



Ministerio de
Obras Públicas

Gobierno de Chile



Agua



Aeropuertos



Arquitectura



Obras Hidráulicas



Obras Portuarias



Vialidad

INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICAS

ESTUDIO

Modelo de evaluación de la vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo para uso agropecuario

PROYECTO INNOVA CORFO COD. 12BPC2-13473



SEPTIEMBRE DEL 2014

INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS



“INFORME FINAL”

PROYECTO INNOVA CORFO COD. 12BPC2 -13473
**“MODELO DE EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DEL
RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA USO AGROPECUARIO”**

PEÑAFLO, REGIÓN METROPOLITANA
SEPTIEMBRE 2014





<i>Mandante:</i>						
Gobierno Regional del Bio Bio (GORE VIII) Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)						
<i>Estudio:</i>				<i>Fecha:</i>		
MODELO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA USO AGROPECUARIO PROYECTO INNOVA CORFO COD. 12BPC2-13473				Septiembre 2014		
ENTREGA FINAL						
<i>Equipo de Trabajo:</i>						
Héctor Hernández Jara		Ingeniero Civil				
Julio Vallejos Alfaro		Ingeniero Civil				
Andrés Tapia Giovanetti		Ingeniero Civil				
Rodrigo Herrera Hernández		Ingeniero Civil				
Luis Zamorano Riquelme		Ingeniero Civil				
Camila Osorio Nilo		Ingeniera Civil en Geografía				
Catalina Tejo Roa		Ingeniera Civil Oceánico (e)				
Felipe Zelada Segovia		Ingeniero Civil (e)				
Paula Díaz Vargas		Geóloga				
<i>Aprobado por:</i>						
Luis Zamorano Riquelme		Ingeniero Civil, Jefe Unidad Ingeniería y Desarrollo				
A	Para aprobación del mandante		RHH	LZR	HHJ	16/Oct./2014
<i>Rev.</i>	<i>Descripción</i>	<i>Por</i>	<i>Por</i>	<i>Revisó</i>	<i>VºBº</i>	<i>Fecha</i>
<i>Clasificación: Proyectos extrapresupuestarios</i>						



INDICE GENERAL

1	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2	AVANCE DE PROYECTO ETAPA 1: DESARROLLO DEL BIEN PÚBLICO	13
2.1	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.....	14
2.2	SELECCIÓN DEL ACUÍFERO A ESTUDIAR.....	15
2.3	DEFINICIÓN DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....	17
2.4	DEFINICIÓN DE PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DE NIVELES Y CALIDAD DE AGUAS	18
2.5	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS (K Y S).....	20
2.6	DEFINICIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	22
2.7	ELABORACIÓN DE INFORME DE AVANCE	23
2.8	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIA ANUAL.....	23
2.9	IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MONITOREO DE NIVELES Y CALIDAD.....	25
2.10	DESARROLLO DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....	27
2.11	DEFINICIÓN DE GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO.....	29
2.12	MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO	30
2.13	CONSTRUCCIÓN HIDROGEOLÓGICO	31
2.14	SERVICIOS OPERACIONES (CALIDAD DE AGUAS).....	32
2.15	CALIBRACIÓN MODELO HIDROGEOLÓGICO	33
2.16	CONSTRUCCIÓN SIG	34
2.17	SIMULACIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS.....	34
2.18	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....	35
2.19	CAMPAÑA GEODÉSICA.....	36
2.20	PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	37
3	AVANCE DE PROYECTO ETAPA 2: DIFUSIÓN A LOS BENEFICIARIOS	38
3.1	LANZAMIENTO PROYECTO.....	38
3.2	CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO PÁGINA WEB	39
3.3	TALLERES DE DIFUSIÓN	40
3.4	EVENTO DE CIERRE	41
4	AVANCE DE PROYECTO ETAPA 3: TRANSFERENCIA AL OFERENTE.....	42
4.1	PREPARACIÓN DE INFORMES PARA LA ENTREGA A LOS MANDANTES	42
4.2	TRANSFERENCIA DE RESULTADOS AL OFERENTE	43
5	REFERENCIAS	44



LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1-1 Impactos Económicos, Sociales y Ambientales asociados a Sequías (Donoso et al, 1999).....	3
--	---

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1-1 Anomalía Pluviométrica Chile Central (DMC, 2013).....	1
Figura N° 1-2 Distribución de Frecuencias Sequías 1541 - 2005 (Aldunce et al, 2009).....	2
Figura N° 2-1 Mapa Regional con Ubicación Cuencas Itata y Bío Bío	16
Figura N° 2-2 Esquema configuración en planta método TEM	18
Figura N° 2-3 Pozómetro Heron Water Tape.....	19
Figura N° 2-4 Ejemplo análisis de prueba de gasto constante por medio de Theis.....	21
Figura N° 2-5 Ejemplo análisis de prueba de gasto constante por medio de Cooper-Jacob.	21
Figura N° 2-6 Esquema planos transversales desarrollados.....	22
Figura N° 2-7 Ventana de trabajo modelo WEAP.....	24
Figura N° 2-8 Modelo conceptual Aquaterra-DGA modificado.....	24
Figura N° 2-9 Trabajos de monitoreo de niveles.....	26
Figura N° 2-10 Ficha de Captación	26
Figura N° 2-11 Fuente de poder y Transmisor PROTEM	28
Figura N° 2-12 Receptor de Campo Electromagnético y Espira 3D.....	28
Figura N° 2-13 Condiciones existentes y muestreo punto SC M3 CANCH.....	29
Figura N° 2-14 Esquema modelo conceptual funcionamiento	31
Figura N° 2-15: Modelo Hidrogeológico elaborado en Visual Modflow Classic.....	32
Figura N° 2-16: Entorno de Trabajo Visual Modflow, definición de propiedades geométricas.....	32
Figura N° 2-17 resultados obtenidos de la calibración del modelo.....	33
Figura N° 2-18 Ejemplo de cartografía vulnerabilidad.....	35
Figura N° 2-19 Esquema trabajos de terreno medición coordenada y cotas	36
Figura N° 2-20 Esquema mapa de riesgo generado.....	37
Figura N° 3-1 Fotografías Lanzamiento proyecto 07-05-2013.....	39
Figura N° 3-2 Página de inicio plataforma web	40
Figura N° 3-3 Seminario de capacitación San Carlos	41



1 RESUMEN EJECUTIVO

Los recursos hídricos tienen una importancia fundamental en el desarrollo de la actividad agropecuaria, donde su uso principal es consuntivo: riego de cultivos y bebida de animales, por lo que su afectación tanto en cantidad como en calidad puede tener consecuencias directas en la producción y en la economía regional.

Durante los últimos años, la escasez de agua se ha transformado en un tema complejo en buena parte del sur de Chile, donde una de las regiones más afectadas ha sido la región del Bío-Bío, en donde las autoridades se han visto en la necesidad de tomar medidas de contingencia para el abastecimiento de agua a pequeñas localidades y comunidades rurales en las épocas estivales, tales como la entrega diaria de agua a través de camiones aljibes, construcción de estanques acumuladores y sondajes exploratorios.

Entre los antecedentes que respaldan las afirmaciones anteriores se notado que desde el año 2007 que la precipitación total anual en la zona central de Chile (entre la Serena y Concepción) está bajo el promedio climatológico, lo que ha caracterizado a esta década como una de las más secas de los últimos 60 años (DMC, 2013). En la Figura indicada a continuación se muestra la anomalía pluviométrica en Chile Central.

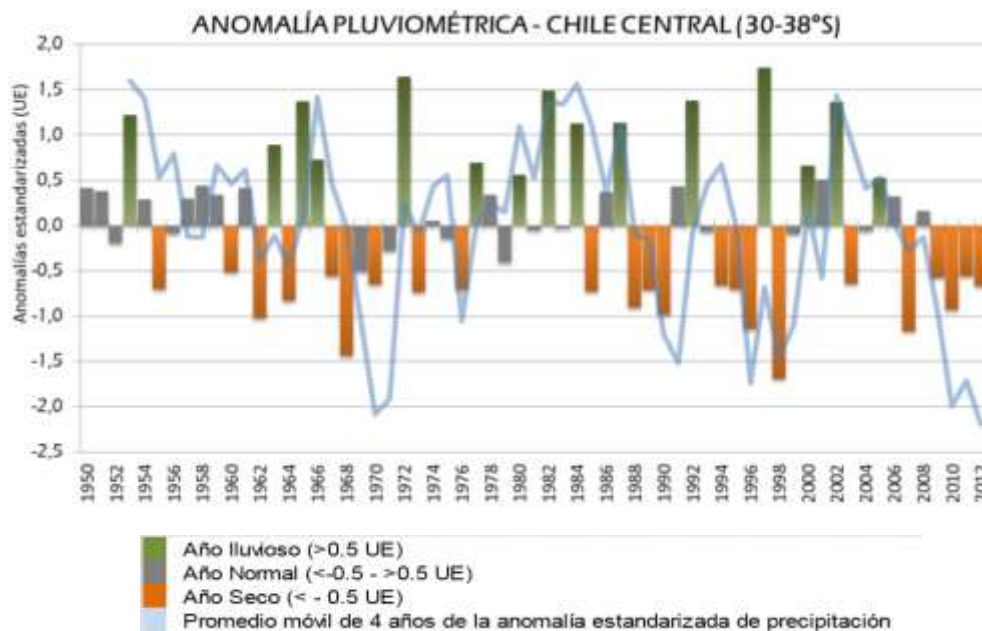


Figura N° 1-1 Anomalía Pluviométrica Chile Central (DMC, 2013)



De acuerdo a lo indicado por Aldunce et al (2009), existe un aumento de la recurrencia de las sequías en el país así como de los impactos en la agricultura registrados a través del tiempo. Este aumento observado puede deberse a dos cosas:

1. Mayor número de registros disponibles y,
2. Aumento en el uso del territorio utilizado para la agricultura y una mayor cantidad de población vulnerable expuesta.

En la figura siguiente se muestra un gráfico de distribución de frecuencias de años de sequía con impacto en la agricultura desde el año 1541 al 2005.



Figura N° 1-2 Distribución de Frecuencias Sequías 1541 - 2005 (Aldunce et al, 2009)

El impacto de las sequías se divide en impactos de tipo económico, social y ambiental. En la Tabla N° 1-1, se identifican impactos producidos por las sequías (Donoso et al, 1999).



