



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

Temática N°2: Agua y Seguridad Alimentaria

Modelo de Evaluación de la Vulnerabilidad del  
Recurso Hídrico Subterráneo para Uso Agropecuario

**Héctor Hernández Jara (1)**

[hectorhernandez@inh.cl](mailto:hectorhernandez@inh.cl)

**Paula Díaz Vargas (1)**

[pau.diaz.vargas@gmail.com](mailto:pau.diaz.vargas@gmail.com)

**Julio Vallejos Alfaro (1)**

[Juliovallejos@inh.cl](mailto:Juliovallejos@inh.cl)

(1) Instituto Nacional de Hidráulica

## RESUMEN

Actualmente, a nivel mundial, se está tomando conciencia de la necesidad de tomar medidas de prevención frente a los futuros cambios medio ambientales y sociales, dado que la anticipación de los efectos perjudiciales asociados a éstos permitirán disminuir el impacto sobre las personas y comunidades, sobretodo, las que por sus características intrínsecas - sociales y económicas- tienen una baja posibilidad de reponerse ante estos eventos.

Dentro del contexto mencionado anteriormente se ha identificado un escenario que actualmente se está presentando en las regiones del Centro Sur de Chile, en donde se observan periódicamente eventos de sequía hidrológica; que son producto de la variabilidad climática del sur asociado a los eventos ENOS, y que últimamente, y con mayor frecuencia derivan en una escasez hídrica generalizada, afectando gravemente la producción agropecuaria, siendo ésta una de las principales actividades económicas dentro los marcos regionales nombrados. Lo que finalmente desencadena en una sucesión de acontecimientos no deseados, tales como, pérdida de cultivos o productividad, escasez general en el mercado de productos basados en esta actividad, el consecuente aumento de los precios a nivel nacional, el endeudamiento de los agricultores, venta de terrenos productivos y migración rural hacía los centros urbanos, etc.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

Para evitar esto se hace necesario reducir las asimetrías de información, en especial de los recursos que aún no han sido determinados con exactitud, puesto que el conocimiento de sus vulnerabilidades, con respecto al riesgo de escasez hídrica, permitirá tomar mejores decisiones a las autoridades y organizaciones involucradas en la definición de las medidas de corto, mediano y largo plazo, que hagan frente a estos problemas, con una consecuente mejora en la competitividad del medio local.

El problema de asimetría de información presentado anteriormente es parcialmente abarcado en el presente estudio, el cual se encuentra enmarcado dentro del proyecto INNOVA CHILE cod.12BPC2-13473, denominado “*Modelo de Evaluación de la Vulnerabilidad del Recurso Hídrico Subterráneo para Uso Agropecuario*”, en el que un grupo de investigadores del Instituto Nacional de Hidráulica; con apoyo de INDAP, se encuentran elaborando un modelo hidrogeológico que permita caracterizar el comportamiento del acuífero en una zona afectada por escasez hídrica, determinando sus vulnerabilidades frente a eventos futuros y planteando medidas de mitigación, con una aplicación práctica en un sector ubicado en la VIII Región.

El proyecto mencionado contempla distintas labores de gabinete y terreno tendientes a la construcción del modelo hidrogeológico, entre las que se destacan la realización de ensayos geofísicos para la caracterización de la estratigrafía del acuífero, un plan de monitoreo de niveles estáticos y calidad de aguas, y la implementación final de un modelo numérico de aguas subterráneas (Visual Modflow), en que se simularán los diversos escenarios, y que en definitiva entregará información de las vulnerabilidades del sistema.

El siguiente trabajo realizará entonces una breve descripción del estado de avance del proyecto, entre las cuales se encuentran la caracterización geológica e hidrogeológica del sector escogido.

**Palabras Clave:** Chile, Escasez Hídrica, Modelo Hidrogeológico.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

## INTRODUCCIÓN

Según Silva et al (2002), los modelos numéricos son excelentes herramientas para la evaluación de escenarios, por la facilidad para medir los cambios en el sistema modelado cuando se cambian las variables de entrada. Sin embargo, en la modelación de aguas subterráneas es necesario entender primero el sitio a estudiar y observar la información de que se dispone.

