



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

MODELACION HIDROGEOLOGICA CUENCA RIO MAULE

REALIZADO POR:

División de Estudios y Planificación

SDT N° 320

Santiago, Septiembre de 2011

MODELACION HIDROGEOLOGICA PRELIMINAR ACUIFERO MAULE

Jefe División de Estudios y Planificación

Carlos Salazar Méndez

Equipo de Trabajo

Julio Cornejo Morales

Miguel Caro Hernández

Luis Rojas Badilla

Francisco Rodríguez Labbé

MODELO HIDROGEOLÓGICO MODFLOW CUENCA DEL RIO MAULE

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
2	GEOMETRIA.....	3
3	CONDICIONES DE BORDE	6
4	RECARGAS Y DESCARGAS.....	8
5	PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS	9
6	CALIBRACION Y BALANCE HIDRICO	10

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Uno de los aspectos prioritarios para la DGA ha sido avanzar en el conocimiento de los acuíferos de la “Macrozona Sur” comprendidos entre la región del Maule y la región de los Ríos. Este trabajo en particular, tiene por objeto implementar un modelo hidrogeológico de tipo preliminar en el acuífero de la depresión intermedia del río Maule, como trabajo complementario al modelo conceptual definido en el informe DGA: SDT 319, Agosto 2011 “Balance Hídrico Preliminar Acuífero Río Maule”.

Para el desarrollo de este trabajo, la DGA cuenta con la plataforma comercial VISUAL MODFLOW Versión 4.2. Este programa, utiliza el código numérico de diferencias finitas MODFLOW creado por el USGS, el cual permite modelar en 2D y 3D el flujo saturado en el dominio de un acuífero determinado. El programa Visual MODFLOW, permite incorporar toda la información necesaria, referente a recargas, parámetros hidrogeológicos, extracciones y condiciones de borde, para la construcción del modelo.

Como todo modelo numérico de aguas subterráneas Visual MODFLOW obtiene una solución discreta de los niveles de agua subterránea y de las velocidades de flujo en el acuífero. Para la visualización de resultados presenta post-procesadores, que permiten visualizar tanto la información de entrada como de salida, permitiendo la realización curvas equipotenciales, balances de masa, direcciones de flujo, estadísticas de calibración, etc.

Actualmente, Visual MODFLOW se ha convertido en uno de los programas estándar de modelación hidrogeológica, siendo utilizado por la Dirección de Aguas y otras instituciones públicas para la modelación de acuíferos regionales, debido a la facilidad de implementación y los buenos resultados proporcionados.

2 GEOMETRIA

El modelo está compuesto por una malla constituida por 250000 celdas (500 filas y 500 columnas) de dimensiones de 300 por 350 metros y cuyo dominio esta acotado por los siguientes limites:

Límite norte: UTM N 6113000

Límite sur: UTM N 5960000

Limite este: UTM E 357500

Limite oeste: UTM E 184000

En la Figura 1 se muestra el dominio del modelo. En color blanco se distinguen las celdas activas, donde se resuelven las ecuaciones de flujo de agua subterránea y que corresponde físicamente al relleno sedimentario del valle central de la cuenca.

Figura 1. Dominio del modelo.



La superficie de terreno fue obtenida mediante de curvas de nivel mientras que la cota del basamento rocoso se construyo a partir de estudios geofísicos realizados en la Región (en 1999 y 2006). A partir de la información estratigráfica obtenida para más de 211 pozos

registrados en la cuenca de estudio, se concluyo que, en general, el acuífero de la cuenca del Maule presenta características homogéneas, salvo en la zona de los cauces aledaña a la Cordillera de la Costa donde se observa la presencia de lentes arcillosos producto de la depositación de sedimentos finos arrastrados por los ríos y que se encuentran con la barrera que representa la Cordillera de la Costa, lo que permite concluir la existencia de al menos 4 estratos. Sin embargo, para la conceptualización hidrogeológica del acuífero en estudio se ha adoptado solo 2 estratos: el acuífero propiamente tal y el basamento rocoso. En las Figuras 3 y 4 se muestran dos perfiles escogidos de la Figura 2.