Tabla N° 1-1 Impactos Económicos, Sociales y Ambientales asociados a Sequías (Donoso et al, 1999)

Económicos	Sociales	Ambientales
Impactos en la productividad agrícola y forestal	Impactos en la higiene y salud personal y pública	Erosión de suelos
Impactos en la productividad ganadera	Incremento de las tasas de desempleo	Degradación de la calidad del agua debido a concentración de contaminantes
Impactos en la producción hidroenergética	Deterioro o pérdida de espacios para recreación	Deterioro de la calidad visual del paisaje
Impactos en los costos de tratamiento y provisión de agua potable	Incremento de los índices de morbilidad y mortalidad	Incendios forestales
Impactos en las actividades industriales y comercial		Efecto sobre la flora y fauna autóctona
		Proceso de desertificación
		Disminución de los caudales bajo los mínimos ecológicos

Una de las medidas paliativas usada a nivel mundial frente a un evento de sequía corresponde al uso conjunto de aguas subterráneas con aguas superficiales debido a que los sistemas acuíferos (Garduño et al, GW-MATE, Banco Mundial, s/f) poseen:

- Una gran capacidad para amortiguar la variabilidad y los ciclos de sequía
- Un tiempo de recorrido del flujo del agua subterránea es varios órdenes de magnitud mayor.
- Usualmente son recursos de buena calidad (PHI-VIII 2014-2021).

De esta manera el proyecto 12BPC2-13473 denominado **“MODELO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA FINES AGROPECUARIOS”**, financiado por INNOVA Chile de CORFO, y desarrollado por el Instituto Nacional de Hidráulica (INH), con apoyo del Instituto Nacional del Desarrollo Agropecuario (INDAP), a solicitud del Gobierno Regional del Bío Bío, tiene como objetivo principal el desarrollo de un bien público consistente en un modelo hidrogeológico que permita caracterizar el comportamiento del acuífero en una zona de escasez hídrica, para ser aplicado en varias zonas del país, determinando sus vulnerabilidades frente a eventos futuros y planteando medidas de mitigación, con la aplicación práctica en un sector ubicado en la VIII Región del Bío Bío.



Con fecha 25 de Julio del 2012 mediante resolución Corfo N° 768 se aprobó el convenio de subsidio al INH para la ejecución del Proyecto Código 12BPC2-13473 denominado **“MODELO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO PARA USO AGROPECUARIO”**, los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

- I. Generar información técnica respecto al uso y disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en el sector elegido que permita inversiones agropecuarias en condiciones de menor incertidumbre y riesgo.
- II. Desarrollar un modelo hidrogeológico de la zona elegida que permita una mejor conceptualización del uso del recurso en la zona y sirva como herramienta de predicción del comportamiento del acuífero bajo un escenario de escasez hídrica.
- III. Proponer medidas de mitigación que permitan disminuir los efectos de escasez hídrica en la zona.
- IV. Difundir el proyecto y sus resultados a las autoridades y usuarios a través de seminarios, capacitación e implementación de una página web.

El proyecto tiene una duración de 22 meses, para lo cual se planificó su desarrollo en dos grandes actividades. La primera actividad considera la modelación hidrogeológica y caracterización de la calidad de aguas de un acuífero escogido en la octava región, la cual tiene como finalidad el acabado conocimiento del funcionamiento hidráulico e hidrogeoquímico del acuífero en estudio. La segunda actividad a desarrollar en el proyecto tiene como finalidad evaluar la vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo en cantidad y en calidad, para lo cual se utilizan los resultados de la primera gran actividad en conjunto con información de usuarios, captaciones y demandas de uso de agua potable, agrícola e industrial para establecer una zonificación, presentada mediante cartografía, que pueda ser utilizada en primera instancia para la toma de decisiones en cuanto a la factibilidad de las inversiones en materias de construcción de nuevas captaciones (someras o profundas) y la utilización de las fuentes analizadas, o de las zonas actuales que se encuentran altamente sensibles a eventos o manejos de la cuenca. Con los riesgos identificados y definidos, a través de la simulación de escenarios, se entregarán las medidas de mitigación más adecuadas para evitar la vulnerabilidad de los usuarios frente a la variación del recurso hídrico subterráneo. Finalmente hay que mencionar que posterior a la primera rendición se solicitó la extensión del proyecto en 4 meses adicionales debido a múltiples retrasos sufridos durante la primera etapa.



El presente documento contiene un resumen de las actividades desarrolladas en el Proyecto código 12BPC2-13473 durante el periodo Julio 2012 - Septiembre 2014.

Las actividades durante los primeros 9 meses consistieron principalmente en la selección del acuífero de estudio, la recopilación de antecedentes existentes del sistema analizado, el levantamiento en terreno de nueva información necesaria para el desarrollo del modelo hidrogeológico y la caracterización hidrogeoquímica, además del comienzo de la etapa de generación de escenarios y posterior modelación.

En este primer período las actividades estuvieron retrasadas por razones técnicas que dificultaron la contratación de personal calificado, y por lo tanto se desfasó el comienzo de las actividades de terreno programadas, lo cual se solicitó a ejecutivo técnico mediante reitemización, que fue aprobada por carta CORFO 594 del 16/04/2013.

Posterior a la rendición se realizó una solicitud de reitemización y reprogramación, las principales actividades fueron calibración modelo hidrogeológico, simulación de escenarios futuros, análisis de vulnerabilidad y propuestas de medidas de mitigación. Adicionalmente se solicitó la inclusión de nuevas actividades para mejorar el desarrollo del proyecto y sus resultados, entre las que se encuentran ampliación de servicios operacionales (calidad de aguas), construcción sistema de información geográfico y campaña geodésica.

De las actividades desarrolladas durante la duración del proyecto pueden destacarse las siguientes conclusiones:

- La cantidad y calidad de la información para desarrollar la primera gran actividad; desarrollo del modelo hidrogeológico y caracterización hidrogeoquímica, se encuentra polarizada en la región, existiendo dos grandes sistemas: Ñuble y Bio Bio. En la ficha de postulación del proyecto se nombraban algunas comunas que habían tenido problemas en el sistema Bío Bío (Ej., Yumbel, Santa Bárbara, etc), que al ser analizado durante la actividad “selección del acuífero a estudiar” tuvo que ser descartado, porque este no contaba con la información necesaria para realizar un modelo hidrogeológico, y el costo adicional del levantamiento de la nueva información estaba fuera de la programación inicial del proyecto. En vista de lo anterior se tuvo que escoger el sistema Ñuble, el cual si contaba con suficiente información. La zona escogida, acuífero Río Changaral, presenta un potencial de impacto muy importante al ser las dos comunas



involucradas, San Carlos y San Nicolás, de un alto uso de suelo agrícola, alta concentración de población rural, y donde paulatinamente se ha mostrado un incremento en las inversiones para la construcción de captaciones de aguas subterráneas y sistemas de riego tecnificado, tanto de la CNR como de INDAP, que son el principal foco de este proyecto.

- Las actividades de terreno presentaron algunos inconvenientes en su desarrollo. Las 14 campañas de monitoreo se retrasaron debido al retraso en la adquisición de los equipos pozómetros y conductivímetros, como también la contratación del personal idóneo a tales tareas. Con respecto a los resultados de la medición de niveles se observó durante el período febrero 2013 -marzo 2014 que existen diferencias notables en la zona, donde se pueden mencionar que tales están asociadas a la existencia de materiales acuíferos de diferente conformación geogenética. En la zona Este se presentan profundidades entre los 15-20 metros de nivel estático, en tanto que en la zona Centro y Oeste bordean los 3-7 metros.
- Los antecedentes existentes recopilados por la DGA en 2011 (levantamiento gravimétrico) muestran la existencia de un relleno del orden de 1500 metros. Sin embargo, se desconocía la disposición de los estratos de relleno (litología). Ante tal escenario, y en concordancia a las profundidades de las captaciones observadas, se toma la decisión de realizar un levantamiento con horizonte de prospección de 250 metros con algún método geofísico. Finalmente, los resultados de esta campaña muestran que existen dos sistemas acuíferos que funcionan de manera independiente, el primero de carácter superficial de funcionamiento libre hasta NRS-30m, y un segundo bajo el horizonte NRS-70m aproximadamente en funcionamiento confinado o semiconfinado. Estas conclusión está siendo analizada antes de ser divulgada, en parte debido a que INDAP ha señalado que han sucedido casos similares en otras regiones, en donde al publicar los resultados se llevó a la sobreexplotación de acuífero confinado al no considerar el total de la recarga sobre los derechos otorgados.
- Las campañas de calidad de aguas muestran que existe una baja diferencia en las calidades existentes entre en acuífero libre y confinado. Ambas aguas sin embargo presentan bajas concentraciones de iones en suspensión. Con respecto a los parámetros bacteriológicos estos se encuentran por sobre la norma NCH1333.
- Tanto de las modelaciones hidrogeológicas como del análisis de vulnerabilidad implementado se obtuvo que las zonas más afectadas ante un eventual escenario de sequía corresponde a la zona



central de la cuenca, específicamente en las cercanías de la ciudad de San Carlos. Esta conclusión fue obtenida extrapolar los indicadores de amenaza; que cuantifican los descensos en el acuífero, con respecto a los indicadores de vulnerabilidad que consideran los atributos de la población: territorial, socioeconómico y sistema agrícola. Este resultado se encuentra altamente castigado por el nivel de descensos y por la alta densidad poblacional.

- Como productos adicionales del estudio se han construido archivos vectoriales con la información del proyecto, además se realizó y materializó en terreno una red geodésica que está vinculada a los datos cartográficos oficiales del Instituto Geográfico Militar (IGM), la que podrá ser utilizada por otros proyectos que se encuentren en el área, con la siguiente economía.

Como actividades de difusión se pueden destacar la participación en el Congreso Waterweek Latinoamérica, efectuado en Marzo del 2013 en el Hotel Sheraton Miramar en Viña del Mar, y la actividad de Lanzamiento del Proyecto realizada en el Casino Social del Centro Español de Chillán en el mes de Mayo del 2013.

Cabe destacar que en la primera actividad de orden internacional se entregó un paper y se realizó una presentación de las actividades del proyecto y sus implicancias, lo cual fue bien valorado por los asistentes, entre los que se contaban Ministros de Obras Públicas, Agricultura y distintos organismos públicos y privados asociados a la utilización y gestión del agua.

