



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

ACTUALIZACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA E INTEGRADA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

RIZZO ASSOCIATES CHILE S.A.

Santiago, Febrero 2015

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas

Sr. Carlos Estévez Valencia

Jefe de División de Estudios y Planificación

Sr. Adrián Lillo

Inspector Fiscal

Sr. Raúl Cisternas Novoa

RIZZO ASSOCIATES CHILE S.A.

Gerente

José Luis Fenoglio

Jefe de Proyecto

Hidrogeólogo Rubén Gianni

ÍNDICE	
0	RESUMEN.....6
1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO 10
2	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES 12
3	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA 13
3.1	BALANCE HÍDRICO 15
3.1.1	SALIDAS 15
3.1.2	ENTRADAS 16
3.1.3	BALANCE..... 17
4	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA..... 18
5	CATASTRO DE USOS Y USUARIOS DEL AGUA 20
6	MODELACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL..... 22
7	MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA 26
8	CONCLUSIONES 31
9	RECOMENDACIONES 33

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 0-1	DISTRIBUCIÓN DE LOS DESCENSOS DEL NIVEL DE AGUA EN LA CUENCA DE CASABLANCA.....	8
FIGURA 1-1	LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	10
FIGURA 1-2	CUENCAS HIDROLÓGICA Y SEDIMENTARIA DEL ESTERO CASABLANCA	11
FIGURA 3-1	CURVAS DE IGUAL ESPESOR SATURADO	13
FIGURA 3-2	MAPA ESTRUCTURAL TECHO DEL BASAMENTO HIDROGEOLÓGICO	14
FIGURA 3-3	MAPA ISOPIEZAS Y SENTIDO DE FLUJOS SUBTERRANEOS	15
FIGURA 4-1	PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (PERÍODO 1986-2013)	19
FIGURA 5-1	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE POZOS CATASTRADOS	20
FIGURA 6-1	TOPOLOGÍA FINAL: ACUÍFEROS, RÍOS, CANALES, EMBALSES, CUENCAS LATERALES, APORTES NATURALES Y NODOS.....	23
FIGURA 7-1	ZONAS DE INFILTRACIÓN DESARROLLADAS POR DESAGREGACIÓN DE LAS SALIDAS DE MODFLOW	27
FIGURA 7-2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE POZOS DE OBSERVACIÓN DGA.....	28
FIGURA 7-3	RESULTADO SIMULACION DE LOS FLUJOS TOTALES DEL ACUIFERO	29
FIGURA 7-4	SERIES TEMPORALES OBSERVADOS Y SIMULADAS,	30
FIGURA 8-1	CAUDALES OTORGADOS ACUMULADOS EN LA CUENCA	31

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1	DEMANDAS ANUALES POR TIPO DE CULTIVOS Y VEGETACIÓN	16
TABLA 3-2	PRECIPITACIONES PLUVIALES DE CASABLANCA	16
TABLA 6-1	RECARGA Y BOMBEO PROMEDIO DE ACUÍFEROS ASOCIADOS A CADA SUBCUENCA DEL ESTERO CASABLANCA (MAGIC)	24
TABLA 7-1	CALCULO DE LAS TASAS ANUALES DE LOS FLUJOS HIDROLOGICOS	29

0 RESUMEN

El presente estudio, desarrollado por Rizzo Associates Chile S.A. (RIZZO), ha recopilado la información necesaria para caracterizar hidrogeológicamente la cuenca del Valle del Estero de Casablanca de acuerdo a los objetivos y alcances del estudio solicitado por la Dirección General de Aguas (DGA).

Esta recopilación de información actualizada, como así también de estudios anteriores, ha permitido configurar series históricas a partir de esos datos, lo que ha brindado una visión de la evolución de la cuenca desde el año 1991 hasta la actualidad.

El objetivo principal del estudio ha sido la determinación de la oferta hídrica de los acuíferos que conforman la cuenca del Estero Casablanca a través de una actualización de la modelación hidrogeológica e integrada.

Para la materialización de dicho objetivo se cumplió con los siguientes objetivos específicos:

- Se realizó el análisis y sistematización de la información contenida en estudios anteriores, generando una base de datos con la información de catastros anteriores, geología, geofísica, cartográfica y de dominio para los fines del estudio. Toda esta información ha sido representada espacialmente en un proyecto SIG.
- Materialización de un catastro de usos y usuarios de la cuenca del Estero Casablanca.
- Ejecución de perfiles gravimétricos y TEM, como así también reinterpretación de perfiles SEV disponibles de la investigación del año 1991, lo que permitió una nueva definición geométrica del acuífero.
- A partir de la campaña de piezometría se obtuvieron las actuales equipotenciales y flujos de agua subterránea
- Se realizó una investigación del mecanismo de recarga a los acuíferos.
- Con la información antes mencionada se implementó un modelo integrado basado en el programa MAGIC para la cuenca del Estero Casablanca, el cual permitió determinar la recarga y demandas históricas.

- Se realizó un balance Hídrico de los sectores acuíferos de aprovechamiento común.
- Se realizó la actualización, calibración y validación del modelo numérico de flujos subterráneos de la cuenca del Valle de Casablanca realizado con el programa Visual MODFLOW.
- Finalmente, con la implementación de ambos modelos, se entregó una herramienta que luego de su calibración en forma conjunta y funcionamiento integrado, permite la evaluación del comportamiento hídrico de la cuenca ante diferentes escenarios relacionados con cambios ambientales, climáticos y antrópicos de la cuenca, con el fin de tomar decisiones sobre la gestión y administración del recurso hídrico en ella.

Tras la recopilación de información y antecedentes, realización de estudios en terreno, el análisis de toda la información y la realización de las modelaciones mencionadas, se ha llegado a la conclusión de que:

Existe una combinación de 3 factores comprobados en el Valle del Estero Casablanca que vienen produciendo un importante cambio en la cuenca, un factor recurrente a lo largo del tiempo, como es la disminución de precipitaciones anuales durante un periodo no especialmente extenso, junto a dos factores coyunturales, y potenciadores del primer factor, como son el crecimiento de la demanda (por aumento de población y actividades ligadas), y el crecimiento de extracciones de agua por medio de pozos, que desembocan en una sequía de tipo socioeconómico materializada principalmente en el descenso de los niveles piezométricos y la consiguiente desaparición de cursos permanentes de agua superficial.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se han observado descensos de los nivel piezométrico importantes en los 4 valles que componen la Cuenca, que se puede explicar por una explotación subterránea intensiva, puesto que los caudales otorgados acumulados para extraer agua subterránea se han incrementado desde 211 l/s otorgados en 1991 hasta 6196 l/s otorgados a la actualidad.

Tras el análisis de la campaña de terreno llevada a cabo por RIZZO entre los meses de Septiembre y Octubre de 2014, en la que se midieron niveles piezométricos estáticos en 240 pozos, se observan descensos de nivel superior de la zona saturada de hasta 25-28

metros respecto a valores del año 1991, sobre todo en las zonas de mayor explotación, tal como se presenta a continuación en **Figura 0-1**.

