



GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO
SECRETARÍA EJECUTIVA

DIVISIÓN ESTUDIOS Y DESARROLLO

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

RESUMEN EJECUTIVO

SANTIAGO, DICIEMBRE 2006

GCF INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

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

EQUIPO PROFESIONAL DEL ESTUDIO

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

Nelson Pereira M.
Gastón Sagredo T.

Juan Pablo Schuster V.

Secretario Ejecutivo.
Coordinador División Estudios y Desarrollo.
Coordinador División Estudios y Desarrollo.

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

Ana María Gangas P.

Mauricio Zambrano B.

Miguel Caro H.

Jefa de Modelación, Departamento de Estudios y Planificación.
Ingeniero de Estudios, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
Ingeniero de Estudios, Departamento de Estudios y Planificación.

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

Félix Pérez S.
Carlos Granifo G.
Guillermo Cabrera F.
Lem Mimica V.
Jorge Guarda.
Marcelo Allende B.
Lorena Bustamante J.
Salomón Vielma P.
Carlos Aranda M.
Manuel Riveros S.

Jefe del Proyecto.
Coordinador del Proyecto.
Asesor del Proyecto.
Especialista Modelación.
Ingeniero de Proyecto.
Ingeniero de Proyecto.
Cartógrafo.
Cartógrafo.
Programador Interfaz SIG MAGIC.
Programador Interfaz SIG MAGIC.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

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

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

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

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

en cuencas no controladas, y que considere la mayor cantidad de información física disponible en el llenado de su base de datos.

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

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

2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES DISPONIBLES

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

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

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

Las 51 tablas de datos que utiliza el programa MAGIC para realizar la simulación de caudales, pueden ser agrupadas en 13 tipos principales según lo indicado en el Cuadro 1. Esta clasificación fue considerada como de referencia durante el análisis de los antecedentes disponibles, procurando identificar la información relevante para cada grupo definido. Se revisaron una serie de publicaciones asociadas a las cuencas de interés, siendo presentadas junto a una breve descripción de las materias, por grupos de cuenca donde pueden ser utilizados.

Se realizó un análisis de suficiencia de información resumiendo los tipos de información cubiertos en cuadros. De esta forma es posible visualizar las áreas de antecedentes que pueden resultar deficitarias en la confección de las bases de datos requeridas.

Cuadro 1. Clasificación Tablas MAGIC por Áreas Temáticas

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

3. ANÁLISIS INTERFAZ SIG-MAGIC

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

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

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

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

- **Correcciones:** son de responsabilidad de la consultoría anterior, ya que se relacionan con aspectos de fondo que apuntan a errores o deficiencias de funciones importantes que se suponían operativas en la actual Interfaz SIG MAGIC.
- **Mejoramientos:** se relaciona con el mejoramiento de aspectos técnicos menores y modificaciones, tal que la Interfaz SIG MAGIC sea más robusta en fondo y amigable en su forma. Esto con la

finalidad de que facilite aún mas el trabajo de ingreso de información, implementación y generación de la topología de los modelos y visualización de los resultados.

El Cuadro 2 resume los aspectos deficitarios de la interfaz SIG MAGIC, que fueron identificados en el análisis realizado y que deben ser resueltos, ya sea de responsabilidad de la consultoría anterior, o como parte de la actual consultoría.

Cuadro 2. Aspectos deficitarios Actual Interfaz SIG MAGIC

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

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

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

4. PROPOSICIÓN Y DESARROLLO CONCEPTUAL DE MEJORAS A INTERFAZ SIG MAGIC.

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

4.1. Mejoras de Deficiencias en la Actual Interfaz SIG MAGIC

Se realizó una reunión de coordinación en la cual se acordó con la inspección y con la consultora que realizó el desarrollo inicial de la Interfaz SIG MAGIC, que esta última se hiciese cargo de las deficiencias identificadas como de su responsabilidad, las cuales fueron detalladas en el Cuadro 1.5, agrupadas bajo el tipo "Correcciones". Por otro lado, aquellas correspondientes a las agrupadas bajo el tipo "Mejoramientos", se propuso acogerlas íntegramente como parte de esta consultoría y que serán abordadas una vez que las deficiencias tipo "Correcciones" sean acogidas de parte de la consultora responsable y aprobadas por la inspección. Finalmente, aquellos mejoramientos sugeridos por la inspección, han sido evaluados en conjunto con el desarrollo de los módulos de calibración y de generación de escorrentía en cuencas no controladas, de manera tal que aquellas labores que han resultado incompatible con los recursos asignados para estos afectos, se plantea abordarlo en etapas futuras de mejoramientos de la Interfaz SIG MAGIC.