En la actividad de Lanzamiento del proyecto se invitaron a usuarios del agua en la zona analizada: Comités de APRs, Municipalidades y agricultores particulares, como también asociaciones que tienen gran relevancia en la zona como la Junta de Vigilancia del río Ñuble. Entre los organismos participantes se encontraron la DGA, DOH, CNR, INDAP y ESSBIO. En esta actividad se presentaron las tareas efectuadas hasta el momento en el proyecto y los principales productos esperados de la ejecución del mismo.

En la etapa final del proyecto además se desarrolló un Seminario en el Club Social San Carlos ubicado en la ciudad de San Carlos con los agricultores y usuarios de aguas subterráneas que participaron autorizando la medición de sus captaciones subterráneas. En aquella ocasión se les capacitó en tópicos básicos de aguas subterráneas, se mostraron resultados del proyecto y se les entregó parte de las mediciones realizadas durante las campañas de monitoreo y calidad de aguas. Este evento contó con una asistencia importante respecto a la cantidad de invitados que estaban considerados.

La última actividad de difusión formal consistió en el Evento de Cierre desarrollado en el Hotel Terrano en la ciudad de Concepción, esta actividad se ideó inicialmente para dar a conocer los resultados



a las autoridades comunales, provinciales y regionales, sin embargo muchos de ellos enviaron notificaciones avisando a último minuto que no podrían participar por lo que la convocatoria no fue masiva.

Esta actividad y la anterior fueron publicadas en diversos medios escritos, radiales y televisivos regionales, en especial el último que tuvo una mayor cobertura gracias a la gestión de la periodista del proyecto, alcanzando de esta manera un espectro mayor de conocedores de los resultados fuera del evento de difusión.

En la tabla N° 1-1 se presenta un resumen de las actividades, resultados, fechas de inicio y término y porcentajes de avance de las actividades comprometidas en el informe final.

En la tabla N°1-2 se especifican las personas que se desempeñaron en el proyecto durante el período Julio 2012 - Septiembre 2014.



Tabla N° 1-2 Resumen de las actividades desarrolladas para el Informe Final

	Fecha de Ejecución		% avance
	Inicio	Término	
ETAPA 1. Desarrollo del bien Público. Construcción Modelo Hidrogeológico y Propuesta Medidas de Mitigación			
Recopilación y análisis de antecedentes	26/07/2012	25/11/2012	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Selección del acuífero a estudiar	26/08/2012	25/11/2012	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Definición de programa de estudios complementarios	25/09/2012	25/10/2012	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Definición de programa de seguimiento de niveles y calidad de aguas	25/09/2012	25/10/2012	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Definición de parámetros elásticos (K y S)	25/09/2012	25/01/2013	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Definición de unidades hidrogeológicas	26/12/2012	25/01/2013	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Elaboración de informe de avance	26/01/2013	24/04/2013	100
Participantes: Director de proyecto, ingeniero hidráulico, dibujante			
Estimación de la recarga media anual	11/02/2013	20/12/2013	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Implementación plan de monitoreo de niveles y calidad	11/02/2013	30/04/2014	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Desarrollo de estudios complementarios	11/03/2013	30/10/2013	100
Participantes: ingeniero hidráulico, técnico 1, técnico inh			
Definición de geometría del acuífero	11/03/2013	10/12/2013	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Modelo conceptual de funcionamiento	01/04/2013	10/12/2013	100
Participantes: Director de proyecto, hidrogeólogo, ingeniero hidráulico			
Construcción hidrogeológico	01/04/2013	10/12/2013	100
Participantes: Director de proyecto, ingeniero modelador, memorista			
Servicios operacionales (calidad de aguas)	01/11/2013	30/04/2014	100
Participantes: Ingeniero de proyectos			
Calibración modelo hidrogeológico	01/01/2014	22/06/2014	100
Participantes: Director de proyecto, ingeniero modelador, memorista			
Construcción sistema información geográfico	01/01/2014	31/07/2014	100
Participantes: Director de proyecto, geógrafo			
Simulación de escenarios futuros	01/03/2014	30/06/2014	100
Participantes: Director de proyecto, ingeniero modelador, memorista			
Análisis de vulnerabilidad	01/04/2014	30/07/2014	100



Participantes: Director de proyecto, ingeniero modelador			
Campana geodésica	01/04/2014	15/06/2014	100
Participantes: Jefe Geomensor			
Propuestas de medidas de mitigación	01/05/2014	10/08/2014	100
Participantes: Director proyecto			
Elaboración de informe final	01/05/2014	15/08/2014	100
Participantes: Director proyecto, ingeniero hidráulico, dibujante			
RESULTADOS DEL INFORME FINAL:			
<ul style="list-style-type: none"> - Informe de Diagnóstico de la Situación Actual (25/10/2012) - Estudio Hidrológico (25/12/2012) - Estudio Hidrogeológico (25/01/2013) - Datos de niveles freáticos y análisis de calidad de aguas (25/12/2013) - Informe de modelo conceptual de funcionamiento del sector estudiado (25/03/2013) - Informe de avance (25/03/2013) - Modelo Numérico (Modflow) (30/06/2014) - Informe de Vulnerabilidad (30/07/2014) - Informe con propuestas de medidas de mitigación (10/08/2014) - Informe Final (16/05/2014) - Informe Base geodésica (15/06/2014) - Sig Proyecto (31/07/2014) 			

	Fecha de Ejecución		% avance
	Inicio	Término	
ETAPA 2. Difusión a los beneficiarios finales			
Construcción y mantenimiento página web	18/02/2013	12/09/2014	100
Participantes: Director proyecto, servicio diseño web, periodista			
Lanzamiento del proyecto	22/04/2013	26/04/2013	100
Participantes: Director proyecto, ingeniero, periodista			
Talleres de difusión	01/03/2014	12/09/2014	100
Participantes: Director de proyecto, ingeniero, periodista			
Ceremonia de cierre	01/08/2014	12/09/2014	100
Participantes: Director de proyecto, periodista			
RESULTADOS DE INFORME FINAL:			
<ul style="list-style-type: none"> - Construcción y mantenimiento página web (16/05/2014) - Lanzamiento del proyecto (25/10/2012) - Talleres de difusión (24/04/2014) - Ceremonia de cierre (16/05/2014) 			



	Fecha de Ejecución		%
	Inicio	Término	avance
ETAPA 3. Transferencia al oferente			
Preparación de los informes para transferencia a los oferentes	01/05/2014	01/09/2014	100
Participantes: Director de proyecto, ingeniero hidráulico, dibujante			
Transferencia de resultados al oferente	01/08/2014	15/09/2014	70
Participantes: Director de proyecto, ingeniero, periodista			
RESULTADOS DE INFORME FINAL:			
<ul style="list-style-type: none"> - Informe Final (01/09/2014) - Transferencia de resultados (15/09/2014) 			



Tabla 1-1 Nombre y cargo de los profesionales que participan (ron) en el desarrollo del proyecto

Técnicos	
Director de Proyecto	Héctor Hernández Jara
Director de Proyecto *	Julio Roberto Vallejos Alfaro
Director Alterno	Luis Zamorano Riquelme
Director Alterno*	Rodrigo Herrera Hernández
Hidrogeólogo	Paula Javiera Díaz Vargas
Ingeniero Hidráulico	Andrés Tapia Giovanetti
Ingeniero Geógrafo	Camila Osorio Nilo
Técnico 1	Catalina Alejandra Tejo Roa
Memorista	Felipe Hernán Zelada Segovia
Técnico Senior INH	Héctor Patricio Aliaga Zúñiga
Dibujante	Luis Ricardo Esquivel Velásquez
Externo 1	Prospección Geofísica TRV Geofísica
Externo 2	Laboratorio Análisis de Calidad de Aguas AGQ Labs & Technological Services
	Laboratorio Análisis de Calidad de Aguas SGS Chile
Difusión	
Periodista	Stephania Bustos Cabrera
Diseñador y Mantenedor Web	Marcelo Diaz
Administrativos	
Coordinador Administrativo	Karina Isabel Jaramillo Salas
Ayudante Administrativo	Juan Saldía

* : ya no se desempeña en la institución o en el cargo mencionado



2 AVANCE DE PROYECTO ETAPA 1: DESARROLLO DEL BIEN PÚBLICO

Durante la ejecución de esta etapa se realiza un diagnóstico de la situación actual, la selección del acuífero a estudiar, el desarrollo del modelo hidrogeológico, construcción de modelos numéricos y simulación de escenarios futuros, entre otros. De acuerdo a la programación del proyecto esta etapa se desarrolla entre el 26 de Julio del 2012 hasta el 15 de Agosto del 2014. Consta de 22 actividades y 11 resultados.

En la tabla N° 2.1 se presentan los resultados asociadas al informe final de la etapa N°1.

Tabla N° 2-1 Resumen de resultados Informe Final

Resultado	% Avance	Fecha estimada	Observación
Informe de Diagnóstico de la Situación Actual	100	25/10/2012	Se encuentra en "Informe de Diagnóstico de la Situación Actual" adjunto.
Estudio Hidrológico	100	25/12/2012	Se encuentra en "Informe Hidrológico" adjunto
Estudio Hidrogeológico	100	25/01/2013	Se encuentra en "Informe Hidrogeológico" adjunto
Datos de niveles freáticos y análisis de calidad de aguas	100	25/12/2013	Se encuentra en "Informe Niveles Freáticos" e "Análisis de calidad de aguas", adjunto
Informe de modelo conceptual de funcionamiento del sector estudiado	100	25/03/2013	Se encuentra en "informe de modelo conceptual", adjunto
Informe de avance	100	25/03/2013	El informe de avance fue entregado en mayo de 2013.
Modelo Numérico (Modflow)	100	30/06/2014	Se encuentra en informe "modelo numérico Modflow" como anexo digital, explicado en el informe del mismo nombre
Informe de Vulnerabilidad	100	30/07/2014	Se encuentra en el "informe de Vulnerabilidad del sistema" adjunto
Informe con propuestas de medidas de mitigación	100	10/08/2014	Se encuentra en el "informe de propuestas de medidas de mitigación" adjunto
Informe Final	100	16/05/2014	Corresponde al presente informe ejecutivo
Informe Base geodésica	100	15/06/2014	Se encuentra en el "informe base geodésica" adjunto
Sig Proyecto	100	31/07/2014	Se encuentra en el "informe sig proyecto adjunto"



2.1 Recopilación y análisis de antecedentes

Fecha Inicio: 26/07/2012

Fecha Término: 25/11/2012

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la recopilación de antecedentes básicos para la generación de un modelo hidrogeológico y un análisis de la situación actual. Los hitos considerados para esta actividad son la compra de información y elaboración de informe de análisis de antecedentes.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe de Diagnóstico de la Situación Actual”, capítulo 4 “Revisión y Análisis de Antecedentes” (páginas 9-37).