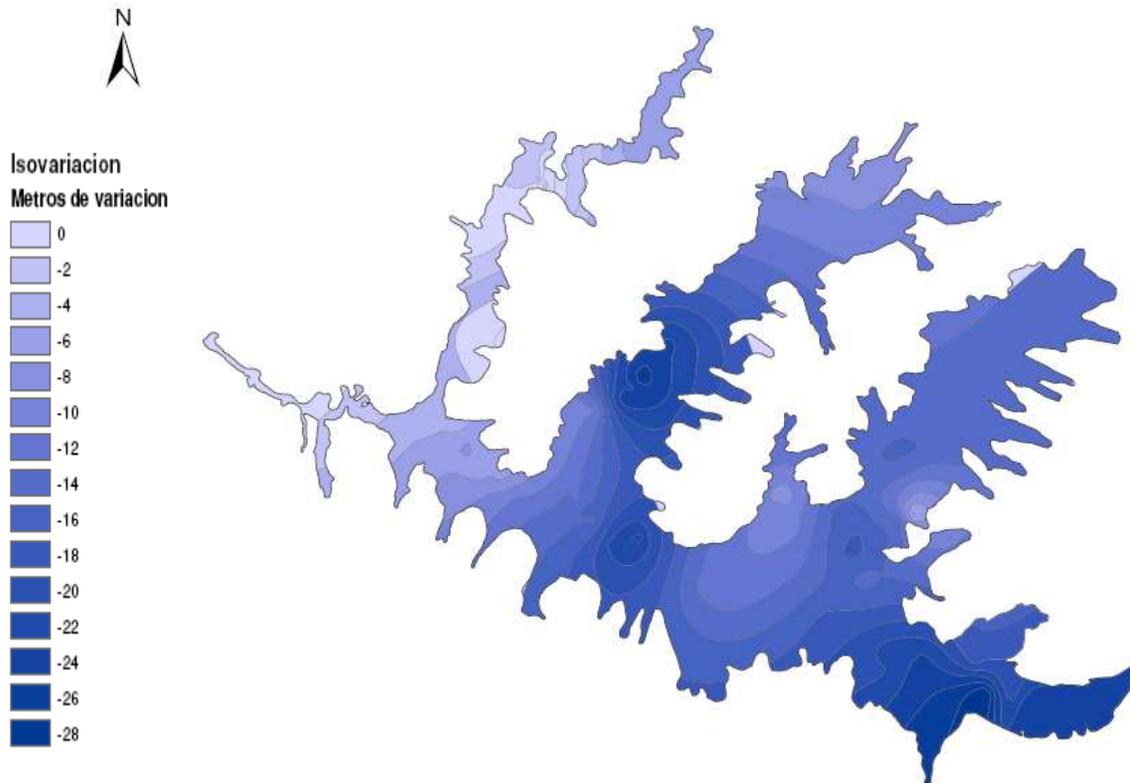


FIGURA 0-1 DISTRIBUCIÓN DE LOS DESCENSOS DEL NIVEL DE AGUA EN LA CUENCA DE CASABLANCA

Los descensos mostrados tienen influencia en los sentidos del flujo de agua subterránea, el cual originalmente en el año 1991 tenía sentido preferente hacia el Oeste, con salida hacia el sector de Las Dichas y en la actualidad ha pasado a ser radial convergente hacia las zonas de bombeo localizadas en el interior de las unidades hidrogeológicas.

Desde el punto de vista hidrológico, se observa un descenso paulatino del caudal en la red de drenaje hasta llegar a ser nulo en los últimos 5 años. Los embalses que actuaban como reguladores de los caudales también se encuentran secos desde el año 2009.

Se llega a situación descrita, a pesar de que en el SDT 99 de Enero 2000, la DGA había declarado área de restricción al acuífero Lo Ovalle, y por no existir recursos disponibles se suspendía la otorgación de nuevos derechos en el Acuífero Casablanca (y por ende en los

subsectores de Lo Orozco y Los Perales), a partir de las solicitudes con fecha de ingreso 09/07/1997.

Posteriormente el Informe Técnico DGA N° 167 de Junio del 2005, menciona que en los acuíferos de La Vinilla-Casablanca, Los Perales, Lo Orozco y Lo Ovalle existe riesgo de un descenso generalizado de los niveles estáticos, debido a una insuficiente recarga en relación a los usos existentes y a la explotación prevista en el largo plazo, concluyendo que en esos sectores hidrogeológicos se cumplen los criterios para recomendar el mantenimiento de la restricción al otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de agua subterránea. Lo cual fue confirmado por la Resolución DGA N° 186 de 1996.

Cabe señalar que en el artículo único de la Ley N° 20.411 del año 2009 y su modificación en el año 2011, prohíbe a la DGA la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas en determinadas zonas, entrando en dicha prohibición los sectores acuíferos de La Vinilla-Casablanca, Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales de Tapihue.

1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO

La Cuenca del Estero Casablanca está ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, entre las coordenadas 33°10' - 33°25' de Latitud Sur y 71°10' de longitud Oeste, Quinta Región, Chile. La cuenca está compuesta de tres valles – Lo Orozco, Lo Ovalle, y Los Perales de Tapihue – fluyendo en la dirección sur-oeste hasta el valle receptor –Vinilla-Casablanca – que fluye en la dirección norte-oeste hacia el sector denominado Las Dichas.

El área de estudio comprende toda la cuenca hidrográfica afluyente al sector Las Dichas, mostrándose la mencionada cuenca en la **Figura 1-1**.

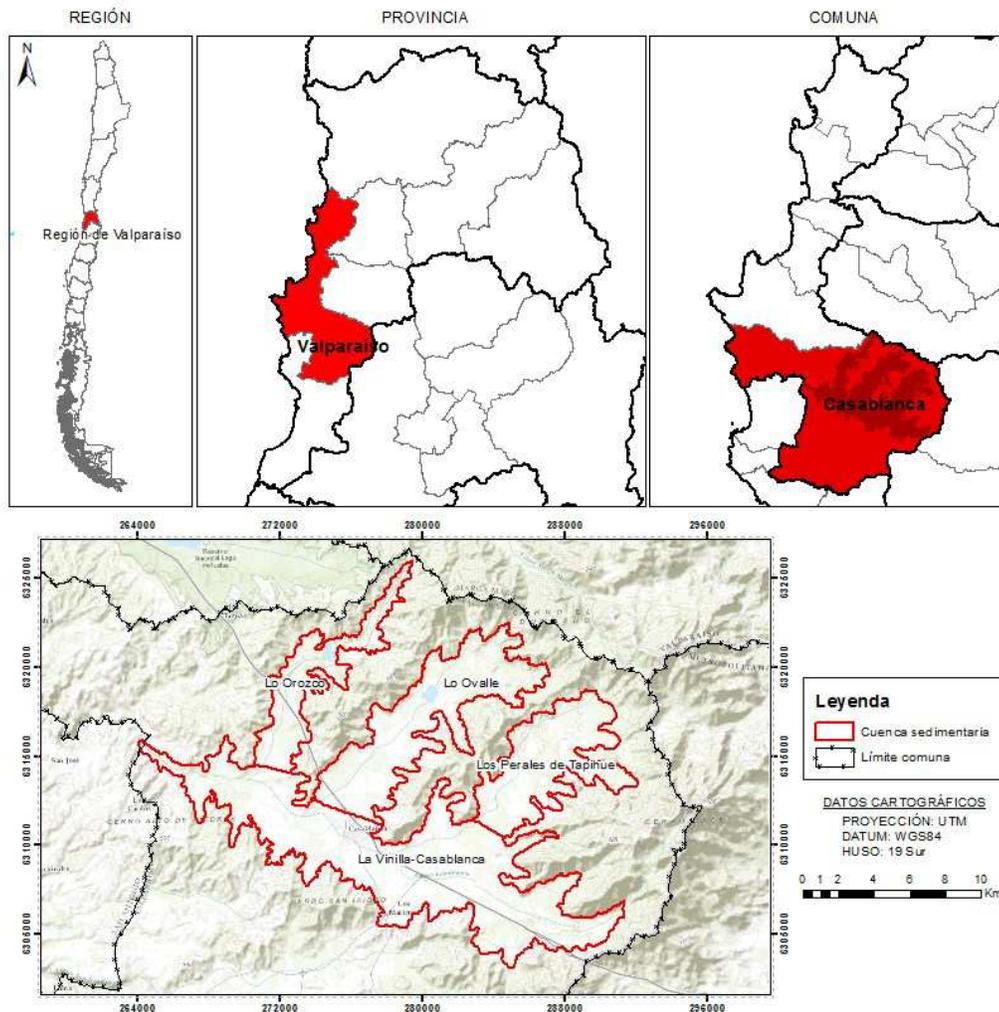


FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

Dicha cuenca es un parte importante de una región agricultura reconocida internacionalmente por la producción de vinos de alta calidad. Por estas razones, la zona ha tenido un auge agropecuario en los últimos años y una crecida demanda de derechos de aguas.

En la siguiente **Figura 1-2**, se muestra la cuenca hidrológica, es decir, la zona que llega hasta la línea divisoria incluyendo el superficie de las cuencas contribuyentes montañosas,. Dicha cuenca tiene un área de aproximadamente 470,19 km². El acuífero del valle sedimentario dentro de la cuenca hidrológica tiene un área de aproximadamente 148 km².