4.2. Modulo de Calibración

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

se ha seleccionado aquella que de acuerdo a los recursos disponibles y a los beneficios entregados, es la de mayor conveniencia.

4.3. Modulo de Generación de Caudales

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

No obstante lo anterior, existen algunos aspectos del MPL que pueden ser modificados y mejorados. Se ha desarrollado una metodología basada en el MPL hasta hoy utilizado, que permite simplificar el proceso de calibración de parámetros, mejorar el ajuste entre datos medidos y simulados y asociar a cada parámetro usado, un valor dentro de su rango de variación posible.

Todos los parámetros utilizados por el MPL tienen una interpretación física y por consiguiente, un rango de variación. El problema surge que en la utilización generalizada del MPL, se han perdido las asociaciones físicas correspondientes, priorizándose el ajuste de caudales medidos con simulados, por sobre la coherencia física de los valores de los parámetros. Ese proceder ha posibilitado el adecuado cálculo de escorrentía total, pero al separar entre la escorrentía superficial y la subterránea, se dan casos en que ambas escorrentías resultan del mismo orden de magnitud. Lo anterior se aleja de la realidad, puesto que habitualmente la escorrentía subterránea es de un orden de magnitud menor que el de la superficial.

Otra limitación, es la expresión exponencial usada para el flujo saliente del acuífero; esta ecuación y el parámetro temporal k a menudo determinan escorrentías subterráneas nulas. En la mayoría de los sistemas acuíferos los flujos pasantes son muy estables y los caudales varían muy poco. Luego, una escorrentía subterránea nula, en la práctica, no ocurre. Finalmente, existe un aspecto práctico en el uso del MPL_A, donde se deben ajustar varios parámetros, lo que generalmente lleva asociado un proceso iterativo bastante largo.

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

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

5. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE.

Para la implementación de la interfaz SIG MAGIC en la cuenca del Río Maule, se ha generado la información necesaria a partir de la realización del análisis de suficiencia de información explicado en el punto 2 del presente resumen ejecutivo. En este análisis se ha especificado los antecedentes que son de utilidad para el estudio, ya sea de manera directa o a través de modificaciones, procediendo a organizar y procesar la información existente, tal que cumpla con los requerimientos para la implementación del MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC.

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

El procesamiento de la información compatible con la implementación de MAGIC, se ha realizado considerando la base de datos de MAGIC v2.0 que contiene 51 tablas.

Como resultado del procedimiento anterior, la información generada se resume en lo siguiente:

- **Modelo Digital de Elevación y Red Hídrica:** Generado a partir de la comparación entre uno generado a partir de curvas de nivel existentes v/s el generado a partir del modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Misión) de la NASA disponible a una resolución de 90m.
- **Exploración Geofísica:** Realizada para determinar el espesor del relleno sedimentario y, por lo tanto, la profundidad del basamento rocoso.
- **Acuíferos:** Correspondiente a la determinación de parámetros hidrogeológicos como coeficientes de transmisibilidad, permeabilidad y almacenamiento para cada acuífero, características geométricas y gradiente hidráulico correspondiente.
- **Pozos:** Antecedentes respecto a ubicación, uso del caudal extraído, y distribución mensual de caudales extraídos para cada pozo.