➤ Conclusiones

Los hitos de la actividad planteados en los términos de referencia del proyecto 12BPC2-13473 fueron cumplidos a cabalidad, en el mes de Febrero del 2013, momento en el cual fueron definidos los inicios de los estudios complementarios.

Dentro de los trabajos realizados en esta actividad para el cumplimiento de los hitos se encuentran los siguientes:

- Recopilación y revisión de antecedentes dentro de los cuales se encuentra el “Estudio Hidrogeológico Cuencas Bío Bío e Itata”. S.I.T. N°258. Preparado para la División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas (DGA), Chile”
- Recopilación de antecedentes para la construcción de un sistema de información Geográfico (SIG)
- Compra de cartografía escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.
- Realización de campaña exploratoria con el objetivo de identificar sondajes y los lugares en los cuales se iban a realizar los estudios geofísicos.

Esta etapa sufrió un retraso en su inicio principalmente por la espera de la entrega del informe S.I.T. N° 258, y la dificultad de contratación de personal con capacidades idóneas al proyecto.



2.2 Selección del acuífero a estudiar

Fecha Inicio: 26/08/2012

Fecha Término: 25/11/2012

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en el estudio de los antecedentes hidrogeológicos existentes, búsqueda de cuencas que hayan presentados problemas de desabastecimiento, presentación preliminar a entidad mandante, y por último, selección del acuífero a través de la definición de criterios. Para esta actividad el hito considerado es la elaboración de una minuta técnica.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe de Diagnóstico de la Situación Actual”, capítulo 2 “Selección del Acuífero a Estudiar” (páginas 2-6). Cabe mencionar que la minuta técnica se integró como parte del informe consolidado.

➤ Conclusiones

La actividad de selección del acuífero a estudiar fue completada a cabalidad.

Se seleccionó como acuífero a estudiar el acuífero de la cuenca del río Changaral, cuya cuenca superficial comprende los municipios de San Carlos y San Nicolás.

Previo a su selección se realizó una reunión de coordinación en Octubre del 2012 en dependencias de INDAP Nivel Central en Santiago, donde participaron Sergio Carvallo; Jefe de Riego Nacional INDAP, Jorge Silva; Ingeniero Civil Agrícola Asesor INDAP y Julio Vallejos; Director de Proyecto Instituto Nacional de Hidráulica. El tema de la reunión fue presentar el legajo de antecedentes con los que se contaban a esas alturas, y definir preliminarmente el foco en alguno de los dos grandes sistemas: Ñuble o Bio Bio. En esta reunión se menciona por parte de INDAP la ubicación del proyecto CADEPA en el sector de Ninhue.

Finalmente, algunas de las razones por las cuales se eligió este sector se encuentran las siguientes:

- Presencia de agricultura de secano y riego por canales
- Presencia de agricultura de subsistencia, pequeños y medianos agricultores.
- Sector afectado por la sequía que se ha desarrollado durante los últimos 5 años en la zona centro sur del país.



En la figura 2-1 se representan los dos sistemas y la ubicación del acuífero finalmente escogido.

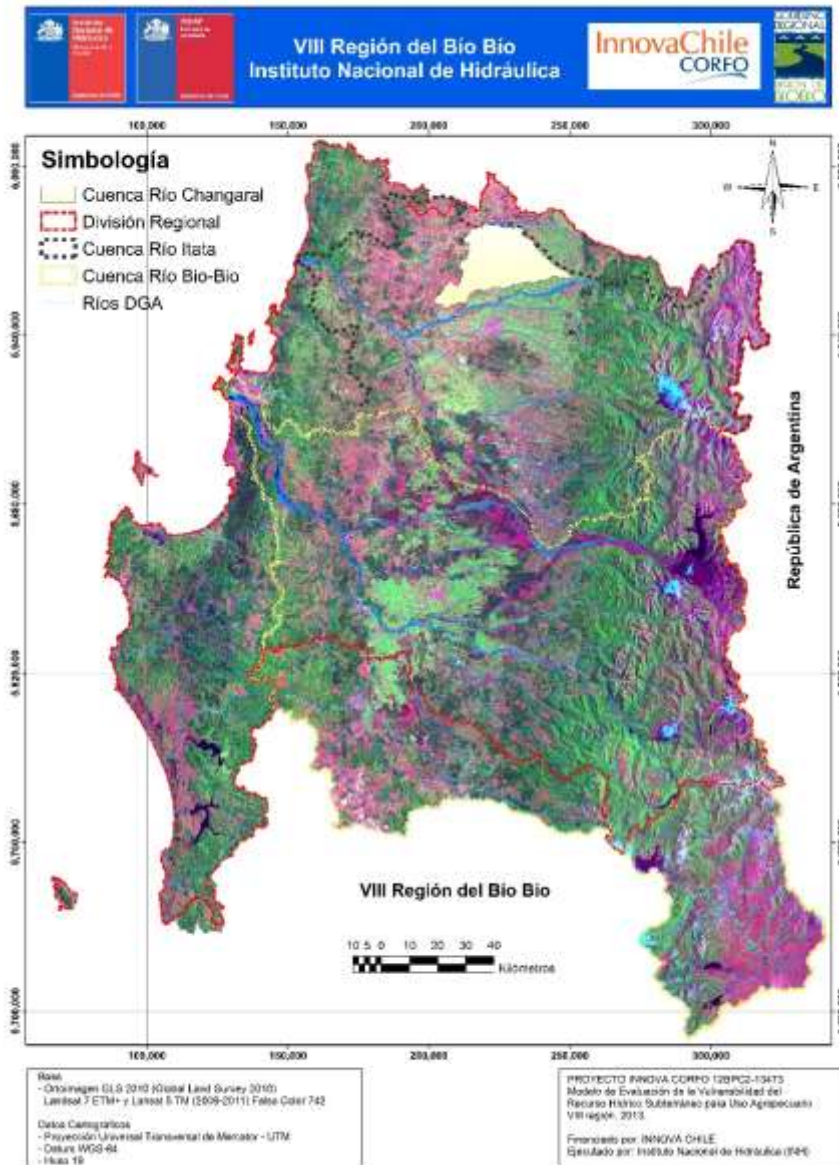


Figura N° 2-1 Mapa Regional con Ubicación Cuencas Itata y Bío Bío



2.3 Definición de estudios complementarios

Fecha Inicio: 25/09/2012

Fecha Término: 25/10/2012

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la definición de las metodologías, instrumental, programación y personal a utilizar para la adquisición de los datos de terreno referidos a la geofísica de subsuperficie (determinación de litología). Para esta actividad el hito considerado es la elaboración de una minuta técnica.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe de Diagnóstico de la Situación Actual”, capítulo 5 “Estudios Complementarios” (páginas 38-54). Cabe mencionar que la minuta técnica se integró como parte del informe consolidado.

➤ Conclusiones

El cumplimiento del hito relativo a esta actividad se cumplió a cabalidad.

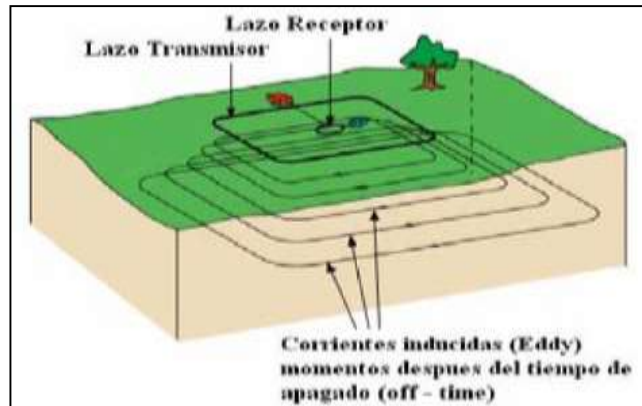
Para realizar las definiciones de los trabajos complementarios fue necesario realizar una actividad adicional consistente en una campaña de exploración de la zona de interés, lo cual fue realizado en el mes de Diciembre del 2012. En esta campaña participó la hidrogeóloga y el ingeniero de proyectos, la campaña tuvo la finalidad de validar los antecedentes geológicos, reconocer estructuras y afloramientos, contactar particulares que tuvieran pozos profundos de interés y por último, reconocer el manejo actual de la cuenca (tipo de cultivos, técnicas de riego, etc). En la campaña de terreno se observó en los afloramientos características de ordenamiento laminar en las capas.

Fruto de la campaña anterior, y en vista de la geología existente y las características de las parcelaciones se escogió entre los métodos geofísicos el método Transiente Electromagnético (TEM) de configuración fixed loop, en gran medida por la gran cantidad de deslindes y líneas de cerco existentes en la zona. El método TEM escogido es el más adecuado para los objetivos del proyecto, ya que entrega una mejor resolución en vertical que si se hubiera utilizado otro método comúnmente aceptado, como por ejemplo SEV. En la figura N°2-2 se presenta un esquema en planta de la configuración TEM.

Por último, el rumbo y la longitud de las líneas de prospección fueron definidos a criterio del hidrogeólogo, que tuvo en consideración la geología para establecer los trazados más adecuados en la obtención de los perfiles hidrogeológicos.



Figura N° 2-2 Esquema configuración en planta método TEM



2.4 Definición de Programa de Seguimiento de Niveles y Calidad de Aguas

Fecha Inicio: 25/09/2012

Fecha Término: 25/10/2012

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la definición de las metodologías, instrumental, programación y personal a utilizar para la adquisición de los datos de terreno referidos a la toma de muestras para la evaluación de la calidad de aguas y el monitoreo de niveles en captaciones profundas. Para esta actividad los hitos considerados fueron la generación de una planilla Excel con programa de monitoreo y compra de equipos de monitoreo.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe de Diagnóstico de la Situación Actual”, capítulo 6 “Seguimiento de Niveles y Calidad de Aguas” (páginas 55-60).

➤ Conclusiones

Los hitos considerados para esta actividad fueron cumplidos a cabalidad.

La definición del programa de seguimiento de niveles y de calidad de aguas se realizó posterior a la campaña de exploración de la zona de interés, lo cual fue realizado en el mes de Diciembre del 2012.



