

**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

INFORME FINAL

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	14
1	INTRODUCCIÓN	16
	1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES	16
	1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO	17
2	ANTECEDENTES.....	19
3	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	20
	3.1 RESUMEN POR REFERENCIA	21
	3.2 REINTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO Y SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES Y REINTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO	34
	3.3 REINTERPRETACIÓN SEV	35
4	TRABAJOS EN TERRENO	42
	4.1 CATASTRO DE CAPTACIONES	42
	4.2 USOS Y DEMANDAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	44
	4.3 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA SEDIMENTARIA.....	45
5	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	48
	5.1 OBJETIVOS.....	48
	5.2 ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GRAVIMETRÍA	48
	5.3 ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE NANO TEM.....	54
	5.4 RESULTADOS	56
6	GEOLOGÍA Y FORMACIONES PERMEABLES.....	59
	6.1 MARCO GEOLÓGICO GENERAL.....	59
	6.2 UNIDADES GEOLÓGICAS.....	63
	6.3 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS TIPO	68
7	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	72
	7.1 CLIMA.....	73
	7.2 PRECIPITACIONES.....	76
	7.3 HIDROGRAFÍA	79
	7.4 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	81
	7.4.1 FORMA DE LA CUENCA	81
	7.4.2 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	82
	7.4.3 HIPSOMETRÍA	85
8	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y MODELO CONCEPTUAL.....	88
	8.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	88
	8.2 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO.....	90
	8.3 DELIMITACIÓN DE ZONAS ACUÍFERAS	103
	8.4 CÁLCULO DE FLUJOS SUBTERRÁNEOS	104
	8.5 PARÁMETROS ELÁSTICOS	109
	8.6 PIEZOMETRÍA Y FLUJOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	114
	8.6.1 EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DE LA CUENCA.....	134
	8.7 BALANCE HÍDRICO	136
	8.7.1 SALIDAS	137
	8.7.2 ENTRADAS	148

8.7.3	BALANCE.....	149
8.8	ESTIMACIÓN VOLUMEN DE AGUA.....	149
9	MODELACIÓN INTEGRADA (MAGIC)	157
9.1	DELIMITACIÓN ZONAS ACUÍFERAS	161
9.2	DELIMITACIÓN ZONAS DE RIEGO	164
9.3	RED DE DRENAJE Y CANALES DE RIEGO	165
9.3.1	EMBALSE Y CANALES LA VINILLA	170
9.3.2	EMBALSE Y CANALES LOS PERALES	171
9.3.3	EMBALSE Y CANALES LO OVALLE	172
9.3.4	EMBALSE Y CANALES LO OROZCO.....	173
9.4	DELIMITACIÓN DE CUENCAS LATERALES Y APORTES NATURALES.....	174
9.5	MODELO DE GENERACIÓN DE ESCORRENTÍAS EN CUENCAS LATERALES	180
9.5.1	DELIMITACIÓN DE CUENCAS	182
9.5.2	PRECIPITACIÓN	184
9.5.3	INTERCEPCIÓN POR VEGETACIÓN Y ALMACENAMIENTO EN DEPRESIONES.....	186
9.5.4	EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	189
9.5.5	INFILTRACIÓN AL SUELO Y PERCOLACIÓN HASTA EL ACUÍFERO	192
9.5.6	RESULTADOS.....	197
9.6	DESCARGAS Y RECARGAS	201
9.6.1	RECARGA NETA.....	201
9.6.2	DESCARGA	202
10	MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA (MODFLOW)	216
10.1	GEOMETRÍA DEL MODELO	216
10.1.1	DISCRETIZACIÓN EN PLANTA.....	217
10.1.2	DISCRETIZACIÓN ESPACIAL VERTICAL.....	218
10.1.3	DISCRETIZACIÓN TEMPORAL	221
10.2	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	222
10.3	CONDICIONES DE CONTORNO	224
10.4	CONDICIONES DE BORDE	224
10.4.1	CONDICIONES INICIALES.....	225
10.4.2	CONDICIONES DE BORDE DE NIVEL	225
10.4.3	DREN	226
10.4.4	RECARGA	227
10.5	POZOS DE EXTRACCIÓN.....	232
10.6	POZOS DE OBSERVACIÓN	232
10.7	EJECUCIÓN DEL MODELO	234
10.8	CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	235
10.8.1	BALANCE DE AGUA	235
10.8.2	VARIACIÓN ENTRE PIEZOMETRÍA SIMULADA Y OBSERVADA.....	237