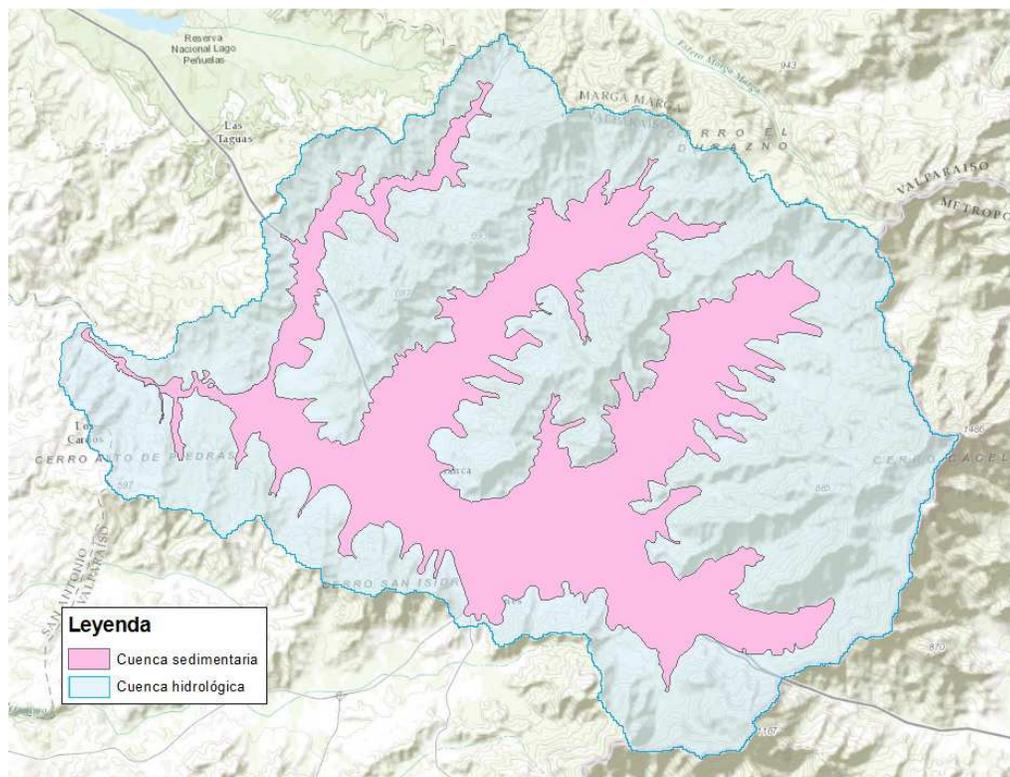


FIGURA 1-2 CUENCAS HIDROLÓGICA Y SEDIMENTARIA DEL ESTERO CASABLANCA

2 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se recopiló y analizó diferentes tipos de información proveniente de diferentes instituciones tales como Comisión Nacional de Riego, Instituto de Desarrollo Agropecuario, Servicio Nacional de Geología y Minería, Asociación de Viticultores del Valle de Casablanca, Instituto Nacional de Estadísticas, Dirección General de Aeronáutica Civil (Dirección Meteorológica de Chile), Empresa ESVAL, Corporación de Fomento de la Producción, Instituto de Desarrollo Agropecuario, Servicio Agrícola y Ganadero, Conservador de Bienes Raíces, Instituto Geográfico Militar, Centros de Investigación , etc., y específicamente se analizaron los antecedentes de 7 proyectos realizados anteriormente y que fueron enviados por la DGA a saber:

- 1) *"Estudio básico para la modelación del sistema de aguas subterráneas del Valle de Casablanca". Realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., Junio de 1991.*
- 2) "Modelación del sistema de aguas subterráneas del Valle de Casablanca, V Región". S.I.T. N° 13. Realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., Julio de 1993.
- 3) "Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos, para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del acuífero de Valparaíso, V Región", Minuta técnica N°15. Realizado por DGA-DARH., Octubre de 1996.
- 4) "Análisis de disponibilidad del recurso hídrico subterráneo, en el acuífero del Valle de Casablanca, Comuna de Casablanca, Provincia de Valparaíso, V Región". SDT N° 99. Minuta Técnica N° 03 DGA-DARH, Enero de 2000.
- 5) "Modelación hidrológica Valle del Estero Casablanca". S.I.T N° 97. Realizado por DGA-DEP, Diciembre 2004.
- 6) "Área de restricción acuífero del Valle del estero Casablanca, sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Lo Orozco, La Vinilla-Casablanca y Los Perales". Informe Técnico No 167. Realizado por DGA-DARH, Junio de 2005.
- 7) "Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, áreas de restricción, Valle del Estero Casablanca". SDT N° 354 - Informe Técnico N° 77. Realizado por DGA-DARH, Marzo de 2014.

3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

A partir de las características geológicas del área, la campaña geofísica realizada con 207 puntos gravimétricos debidamente georeferenciados, reinterpretación de 10 Sondeos Eléctricos Verticales presentados en el Informe del año 1991, más la información disponible de pruebas de bombeo de los pozos construidos y sus respectivas columnas litológicas, se ha caracterizado los distintos materiales existentes en la cuenca desde el punto de vista hidrogeológico.

Se ha definido una única unidad hidrogeológica, constituida por estratos de espesor variable, con intercalaciones de material impermeable y semi impermeable, subyacente a un estrato superficial arcilloso y de muy baja permeabilidad. Esta última capa tiene un espesor de valor promedio en torno a los 10 m.

En la **Figura 3-1** se presenta el espesor saturado de la unidad.

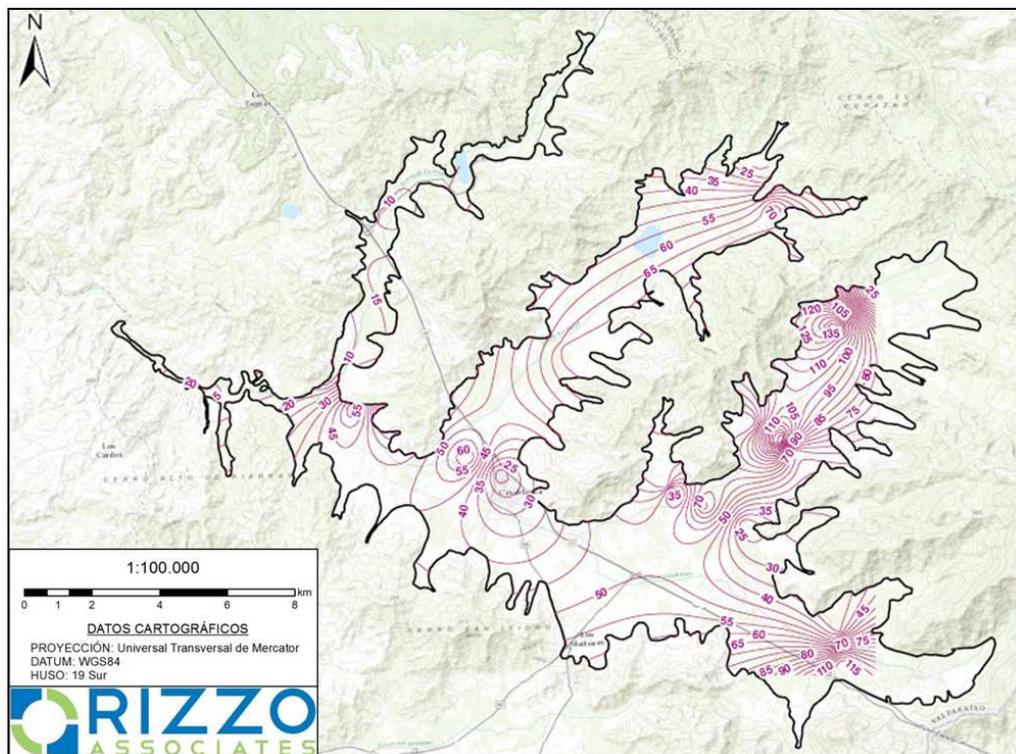


FIGURA 3-1 CURVAS DE IGUAL ESPESOR SATURADO

Es evidente que de los cuatro valles, los de mayor importancia hidrogeológica son los de Vinilla-Casablanca y Perales de Tapihue, confirmándose que en ellos se presenta la mayor potencia del relleno sedimentario y el mayor espesor saturado. En el caso de Lo Ovalle y

Lo Orozco, las características acuíferas son claramente inferiores, debido a su menor ancho, menor potencia del espesor saturado y a las características de los estratos permeables.

