,05
AC-10	21,66	4,05	0,10	0,64	0,64	0,17
AC-11	101,12	19,33	1,19	0,25	0,25	0,13
AC-12	90,00	15,39	0,55	0,97	0,96	0,48
AC-13	63,49	9,64	0,33	0,23	0,23	0,11
AC-14	78,30	9,20	0,00	0,06	0,05	0,03
AC-15	90,26	15,65	0,64	1,27	1,27	0,64
AC-16	80,08	13,10	0,76	0,18	0,18	0,09
AC-17	23,23	6,50	0,66	0,04	0,04	0,02
AC-18	4,38	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00
AC-20	1,20	0,29	0,00	0,03	0,03	0,00
AC-21	21,87	4,81	0,56	0,00	0,00	0,00
AC-22	22,93	6,00	0,98	0,17	0,17	0,09
AC-23	5,30	0,87	0,00	0,12	0,11	0,01
AC-24	17,79	5,30	1,22	0,03	0,03	0,02
AC-25	31,58	10,99	2,23	0,00	0,00	0,00
Mínimo	1,20	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	48,70	9,25	0,58	0,48	0,47	0,12
Máximo	110,46	20,77	2,66	3,21	3,18	0,64

Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de analizar más detalladamente el efecto de los flujos de entrada y salida, se calculó para cada sector acuífero la diferencia entre el flujo de entrada y el de salida, tal como se muestra en el Cuadro 4.3.4-2. Tal como se observa, en algunos sectores acuíferos se observa vaciado del mismo. Esto se debe principalmente a los episodios de sequía que frecuentemente se presentan lo que disminuye las recargas al sistema en forma importante.

**CUADRO 4.3.4-2
VARIACIÓN FLUJOS ENTRADA SALIDA
SECTORES ACUÍFEROS**

Sector Acuífero	Diferencia (m ³ /s)		
	Máximo	Promedio	Mínimo
AC-01	7,60	0,99	-0,02
AC-02	67,96	10,41	-0,24
AC-03	20,67	3,03	-0,15
AC-04	61,81	8,11	-2,51
AC-05	109,87	20,19	0,04
AC-06	24,11	3,04	0,00
AC-07	63,32	15,39	-0,53
AC-08	63,42	13,81	1,18
AC-09	89,37	17,73	0,01
AC-10	21,02	3,41	-0,53
AC-11	100,87	19,08	0,94
AC-12	89,04	14,42	-0,37
AC-13	63,26	9,42	0,11
AC-14	78,25	9,14	-0,05
AC-15	88,99	14,39	-0,57
AC-16	79,91	12,92	0,58
AC-17	23,19	6,47	0,62
AC-18	4,37	0,76	0,00
AC-20	21,87	4,81	0,56
AC-21	22,76	5,83	0,80
AC-22	5,18	0,76	-0,09
AC-23	17,76	5,26	1,19
AC-24	1,17	0,26	-2,51
AC-25	48,95	8,68	0,04
Mínimo	109,87	20,19	1,19
Promedio	7,60	0,99	-0,02
Máximo	67,96	10,41	-0,24

Fuente: Elaboración Propia

Es importante hacer notar la gran diferencia entre los flujos entre cada sector acuífero. En el cuadro anterior se observa que la diferencia entre los flujos varía entre -2,5 y 119,9 m³/s. Esto se debe fundamentalmente a la ubicación de los sectores acuíferos y a su composición, constitución y su uso.

4.4 CONCLUSIONES DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN

Respecto de la calibración efectuada del modelo MAGIC-Maule se puede decir que se alcanzó una reproducción aceptable de los caudales observados en las estaciones fluviométricas utilizadas como referencia. Los mejores ajustes se alcanzaron en la estación Maule en Armerillo y en las estaciones de los ríos Loncomilla y Perquilauquén. La estación Maule en Forel, última estación antes de la salida al mar del río Maule, también alcanzó una calibración aceptable (coeficiente de eficiencia de 0,83).