Figura 2. Ubicación perfiles.



Figura 3. Corte transversal.

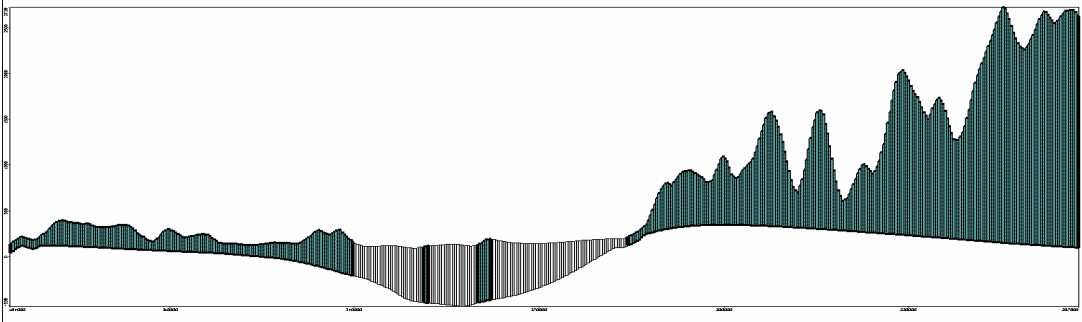
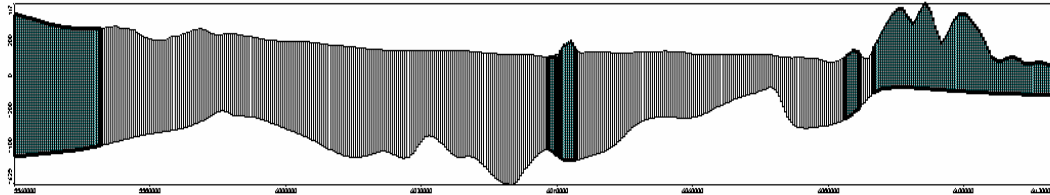


Figura 4. Corte longitudinal.



3 CONDICIONES DE BORDE

Cada modelo requiere un apropiado set de condiciones de borde para representar la relación del sistema con los que lo rodean. En el caso de un modelo de flujo de agua subterránea, las condiciones de borde describirán el intercambio de flujos entre el modelo y los sistemas externos. Para este modelo se utilizaron las condiciones de borde de “Nivel Constante” y “Río”. La condición de borde de nivel constante permite fijar una altura de nivel piezométrico en una determinada zona; los bordes de altura constante se utilizan para simular los niveles de entrada y salida de los acuíferos actuando como una fuente infinita de agua en el caso de las entradas y como un desagüe infinito en el caso de las salidas. En el Maule, las condiciones de borde de nivel constante se utilizaron para simular la entrada del flujo desde la zona cordillerana al valle y como salida por el Maule en la zona donde el río se adentra en la Cordillera de la Costa, es decir el fin del relleno sedimentario.

Figura 5. Condiciones de borde.