El basamento formado por intrusiones fundamentalmente graníticas y granodioríticas jurásicas, corresponde a una formación de muy baja permeabilidad sobre la que se depositan los materiales sedimentarios del Cuaternario. La profundidad del basamento es variable, siendo este hecho relevante en la evaluación de las características hidrogeológicas de la formación acuífera según qué sector de la cuenca.

La determinación de la posición del basamento y por tanto la geometría de la unidad hidrogeológica, se ha realizado principalmente con la interpolación de los perfiles geofísicos obtenidos por RIZZO y los resultados de los SEV de estudios anteriores.

La profundidad del basamento oscila entre un máximo de profundidad de 178 m en el sector La Vinilla-Casablanca y un mínimo de 69 m en el sector de Lo Orozco. La **Figura 3-2** muestra el mapa estructural del techo del basamento hidrogeológico.

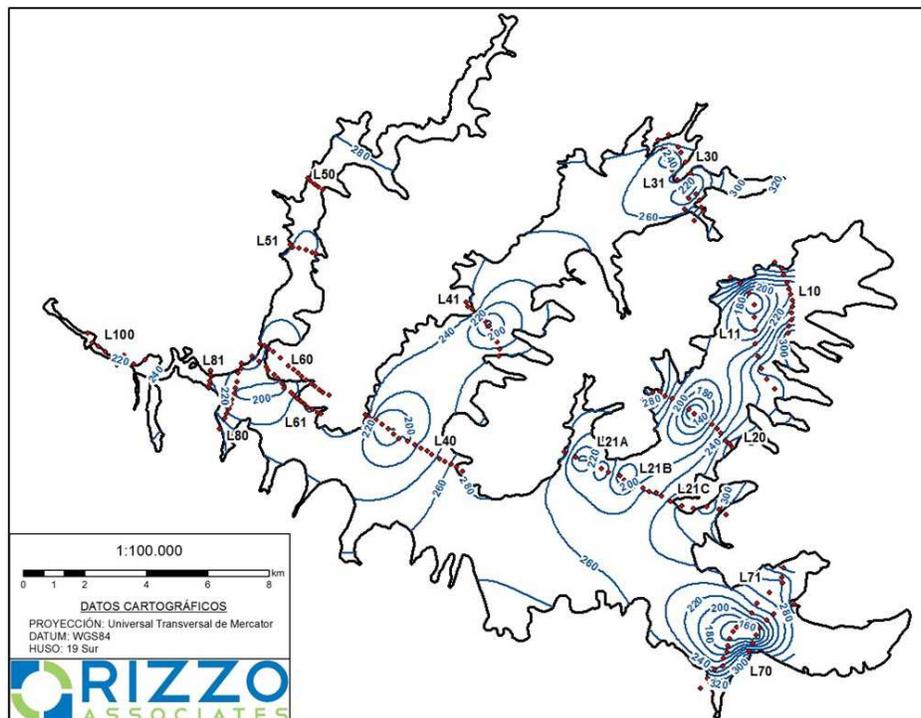


FIGURA 3-2MAPA ESTRUCTURAL TECHO DEL BASAMENTO HIDROGEOLÓGICO

A continuación en **Figura 3-3**, muestra el nuevo mapa de Isopezas y sentido de los flujos subterráneos obtenido a partir de los niveles estáticos medidos en la campaña de terreno desarrollada por RIZZO durante Septiembre y Octubre 2014.

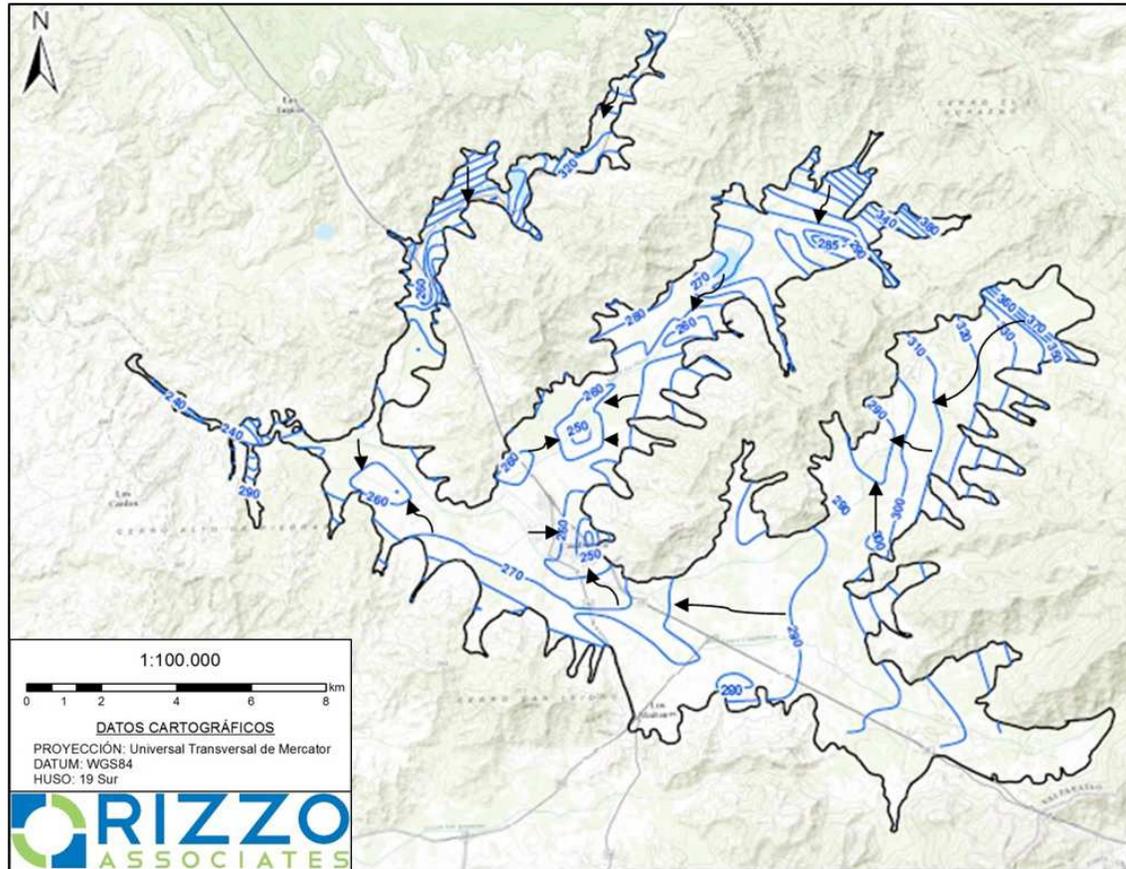


FIGURA 3-3 MAPA ISOPIEZAS Y SENTIDO DE FLUJOS SUBTERRANEOS

3.1 BALANCE HÍDRICO

3.1.1 SALIDAS

A continuación en **Tabla 3-1** se muestra un resumen de las demandas anuales para el año 2013 para cada cultivo, incluyendo el bosque natural, según el método empírico de Blaney-Ciddle modificado por la FAO. Es de destacar que se contabilizó los sistemas de control de heladas y los procesos de stress hídricos a los que se someten los cultivos previamente a su cosecha.

TABLA 3-1 DEMANDAS ANUALES POR TIPO DE CULTIVOS Y VEGETACIÓN

Demandas anuales (Hm³)	
<i>Viña</i>	17,60
<i>Maíz</i>	1,58
<i>Alfalfa</i>	3,36
<i>Frutales</i>	5,17
<i>Total Cultivos</i>	27,71
Bosque	192,59
Total	220,30

3.1.2 ENTRADAS

El único ingreso de agua conocido en la Cuenca del Estero Casablanca son las precipitaciones pluviales, concentradas en los meses de Mayo a Agosto. A continuación en **Tabla 3-2** se muestra una sintéticamente las precipitaciones acumuladas mensualmente durante el año 2013.