Siguiendo esa línea, en este estudio se presentan algunos avances en el desarrollo del modelo conceptual de la zona a estudiar, en el marco del proyecto INNOVA Chile, que permitirán la evaluación de la Vulnerabilidad del Recurso Hídrico Subterráneo, utilizando el paquete numérico Visual Modflow en la elaboración de los escenarios futuros.

## METODOLOGÍA

### Zona de Estudio

En la región del Bío Bío el sector geográfico más afectado por el déficit hídrico actual corresponde a la zona precordillerana. Por el extensivo uso agrícola, la dependencia de los recursos superficiales, y la disponibilidad de antecedentes para implementar un modelo hidrogeológico, se escogió como sector de análisis la cuenca afluyente al Río Changaral en las inmediaciones de la localidad de San Nicolás, lo que se ha denominado por su localidad principal como Zona de San Carlos.

Esta cuenca cubre un área cercana a los 900 [Km<sup>2</sup>], la cual está drenada por una red de 10 esteros que cruzan de Este a Oeste, alimentados principalmente por los aportes pluviales y las recuperaciones de riego, provenientes de los recursos extraídos por los canalistas de la Junta de Vigilancia del Río Ñuble (2012, en línea), que administran 40 canales de riego, con un total de 21.120,70 acciones sobre el río Ñuble. Esta cuenca está limitada por el Norte por el Río Ñiquen, por el Sur por el Río Ñuble, en tanto que, por el Este por los Faldeos de la Cordillera de los Andes, y por el Oeste por la Cordillera de la Costa.

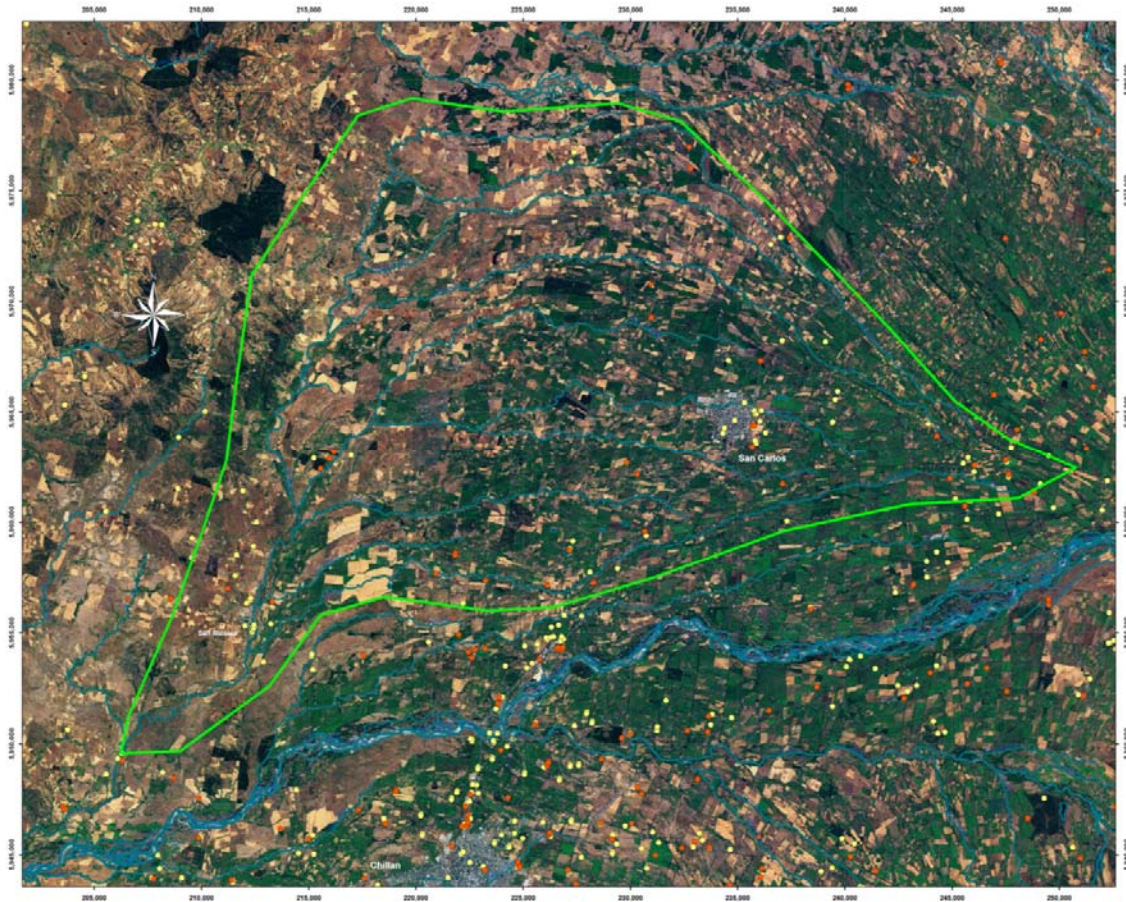


Figura N°1 Zona de Estudio (Elaboración Propia en base a Aquaterra (2011, a))