10.9 OBSERVACIONES CON RESPETO A LA MODELACIÓN.....	241
10.9.1 VALLE LO OROZCO	242
10.9.2 VALLE LO OVALLE.....	243
10.9.3 VALLE PERALES-TAPIHUE	244
10.9.4 VALLE VINILLA-CASABLANCA	245
10.10 RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DEL MODELO	248
11 DISEÑO POZOS DE MONITOREO	250
11.1 DISEÑO DEL POZO DE MONITOREO.....	264
11.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ALTURA DE CAUDALES.....	266
11.3 COEFICIENTE DE MANNING	267
12 CONCLUSIONES	271
13 RECOMENDACIONES	279
14 REFERENCIAS	283

- ANEXO 1. RESUMEN ESTUDIOS DE REFERENCIA
- ANEXO 2. REINTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO
- ANEXO 3. CATASTRO USOS Y USUARIOS
- ANEXO 4. INFORME GEOFÍSICA
- ANEXO 5. DATOS RECARGAS LATERALES Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL MODELO HEC-HMS
- ANEXO 6. GRÁFICAS POZOS DE OBSERVACIÓN DGA
- ANEXO 7. PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1	LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	18
FIGURA 3-1	LOCALIZACIÓN SEV Y CORTES	36
FIGURA 3-2	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 1-1'	37
FIGURA 3-3	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 2-2'	37
FIGURA 3-4	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 3-3'	38
FIGURA 3-5	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 4-4'	38
FIGURA 3-6	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 5-5'	39
FIGURA 3-7	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 6-6'	39
FIGURA 3-8	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 7-7'	40
FIGURA 3-9	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 8-8'	40
FIGURA 3-10	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 9-9'	41
FIGURA 3-11	INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 10-10'.....	41
FIGURA 4-1	CARTOGRAFÍA INICIAL	43
FIGURA 4-2	DISTRIBUCIÓN DE LAS SUPERFICIES DE RIEGO CATASTRADAS	45
FIGURA 4-3	AFLORAMIENTO DE ROCA BASE.....	46
FIGURA 4-4	NUEVA DELIMITACIÓN DE LA CUENCA SEDIMENTARIA	47
FIGURA 5-1	LOCALIZACIÓN DE LOS PERFILES GRAVIMÉTRICOS.	48
FIGURA 5-2	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE NANO TEM.....	55
FIGURA 5-3	INTERPRETACIÓN PERFIL L-1 (NANO TEM).....	57
FIGURA 5-4	INTERPRETACIÓN RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ESTACIÓN NT-4	57
FIGURA 5-5	INTERPRETACIÓN RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ESTACIÓN NT-5.....	58
FIGURA 6-1	UNIDADES MORFOESTRUCTURALES DEL CHILE CENTRAL. MODIFICADO DE FOCK (2005)	59
FIGURA 6-2	MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO. EXTRAÍDO DE FARIÁS ET. AL. (2007).....	60
FIGURA 6-3	LINEAMIENTOS Y FALLAS QUE AFECTAN A LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA, MODIFICADO DE SABAJ A. (2008)	62
FIGURA 6-4	VISTAS DEL SECTOR ORIENTAL (A) Y OCCIDENTAL (B) DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA	63
FIGURA 6-5	TALUD NATURAL EXCAVADO POR EL ESTERO LO OROZCO EN DEPÓSITOS ALUVIALES (QA)	64
FIGURA 6-6	MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA (ESCALA 1:100.000), (SERNAGEOMIN, 1996)	67
FIGURA 6-7	TALUD EXCAVADO EN EL VALLE DE LO OROZCO SOBRE LA UNIDAD JP (A), DETALLE DE DIQUE ATRAVESANDO LA UNIDAD JP (B).....	68
FIGURA 6-8	COLUMNA LITOLÓGICA DE POZO CORRESPONDIENTE A EXPEDIENTE VPC-0505-159/1	71
FIGURA 7-1	CUENCAS HIDROLÓGICAS	72
FIGURA 7-2	UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO	73
FIGURA 7-3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (T) Y LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (P) EN LA REGIÓN DEL VALPARAÍSO. MODIFICADO DE LUEBERT F. (2012).....	74
FIGURA 7-4	CLIMOGRAMA DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUNTA ÁNGELES EN VALPARAÍSO	75
FIGURA 7-5	VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (1930-2000), A PARTIR DE 33 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE CHILE CENTRAL (FLORES, 2012)	77