En particular, la estación fluviométrica Maule en Longitudinal muestra un mal ajuste a los caudales observados. Esto se debe en gran medida a que no se contó con la suficiente información que permitiera conocer las entregas del embalse Colbún hacia el río Maule en todo el periodo simulado. Esta situación muestra la gran importancia que tiene el contar con información confiable de la operación de los embalses en cuencas como la del río Maule, donde se tienen tantos embalses y con volúmenes tan significativos. Sin esa información resulta muy difícil la construcción de un modelo que permita evaluar adecuadamente diversos escenarios de análisis.

El mal ajuste observado en la estación Maule en Longitudinal es amortiguado por los caudales aportados por la subcuenca del río Loncomilla, los cuales alcanzaron un excelente ajuste y prácticamente doblan en magnitud a los caudales del río Maule, permitiendo alcanzar un ajuste bastante aceptable en la estación Maule en Forel. También influyen en el buen resultado obtenido en Maule en Forel los afloramientos subterráneos y los derrames desde zonas de riego, los cuales terminan de amortiguar la deficiente calibración en Maule en Longitudinal. De esto se concluye que los caudales observados en la salida de la cuenca del río Maule son explicados en gran medida por los caudales aportados por el río Loncomilla y sus afluentes.

La calibración de los embalses requirió la mayor parte de los esfuerzos de este estudio y pese a ello no fue posible acercarse lo suficiente a los volúmenes observados en los embalses más importantes. El embalse Digua, embalse de riego ubicado en la subcuenca del río Loncomilla, constituye una excepción entre los demás embalses calibrados ya que en él se alcanzó una buena calibración (coeficiente de eficiencia de 0,81), lo cual indica una correcta generación de las estadísticas de caudales aportantes y una buena estimación de las demandas de los sectores de riego que debe abastecer. Sin embargo, la calibración en los embalses Laguna del Maule, Laguna La Invernada, Melado, Colbún, Bullileo y Tutuvén se considera deficiente.

No fue posible representar satisfactoriamente la operación de las centrales hidroeléctricas (representadas en el modelo a través de captaciones puntuales) debido a que en muchos meses los aportes y demandas sobre los embalses no permitían extraer todo el caudal demandado para este uso. Existe también cierta

incertidumbre en los caudales adoptados como demanda para generación de hidroelectricidad ya que dicha estadística no proviene de balances de embalses sino que se calculan indirectamente a partir de la estadística de GWh generados por cada central.

En resumen, se puede concluir que el modelo obtenido se encuentra limitado en su aplicación debido principalmente a la poca información disponible de la operación de los embalses en el periodo considerado para la simulación. Esta situación se acentúa en el río Maule, aguas arriba del embalse Colbún, incluyendo los sectores abastecidos por los canales Maule Norte Alto, Maule Norte Bajo, Maule Sur y canal Machicura. La subcuenca de los ríos Claro y Lircay, además de verse afectada por las entregas deficientes de los canales Maule Norte Alto y Bajo (debido a que en la simulación durante muchos meses el embalse Colbún no tiene el volumen suficiente de agua para entregar los caudales necesarios), se ve afectada también por la insuficiente información respecto a las demandas de riego reales del sector (áreas cultivadas y tipos de cultivo). La subcuenca del río Loncomilla y sus afluentes no se ve muy afectada por el mal funcionamiento en el modelo de estos embalses, por lo que es una mejor área para evaluar distintas medidas a través del modelo; los embalses existentes en esta subcuenca tienen un mejor comportamiento en el modelo y no tienen volúmenes tan significativos como el embalse Colbún o Laguna del Maule. El sector en el río Maule, aguas abajo de la confluencia con el río Loncomilla, también se presenta apto para evaluar, a través del modelo, distintas medidas que pudieran interesar en la región.

En lo que respecta al acuífero en su totalidad se tiene que la condición inicial considerada tiene un efecto poco importante por sobre el comportamiento del sistema. Este efecto se hace notar principalmente durante los primeros 10 años de funcionamiento del sistema, pero ha medida que transcurre el tiempo, la variación del volumen almacenado tiende a ser la misma. Lo anterior permite asegurar que la calibración realizada se ve afectada mínimamente por la condición inicial del acuífero.

Otro análisis realizado con respecto al sistema acuífero, se refiere a los flujos de entrada y salida, los que muestran una gran variabilidad entre estos flujos, lo que puede explicarse entre otras cosas por su composición, constitución y su uso.