### Caracterización Geológica

#### *Geología Local*

La zona de San Carlos está ubicada en el llano fluvio-glacio-volcánico de la depresión intermedia, unidad geomorfológica que no presenta grandes diferencias topográficas, poseyendo una suave pendiente hacia el oeste, en esta latitud no sobrepasaría los 200 m.s.n.m.

### Rocas Estratificadas

#### *Formación Mininco*

En la zona aflorarían rocas de la Formación Mininco (Muñoz Cristi, 1960), por lo cual se encontrarían estratos horizontales a subhorizontales correspondientes a bancos de arenisca gris clara, tobácea, de grano grueso a finamente conglomerádica, alternados con bancos de toba gris clara y limolita café claro con restos vegetales carbonosos. En las areniscas, el componente volcánico sería principalmente andesítico, encontrándose también ceniza en la matriz (Gajardo, 1981), lo que indica que su génesis radicaría en la erosión de lavas pertenecientes a la Formación Cola de Zorro, ubicada al este de la zona de estudio.

#### *Depósitos no consolidados*

En el área de estudio se encontrarían arenas en los cauces fluviales actuales, probablemente de poca extensión y espesor.



Figura N°2 y Figura N°3, Depósitos característicos encontrados, elaboración propia.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

### **Rocas Intrusivas y Metamórficas**

No existirían afloramientos de rocas plutónicas que se hayan descrito con anterioridad. En terreno se constata que no existirían unidades intrusivas menores del tipo diques.

No habría rocas metamórficas en el sector de San Carlos, pues estas litologías se distribuyen en Chile Central principalmente en la costa, a excepción de zonas menores de metamorfismo de contacto que pueden encontrarse en los márgenes de plutones.

### **Estructuras**

No se observan macro estructuras que afecten la zona de San Carlos. De la revisión a imágenes obtenidas del software Google Earth, se identifica una red de drenaje en forma de abanico uniforme, lo que permite concluir que los cauces actuales se desplazan a través del valle central sin seguir alguna estructura importante.

Los límites naturales del área de estudio marcan lineamientos NNE-SSW, por el occidente, la Cordillera de la Costa y por el oriente, la Cordillera Principal.

### **Caracterización Hidrogeológica**

#### **Pozos**

De acuerdo con el catastro realizado por Aquaterra (2011,a) existen más de 30 pozos con derechos de aprovechamiento inscritos que contarían con expediente en el área. Diez de ellos tiene más de 40 metros de profundidad, los que se encuentran distribuidos por toda la cuenca. Los más profundos se encuentran en el área oriental de la cuenca, en las cercanías de la localidad de San Nicolás, con perforaciones superiores a 150 m.

No todos los pozos mencionados cuentan con descripciones estratigráficas. Con respecto a los pozos que sí presentan estratigrafía, es importante aclarar que estas descripciones las han realizado diferentes personas de las diferentes empresas de perforación, por lo cual habría presente diferentes criterios para la describir, y en ningún caso la descripción la realizó un especialista, por lo tanto las descripciones deben ser interpretadas. Sin embargo, ante la poca cantidad de información existente de las litologías existentes pueden ser de ayuda en la interpretación de pruebas geofísicas de subsuperficie.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

### Unidades Hidrogeológicas

En la zona de San Carlos se encontraría un acuífero libre, constituido por sedimentos de la Formación Mininco, pero al revisar la estratigrafía de los pozos perforados, se puede observar en la mayoría de ellos que existen capas confinantes de arcilla (lutitas) a diferentes profundidades. Siendo muy probable que estas capas tengan variaciones laterales y de potencia, por lo que en pocos metros laterales, la columna estratigráfica debe presentar variaciones. Estas capas confinantes se intercalan con estratos de areniscas y gravas, cuya permeabilidad dependerá principalmente de su grado de diagénesis.