TABLA 3-2 PRECIPITACIONES PLUVIALES DE CASABLANCA

Meses	Precipitación (mm)
Enero	0,8
Febrero	0,1
Marzo	0,5
Abril	0,7
Mayo	108,5
Junio	54,8
Julio	13,4
Agosto	19,1
Septiembre	3,3
Octubre	0,7
Noviembre	0,4
Diciembre	0,1
TOTAL	202,4

Tomando el valor de 202,4 mm de precipitación anual acumulada y una superficie de 470,19 km² para la Cuenca hidrológica del Estero Casablanca, los ingresos de agua se

calculan como el producto de la superficie mencionada y el valor anual total de agua por kilómetro cuadrado.

Donde

$$470,19 \text{ km}^2 * 202.400 \text{ m}^3/\text{km}^2 = 95.166.456 \text{ m}^3$$

Lo que significa que 95,166456 Hm³/año de agua ingresaron a la Cuenca del Estero Casablanca durante el año 2013.

3.1.3 BALANCE

Una vez calculados las pérdidas y las ganancias puede establecerse la ecuación de balance general:

$$\text{Balance global} = \Sigma \text{ Ganancias} - \Sigma \text{ Pérdidas}$$

Y reemplazando los términos para el caso particular el balance se plantearía como

$$\text{Balance Global} = \text{Precipitación [Hm/año]} - (\text{Demanda urbana/industrial [Hm/año]} + \text{Demanda por Vegetación [Hm/año]})$$

Siendo el balance hídrico global:

$$\text{Balance} = - 127,24 \text{ Hm}^3/\text{año}$$

La Cuenca hidrológica del Estero Casablanca está en una situación netamente deficitaria, con una pérdida equivalentes a 127 Hm³/año (según valores del año 2013). Esta situación no puede sostenerse prolongadamente mientras la cuenca no reciba mayores aportes por precipitaciones o se controle la extracción de agua subterránea por bombeos.

4 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del Valle de Casablanca carece de cursos de agua principales como ríos. Sin embargo dispone de un sistema hidrográfico compuesto por un estero principal, denominado Estero de Casablanca. Este estero principal cuenta como tributarios con los Esteros Los Perales, Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco.

Además se dispone de pequeños tributarios con carácter de arroyos, que hacen que la cuenca sea de tipo dendrítico, presentando estos una ramificación irregular en muchas direcciones.

Todos los esteros y arroyos de la cuenca presentan un régimen de alimentación pluvial.

Además de esta red hidrográfica, en la cuenca se encuentran 4 embalses principales, Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales y La Vinilla, todos ellos de baja capacidad, entre los cuatro suman un total de volumen útil de 25 millones de m³, construidos en la década de los 30, que en la actualidad se encuentran sin agua desde el año 2009.

Respecto al clima en la Cuenca del Estero de Casablanca, tiene características de clima Templado Mediterráneo caracterizado por precipitaciones invernales tipo ciclónico asociadas al paso de vaguadas distribuidas en un 80% entre los meses de Mayo a Agosto, y estaciones secas que se extienden a los restantes 8 meses (Septiembre - Abril)

Las precipitaciones son de origen ciclónico y son afectadas por la influencia del relieve que las incrementa proporcionalmente a la elevación del terreno. El promedio anual de precipitaciones en los últimos 28 años es algo menor a 400 mm. La temperatura media anual es de 13,8° C.

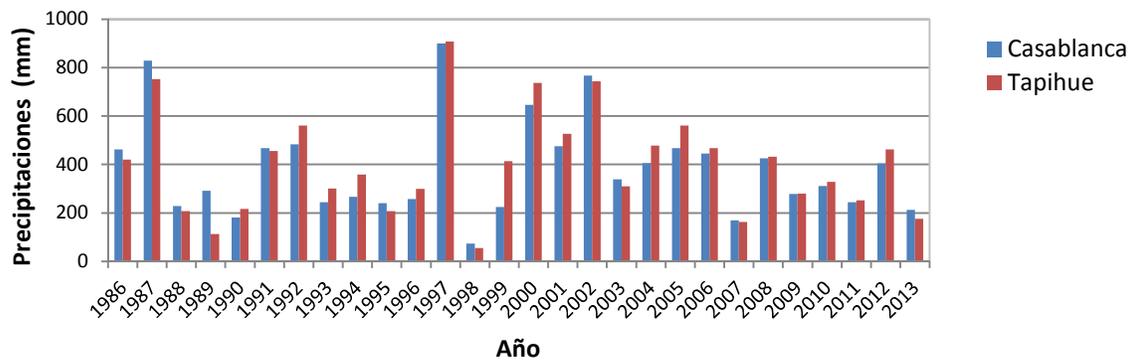


FIGURA 4-1 PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (PERÍODO 1986-2013)

Si bien los registros pluviométricos de la **Figura 4-1** muestran que en los últimos años valores por debajo de la precipitación media anual, no es posible afirmar con rotundidad la existencia de condición de sequía meteorológica en la cuenca estudiada ya que se requiere una escasez de precipitaciones pronunciada y continuada en el tiempo.

5 CATASTRO DE USOS Y USUARIOS DEL AGUA

Durante la campaña de terreno se catastraron un total de 466 pozos, repartidos en los sectores de Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales de Tapihue y La Vinilla-Casablanca tal como se muestra en la **Figura 5-1**. La finalidad fue actualizar y complementar la información existente respecto de la ubicación (coordenadas UTM), tipo de uso, propietarios, profundidad de los pozos, etc.

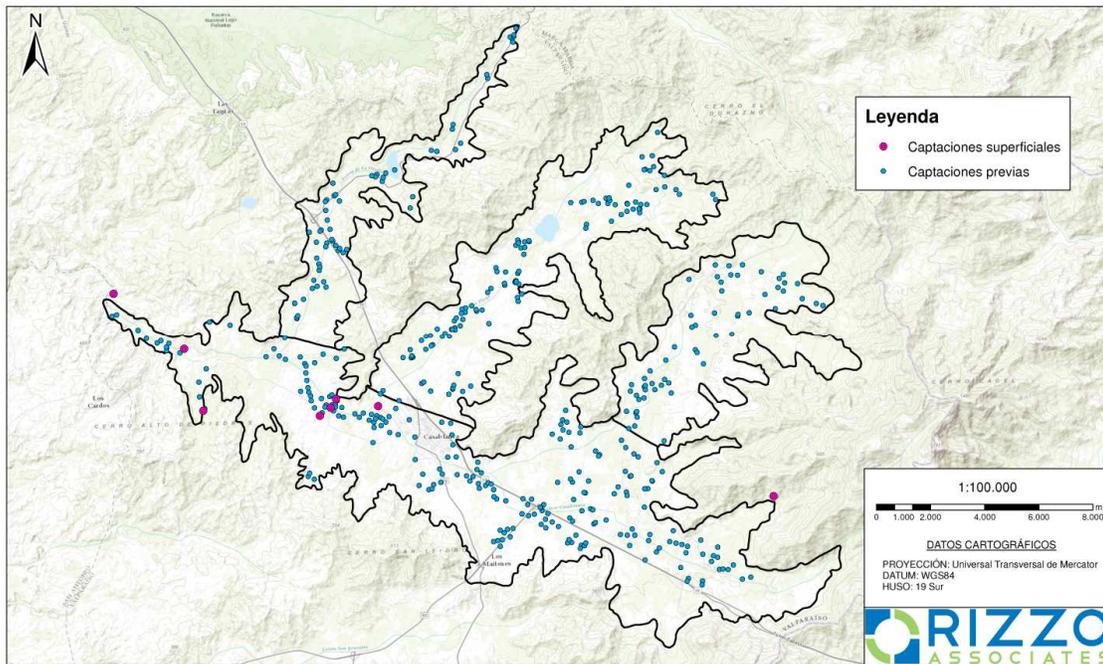


FIGURA 5-1 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE POZOS CATASTRADOS

Se buscó identificar claramente el tipo de los pozos con uso exclusivo para cultivos, ganadería, domésticos, industrial y aquellos de uso mixto, asociando cada uno de los pozos a las hectáreas de cultivo, cantidad de ganado o número de personas que utilizan el recurso.

Se realizaron 240 mediciones de niveles estáticos de agua, en aquellos pozos que presentaban las condiciones estructurales para realizar la medición.