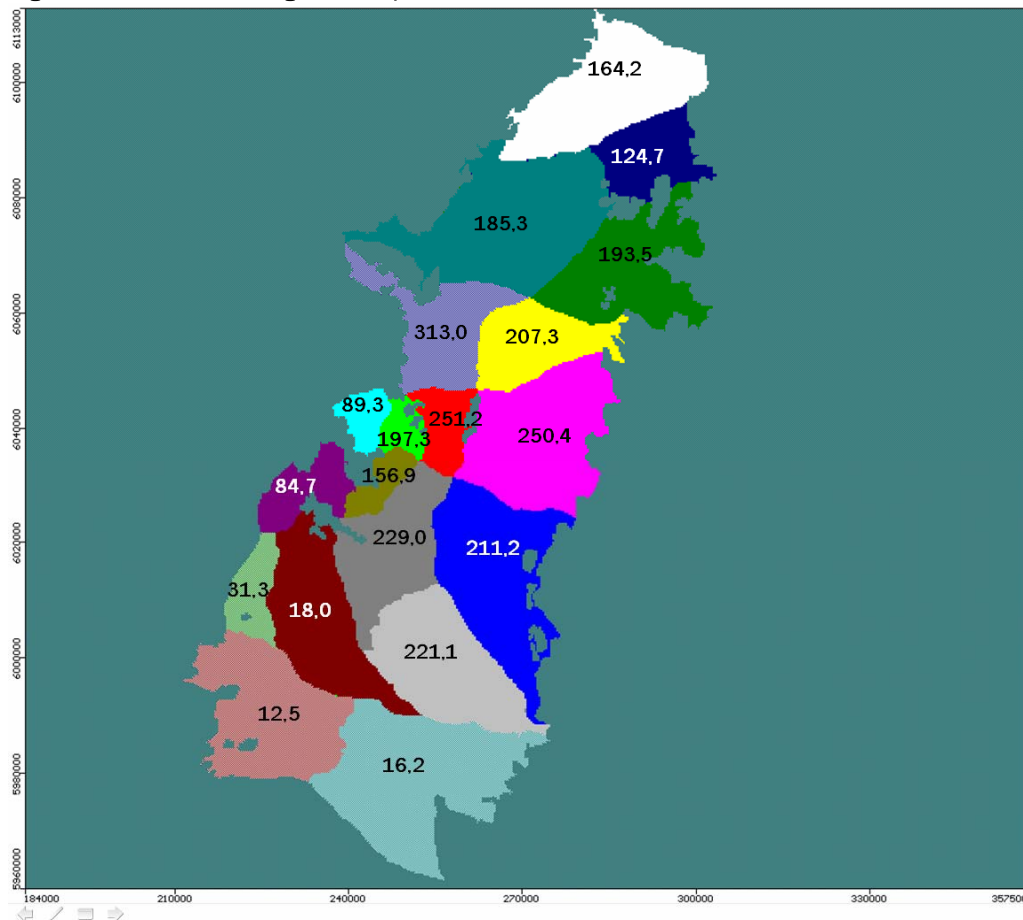
La condición de borde tipo río es usada para simular la influencia de un cuerpo de agua superficial sobre el flujo subterráneo. Cuerpos de agua superficial como ríos, esteros o lagos pueden contribuir al sistema de aguas subterráneas o actuar como zonas de descarga, dependiendo del gradiente hidráulico entre el cuerpo de agua superficial y el sistema subterráneo. Además se requerirán datos del río como su cota por tramo, profundidad, ancho y conductancia de su lecho. En el caso del Maule, los principales ríos fueron modelados mediante esta condición. En la Figura 5 se muestran las condiciones de borde de nivel constante (en magenta) y río (en azul) utilizadas.

Es importante señalar que el lago Colbún no fue modelado debido a que según la información que se tiene, no constituye un aporte importante al sistema de aguas subterráneas ya que existen baterías de pozos dedicados a extraer las filtraciones que se producen desde el lago al acuífero por asuntos de protección del muro del embalse.

4 RECARGAS Y DESCARGAS

Debido a que se tenía la información de recarga por sectores acuíferos definidos en MAGIC, se decidió conservar la misma delimitación para no cometer errores con una nueva delimitación. Los acuíferos definidos por MAGIC en el estudio del Plan Director para la cuenca del Maule fueron 25, a los que estaba asociada una recarga por zonas de riego (la que incluye la precipitación), y el aporte de ríos y canales. Las descargas del sistema contemplan los afloramientos de agua subterránea que se explicaron en el modelo conceptual y que servirán como parámetro para calibrar la conductividad hidráulica del lecho de los ríos, haciendo que coincida el valor estimado con el que entrega el modelo. Por otro lado se tiene que los pozos de bombeo ingresados al modelo corresponden al catastro oficial de agosto del 2011 y con una frecuencia de uso vinculada al funcionamiento como respaldo del agua superficial. Los sectores de recarga en el área de estudio se muestran en la Figura 6.