Con respecto a la potencia total de las unidades, el perfil gravimétrico 4 (este-oeste) realizado por el estudio de la Aquaterra (2011,a), muestra que el relleno podría alcanzar profundidades superiores a 1.500 m en el centro del área de estudio.

Las transmisibilidades estimadas son del orden de 100 a 500 m<sup>2</sup>/día para la mayor parte del área, con coeficientes de almacenamiento que están entre 0.003 y 0.06, dependiendo de las condiciones del confinamiento existente.

### Niveles

Los niveles estáticos más altos se observarían en el extremo oriental del área, con alturas hasta 220 m.s.n.m. Hacia el oeste hay un descenso paulatino hasta llegar bajo los 60 m.s.n.m al suroeste de San Carlos. En el mapa de curvas isofreáticas elaborado por Aquaterra (2011,a), se observaría que la dirección predominante del flujo sería este-oeste, variando a noreste-suroeste en el extremo occidental del área.

Atendida la heterogeneidad de la estratigrafía de la zona, debe haber un complejo comportamiento de las unidades acuíferas, por lo cual la superficie isofreática interpretada es el resultado de las interacciones de los diferentes acuíferos que traspasaron los pozos perforados.

### Reconocimiento de Terreno

En el reconocimiento de terreno efectuado se constato el uso agrícola que se le da a la cuenca en estudio, en donde el uso forestal queda reducido a segundo plano, reflejado en las pocas hectáreas plantadas, a diferencia de lo que ocurre en las laderas de la Cordillera de la Costa, que se encuentra altamente utilizada por las plantaciones de Eucaliptos y Pinos.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

De los cultivos existentes se puede destacar el arroz, los ya tradicionales cultivos de trigo, avena, maíz (forrajero y semilla), como de plantaciones de arándanos y cerezas, éstas últimas en menor escala. En cuanto a la actividad ganadera está quedaría un segundo plano.

Con respecto a las técnicas de riego son mayoritariamente por tendido gravitacional, debido en parte a la disponibilidad hídrica de los canales de riego que se encuentran la mayor parte del año sin problemas. La excepción a este sistema de riego lo constituyen los grandes productores de maíz y remolacha que ocupan riego mecanizado, y los productores de arándanos que ocupan riego tecnificado.

En la zona los recursos hídricos subterráneos se ocupan en la actividad agrícola sólo como soporte en caso de disminuir los aportes de los canales, en donde se bombean las extracciones a tranques de acumulación, los pozos son de producción media a baja. Como dato AC Ingenieros (2003) en base a lo calculado por INGENDESA-EDIC (1994) calculan un rendimiento de 35 lt/s como máximo, con depresiones en los mismo de 15 a 30 m. en operación.

Como parte de las actividades se visaron algunos pozos significativos del catastro realizado por Aquaterra (2011,a), encontrado pruebas de confinamientos en los pozos más profundos del sector, ubicados en las cercanías de San Nicolás, en su mayoría con profundidades mayores a los 150 m.

El conocimiento de la continuidad de las capas en el espacio se realizará mediante ensayos T.E.M (Transiente Electromagnético), apoyados en el conocimiento de la estratigrafía de los pozos visados en terreno, para lo cual se consideraron alrededor de 25 Km. de perfiles.

### Escenarios futuros

La cuenca puede ver afectado los recursos subterráneos principalmente por dos factores, la construcción del Embalse Punilla que regulará el río Ñuble en la cabecera, y cambios en los patrones del cultivo al aumentar la seguridad de riego, con el aumento de la cantidad de hectáreas de riego.

Existe un proyecto de regulación dentro de la cuenca, denominado Embalse Changaral, el cual aún no entra en la cartera de proyectos de inversión del Ministerio de Obras Públicas.





Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

## RESULTADOS

Se han presentado los antecedentes preliminares recopilados en el proyecto INNOVA Corfo cod.12BPC2-13473, y también parte del reconocimiento de terreno, que servirán de base para el desarrollo de un modelo conceptual del funcionamiento del flujo subterráneo de aguas en la cuenca afluente al río Changaral.

Uno de los principales problemas identificados en el desarrollo del modelo numérico es la falta de una red de mediciones de niveles estáticos históricos que permitan calibrar y validar los niveles modelados con anterioridad al 2012.