- Canales: Características generales (longitud, capacidad, eficiencia de conducción) y topología.
- Zonas de Riego: Corresponde principalmente a la definición e identificación de las zonas de riego existentes, tipo de cultivo, método de riego asociado, evapotranspiración de los cultivos, precipitación efectiva desde el punto de vista agronómico, derrames o retornos desde o hacia zonas de riego adyacentes y áreas cultivables y no cultivables.
- Centrales Hidroeléctricas: Corresponde principalmente a las características específicas de cada central (nombre, capacidad, eficiencias, altura caída, potencia, turbinas, año inicio, etc.) y la distribución de los caudales demandados mensualmente.
- Embalses: Corresponde principalmente a características generales (inicio operación, volúmenes, cotas, etc.), reglas de operación (curva de alerta), caudales de demandas, caudales de filtraciones, caudales de entregas, volumen embalsado, caudal de rebases, curvas de embalse y tasa de evaporación.
- Cuencas No Controladas: Consiste principalmente en la definición de las cuencas y la serie de caudales mensuales en todo el período que será modelado. Además, deben generarse los antecedentes fluviométricos y pluviométricos a utilizar para definir los aportes que estas cuencas producen.
- Captaciones y Descargas Puntuales: Consiste principalmente a su identificación y a la distribución de caudales mensuales descargados. En el caso de las captaciones, debe definirse además especificación de percolaciones y retornos asociados.
- Caudales Ecológicos: Consiste principalmente a la identificación y a la distribución de caudales mensuales a respetar.
- Topología: Corresponde a generar información para definir conectividades o distribución de caudal en nodos y tramos de ríos.

6. IMPLEMENTACIÓN MODELO MAGIC EN CUENCA DEL MAULE

Posterior a la recopilación y procesamiento de la información necesaria, se procedió a generar la topología del modelo MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC, identificando los principales elementos físicos existentes en la cuenca. Dicha interfaz dio origen automáticamente a las tablas que el modelo ocupa. Para que esta labor tuviera un buen desarrollo, se utilizó como base el Manual de uso del Modelo MAGIC, preparado por el Departamento de Estudios y Planificación de la DGA. Los elementos que incorpora la topología generada son los siguientes:

- Alimentación desde cuencas laterales y aportes naturales.
- Tramos de río.
- Caudal subterráneo de salida de los acuíferos.
- Afloramiento de acuíferos.
- Canales matrices.
- Canales derivados.
- Retorno o derrames de zonas de riego.
- Afluentes, devolución, rebase e infiltración de embalses.
- Afluentes y devolución de centrales hidroeléctricas.
- Captaciones y descargas puntuales.

Para la generación de lo anterior, se realizó un minucioso análisis de cada elemento, de manera de ajustar de la mejor manera posible la configuración real de la red, a la topología que permite construir el modelo.

Dentro de las características relevantes de la cuenca del río Maule para el proceso de modelación, se destaca la complejidad topológica de la cuenca, que posee numerosos elementos relevantes asociados tanto al sistema superficial como subterráneo (8 embalses, 104 zonas de riego, más de 200 pozos de bombeo, 25 acuíferos, más de 600 canales de riego identificados, entre otros.). Además destaca los numerosos elementos con control fluviométrico existentes en la cuenca, tales como canales de riego, embalses y estaciones fluviométricas, y la falta de información disponible asociada principalmente a los temas de embalses y acuíferos.

Dadas las condiciones anteriores, el proceso de calibración fue abordado de manera parcial en el presente estudio, definiéndose tanto las bases de la modelación realizada como los aspectos principales a considerar durante las etapas de calibración y validación. Además se entregan resultados preliminares de la implementación de MAGIC, orientando la optimización de los ajustes realizados, para una futura etapa del estudio, donde deben considerarse las recomendaciones y comentarios emitidos en este trabajo. Por lo tanto, este estudio apuntó principalmente a analizar los aspectos más generales del sistema, y determinar su influencia directa sobre el resultado final.

Los resultados del proceso de calibración entregan ciertas pautas que deberán ser analizadas para futuras implementaciones, tanto en la misma cuenca del Maule, como en otras aplicaciones. Dichas propuestas corresponden a una actualización del manual de implementación de MAGIC que permita al usuario un conocimiento acabado de la información que requiere el modelo, así como de su operación. Por otro lado, se debe complementar con un análisis de los flujos subterráneos y/o calibración subterránea. También se proponen consideraciones con respecto a obtención de cierta información útil para el modelo, de calidad superior a la implementada en esta aplicación (por ejemplo, realizar catastro de pozos en lugar de utilizar información de derechos asignados y complementar antecedentes de permeabilidad).