FIGURA 7-6	PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (PERÍODO 1986-2013)	78
FIGURA 7-7	MAPA DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN PARA CHILE EN DISTINTOS INTERVALOS TEMPORALES ENTRE 2013 Y 2014. (DGAC CHILE, 2015)	79
FIGURA 7-8	DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE DRENAJE NATURAL DE LA CUENCA Y LOS EMBALSES	80
FIGURA 7-9	CUENCA HIDROLÓGICA PRINCIPAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	81
FIGURA 7-10	MAPA DE SOMBRAS OBTENIDO A PARTIR DEL MDE DE LA CUENCA.....	83
FIGURA 7-11	MAPA RASTER DE PENDIENTES DE LA CUENCA.....	84
FIGURA 7-12	MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES	85
FIGURA 7-13	CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LO OROZCO	86
FIGURA 7-14	CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LO OVALLE.....	86
FIGURA 7-15	CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LOS PERALES-TAPIHUE.....	87
FIGURA 7-16	CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LA VINILLA-CASABLANCA	87
FIGURA 8-1	MAPA DE ESPESOR SEDIMENTARIO SATURADO. ELABORACIÓN PROPIA.....	89
FIGURA 8-2	UBICACIÓN DE LOS PERFILES GRAVIMÉTRICOS	91
FIGURA 8-3	MAPA ESTRUCTURAL REFERIDO AL TECHO DEL BASAMENTO HIDROGEOLÓGICO	92
FIGURA 8-4	MODELO DE CUENCA LÍNEA 10.....	94
FIGURA 8-5	MODELO DE CUENCA LÍNEA 11.....	94
FIGURA 8-6	MODELO DE CUENCA LÍNEA 20.....	95
FIGURA 8-7	MODELO DE CUENCA LÍNEA 21 A.....	95
FIGURA 8-8	MODELO DE CUENCA LÍNEA 21 B.....	96
FIGURA 8-9	MODELO DE CUENCA LÍNEA 21 C.....	96
FIGURA 8-10	MODELO DE CUENCA LÍNEA 30.....	97
FIGURA 8-11	MODELO DE CUENCA LÍNEA 31.....	97
FIGURA 8-12	MODELO DE CUENCA LÍNEA 40.....	98
FIGURA 8-13	MODELO DE CUENCA LÍNEA 41.....	98
FIGURA 8-14	MODELO DE CUENCA LÍNEA 50.....	99
FIGURA 8-15	MODELO DE CUENCA LÍNEA 51.....	99
FIGURA 8-16	MODELO DE CUENCA LÍNEA 60.....	100
FIGURA 8-17	MODELO DE CUENCA LÍNEA 61.....	100
FIGURA 8-18	MODELO DE CUENCA LÍNEA 70.....	101
FIGURA 8-19	MODELO DE CUENCA LÍNEA 71.....	101
FIGURA 8-20	MODELO DE CUENCA LÍNEA 80.....	101
FIGURA 8-21	MODELO DE CUENCA LÍNEA 100	102
FIGURA 8-22	MODELO DE CUENCA LÍNEA 81.....	102
FIGURA 8-23	SECTORES ACUÍFEROS EN LOS QUE SE HA DIVIDIDO LA CUENCA. ELABORACIÓN PROPIA	103
FIGURA 8-24	MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 1991 CON POZOS DE OBSERVACIÓN DE LA DGA.....	105
FIGURA 8-25	LÍNEAS GRAVIMÉTRICAS SOBRE MAPA CON LA ZONIFICACIÓN DE LAS ZONAS ACUÍFERAS	106
FIGURA 8-26	VALORES MEDIOS DEL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.....	112
FIGURA 8-27	DISTRIBUCIÓN DE PERMEABILIDADES	113
FIGURA 8-28	CAPTACIONES CATASTRADAS	114
FIGURA 8-29	MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 2014.....	133
FIGURA 8-30	MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 1991.....	134
FIGURA 8-31	MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 2002.....	135
FIGURA 8-32	ISOVARIACIÓN EN LOS NIVELES DE PROFUNDIDAD DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DE CASABLANCA DEL AÑO 1991 -2014.....	136
FIGURA 8-33	UBICACIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SANTO DOMINGO.....	143