Para cumplir con los hitos se realizaron licitaciones en ChileCompra para la adquisición de equipos 2 pozómetros, conductivímetros y botellas de muestreo (bailer). Los primeros dos equipos son de marca Heron Instruments y fueron adquiridos a HidroChile S.A, en el caso de las botellas son de marca Geotech Environmental Equipment Inc y fueron adquiridas a Hidrotecnologías S.A. Los equipos se recibieron en Enero del 2013.

Figura N° 2-3 Pozómetro Heron Water Tape



Se definieron 14 campañas de monitoreo de niveles, entre febrero 2013 y marzo del 2014, con una duración de una semana cada una. La duración se estimó en base a las distancias que es necesario recorrer para realizar la medición de las primeras 20 captaciones escogidas. Cabe mencionar que durante el desarrollo de nuevas campañas se irán integrando más captaciones al catastro definido.

Con respecto a las metodologías se establecieron procedimientos de muestreo en base a los criterios actuales de la DGA.

Los parámetros de calidad de aguas definidos son de carácter físico-químico y tienen relación con una caracterización de tipo hidrogeoquímica de las aguas analizadas.



2.5 Definición de Parámetros Elásticos (K y S)

Fecha Inicio: 25/09/2012

Fecha Término: 25/01/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la determinación de los parámetros elásticos de los estratos acuíferos definidos, para lo cual se analizaron pruebas de bombeo de gasto constante y gasto variable, obtenidas de los expedientes de inscripción de derechos de agua subterráneos recopilados por la DGA en el estudio SIT N° 258. Para esta actividad el hito considerado es el análisis de Pruebas de Bombeo Existentes.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el informe “Estudio Hidrogeológico”

➤ Conclusiones

El hito asociado a esta actividad se encuentra completamente finalizado.

Para efectuar el cálculo de los parámetros se seleccionaron 42 expedientes de solicitud de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, los que provenían del catastro realizado por la DGA (2011) en el informe SIT N° 258, para captaciones de tipo pozo profundo. Desde los expedientes se rescató la información de pruebas de bombeo, configuración constructiva del pozo en caso de existir y descripción litológica asignada por las empresas perforistas.

Las pruebas de bombeo fueron analizadas mediante el ajuste de modelos de acuífero en el software Aquifer Test Pro de Schlumberger Water Services. Las curvas ajustadas son presentadas como parte del informe (Theis y Cooper-Jacob). Además con las pruebas de gasto variable se calcularon las curvas de caudal específico que ayudaron a realizar un análisis crítico a las pruebas de bombeo.

Junto con el análisis de las pruebas de bombeo se desarrolló un estudio bibliográfico con el objetivo de comparar los valores obtenidos con los resultados de la bibliografía. Cabe mencionar que los valores asignados a los parámetros representan valores promedio que tienen que ser ajustados mediante la modelación en Modflow.

A continuación se presenta un esquema de las curvas ajustadas mediante el Aquifer Test Pro.



Figura N° 2-4 Ejemplo análisis de prueba de gasto constante por medio de Theis.

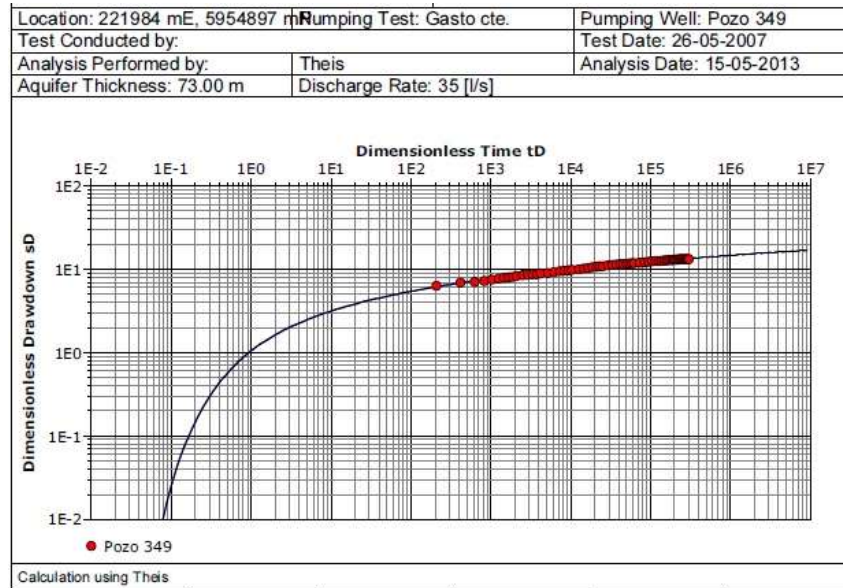
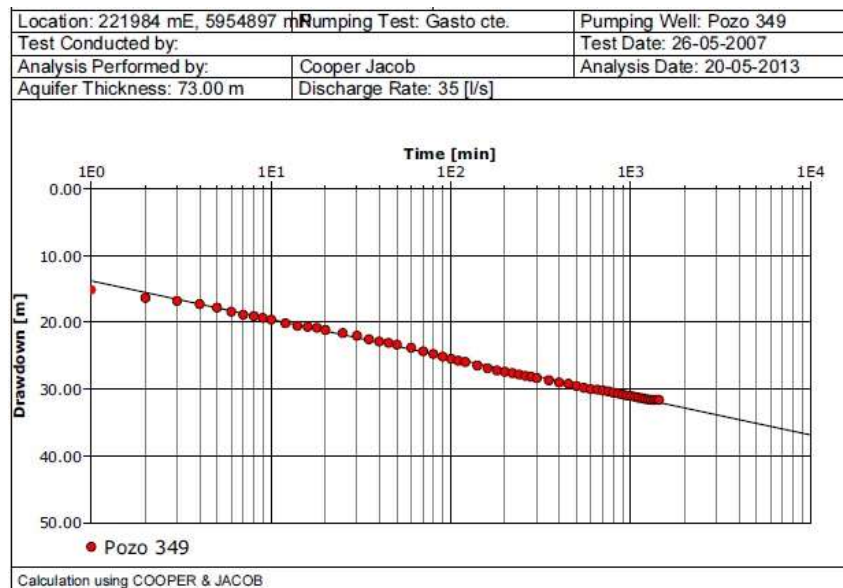


Figura N° 2-5 Ejemplo análisis de prueba de gasto constante por medio de Cooper-Jacob.





2.6 Definición de Unidades Hidrogeológicas

Fecha Inicio: 26/12/2012

Fecha Término: 25/01/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la definición de las unidades hidrogeológicas que definen el comportamiento hidráulico subterráneo en la zona de estudio. Para esta actividad el hito considerado es la elaboración de una minuta técnica que integra las actividades (1) Desarrollo de estudios complementarios, (2) Definición de geometría del acuífero y (3) Definición de parámetros Elásticos.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el informe “Modelo Conceptual de Funcionamiento del Sector Estudiado”. Cabe mencionar que la minuta es reemplazada por este informe que es un consolidado de la información comprometida.

➤ Conclusiones

Los hitos asociados a esta actividad se encuentran completos. Se hizo una descripción de las unidades reconocidas en el informe mencionado. Además se construyeron 7 perfiles transversales y planta con la ubicación en la cuenca.

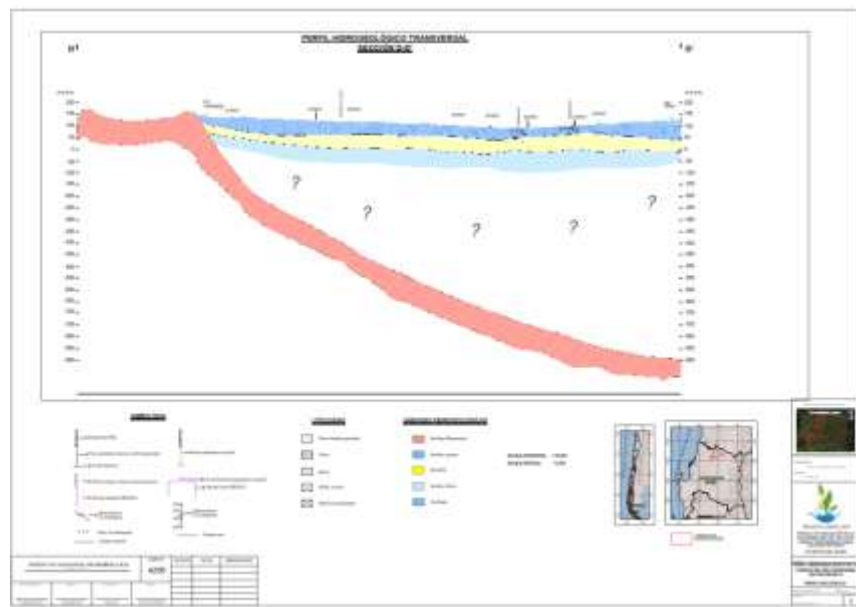


Figura N° 2-6 Esquema planos transversales desarrollados



2.7 Elaboración de informe de avance

Fecha Inicio: 26/01/2013

Fecha Término: 24/04/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la elaboración de un informe de avance para la revisión administrativa por parte del comité INNOVA CORFO. Se cumplió la entrega en la fecha y las observaciones fueron aprobadas favorablemente exceptuando el concepto de aportes para la cuenta de inversión, que se aplicó el valor de depreciación a los equipos comprados.

➤ Conclusiones

El hito considerado para esta actividad se encuentra completo.

2.8 Estimación de la Recarga Media Anual

Fecha Inicio: 25/09/2012

Fecha Término: 25/12/2012

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la identificación de los elementos del sistema hídrico estudiado, definición del funcionamiento hidrológico y entendimiento del manejo de la cuenca, para lo cual se revisaron los antecedentes básicos de estudios previos de hidrología superficial. Luego del entendimiento del funcionamiento de la cuenca se tuvo que definir un modelo de simulación hidrológico adecuado a los objetivos del proyecto y las características de la cuenca. Con el modelo seleccionado se prepararan distintos escenarios con el fin de encontrar la recarga para cada uno de ellos. Para esta actividad el hito considerado es la elaboración de una minuta técnica con evaluación de la recarga media anual en el acuífero.

La información complementaria de esta actividad se encuentra plasmada en el informe "Estudio Hidrológico".