Con respecto a la calibración específica del modelo en la cuenca, se designaron 8 cuencas de calibración, donde cada una fue analizada de manera detallada, determinando los elementos con mayor incidencia en el resultado final del modelo, de manera de generar un mejor producto de la calibración. En el cuadro 3 se presenta un resumen con los resultados del proceso, en términos de parámetros estadísticos de ajuste, así como observaciones orientadas a obtener mejoras en futuras implementaciones del modelo para cada una de las cuencas.

Cuadro 3: Resultados generales del proceso de calibración por cuenca.

CUENCA	Coef. R2	RMS Norm. (m3/s)	Observaciones
Río Claro en Camarico	0.59	0.105	Enfocar la calibración a un mejor ajuste del modelo MPL.
Río Claro en Talca	0.60	0.140	Enfocar el criterio del modelo respecto a considerar la restricción por capacidad de los canales en todos los casos.
Río Maule en Armerillo	0.48	0.143	En lo posible, obtener información estadística real del embalse Melado, a fin de ser utilizada en las simulaciones.
Río Perquilauquén en Quella	0.77	0.114	Buena calibración, siguiente enfoque relacionado con optimizar resultados de los elementos de intervención (embalses, canales, etc.).
Río Loncomilla en Bodega	0.75	0.146	Buena calibración, siguiente enfoque relacionado con optimizar resultados de los elementos de intervención (embalses, canales, etc.).
Río Putagán en Yervas Buenas	0.29	0.159	Divergencias asociadas probablemente a abastecimiento proveniente de canal Devolución al Río. De ser así, obtener información sobre dicho abastecimiento e incluirlo al sistema.
Río Loncomilla en Las Brisas	0.79	0.083	Buena calibración, siguiente enfoque relacionado con optimizar resultados de los elementos de intervención (embalses, canales, etc.).
Río Maule en Forel	0.73	0.094	En la medida que se mejoren las calibraciones en el resto de las cuencas, los resultados serán más óptimos en ésta, ya que corresponde a la cuenca de salida del sistema.

7. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MATAQUITO.

Se ha generado información de la cuenca del Río Mataquito, de tal manera de cumplir con los requerimientos para una futura implementación de MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC. Esta labor se ha realizado considerando el análisis de suficiencia de información explicado en el punto 2 del presente resumen ejecutivo, donde se ha especificado los antecedentes que son de utilidad para el estudio, ya sea de manera directa o a través de modificaciones, procediendo a organizar y procesar la información existente, tal que cumpla con los requerimientos para la implementación del MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC.

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

- Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas Cuencas Huasco y Mataquito, CNR, 2005.
- Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito, CNR, 1978
- Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas, Cuenca del Río Mataquito, DOH, 1998.

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

El procesamiento de la información compatible con la implementación de MAGIC, se realiza considerando la base de datos de MAGIC v2.0

A continuación, en el cuadro 4, se presenta un resumen de la información para la implementación de MAGIC en esta cuenca.

Cuadro 4: Resumen Estado de la Información para Implementación de MAGIC en Cuenca del Río Mataquito