FIGURA 8-34	MAPA DE ISOPIEZAS 1991	150
FIGURA 8-35	MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 2014	151
FIGURA 8-36	MAPA DE ISOPROFUNDIDADES 1991. DIGITALIZADO A PARTIR DEL INFORME DE AC. CONSULTORES DEL AÑO 1991	152
FIGURA 8-37	MAPA DE ISOPROFUNDIDADES 2014. ELABORACIÓN PROPIA.....	153
FIGURA 8-38	MAPA DE ISOVARIACIÓN PERIODO 1991-2014. ELABORACIÓN PROPIA.....	154
FIGURA 9-1	DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO INTEGRADO (MAGIC)	158
FIGURA 9-2	DELIMITACIÓN Y NOMENCLATURA DE LOS ACUÍFEROS	161
FIGURA 9-3	TOPOLOGÍA MAGIC DE LAS CONEXIONES DE LOS FLUJOS SUBTERRÁNEOS ENTRE LOS ACUÍFEROS DEFINIDOS.	162
FIGURA 9-4	TOPOLOGÍA DE AFLORAMIENTOS SUBTERRÁNEOS DE LOS DIFERENTES SECTORES ACUÍFEROS MAGIC.....	163
FIGURA 9-5	DIVISIÓN DE LA CUENCA EN ZONAS DE RIEGO	165
FIGURA 9-6	LOCALIZACIÓN DE LA RED DE DRENAJE NATURAL Y LOS CANALES DE RIEGO EN EL AÑO 1991	166
FIGURA 9-7	TOPOLOGÍA RED DE DRENAJE UTILIZADO PARA MAGIC	168
FIGURA 9-8	DELIMITACIÓN CUENCAS LATERALES Y APORTES NATURALES	176
FIGURA 9-9	DETALLE DIVISIÓN CUENCAS LATERALES CON LA CUENCA SEDIMENTARIA	177
FIGURA 9-10	DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS LATERALES SOBRE MAPA TOPOGRÁFICO.....	178
FIGURA 9-11	DETALLE DELIMITACIÓN CUENCA NATURAL EN EL VALLE LO OVALLE	179
FIGURA 9-12	ESQUEMA DEL MODELO SMA (ADAPTADA DE USACE, 2000).....	181
FIGURA 9-13	SUBCUENCAS DELIMITADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	183
FIGURA 9-14	REGÍMENES ANUALES DE LLUVIA EN LA ZONA DEL ESTUDIO	185
FIGURA 9-15	CORRELACIÓN ENTRE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	186
FIGURA 9-16	MAPA DEL USO DEL TERRENO DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO	188
FIGURA 9-17	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE ETP EN EL VALLE DE CASABLANCA	192
FIGURA 9-18	COMPARACIÓN EVAPOTRANSPIRACIONES ANUALES	194
FIGURA 9-19	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN SOBRE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y LA PERCOLACIÓN HASTA EL ACUÍFERO.....	195
FIGURA 9-20	SUBCUENCAS UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN EN HEC-HMS	198
FIGURA 9-21	BALANCE ACUMULATIVO DE AGUA DE LA SUPERFICIE PARA LA SUBCUENCA CL-08.....	199
FIGURA 9-22	CUENCAS LATERALES INGRESADAS A MAGIC.....	200
FIGURA 9-23	APORTE POR INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL CUENCAS LATERALES INGRESADAS A MAGIC	202
FIGURA 9-24	CAUDALES OTORGADOS POR AÑO	204
FIGURA 9-25	TOTAL DE CAUDALES OTORGADOS ACUMULADO EN LA CUENCA DE CASABLANCA	205
FIGURA 9-26	DISTRIBUCIÓN DE LOS CAUDALES CONCEDIDOS POR SECTORES	206
FIGURA 9-27	CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LA VINILLA-CASABLANCA ...	206
FIGURA 9-28	CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LO OROZCO	207
FIGURA 9-29	CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LO OVALLE.....	207
FIGURA 9-30	CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LOS PERALES TAPIHUE	208
FIGURA 9-31	PRINCIPIOS DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA EN CUENCAS ASOCIADAS A FRENTES MONTAÑOSOS (TOMADOS DE <i>GROUNDWATER RECHARGE</i>). MODIFICADO DE DE RIDDER, (1970)..	212
FIGURA 10-1	LAS ZONAS ACTIVAS E INACTIVAS EN EL MODELO MODFLOW	218