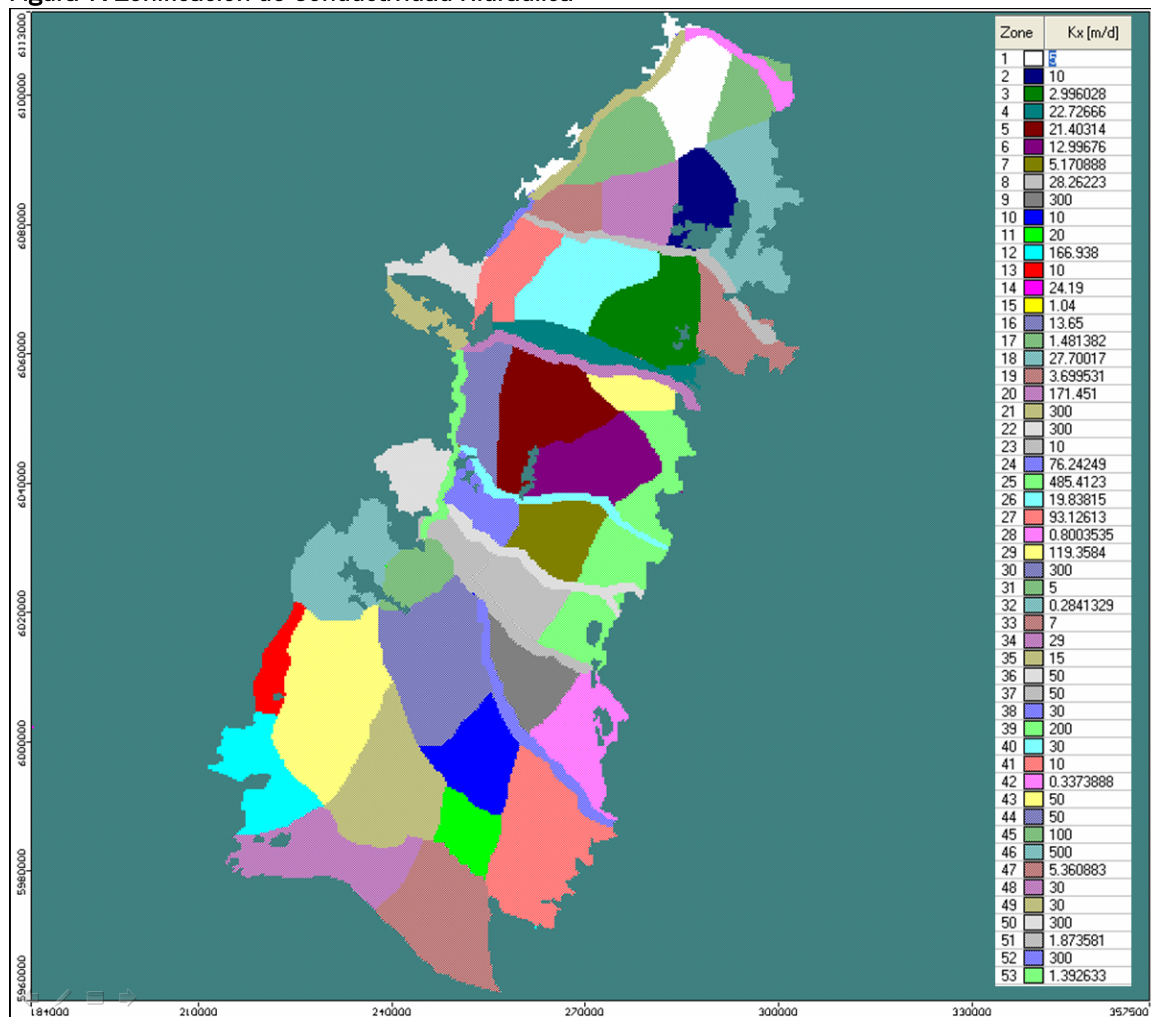
Figura 6. Zonas de recarga en mm/año.