➤ Conclusiones

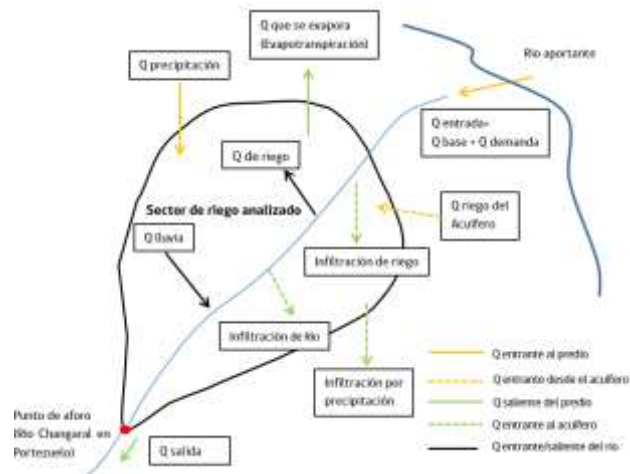
El hito considerado para esta actividad se encuentra completo.

Fueron seleccionados dos modelos para la modelación hidrológica, el primero fue WEAP (Water and Evaluation Plannig) del Stockholm Environment Institute, modelo ampliamente utilizado en gestión de Recursos Hídricos y subterráneos. Y el segundo consiste en una modificación por parte del desarrollador (INH) al modelo conceptual desarrollado en el estudio Aquaterra-DGA. En ambos modelos se estimó el valor de la infiltración, que sumado a otras componentes estimadas dio el valor final para la recarga neta, esto evaluado para los dos escenarios de modelación Base (Sequia) y Futuro (implementación embalse punilla).

Figura N° 2-7 Ventana de trabajo modelo WEAP



Figura N° 2-8 Modelo conceptual Aquaterra-DGA modificado





2.9 Implementación de Plan de Monitoreo de Niveles y Calidad

Fecha Inicio: 11/02/2013

Fecha Término: 30/04/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en el desarrollo de las actividades de terreno relativas a la medición de niveles freáticos, conductividad eléctrica y la toma de muestras para análisis de calidad de aguas. Para esta actividad los hitos considerados son la medición de niveles y toma de muestras para análisis químicos. La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe de Niveles Freáticos y Calidad de Aguas”.

➤ Conclusiones

Los hitos asociados a esta actividad se encuentran completos debido a que se desarrollaron el total de las 14 campañas consideradas, terminando aproximadamente en Marzo del 2014.

Las tareas desarrolladas en cada campaña de monitoreo consistieron en el acercamiento a los propietarios de las captaciones, solicitando autorizaciones de acceso para el ingreso a los predios o recintos particulares, en cada contacto se entregó una ficha resumen del proyecto, explicando los beneficios potenciales y productos asociados a la medición que se iba a realizar, muchos de los cuales fueron invitados a la actividad de lanzamiento del proyecto.

Una vez obtenidos los permisos como primera actividad se completaron las fichas de captación (ver figura N° 2-10) que contiene todos los antecedentes necesarios para su utilización posterior. En las campañas posteriores sólo se registró el valor del nivel estático o dinámico, junto con el registro fotográfico de las condiciones del pozo al momento del muestreo.



En el caso del monitoreo de calidad de aguas sólo se efectuó una campaña en el mes de Marzo del 2013. En esta actividad se tomaron muestras de aguas superficiales correspondientes a los ríos Changaral, Estero Carbonero y Canal Municipal, en tanto que para aguas subterráneas se tomaron muestreo de aguas subterráneas en pozos surgentes ubicados en el Fundo Santa Eugenia de San Nicolás. En la segunda etapa de la campaña se tomaron muestras principalmente en captaciones profundas.

2.10 Desarrollo de Estudios Complementarios

Fecha Inicio: 11/03/2013

Fecha Término: 30/10/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la ejecución del estudio geofísico establecido en la actividad "Definición de Estudios Complementarios", la adquisición de muestras y envió a laboratorio para análisis físico-químico del agua obtenida en captaciones profundas y drenajes superficiales. Para esta actividad los hitos considerados son Análisis de Calidad de Aguas y Campaña Geofísica.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en los informes: (1) "Estudio Hidrogeológico", capítulo 3 "Campaña Geofísica" y (2) "Informe Análisis de Calidad de Aguas".

➤ Conclusiones

Los hitos considerados han sido cumplidos totalmente. A la fecha de entrega del informe se encuentra en un 100% desarrollado el estudio Geofísico de Transiente Electromagnético (TEM) y muestreos de calidad de aguas.

El hito asociado al desarrollo de la campaña geofísica se retrasó en su comienzo debido en parte al retraso en la selección del acuífero y la definición del método geofísico a utilizar. Los servicios de geofísica fueron licitados a través de Chilecompra, adjudicando a la empresa TRV Geofísica en Marzo del 2013.

El comienzo de las actividades en terreno fue entregado por el ingeniero de proyectos y la hidrogeóloga, los que se encargaron de inspeccionar el desarrollo de las labores por parte de la empresa contratada. La empresa en el desarrollo de sus labores sufrió inconvenientes con el equipo, lo cual fue informado al director de proyecto por medio de una solicitud de aplazamiento. Finalmente los informes y resultados fueron entregados a mediados de Mayo del 2013. Los resultados entregados por la empresa

TRV geofísica cuentan el levantamiento de 154 perfiles unidimensionales de resistividad vs profundidad, como perfiles transversales interpretados. Este informe se entregó como anexo en “Estudio Hidrogeológico”

En las siguientes imágenes se presentan algunos registros fotográficos de los equipos y actividades desarrolladas en la campaña geofísica.

Figura N° 2-11 Fuente de poder y Transmisor PROTEM



Figura N° 2-12 Receptor de Campo Electromagnético y Espira 3D





De igual manera, para efectuar las campañas de calidad de aguas se realizó licitación en Chilecompra para el análisis de las muestras de calidad de aguas, que fue adjudicado a la empresa AGO Labs. En la segunda etapa del muestreo se consideraron solamente captaciones profundas, el laboratorio encargada de analizar estas muestras fue SGS Chile.

Figura N° 2-13 Condiciones existentes y muestreo punto SC M3 CANCH



2.11 Definición de Geometría del Acuífero

Fecha Inicio: 11/03/2013

Fecha Término: 10/12/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la determinación de la geometría del acuífero, para lo cual se analizó la información existente de geología e hidrología existente, litología observada en pozos profundos analizados y por último los resultados del levantamiento geofísico transiente electromagnético desarrollado con ocasión del proyecto. La geometría obtenida es un dato básico para efectuar la modelación en software Visual Modflow. Para esta actividad los hitos considerados son la elaboración de perfiles hidrogeológicos longitudinales y transversales.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el informe “Modelo Conceptual de Funcionamiento”.



➤ Conclusiones

Los hitos asociados a esta actividad se encuentran completos. Con los perfiles TEM y más la interpretación de las litologías de los pozos la geóloga de proyecto hizo una extensión considerando todos los factores que pudieran influenciar los lineamientos y buzamientos de los estratos.

2.12 Modelo Conceptual de Funcionamiento

Fecha Inicio: 01/04/2013

Fecha Término: 10/12/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la consolidación de todos los antecedentes recopilados, en donde se plantea un modelo idealizado del funcionamiento de la cuenca, para lo cual se hacen una serie de supuestos con el fin de simplificar el análisis hidráulico. El modelo conceptual contiene los antecedentes relativos a la geometría del acuífero, sus propiedades elásticas y el funcionamiento hidrológico superficial reflejado en los valores de la recarga y las condiciones de borde (ríos, esteros, etc.). Para esta actividad el hito considerado es un informe técnico de funcionamiento del acuífero.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe de Modelo Conceptual de Funcionamiento”.

➤ Conclusiones

El hito asociado a esta actividad se encuentra completamente finalizado. En el informe mencionado anteriormente se describen las unidades hidrogeológicas que las componen, su geometría tridimensional y la superficie geométrica.

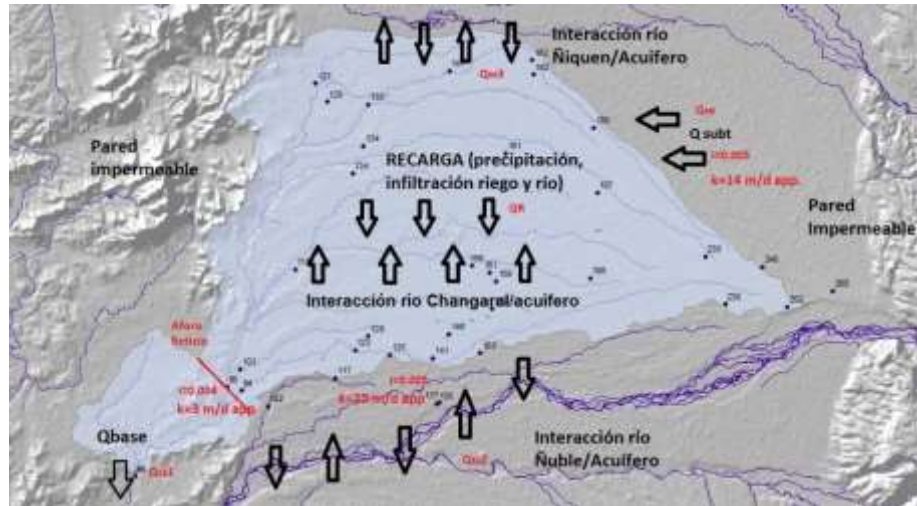


Figura N° 2-14 Esquema modelo conceptual funcionamiento

2.13 Construcción Hidrogeológico

Fecha Inicio: 01/04/2013

Fecha Término: 10/12/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la implementación numérica de un modelo de flujo subterráneo que represente la hidráulica del sistema acuífero en estudio, que en este caso es Visual Modflow. Para la construcción se utilizan los antecedentes descritos en el modelo conceptual de funcionamiento. Para esta actividad el hito considerado es la construcción de un modelo Modflow.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el "Informe Modelo Numérico de Flujo Subterráneo".

➤ Conclusiones

El hito asociado a esta actividad se encuentra completamente finalizado. Las siguientes figuras dan cuenta como quedó implementado.

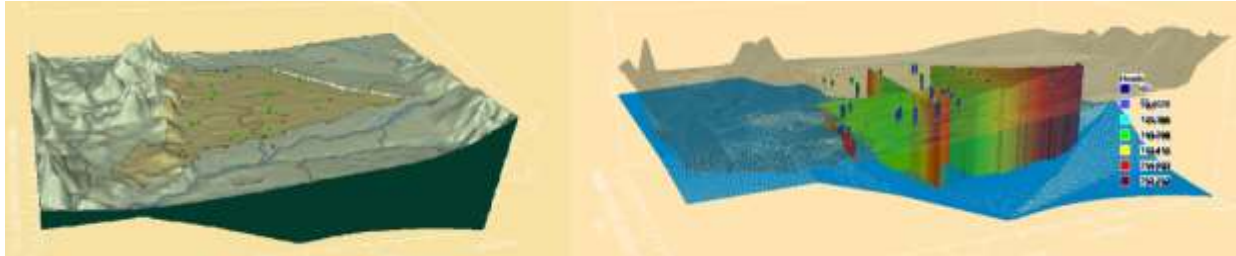


Figura N° 2-15: Modelo Hidrogeológico elaborado en Visual Modflow Classic.