FIGURA 10-2	UBICACIÓN DE LOS SECCIONES LONGITUDINALES DE LOS VALLES DE LA CUENCA ACUÍFERICA	220
FIGURA 10-3	SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VALLE LO OROZCO	220
FIGURA 10-4	SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VALLE LO OVALLE	221
FIGURA 10-5	SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VALLE LOS PERALES-TAPIHUE	221
FIGURA 10-6	SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ACUÍFERO VALLE CASABLANCA	221
FIGURA 10-7	ZONAS Y VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN EL MODELO DEL VALLE DE CASABLANCA	222
FIGURA 10-8	UBICACIÓN DE PRUEBAS DE BOMBEO DE 1991	223
FIGURA 10-9	SUPERFICIE EQUIPOTENCIAL O NIVEL INICIAL AÑO 1991.....	225
FIGURA 10-10	UBICACIÓN DE LOS DRENES	226
FIGURA 10-11	ZONAS DE RECARGA DE MAGIC Y CUENCAS LATERALES	227
FIGURA 10-12	DIAGRAMA DE FLUJOS CALCULADOS DENTRO DEL PROGRAMA MAGIC PARA CADA ACUÍFERO AC-01 HASTA AC-09.	228
FIGURA 10-13	ESQUEMÁTICA DE LA TRANSFERENCIA DE DATOS DE RECARGA ENTRE LOS MODELOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO ACTUAL.....	231
FIGURA 10-14	LAS 31 ZONAS DE RECARGA COMO SE INGRESÓ EN MODFLOW	232
FIGURA 10-15	DISTRIBUCIÓN POZOS DE OBSERVACIÓN	234
FIGURA 10-16	SIMULACIÓN DE LOS FLUJOS TOTALES DEL ACUÍFERO	237
FIGURA 10-17	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO LOMA LARGA.....	238
FIGURA 10-18	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO SANTA AMALIA	238
FIGURA 10-19	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO SANTA RITA	239
FIGURA 10-20	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO TAPIHUE.....	239
FIGURA 10-21	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – HACIENDA LO OROZCO.....	240
FIGURA 10-22	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – EMBALSE LO OVALLE BAJO	240
FIGURA 10-23	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO LA PLAYA.....	241
FIGURA 10-24	SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – EMBALSE FUNDO LA VINILLA.....	241
FIGURA 11-1	UBICACIÓN ZONA DE LAS DICHAS.....	250
FIGURA 11-2	CAUCE PRINCIPAL DE LA CUENCA A LA ALTURA DE LAS DICHAS	251
FIGURA 11-3	MUESTRA DEL NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA	252
FIGURA 11-4	DETALLE MARCAS DE CORRIENTE EN EL CAUCE	253
FIGURA 11-5	UBICACIÓN PRINCIPALES EMBALSES DE LA CUENCA	254
FIGURA 11-6	EVOLUCIÓN AGUA EMBALSADA EN EMBALSE LO OROZCO	255
FIGURA 11-7	EVOLUCIÓN AGUA EMBALSADA EN EMBALSE LO OVALLE	256
FIGURA 11-8	EVOLUCIÓN AGUA EMBALSADA EN EMBALSE LOS PERALES	257
FIGURA 11-9	UBICACIÓN PLANTA DE ÁRIDOS	259
FIGURA 11-10	PLANTA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS.....	259
FIGURA 11-11	TRAMO DEL CAUCE SITUADO EN LA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS	260
FIGURA 11-12	SERIE HISTÓRICA DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL SIMULADO CON HEC-HMS	262
FIGURA 11-13	UBICACIÓN DE LA RED DE MONITOREO	264
FIGURA 11-14	ESQUEMA DE CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE MONITOREO. (ELABORACIÓN PROPIA).....	265