Respecto del uso de los pozos catastrados, se constató que:

- 73 % se utiliza para el riego
- 10,9 % se utiliza para uso mixto o compartido (riego, doméstico y ganadero)
- 7,3 % se utiliza para abastecimiento de población
- 3,9 % pozos sin uso
- 3,2 % se utiliza para uso industrial
- 1,5 % se utiliza para uso de aves y ganadero.

En cuanto al bombeo, de la información recabada se pudo conocer que en general los pozos de riego se utilizan unas pocas horas al día, entre 0,5 a 9 horas, en tanto, que los pozos para agua potable bombean un mayor tiempo llegando algunos a 24 horas diarias.

6 MODELACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Se realizó una modelación de la cuenca del Estero Casablanca mediante la plataforma MAGIC (modelo analítico y genérico de gestión integrada de cuencas) en su versión 2.0, desarrollado por la Dirección General de Aguas.

El objetivo principal que tuvo esta modelación fueron los siguientes:

- a) Cuantificación de la recarga hacia los acuíferos definidos en el modelo conceptual de los diferentes elementos hidrológicos que se compone la cuenca.
- b) Establecimiento de la serie de bombeo o explotación de los acuíferos, debido a la operación y dinámica de los elementos que constituyen la demanda de agua en esta cuenca.

De acuerdo al modelo conceptual establecido con los antecedentes actualizados en el presente estudio, se definió la topología MAGIC según se muestra a continuación en **Figura 6-1**, representando en forma simplificada las interrelaciones y funcionamiento integrado de los principales elementos hidrológicos superficiales y subterráneos de la cuenca del estero Casablanca, es decir: acuíferos, embalses, tramos de río y canal, cuencas laterales, pozos de extracción y zonas de riego.

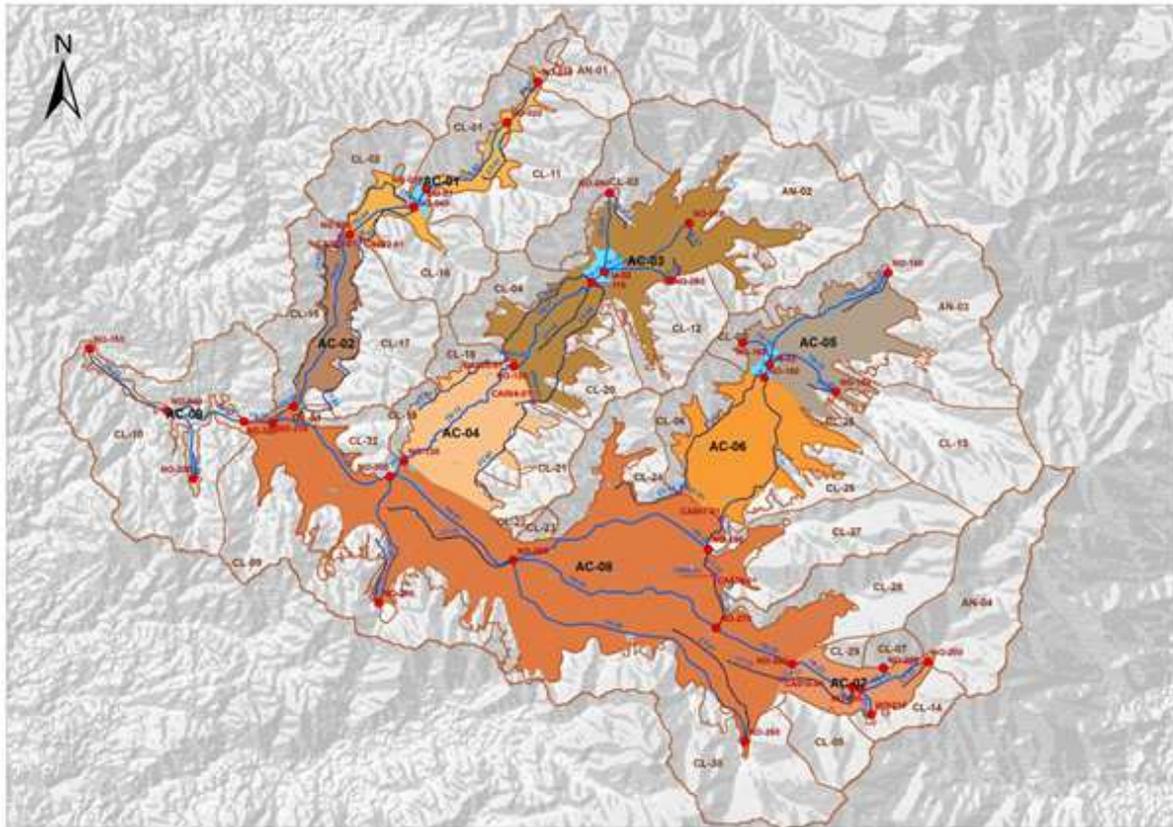


FIGURA 6-1 TOPOLOGÍA FINAL: ACUÍFEROS, RÍOS, CANALES, EMBALSES, CUENCAS LATERALES, APORTES NATURALES Y NODOS

Se utilizaron los resultados de la operación del modelo de escorrentías laterales HEC-HMS, como caudales de entrada para el aporte superficial y sub superficial de las cuencas laterales a la cuenca sedimentaria principal. Para ello, se subdividió las 10 cuencas laterales (operación del modelo HEC-HMS), en 32 sub cuencas, distribuyendo los aportes generados en forma proporcional a sus áreas y según el elemento superficial (nodo y tramo de río), o subterráneo (acuífero) receptor de este aporte. El aporte sub superficial se ingresó a cada acuífero respectivo, mediante pozos de inyección (caudales negativos).

La demanda, se basó en 11 zonas de riego, utilizadas anteriormente en el estudio "Modelación del sistema de aguas subterráneas del Valle de Casablanca, V Región". S.I.T. N° 13. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación; realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., 1993 (DGA/AC-1993), representándose la variación de las superficies cultivadas y no cultivadas a lo largo del periodo de modelación y estimándose las necesidades netas mensuales de riego de cada zona (Evapotranspiración potencial - precipitación efectiva), mediante el método

Blaney y Criddle, basado en las superficies de los diferentes usos del terreno y tipos de cultivos registrada en los catastros y censos realizados desde el 1991 a la fecha.

Debido a la inexistencia de controles fluviométricos para realizar la calibración y validación con respecto a los caudales superficiales, un mecanismo de calibración puede realizarse a través de los flujos de salida de cada acuífero, comparados con aquellos calculados en sus respectivas secciones de salida, basado en los niveles de los pozos de observación y la geometría de las secciones obtenidas de los perfiles gravimétricos levantados.

La operación preliminar del modelo se realizó restringido a la capacidad de los objetos (canales) y bombeando solo el déficit de la demanda de riego no satisfecha por el sistema superficial, entregando los valores de recarga y bombeo de la **Tabla 6-1**

TABLA 6-1 RECARGA Y BOMBEO PROMEDIO DE ACUÍFEROS ASOCIADOS A CADA SUBCUENCA DEL ESTERO CASABLANCA (MAGIC)

Acuífero - Subcuenca	Recarga (m ³ /s)					Bombeo (m ³ /s)	
	Canales	Canales derivados	Riego	Ríos y Embalses	Cuencas Laterales		
Orozco	0.024	0.005	0.140	0.024	0.052	0.244	0.163
Ovalle	0.036	0.006	0.407	0.061	0.047	0.557	0.791
Perales	0.038	0.004	0.316	0.013	0.044	0.415	0.608
Vinilla-Casablanca	0.070	0.002	0.780	0.244	0.078	1.173	1.679
Las Dichas	0.000	0.000	0.039	0.072	0.021	0.133	0.023
Total Cuenca	0.167	0.017	1.682	0.414	0.240	2.521	3.264
%	7%	1%	67%	16%	10%	100%	

Las series de recargas medias mensuales en m³/seg obtenidas para cada elemento: tramos de río, Canales, derivados, embalses, zonas de riego y cuencas laterales, fueron consideradas como condición de borde en el modelo de flujo Visual MODFLOW que a continuación se describe.