5 PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS

Para la determinación de los parámetros elásticos de los acuíferos asociados a la cuenca del río Maule, se ha empleado la información de planos de construcción de aproximadamente 205 pozos, los cuales cuentan con antecedentes como estratigrafía del material atravesado, habilitación y datos de la prueba de bombeo de gasto variable. A partir de los datos de la prueba de gasto variable se obtuvo el valor de transmisibilidad mediante el uso de relaciones matemáticas para lograr llegar finalmente al valor de permeabilidad que es el que se ingresa a MODFLOW. Del análisis de los datos que en general los valores de permeabilidad en toda la cuenca del río Maule son bastante similares, en torno a los $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, salvo en el sector sur de la cuenca donde se presentan valor inferiores al resto de la Región que están asociados al cultivo de arroz. En relación con los coeficientes de almacenamiento, no existen pruebas de bombeo de gasto constante con pozos de observación a partir de las cuales se pudiera calcular este coeficiente. En razón de esto, se ha revisado la estratigrafía de los pozos que la poseen y se han estimado esos valores de acuerdo a la experiencia que se tiene en lugares de características similares.

Figura 7. Zonificación de Conductividad Hidráulica

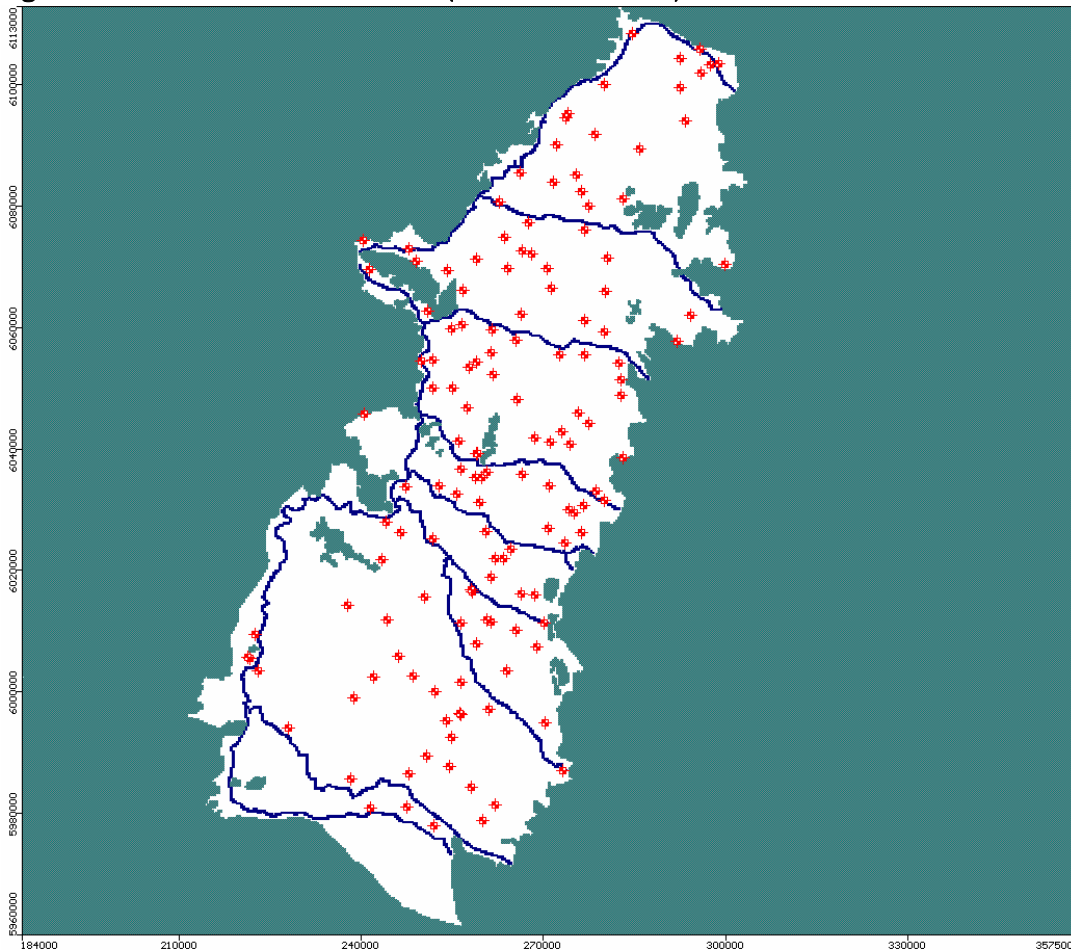


6 CALIBRACION Y BALANCE HIDRICO

El proceso de calibración consiste en ajustar los valores de los parámetros hidrogeológicos de manera que los niveles calculados se asemejen a los niveles de agua subterránea observados en terreno. En este caso, ya que es un modelo en régimen permanente solo los valores de conductividad hidráulica son ajustados.

La Figura 8 muestra la distribución de los pozos de observación correspondientes al catastro del estudio realizado por GCF “Levantamiento de Información Hidrogeológica para Modelación Cuenca del Rio Maule” (DGA, 2010).

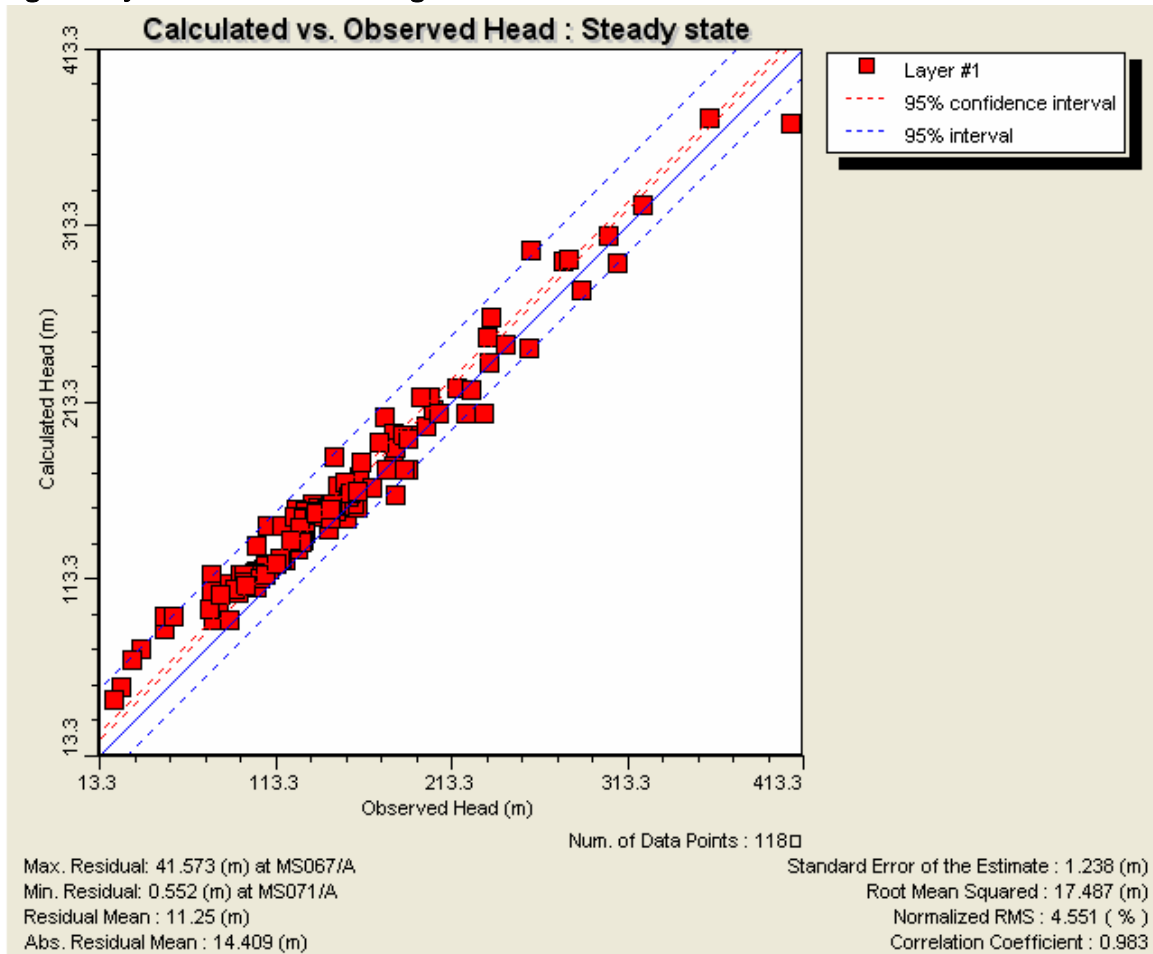
Figura 8. Distribución Niveles de Pozos (Catastro DGA 2010)