FIGURA 12-1	DERECHOS OTORGADOS POR AÑO EN LA CUENCA DE CASABLANCA	271
FIGURA 12-2	TOTAL CAUDALES OTORGADOS ACUMULADOS EN LA CUENCA DE CASABLANCA	272
FIGURA 12-3	DISTRIBUCIÓN DE LOS DESCENSOS DEL NIVEL DE AGUA EN LA CUENCA DE CASABLANCA.....	273
FIGURA 12-4	EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN LA CUENCA DE CASABLANCA	274
FIGURA 12-5	PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (PERIODO 1986-2013)	275

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1	COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE BOMBEO	35
TABLA 4-1	DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE RIEGO POR SECTORES	44
TABLA 5-1	LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES GRAVIMÉTRICAS Y MEDIDAS DEL BASAMENTO	49
TABLA 5-2	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES MEDIDAS	56
TABLA 6-1	EXPEDIENTES REVISADOS CON COLUMNAS LITOLÓGICAS	69
TABLA 8-1	PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA	93
TABLA 8-2	RESUMEN DE LOS CÁLCULOS DE FLUJOS SUBTERRÁNEOS EN LAS SECCIONES GRAVIMÉTRICAS	108
TABLA 8-3	VALORES DE TRANSMISIVIDAD PROMEDIO SEGÚN MÉTODOS UTILIZADOS EN AQUIFER TEST	111
TABLA 8-4	VALORES DE PERMEABILIDADES INICIALES QUE SE UTILIZARAN EN EL MODELO	113
TABLA 8-5	NIVELES ESTÁTICOS MEDIDOS DURANTE LA CAMPAÑA DE TERRENO 2014	132
TABLA 8-6	COEFICIENTES DE CULTIVOS PROMEDIO DE ACUERDO A LOS MESES (FUENTE: "DIAGNÓSTICO ACABADO DE LA CUENCA DEL VALLE DE CASABLANCA UTILIZANDO TECNOLOGÍA GEOESPACIAL", UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, CATA, 2013)."	138
TABLA 8-7	PROMEDIO DE LUZ DIARIA PARA EL HEMISFERIO SUR (FUENTE: "CURSO HIDROLOGÍA APLICADA – ING. EDUARDO A. CHAVARRI V.", FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PERÚ.)	139
TABLA 8-8	OBTENCIÓN DE PARÁMETROS ADIMENSIONALES EN FUNCIÓN DE LA FRACCIÓN DE INSOLACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA(FUENTE: "CURSO HIDROLOGÍA APLICADA – ING. EDUARDO A. CHAVARRI V.", FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PERÚ.).....	141
TABLA 8-9	CANTIDAD MÁXIMA DIARIA DE HORAS DE SOL POR MES Y LATITUD (FUENTE: "CURSO HIDROLOGÍA APLICADA – ING. EDUARDO A. CHAVARRI V.", FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PERÚ.).....	142
TABLA 8-10	SISTEMA DE RIEGO PARA DIFERENTES CULTIVOS	146
TABLA 8-11	DEMANDAS ANUALES POR TIPO DE CULTIVOS Y VEGETACIÓN	148
TABLA 8-12	PRECIPITACIONES PLUVIALES DE CASABLANCA	148
TABLA 8-13	CÁLCULO VOLÚMENES GEOMÉTRICOS DE LA CUENCA SEDIMENTARIA	155
TABLA 9-1	OBJETOS REPRESENTADOS EN EL MODELO MAGIC DE LA CUENCA DEL VALLE DE CASABLANCA	159
TABLA 9-2	VOLUMENES MÁXIMOS DEL RELLENO SEDIMENTARIO UTILIZADOS EN EL MODELO MAGIC DEL VALLE DE CASABLANCA.....	164
TABLA 9-3	TOPOLOGÍA UTILIZADA PARA LA RED DE DRENAJE DEL MAGIC	168
TABLA 9-4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CANALES SECTOR LA VINILLA	170
TABLA 9-5	LONGITUDES APROXIMADAS DE LOS CANALES	170
TABLA 9-6	RESUMEN DE LAS SUBCUENCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	184
TABLA 9-7	DATOS BÁSICOS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO ACTUAL	185