7 MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Se actualizó el modelo del acuífero elaborado en Visual MODFLOW por DGA durante el desarrollo del S.I.T N° 97 "Modelación hidrológica Valle del Estero Casablanca", Diciembre 2004 con los siguientes refinamientos:

- Se utilizó una nueva superficie de roca basal desarrollado en base a la campaña geofísica desarrollada por RIZZO. Con la interpretación de los ensayos geofísicos, información de empresas perforistas que han trabajado en la zona y mediciones e información de los pozos catastrados durante la campaña realizada por RIZZO, fue posible interpolar la superficie de la roca con mayor precisión que en el modelo anterior.
- Se utilizó una nueva superficie freática para la condición inicial del modelo, tomando mediciones en pozos de observación en el año 1991.
- Se desarrollaron mapas de infiltración distribuida en cada acuífero en base a series temporales de infiltración calculados en MAGIC para utilizar como condición de borde en MODFLOW. En lugar de utilizar una sola tasa de infiltración para los nueve acuíferos de MAGIC, se utilizaron 32 zonas de infiltración, diferenciando entre infiltración por riego, por el lecho de los canales y cauces, por el fondo de las embalses y a largo de la zona de infiltración entre el valle sedimentario y las cuencas laterales, como se muestra en la **Figura 7-1**.
- Se introdujo drenes en el modelo a largo de los cauces naturales.
- Se utilizó series temporales de bombeo de 466 pozos basados en los caudales otorgados y empezando en la fecha de registración, en lugar de utilizar flujos constantes para el intervalo completo de la simulación a diferencia del anterior modelo. Se trabajó con caudales al 50% del valor otorgado en los 6 meses más húmedos y al 100% de lo otorgado en los meses secos.
- Se calibro el modelo MODFLOW en base a las pruebas de bombeo de 1991 utilizando series temporales de los niveles freáticos medidos en pozos de observación suministrado por DGA. Se muestra los pozos de observación en la **Figura 7-2**.

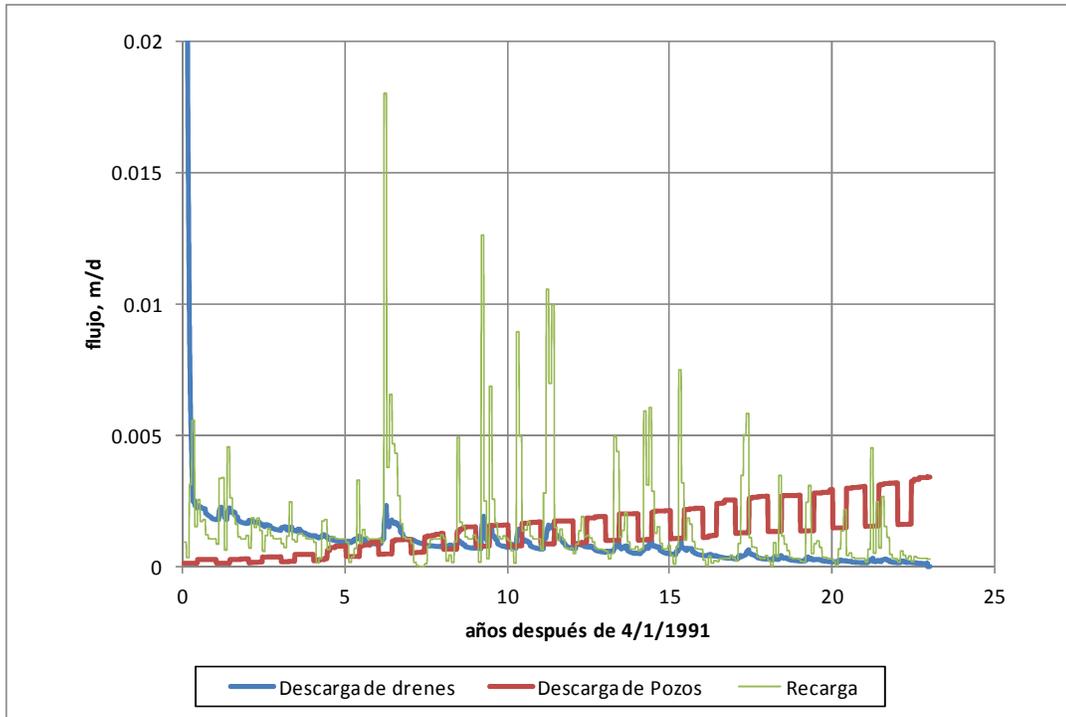


FIGURA 7-3 RESULTADO SIMULACION DE LOS FLUJOS TOTALES DEL ACUIFERO

Además del cambio en el nivel freático, el agua puede entrar en el acuífero por recarga y salir del acuífero por bombeo o por drenaje. La diferencia entre el volumen total que entra y el que sale del modelo durante los 23 años simulados, representa un error en la aproximación de las ecuaciones analíticas implementadas en la modelación utilizando diferencias finitas, que es de aproximadamente **0.84%** en este caso. Se discute este error en la **Sección 10.9** del informe final.

Si se divide los volúmenes totales de recarga, bombeo, o drenaje por el área total de la cuenca en estudio y la duración de la simulación en años, se obtiene una tasa del flujo anual en m/año, tal cual lo indica la **Tabla 7-1** presentada a la continuación.

TABLA 7-1 CALCULO DE LAS TASAS ANUALES DE LOS FLUJOS HIDROLOGICOS

Área	157,269,180.00 m ²	Tasa
Recarga	12.38 m	0.538 m/año
Pozos	-11.47 m	-0.499 m/año
Drenes	-9.3 m	-0.404 m/año
Total del Acuífero		-0.365 m/año

La suma algebraica de los tres flujos es **-0.37 m/año**, lo que representaría una baja anual promedio durante los 23 años de **8.3 metros totales** promedio (como se ha mencionado el nivel freático ha bajado mucho más en partes del acuífero; el valor presentado es un valor promedio del área total incluyendo las áreas poco profundas).

Otra indicación del éxito del modelo en representar condiciones del acuífero, es la buena relación entre las series temporales de niveles piezométricos observados y simulados. Se comparan series temporales piezométricas medidas (cuadrículas) y simuladas (líneas delgadas) en unos de los pozos de observación de DGA, graficadas como salidas de Visual MODFLOW en las **Figuras 10-14 a 10-21** del informe Final. A continuación en **Figura 7-4** se representa un ejemplo de lo mencionado.

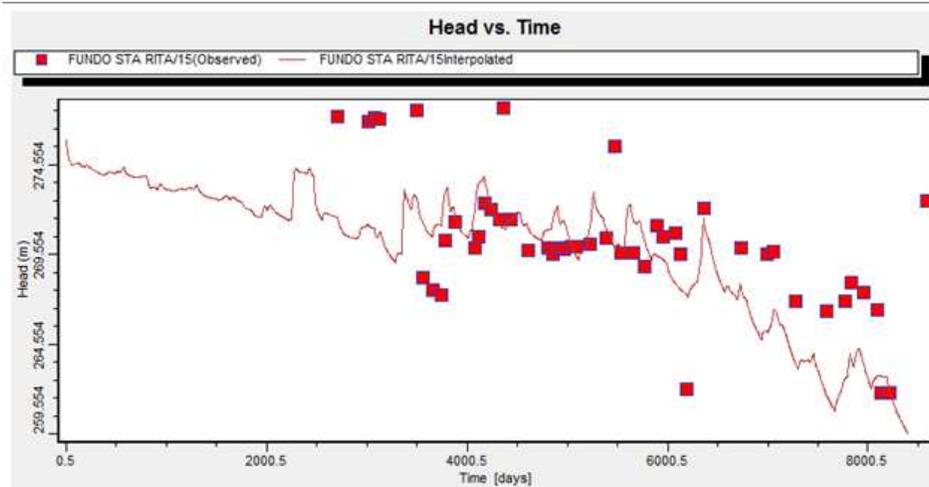


FIGURA 7-4SERIES TEMPORALES OBSERVADOS Y SIMULADAS, FUNDO SANTA RITA

En resumen, se puede concluir que la modelación actualizada representa el comportamiento del acuífero sobre el tiempo en una forma realista. De todas maneras y al efecto de mejorar la herramienta, se sugiere algunas medidas tales como:

- Ejecutar una investigación hidrogeológica para evaluar la necesidad de considerar uno o más acuíferos confinados.
- Continuar compilando información para el catastro de pozos incluyendo sus coordenadas UTM, profundidades, e intervalos donde se localizan los filtros.
- Desarrollar una medida estadística del impacto de los pozos desconocidos

8 CONCLUSIONES

Tras la recopilación de toda la información, los estudios en terreno y los análisis y modelaciones realizadas se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Se ha observado un cambio importante en el funcionamiento tanto hidrogeológico como hidrológico de la cuenca.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se han observado descensos del nivel piezométrico importantes, que se pueden explicar por una explotación subterránea intensiva. En la **Figura 8-1** se observa los litros acumulados otorgados para extraer en la cuenca del Estero Casablanca.