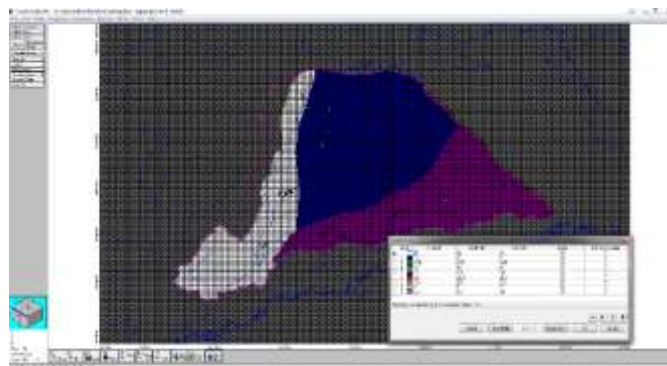


Figura N° 2-16: Entorno de Trabajo Visual Modflow, definición de propiedades geométricas.

2.14 Servicios Operaciones (Calidad de aguas)

Fecha Inicio: 01/11/2013

Fecha Término: 30/04/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la toma de muestras de calidad de aguas y posterior interpretación. Debido a que se gestionó tarde la segunda reitemización fue imposible comprar los equipos de calidad de aguas para medición en terreno y filtrado de muestras, por lo anterior fue necesario acordar con el laboratorio el filtrado en sus instalaciones, con lo cual la muestra se encuentra más alterada con respecto a la situación natural. Se trató de todas formas de minimizar el impacto tomando cortos tiempos de viaje entre la toma de muestras y su entrega al laboratorio.

➤ Conclusiones

El hito asociado a esta actividad se cumplió cabalmente, la cantidad de muestras fue tomada completamente, y los análisis entregaron resultados satisfactorios. Las muestras presentaron bajas concentraciones de iones en suspensión y conductividades menores a 100 microsiemenes/cm, que



representa un agua dulce. Sin embargo los parámetros relativos a la actividad bacteriológica se presentan sobre la norma en algunos casos.

2.15 Calibración modelo hidrogeológico

Fecha Inicio: 01/01/2014

Fecha Término: 22/06/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en el ajuste de las condiciones topológicas del modelo numérico de manera que represente lo más fielmente posible las condiciones de flujo en el acuífero.

➤ Conclusiones

El hito asociado a esta actividad se cumplió cabalmente. Sin embargo, los resultados son mejorables ya que existen algunos pozos que no pudieron ser bien representados, los que finalmente aumentan el coeficiente de error medio de la calibración. Cabe mencionar que se probaron más de cinco configuraciones posibles antes de seleccionar la que se muestra en la figura siguiente.

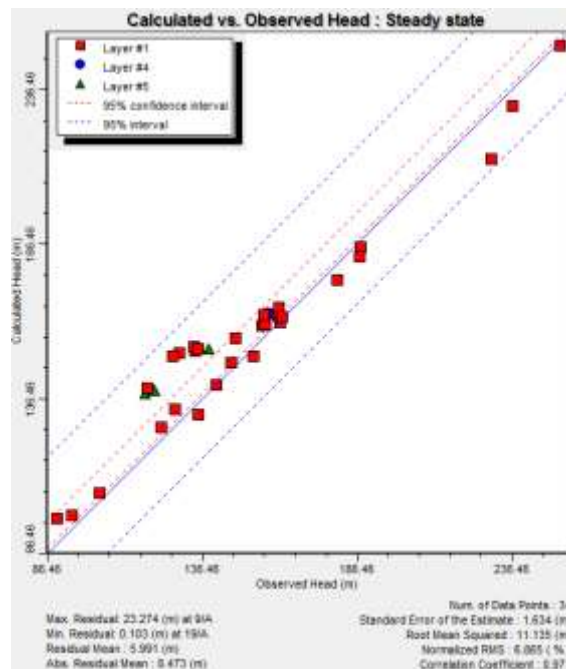


Figura N° 2-17 resultados obtenidos de la calibración del modelo



2.16 Construcción SIG

Fecha Inicio: 01/01/2014

Fecha Término: 31/07/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la creación de una base de datos de archivos vectoriales y proyectos relativos al estudio.

➤ Conclusiones

Esta actividad fue completamente desarrollada aun cuando la contratación de la especialista geógrafo se demoró más de lo presupuestado. El trabajo obtenido es de gran utilidad ya que cuenta con una base sistematizada de información en la zona del acuífero del río Changaral y las comunas aledañas. Cada archivo GIS cuenta con su respaldo de metadatos.

2.17 Simulación de escenarios futuros

Fecha Inicio: 01/03/2014

Fecha Término: 30/06/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la generación de grillas temporales con las condiciones de profundidad y velocidad de flujo de las aguas subterráneas para los escenarios planteados en el estudio de recarga.

➤ Conclusiones

Esta actividad fue completamente desarrollada, se obtuvieron los resultados de manera satisfactoria para los dos escenarios planteados: base (condición de sequía prolongada por cinco años) y futuro, con la entrada en funcionamiento del embalse punilla. Cabe agregar que el último escenario disminuye la amenaza hacia la agricultura, puesto que los resultados muestran que en las zonas más afectadas la disminución de los niveles freáticos se reduce en magnitud.



2.18 Análisis de Vulnerabilidad

Fecha Inicio: 01/04/2014

Fecha Término: 30/07/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en implementación de una metodología de vulnerabilidad que represente las condiciones que podrían provocar una alteración del recurso hídrico subterráneo. Para desarrollar lo anterior se revisó bastante bibliografía, con la cual se planteó un método propio basado en ponderadores para estimar el valor de vulnerabilidad. Las componentes evaluadas para estimar la vulnerabilidad intrínseca fueron el sistema territorial, sus propiedades socioeconómicas y el propio sistema agrícola, que finalmente es el que se intentó representar de mejor manera.

➤ Conclusiones

Esta actividad fue completamente desarrollada. Se creó una metodología de fácil aplicación, con datos obtenibles desde el INE y ODEPA para estimar su valor. Con ellos se creó cartografía específica para la zona en estudio, tal como se puede ver en la siguiente figura.

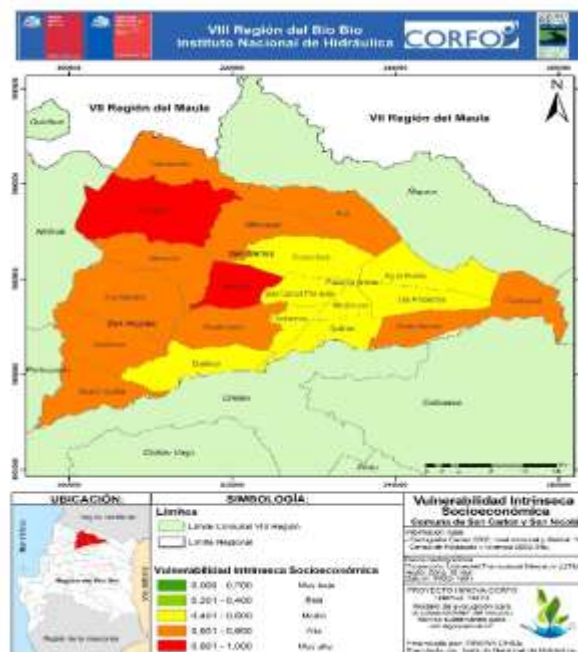


Figura N° 2-18 Ejemplo de cartografía vulnerabilidad



2.19 Campaña geodésica

Fecha Inicio: 01/04/2014

Fecha Término: 15/06/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la medición precisa de cotas y coordenadas de las captaciones involucradas en la red de medición de niveles estáticos. Para su medición se utilizaron GOS geodésicos doble frecuencia, generando poligonales de apoyo amarradas al sistema oficial, y luego con ellas medir mediante el método cinemático los puntos de interés.

➤ Conclusiones

Esta actividad fue desarrollada con éxito, si bien no se alcanzaron a medir las 44 captaciones por los constantes problemas climáticos en las fechas en que se midió, los que si se pudieron registrar mejoraron los resultados de la calibración del modelo. Es bueno mencionar también que se dejó una red geodésica compuesta por vértices monolíticos los que están validados de acuerdo a las normas EETT -DOH vigentes.



Figura N° 2-19 Esquema trabajos de terreno medición coordenada y cotas



2.20 Propuestas de medidas de mitigación

Fecha Inicio: 01/05/2014

Fecha Término: 15/08/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consistió en la generación de propuestas en base a estudio de los mapas de riesgo obtenidos del contraste entre la vulnerabilidad intrínseca evaluada y la amenaza modelada en visual Modflow.

➤ Conclusiones

Las principales zonas afectadas por el riesgo de descenso de niveles estáticos producto de una escasez hídrica corresponden a las zona central y la salida de la cuenca. En estas zonas además se concentra gran parte de la población por lo que no sólo se afecta la producción agropecuaria sino también el abastecimiento potable.

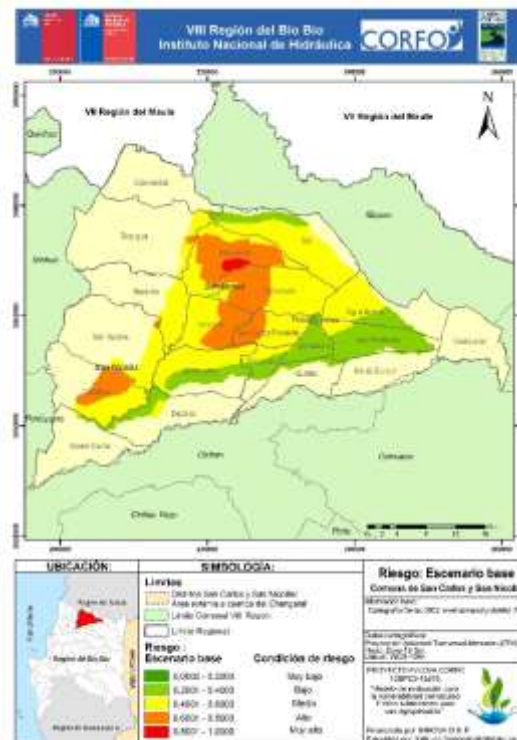


Figura N° 2-20 Esquema mapa de riesgo generado



3 AVANCE DE PROYECTO ETAPA 2: DIFUSIÓN A LOS BENEFICIARIOS

Durante la ejecución del proyecto se realizaron seminarios, jornadas de capacitación y publicaciones en medios locales de los avances del proyecto. De acuerdo a la programación del proyecto esta etapa se desarrolla entre el 18 de Febrero del 2013 y el 12 de Septiembre del 2014. Consta de 4 actividades y 4 resultados.