N'	Elemento MAGIC	Información Procesada	Información Pendiente
0	Antecedentes Básicos	- Cartografía Base - MDE - Red Hídrica Topológica	
1	Acuíferos	- Características Geométricas - Parámetros Elásticos - Antecedentes generales de Afloramientos	- Topología de Conectividades de acuíferos y afloramientos.
2	Pozos	- Derechos subterráneos georeferenciados con caudal y uso - Catastro de captaciones con demanda reales - Factores de uso	- Topología de conectividades de pozos para riego.
3	Canales	- Capacidades de canales matrices. - Unifilares y distribución de derechos de canales de la subcuenca del Teno y Lontué.	- Eficiencia de conducción de canales. - Distribución de derechos de canales de la subcuenca del Mataquito - Topología de conectividades de canales.
4	Zonas de riego	- Identificación y distribución de tipos de cultivos - Identificación de Métodos de Riego aplicados - Cálculo de Necesidades Netas Mensuales (NNM). Definición de Kc y ETP por ZR identificadas - Identificación de distribución de texturas en área de estudio - Cálculo de PP efectiva (PP50%)	- Actualizar definición de sectores de riego, tipos de cultivo y métodos de riego. - Actualización de NNM - Caracterización de derrames y percolaciones - Estimación de parámetros de calibración del MPL para su aplicación a zonas de riego.
5	Centrales hidroeléctricas	- No existen centrales en esta cuenca	
6	Embalses	- Información del embalse el Planchón, relacionada con distribución mensual de caudal y volumen, capacidad de regulación, capacidad de entrega, estadística parcial de caudales de entrega y datos de estaciones de evaporación del área.	- Complementar información de operación del embalse el Planchón (CA, Filtraciones, etc.) - Extender estadísticas de caudal entrega, volumen, caudal rebases, evaporación, etc.
7	Cuencas no controladas	- Identificación de cuencas con control fluviométrico. - Identificación del tipo de cuenca y régimen de precipitaciones.	- Calibración de MPL y desarrollo de modelo Nivopluvial - Generación de caudales en cuencas sin control fluviométrico
8	Descargas puntuales	- Identificación descargas puntuales a los cauces, tales como PTAS, Riles u otras. - Información de distribución mensual de caudales de descargas puntuales	

Cuadro 4: Resumen Estado de la Información para Implementación de MAGIC en Cuenca del Río Mataquito (Continuación)

N'	Elemento MAGIC	Información Procesada	Información Pendiente
9	Caudales ecológicos		- Recopilar en expedientes de derechos de la DGA regional, antecedentes de caudales ecológicos
10	Topología	- Distribución porcentual de derechos existentes para canales de riego - Identificación y caracterización de tramos de ríos	- Identificar caudal por tramos del río a partir del cual se otorgan derechos eventuales.
11	Fluviometría	- Recopilación de estadística de caudales existente en estudios	- Solicitar estadística de caudales a CIRH de la DGA
12	Pluviometría	- Recopilación de estadística de precipitación existente en estudios	- Solicitar estadística de PP a CIRH de la DGA
13	Captaciones Puntuales		- Identificar captaciones superficiales, ya sea de agua potable, industrias u otras. - Información de distribución mensual de caudales de captaciones puntuales - Caracterizar sistema de conducción de las captaciones existentes (eficiencias, capacidades, etc)

8. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ITATA.

Para la generación de información necesaria para una futura implementación de MAGIC en la cuenca del Río Itata, se consideró el análisis de suficiencia de información explicado en el punto 2 del presente resumen ejecutivo. Dicho análisis se ha especificado los antecedentes que son de utilidad para el estudio, ya sea de manera directa o a través de modificaciones, procediendo a organizar y procesar la información existente, tal que cumpla con los requerimientos para la implementación del MAGIC a través de la Interfaz SIG-MAGIC.

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

- Proyecto Itata. PROITATA Asociación de Profesionales. CNR 1992.
- Estudio Integral de Riego Proyecto Itata. Consorcio de Ingeniería INGENDESA – EDIC Ltda. CNR 1994.
- Proyecto de Riego Laja – Diguillín. CNR, 1988,.
- Estudio Agroclimático y de Riego de la Hoya del Río Itata. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Agrícola, 1988.
- Balance Hidrológico Nacional Cuenca del Río Itata. REG. DGA 1985.

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

El procesamiento de la información compatible con la implementación de MAGIC, se ha realizado considerando la base de datos de MAGIC v2.0.

A continuación, en el cuadro 5, se presenta un resumen de la información para la implementación de MAGIC en esta cuenca.