En Chile el organismo público encargado de la medición de niveles estáticos corresponde a la Dirección General de Aguas, este organismo mantiene una red permanente de medición solo hasta la sexta región. Hasta antes del 2012 este organismo trato de implementar una red, lo cual queda plasmado en el estudio desarrollado por Alamos y Peralta (1987), en que se definió una red crítica de mediciones de niveles, la que finalmente no fue materializada. Luego CONIC BF (2010) definió una nueva red, menos densa que la propuesta inicialmente, la cual se materializo en el 2011, tal como registrado por Aquaterra (2011, b).

Aunque no hay registros históricos existen mediciones puntuales encargadas por la D.G.A. con ocasión de los estudios desarrollados por Alamos y Peralta (1987), INIA (2010) y Aquaterra (2011, a), las que serán utilizadas junto con los resultados del Plan de Monitoreo considerado en el proyecto a realizarse en el año 2013, con el fin de preparar el modelo numérico del sector estudiado.

Hay que mencionar que en las regiones que no cuentan con red de medición de niveles históricos por parte de la D.G.A., pueden ser de utilidad los valores registrados por las empresas sanitarias en sus captaciones, como también los datos registrados por los Comités de Agua Potable Rural.

Para finalizar, la elaboración de modelos hidrogeológicos en sectores que no tienen información del recurso hídrico subterráneo, debe ser una de las estrategias a tener en consideración por las organizaciones encargadas de las inversiones en infraestructura de riego y agua potable. La utilización racional de los acuíferos, como fuente alternativa, puede ser un factor clave en zonas donde el recurso superficial está mermando paulatinamente, ya sea por el inminente cambio climático global o por el cambio en las condiciones de uso de las cuencas.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

La administración de los acuíferos en épocas de déficit superficial se plantea entonces como una alternativa para aumentar la seguridad alimentaria frente a los embalses reguladores, por ser fuentes poco vulnerables dado su gran recesión, permitiendo sobrellevar de mejor manera los eventos periódicos de sequía.

## REFERENCIAS

AC Ingenieros Consultores Ltda., Comisión Nacional de Riego (CNR), Chile (2003). “Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. Diagnóstico del Riego y Drenaje en la VIII Región”.

Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., Dirección General de Aguas, Chile (1987). SUB 1156 “Análisis Crítico de la Red de Medición de Niveles de Aguas Subterráneas VIII Región”

Aquaterra Ingenieros Ltda., Dirección General de Aguas (DGA), Chile (2011). S.I.T. N°258 “Estudio Hidrogeológico Cuencas Bío Bío e Itata”.

Aquaterra Ingenieros Ltda., Dirección General de Aguas (DGA), Chile (2011). S.I.T. N° 260 “Asesoría a la Inspección Fiscal para la Ejecución del Contrato, Instalación de Piezómetros Operativos, Regiones del Maule y Bío Bío”.

Conic BF Ingenieros Civiles, Dirección General de Aguas (DGA), Chile (2010). S.I.T. N°223 “Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X”.

Consorcio de Ingeniería INGENDESA-EDIC Ltda., Comisión Nacional de Riego (CNR), Chile (1994). “Estudio Integral de Riego Proyecto Itata”

Díaz P.; Instituto Nacional de Hidráulica (2012). Informe de Diagnóstico: “Geología e Hidrogeología de las localidades de San Carlos y Ninhue, Región del Bío Bio”.

PROITATA Asociación de Profesionales, Comisión Nacional de Riego (CNR), Chile (1992). “Proyecto Itata”.



Gestión Estratégica del Agua ::  
Del Concepto a la Implementación

---

Strategic Water Management ::  
From Concept to Implementation

Silva F., Arumi J.L.; Centro EULA – Chile, Doctorado en Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción (2002). “Estudio de Análisis y Aplicación de Modelos Numéricos a Problemas de Aguas Subterráneas”

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Dirección General de Aguas (DGA), Chile (2010). S.I.T N°224 “Análisis Preliminar de Niveles de Aguas Subterráneas”.

Junta de Vigilancia del Río Ñuble (2012). [En Línea]. Chile, disponible en: [http://www.rionuble.cl/pdf/valor\\_cuota\\_canales2012\\_2013.pdf](http://www.rionuble.cl/pdf/valor_cuota_canales2012_2013.pdf) [Accesado el día 10 de Diciembre de 2012]