TABLA 9-8	ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE INTERCEPCIÓN EN FUNCIÓN DEL USO DE SUELO	187
TABLA 9-9	ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESIONES EN EL SUELO EN FUNCIÓN DEL USO DE SUELO	187
TABLA 9-10	RESUMEN DEL CÁLCULO DE PARÁMETROS DE PÉRDIDAS	189
TABLA 9-11	RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL..	191
TABLA 9-12	RESUMEN VALORES EVAPOTRANSPIRACIÓN ANUAL	193
TABLA 9-13	VARIACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN SEGÚN OBSERVACIONES (USDA, 2014)	194
TABLA 9-14	RESUMEN DE PARÁMETROS DEL SUELO UTILIZADOS EN EL BALANCE HÍDRICO.....	196
TABLA 9-15	TOTAL DE CAUDAL OTORGADO POR SUBCUENCAS	205
TABLA 9-16	VALORES ESTADÍSTICOS DE PERMEABILIDAD.....	209
TABLA 10-1	RESUMEN DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS ADOPTADOS	224
TABLA 10-2	ARCHIVOS DE MAGIC UTILIZADOS EN CALCULAR LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA RECARGA AL ACUÍFERO PARA UTILIZAR EN MODFLOW.....	230
TABLA 10-3	DATOS DE UBICACIÓN DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN DE LA DGA	233
TABLA 10-4	BALANCE CUMULATIVA DE AGUA PARA LA SIMULACIÓN DE 23 AÑOS	236
TABLA 10-5	CÁLCULO DE LAS TASAS ANUALES DE LOS FLUJOS HIDROLÓGICOS.....	236
TABLA 11-1	VALORES DEL COEFICIENTE DE MANNING	269

0 RESUMEN

El estudio que se presenta a continuación, realizado por Rizzo Associates Chile S.A. (en Adelante "Rizzo"), consistió en un levantamiento hidrogeológico de la cuenca del Valle de Casablanca, que permitió el desarrollo de un modelo conceptual necesario para la implementación de un modelo integrado de la cuenca utilizando la plataforma MAGIC (Modelo Analítico y genérico de gestión integrada de cuencas) en su versión 2.0 y también para la actualización del modelo matemático 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".

Para realizar el modelo conceptual, que permite explicar y comprender la estructura y funcionamiento del acuífero, objeto de estudio, se siguieron los siguientes pasos:

Se recopiló la información geológica del sector en estudio, que permitió establecer la distribución y configuración de los acuíferos que conforman la estructura de la cuenca. El presente estudio, fue apoyado con una cartografía geológica detallada, con base topográfica precisa, tanto de la superficie como del basamento rocoso, y recopilación de información de perfiles estratigráficos en el sector de estudio. La información geológica recopilada es fundamental en este tipo de estudio, ya que forma parte de los factores que condicionan la escorrentía, la alimentación natural y las descargas de los acuíferos. Dentro de esta información es relevante contar con los espesores y continuidad de cada unidad acuífera, así como de la extensión del sistema acuífero.

Se realizó una caracterización hidrológica de la Cuenca, para lo que se realizó un estudio de la meteorología de la cuenca, en la que se tuvo en cuenta las precipitaciones, temperaturas, evaporación etc. Al no existir datos de fluviometría a la salida de la cuenca, se realizó un estudio de escorrentía en cuencas laterales, a través de un modelo de Precipitación-Escorrentía mediante el programa HEC-HMS.

Se realizó asimismo una caracterización hidrogeológica de la cuenca que da cuenta de la estructura y funcionamiento de ésta.

Se recopilaron las propiedades hidráulicas del sistema, que permitieron definir el funcionamiento del acuífero.

Se recopilaron los siguientes parámetros elásticos:

- Transmisividad (T)

- Permeabilidad (k)
- Coeficiente de Almacenamiento (S)
- Coeficiente de Almacenamiento Específico (Ss).