Cuadro 5: Resumen Estado de la Información para Implementación de MAGIC en Cuenca del Río Itata

N'	Elemento MAGIC	Información Procesada	Información Pendiente
0	Antecedentes Básicos	- Cartografía Base - MDE - Red Hidrica Topológica	
1	Acuíferos	- Transmisibilidades - Antecedentes generales de Afloramientos	- Falta exploración geofísica para determinar geometría de acuíferos (espesores, forma, etc) - Pruebas de bombeo con la finalidad de obtener parámetros elásticos (k y S) - Identificación detallada de zonas con afloramientos - Topología de Conectividades de acuíferos y afloramientos detallados
2	Pozos	- Derechos subterráneos georeferenciados con caudal y uso - Factores de uso	- Incorporar antecedentes del catastro de Captaciones de la Provincia del Ñuble (demandas reales).
3	Canales	- Unifilares y canales matrices de subcuencas de Ñuble, Itata, Diguillin - Capacidades de canales matrices - Pérdidas Generales en canales Cuenca del Río Itata	- Evaluar la necesidad de incorporar canales que tienen como fuente hídrica los principales Esteros de la Cuenca. - Realizar asociación de canales matrices y derivados en función de zonas de riego actualizadas. - Definir distribución de agua en canales en función de derechos y/o superficies de riego actualizadas. - Topología de Conectividades de acuíferos y afloramientos detallados
4	Zonas de riego	- Distribución de texturas en área de estudio. - Determinación de ETP - Cálculo de PP efectiva (PP50%)	- Actualizar definición de sectores de riego (superficies). - Actualización de Identificación y distribución de tipos de cultivos – Métodos de Riego. - Cálculo de Necesidades Netas Mensuales (NNM). Definición de Kc y ETP por ZR identificadas - Caracterización de derrames y percolaciones - Estimación de parámetros de calibración del MPL para su aplicación a zonas de riego

Cuadro 5: Resumen Estado de la Información para Implementación de MAGIC en Cuenca del Río Itata (Continuación)

N°	Elemento MAGIC	Información Procesada	Información Pendiente
5	Centrales hidroeléctricas	- No existen centrales en esta cuenca	
6	Embalses	- Información embalse Coihueco con datos de evaporación, meteorológicos y de capacidad.	- Actualizar información de operación del embalse el Coihueco con información de terreno. - Verificar y recopilar información de curva de alerta. - Recopilar información de Filtraciones y curvas de embalse. - Extender estadísticas de caudal entrega, volumen, caudal rebases, evaporación, etc.
7	Cuencas no controladas	- Identificación de cuencas con control fluviométrico. - Identificación del tipo de cuenca y régimen de precipitaciones.	- Calibración de MPL y desarrollo de modelo Nivopluvial - Generación de caudales en cuencas sin control fluviométrico
8	Descargas puntuales		- Identificar descargas puntuales a los cauces, tales como PTAS, Riles u otras. - Información de distribución mensual de caudales de descargas puntuales
9	Caudales ecológicos	- Antecedentes de caudales ecológicos.	
10	Topología	- Distribución porcentual de derechos existentes para canales de riego - Identificación y caracterización de tramos de ríos	- Identificar caudal por tramos del río a partir del cual se otorgan derechos eventuales.
11	Fluviometría	- Recopilación de estadística de caudales existente en estudios	- Solicitar estadística de caudales a CIRH de la DGA
12	Pluviometría	- Recopilación de estadística de precipitación existente en estudios	- Solicitar estadística de PP a CIRH de la DGA
13	Captaciones Puntuales		- Identificar captaciones superficiales, ya sea de agua potable, industrias u otras. - Información de distribución mensual de caudales de captaciones puntuales - Caracterizar sistema de conducción de las captaciones existentes (eficiencias, capacidades, etc).