En la tabla N° 3-1 se presentan los resultados asociadas al informe final.

Tabla N° 3-1 Resumen de resultados Informe Final

Resultado	% Avance	Fecha estimada	Observación
Construcción y mantenimiento página web	100	16/05/2014	Todos los resultados se encuentran descritos en el informe "Plan de difusión del proyecto"
Lanzamiento del proyecto	100	25/10/2012	
Talleres de difusión	50	24/04/2014	
Ceremonia de cierre	100	16/05/2014	

3.1 Lanzamiento proyecto

Fecha Inicio: 22/04/2013

Fecha Término: 26/04/2013

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la presentación pública a la comunidad sobre el inicio del proyecto, en donde se informan sus objetivos, productos y las implicancias de su ejecución. Para esta actividad el hito considerado es un evento público que da a conocer a la comunidad el inicio del proyecto.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el "Informe Plan de Difusión"

➤ Conclusiones

Se realizó lanzamiento el día 07 de Mayo del 2013 en el Club Español ubicado en Chillán, el cual contó con la participación de instituciones públicas y privadas de la Región del Bío-Bío entre los cuales se encuentran el Director Regional de Corfo Don Felipe Sánchez, el Jefe del Departamento de Riego de INDAP Don Sergio Carvallo y representantes de la Municipalidad de San Nicolás, San Carlos y de la Junta de Vigilancia del Río Ñuble, entre otros.

Figura N° 3-1 Fotografías Lanzamiento proyecto 07-05-2013



3.2 Construcción y mantenimiento página web

Fecha Inicio: 18/02/2013

Fecha Término: 12/09/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en la creación de una página web donde se presenten los antecedentes del proyecto a la comunidad, en esta página se publicarán las noticias, actividades y documentos relativos al proyecto. Para esta actividad el hito considerado es el Lanzamiento del sitio web.

Cabe mencionar que durante el período hubo que reemplazar al diseñador web por reiterados incumplimientos con respecto a la actualización y mejora visual de la página. Por lo anterior se contrató a otro profesional que el término finalmente.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el “Informe Plan de Difusión”

➤ Conclusiones

Actualmente la página se encuentra 100% operativa, luego de ésta rendición se comenzarán a subir los informes de resultados finales a la página, la cual estará disponible por un periodo adicional al término del proyecto. Anteriormente sólo se estaban publicando noticias y actualizaciones por twitter.

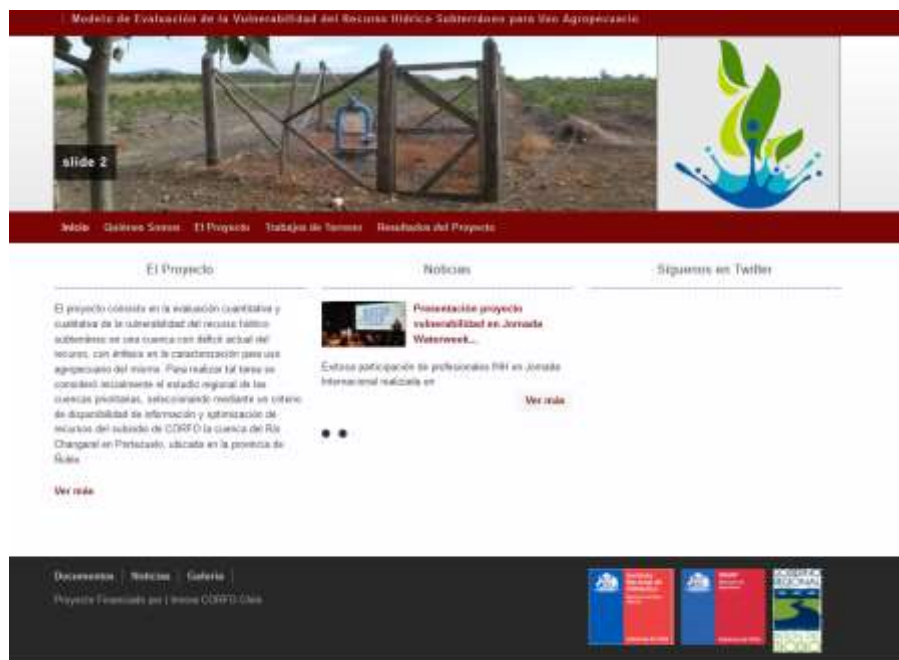


Figura N° 3-2 Página de inicio plataforma web

3.3 Talleres de Difusión

Fecha Inicio: 01/03/2014

Fecha Término: 12/09/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad fue desarrollada satisfactoriamente, se realizó un seminario de capacitación en el Club Social San Carlos en la ciudad de San Carlos donde asistieron los participantes privados que permitieron el acceso a sus captaciones. Esta actividad contó además con el apoyo del jefe regional de riego de INDAP quien entregó a los participantes una capacitación sobre las herramientas de inversión con que cuenta el pequeño agricultor para disminuir su vulnerabilidad por medio de la mejora en sus obras prediales.

Es importante destacar que aun siendo un feriado legal (natalicio de Bdo. Ohiggins) se tuvo una alta asistencia de entre los invitados.

La información complementaria de esta actividad se encuentra en el "Informe Plan de Difusión"



➤ Conclusiones

Derivado del evento los asistentes mostraron una gran inquietud por las aguas subterráneas, por lo que se espera que el presente proyecto haya abierto puertas para que ellos puedan mejorar sus condiciones de competitividad con las opciones que les plantean instituciones como INDAP para mitigar posibles efectos perjudiciales de la escasez hídrica.



Figura N° 3-3 Seminario de capacitación San Carlos

3.4 Evento de cierre

Fecha Inicio: 01/08/2014

Fecha Término: 12/09/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad fue desarrollada completamente. En su génesis tuvo un objetivo distinto ya que enfoco hacia las autoridades, quienes finalmente son los que aplican y entregan gran parte del presupuesto para las medidas de mitigación. La asistencia fue muy baja con respecto a la convocatoria lo cual se puede haber debido a las agendas ocupadas de las autoridades invitadas (Intendente, gobernador del Ñuble, directores regionales servicios, etc.), como también la lejanía entre la zona de estudio y el lugar del evento para los asistentes provenientes de San Carlos y San Nicolás.



➤ Conclusiones

Dado que la intención era lograr una buena difusión, independiente de la baja asistencia, la periodista se encargó de publicar una nota de prensa en 8 diarios online y en la franja regional de canal 13. Por lo que el conocimiento de la existencia del proyecto aumento entre los potenciales beneficiarios de esta información.

4 AVANCE DE PROYECTO ETAPA 3: TRANSFERENCIA AL OFERENTE

La presente etapa consiste en el empaquetamiento de resultados para la entrega a los mandantes.

En la tabla N° 4-1 se presentan los resultados asociadas al informe final.

Tabla N° 4-1 Resumen de resultados Informe Final

Resultado	% Avance	Fecha estimada	Observación
Informe Final	100	01/05/2014	s/o
Transferencia de Resultados	70	01/08/2014	s/o

4.1 Preparación de informes para la entrega a los mandantes

Fecha Inicio: 01/05/2014

Fecha Término: 01/09/2014

Porcentaje de Avance: 100%

Esta actividad consiste en el cierre y empaquetamiento de resultados por parte del desarrollador. En este punto hay que mencionar que varios de las actividades se terminaron en la última fase del proyecto, cerca de su cierre, por lo que los involucrados en muchas de ellas no estuvieron físicamente para finalizar los trabajos, ya que estaban contratados con aportes de INNOVA, lo que genero ciertas dificultades a la hora de revisar las observaciones a los informes.

Finalmente, producto del atraso el desarrollador asumió los costos relativos a las entregas de los informes a los mandantes.



4.2 Transferencia de resultados al oferente

Fecha Inicio: 01/08/2014

Fecha Término: 15/09/2014

Porcentaje de Avance: 70%

Esta actividad consiste en la entrega formal de los resultados del proyecto a los mandantes para que ellos dispongan de su promoción. Por las mismas razones dadas en el punto anterior hay que indicar que esta actividad sufrió un retraso, principalmente por desfase en el empaquetamiento de resultados.



5 REFERENCIAS

- Aldunce P., González P. (2009); "Desastres Asociados al Clima en la Agricultura y Medio Rural de Chile". Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Preparado para la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. Revisado en línea:
<<http://200.111.68.14/gsd/collect/publicac/index/assoc/HASH7312.dir/Libro%20Desastres.pdf>>
- Donoso G., Cancino J., Soler C., Prieto J. (1999); "Impacto Económico de las Sequias Sobre la Agricultura en Chile". En: Aldo Norero y Carlos Bonilla M, (Ed). *Las Sequias en Chile: Causas, Consecuencias y Mitigación*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. p. 53-70. Chile.
- Garduño H., Foster S., Nanni M., Kemper K., Tuinhof A. (s/f). "El agua Subterránea en la Planificación Hídrica Nacional y de Cuencas. Promover una estrategia integral 2002-2006". **Nota 10** Serie de Notas Informativas. Groundwater Management Advisory Team (GW-Mate) - Banco Mundial. Revisado en línea:
<http://water.worldbank.org/sites/water.worldbank.org/files/GWMATEBN10_sp_4.pdf>
- Programa Hidrológico Internacional (PHI), 2013. Octava Fase "Seguridad Hídrica: Respuesta a los desafíos locales, regionales y mundiales". Plan Estratégico 2014-2021. UNESCO.
- Sección de Investigaciones y Meteorología Aplicada. Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (Abril, 2013). Boletín N°1 "Monitoreo de Sequia Meteorológica". Revisado en línea:
<http://www.agroclima.cl/download/BoletinSequia_N1_ABR13.pdf>