Para efectos de la calibración preliminar, se ha supuesto que la extracción desde el acuífero es despreciable, en comparación a los montos de recarga.

La Figura 9 muestra el ajuste preliminar de los niveles de agua subterránea, considerando un valor de rms inferior a 5%. Para este análisis se consideró un universo de 118 pozos de observación distribuidos en el acuífero según la Figura 8.

Figura 9. Ajuste valores niveles de agua observados vs calculados



La Tabla 1 presenta el balance hídrico global obtenido a través del modelo hidrogeológico, que establece que las entradas totales al sistema se estiman en 84 L/s y se producen a través de 3 componentes principales: el flujo subterráneo proveniente de todos los rellenos sedimentarios de las cuencas cordilleranas y pre-cordilleranas; la recarga superficial propiamente tal, que se compone de la precipitación y la recarga por agricultura; y la recarga producida por los ríos, principalmente en los conos de deyección que producen los cauces en la entrada a la depresión intermedia.

Tabla 1. Balance hídrico resultante de la calibración

Componente	Entradas (m3/s)	Salidas (m3/s)
Flujo Subterráneo	11	2
Recarga Superficial	30	
Infiltración / Afloramiento Ríos	43	82
TOTAL	84	84

En este caso, y bajo el supuesto de explotación despreciable sobre el acuífero, todas las entradas al sistema salen a través de descargas naturales, que en el caso del acuífero del Maule, ocurren principalmente por afloramientos de los ríos en las partes bajas (principalmente los sistemas de ríos Claro-Lircay, Loncomilla y Maule) y una magnitud poco significativa como flujo subterráneo en la zona de la confluencia de los ríos Claro y Maule.

La Figura 10 muestra las equipotenciales resultantes del proceso de calibración, donde se observa que los flujos de agua subterráneos se transmiten en la dirección E-W, hasta encontrar los límites del acuífero en el cordón de la Cordillera de la Costa, donde aflora por el río Claro. Al sur del Maule, entre el río Maule y el río Longaví, se mantiene la dirección del flujo de agua subterránea E-W mostrándose gran influencia de los ríos Maule, Achibueno y Longaví que fluyen paralelos a las líneas de flujo del acuífero, y teniendo como punto de salida el río Loncomilla al oeste, que drena este sector superficialmente hacia la desembocadura. En la zona sur del Maule, sin considerar la subcuenca del río Cauquenes, el acuífero drena en la dirección SE-NW en dirección del río Loncomilla. El acuífero del río Cauquenes ha sido previamente descartado de este análisis, en función de su escaso aporte subterráneo al balance hídrico del gran acuífero del Maule que se ubica principalmente en la depresión intermedia.

Figura 10. Equipotenciales resultantes de la calibración