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con respecto a los objetivos planteados para el estudio, se establecen las siguientes conclusiones:

- Se cumplió satisfactoriamente el objetivo principal del estudio, por cuanto se recopiló y generó la información necesaria requerida por la aplicación SIG-MAGIC en las cuencas solicitadas, desarrollando la implementación del modelo MAGIC para la cuenca del río Maule. También se realizó el mejoramiento de la interfaz en aspectos de calibración y de generación de caudales en cuencas sin control fluviométrico.
- Se analizó y mejoró la aplicación Interfaz SIG.MAGIC (CNR-DGA 2005), actualizando su operación acorde con el modelo MAGIC versión 2.0. La interfaz fue validada mediante su utilización durante la implementación del modelo en la Cuenca del Maule. Si bien, a partir del trabajo realizado se concluye que dicha interfaz cumple la función de ser una herramienta de fácil implementación y aplicación, se plantea la necesidad de continuar con el mejoramiento de otros aspectos relevantes identificados en el transcurso del estudio.
- Se generó la información necesaria para el correcto funcionamiento del modelo MAGIC en la cuenca del Río Maule, además de generar la topología de modelación de manera de satisfacer las condiciones que MAGIC requiere para su correcta aplicación. Se cumplió con una primera fase de calibración del modelo para dicha cuenca, generando antecedentes y recomendaciones para futuras implementaciones del modelo, tanto en esta cuenca, como en otras aplicaciones.
- Se desarrolló e incorporó a la Interfaz SIG MAGIC, un módulo de calibración que asista al usuario en la definición del modelo hidrológico MAGIC que posea mejor ajuste entre los valores simulados y los datos observados.
- Se realizó un análisis de distintos modelos de generación de caudales en cuencas pluviales, estableciéndose que el MPL es adecuado para la generación de caudales mensuales en cuencas no controladas. No obstante a lo anterior, se incorporaron algunas mejoras asociadas principalmente con: modificación de la escala de tiempo a nivel mensual; definición de una metodología para la estimación de rangos coherentes de todas aquellas variables con representación física, lo que redundó en una disminución de los parámetros de calibración; se plantea las ecuaciones en términos de caudal; y se modifica la representación del embalse subterráneo incorporando sus características geométricas.

- Se analizaron todos los antecedentes disponibles en las cuencas de los Ríos Mataquito e Itata, generando la información suficiente que cumpla con los requerimientos técnicos para una futura implementación de MAGIC, a través de la Interfaz SIG-MAGIC. Se concluye la necesidad de desarrollar labores de levantamiento de información desde terreno, de manera de complementar los antecedente recopilados.

Finalmente, durante el desarrollo de la primera fase de calibración de MAGIC en la cuenca del Maule, se analizaron detalladamente aspectos técnicos del modelo surgiendo las siguientes recomendaciones, a fin de optimizar el desarrollo de otras aplicaciones y continuar el proceso de calibración de la cuenca del Maule:

- Se recomienda optimizar el modelo MAGIC descartando de la base de datos de entrada, todas aquellas variables que no son ocupadas efectivamente en los cálculos que se realizan. Esto evitará que el usuario recopile y procese antecedentes de manera innecesaria, además que facilitará el seguimiento de los resultados que se generen.
- De manera complementaria al punto anterior, se sugiere actualizar el manual de referencia técnica y el manual de operación de MAGIC, de manera que el usuario enfoque correctamente la información disponible para el modelo, así como interprete de manera óptima los resultados obtenidos.
- Se sugiere realizar actividades de levantamiento de información desde terreno, que permitan complementar y disponer de información real de aquellos elementos con antecedentes insuficientes, asociados a los temas de acuíferos, embalses y canales. Dichos elementos son determinantes para mejorar el proceso de calibración iniciado, comprobándose su influencia directa en los resultados preliminares de la modelación realizada.
- La calibración realizada, se debe complementar con un análisis de los flujos subterráneos y/o calibración subterránea. Los resultados de la modelación para los acuíferos y su posterior análisis, deben estar orientados al análisis y coherencia en: los parámetros asociados a la recarga de los acuíferos, al caudal pasante o flujo subterráneo pasante, volumen de embalse de los acuíferos y extracciones desde los pozos. Para ello, es de especial importancia comenzar la calibración del flujo subterráneo (entregado por el modelo), utilizando información complementaria que debe ser levantada desde terreno. La información que se recomienda levantar, apunta a mejorar la estimación de la permeabilidad y coeficiente de almacenamiento de los acuíferos, mejorar el conocimiento de su estratigrafía, determinar la demanda real sobre los acuíferos, entre otras.