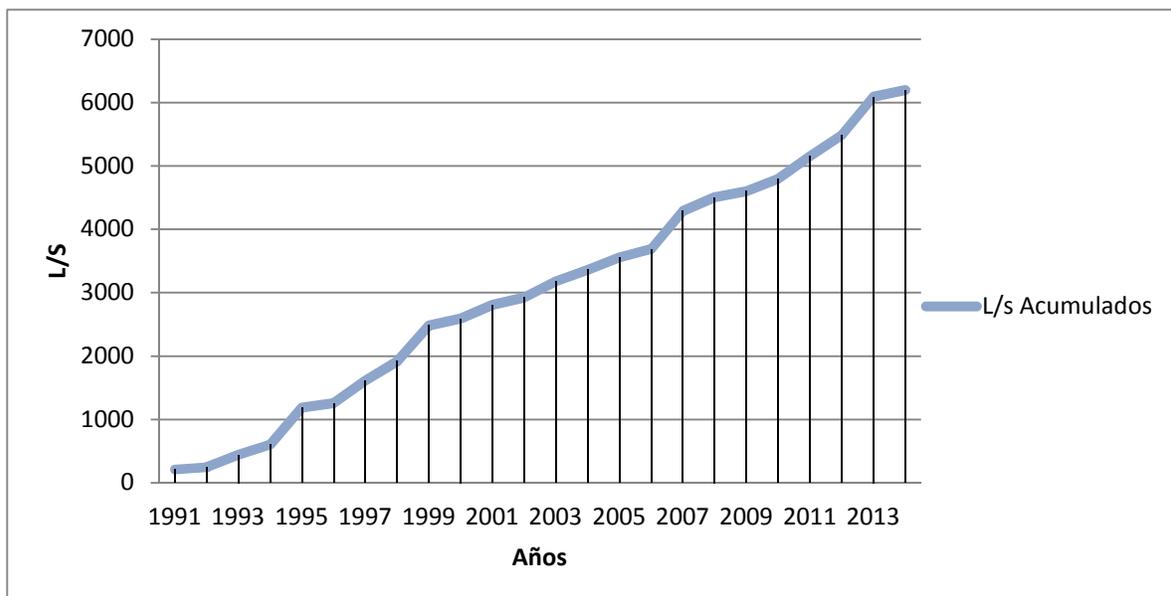


FIGURA 8-1 CAUDALES OTORGADOS ACUMULADOS EN LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA

Tras el análisis de la campaña de terreno llevada a cabo por Rizzo en la que se midieron niveles piezométricos estáticos en 240 pozos, se observan descensos de nivel del límite superior de la zona saturada de hasta 25-28 metros respecto a valores, sobre todo en las zonas de mayor explotación, tal como se abordó en el punto **0 RESUMEN**.

Desde el punto de vista de este consultor, se está presentando en el Valle del Estero Casablanca una combinación de 3 factores comprobados consistentes en: un factor recurrente a lo largo del tiempo, como es la disminución de precipitaciones anuales

durante un periodo no especialmente extenso, junto a dos factores coyunturales, y potenciadores del primer factor, como son el crecimiento de la demanda (por aumento de población y actividades ligadas), y fundamentalmente el crecimiento de extracciones de agua por medio de pozos, que desembocan en una sequía de tipo socioeconómico materializada principalmente en el descenso de los niveles piezométricos y la consiguiente desaparición de cursos permanentes de agua superficial.

También es importante tener en cuenta que se ha observado un cambio sustancial en los usos del suelo en la Cuenca del Estero Casablanca, habiendo una evolución desde cultivos extensivos a viñedos, generalmente tecnificados con sistemas de riego por goteo. Se ha producido así mismo, un aumento de los cultivos de vid en zonas en las laderas de la montaña, lo que evita o disminuye la escorrentía y aumenta la infiltración. Los cambios del uso del suelo también influyen de forma indirecta en la red hídrica, ya que se producen cambios en la relación escorrentía-filtración, a la vez que pueden producir incrementos de aportes de sólidos a los cauces.

9 RECOMENDACIONES

Luego de haber realizado el presente estudio, RIZZO quiere presentar algunas recomendaciones que podrían beneficiar la presente situación de la Cuenca del Estero Casablanca:

- Realizar una campaña de ensayos de bombeo realizando pruebas a gasto constante en pozos de observación para obtener valores de almacenamiento en toda la Cuenca, ya que se disponen de pocos datos medidos y no abarcan todos los sectores
- Mayor control de las extracciones ilegales en la cuenca para evitar una explotación intensiva
- Incentivar a los productores para que, progresivamente, cambien la práctica del control de heladas mediante aspersion de agua por otros métodos alternativos ya que ante la crisis hídrica, esta práctica profundiza aún más el problema
- Incentivar el uso eficiente de agua para riego mediante nuevas tecnologías, así también como impermeabilización de estanques de agua, premiando aquellas instalaciones cuyos propietarios invirtieron y tecnificaron el riego ahorrando agua.
- Realizar un nuevo relevamiento gravimétrico orientado a conocer con mayor precisión la batimetría del techo del basamento hidrogeológico mediante una disposición de perfiles transversales particularmente en el Valle de Casablanca. Esto permitirá determinar con mayor precisión el volumen real de sedimentos y precisar la batimetría del basamento cristalino.
- Se requiere a la mayor brevedad posible instrumentar la obligatoriedad de dotar a cada pozo de un sistema de medición mediante flujómetros en todas las perforaciones que extraen agua, a efecto de conocer el volumen real total extraído.
- Diseñar una red exclusiva de pozos para monitoreo en el ámbito de todas las subcuencas, de uso exclusivo para la DGA, ya que los pozos utilizados en la actualidad son de uso privado y están en explotación, no siendo posible en muchas ocasiones obtener medidas de niveles estáticos fiables. Dicha red de monitoreo debería instrumentarse con transductores de presión. De manera de tener un

conocimiento más acabado de la evolución de los niveles estáticos y además densificarla en aquellos sectores de alto consumo.

- Investigar el estado de estanqueidad y grado de deterioro de los Embalses y determinar fehacientemente la continuidad de su uso mediante un estudio que determine la viabilidad económica de los mismos, considerando el actual grado de deterioro del sistema de distribución de aguas superficiales.
- Crear una red de unos 10 puntos geodésicos de segundo orden, adecuadamente distribuida, que permita la rápida ejecución de levantamientos GPS.
- Completar una Base Única Topográfica mediante el uso de GPS diferenciales de **doble frecuencia** (L1, L2) que contemple el relevamiento de los pozos de la red de monitoreo, puntos estratégicos de la red de drenaje, y de otros puntos de interés.
- Se recomienda tratar la legalidad de la construcción de tranques privados o pozos en las cercanías de cauces naturales en las cabeceras de las quebradas, ya que con esta práctica se obstruye el mecanismo natural de recarga de los acuíferos causando un serio perjuicio a los usuarios del agua subterránea que se encuentran aguas abajo. Cabe recordar que la recarga directa en la cuenca sedimentaria por efecto de la lluvia es muy escasa (Aspecto mencionado en la totalidad de la bibliografía antecedente), y que ella depende principalmente de la infiltración desde la red de drenaje. Al interrumpirse con este tipo de obras, se está alterando el mecanismo natural de recarga y debe pensarse que en la actualidad, prácticamente, la economía de la zona depende exclusivamente de la extracción de agua subterránea.
- A los fines de conocer con precisión el consumo real, se debería complementar el catastro realizado y presentado en el presente trabajo, haciendo énfasis en los grandes productores que no permitieron el ingreso del personal que catastraba, o haciéndolo parcialmente.