Se utilizaron las Transmisividades que se obtuvieron para la Modelación Hidrogeológica Valle del Estero Casablanca (S.I.T. N°97), y la información proveniente de la reinterpretación de los Ensayos de Bombeo realizados por AC Ingenieros y Consultores en el año 1991.

Las Permeabilidades se calcularon a partir de las Transmisividades anteriormente mencionadas, y de los espesores de los sedimentos saturados consignados recabados del Mapa de Isoespesores Saturados.

Coeficiente de Almacenamiento y Coeficiente de Almacenamiento Específico se obtuvieron del Informe Modelación Hidrogeológica Valle del Estero Casablanca (S.I.T. N°97) y de la reinterpretación de los Ensayos de Bombeo realizados por AC Ingenieros y Consultores en el año 1991.

Como parte de la Campaña de terreno Rizzo realizó un Catastro de pozos existentes en la Cuenca, en los que se recabó información de los niveles piezométricos disponible de dichos pozos, lo que permitió, entre otras cosas, determinar fluctuaciones de los niveles de agua subterránea. Con estos datos se generaron los mapas de Isopiezas con los que se determinó el flujo del agua subterránea. Estos mapas sirvieron además para establecer las zonas de recarga del sistema en la superficie del terreno, tales como recarga por infiltraciones de lluvias y de riego y los flujos subterráneos de ingreso y salida, desde y hacia otras cuencas.

Con los antecedentes recopilados, se realizó un balance hídrico de la cuenca, es decir, se determinaron los volúmenes de recarga y descarga que se producen en la cuenca.

Tras describir el modelo conceptual de la cuenca, se implementó un modelo integrado de la cuenca tipo MAGIC que relaciona la demanda agrícola con los consumos de aguas superficiales y subterráneas. Con este modelo se obtuvieron las reglas de bombeo históricas y se realizó asimismo la actualización de la modelación subterránea, modelo Modflow Casablanca.

De acuerdo a lo instruido por la DGA se indica que "Los resultados de este estudio constituyen una propuesta preliminar del consultor, según la información disponible"

1 INTRODUCCIÓN

Una de las principales funciones que tiene la Dirección General de Aguas (DGA) perteneciente al Ministerio de Obras Públicas (MOP), es el continuo estudio de los recursos hídricos a lo largo de Chile. Considerando que la demanda por los recursos hídricos cobra cada vez mayor importancia, y que la obtención de información de la situación de las aguas subterráneas es el primer y fundamental paso para establecer con más precisión los balances hídricos de los acuíferos, para fines de asignación de derechos de aguas e implementar políticas de conservación y explotación sustentable del recurso, se licitó el estudio "Actualización de la Modelación Hidrogeológica e Integrada de los Acuíferos de la Cuenca del Estero Casablanca", y como resultado de dicha licitación; Rizzo Associates Chile S.A., en adelante "RIZZO", es la empresa adjudicataria de la licitación, quien mediante su propuesta respondió a los requerimientos elaborados por la DGA cuyo documento engloba las actividades necesarias para actualizar la modelación integrada y subterránea de los acuíferos definidos hasta el sector de Las Dichas, en el Valle de Casablanca.

La incertidumbre de la información básica para definir las unidades acuíferas utilizadas en las modelaciones anteriores exige hoy en día una actualización de los modelos existentes para generar una herramienta robusta de gestión acorde a las exigencias actuales.

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

El objetivo principal del estudio es 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 existente.

Para la materialización del objetivo principal se consignan los siguientes objetivos específicos:

- Análisis y sistematización de la información contenida en estudios anteriores, generando una base de datos con la información de catastros anteriores, geología, geofísica, y toda la información relevante útil para los fines del estudio. Toda esta información será representada espacialmente en un proyecto SIG.
- Materialización de un catastro de usos y usuarios de la cuenca del Estero Casablanca.
- Ejecución de perfiles gravimétricos.
- Investigación del mecanismo de recarga a los acuíferos.
- Determinación de la demanda hídrica de acuerdo al uso del recurso.
- Implementación de un modelo integrado para la cuenca del Estero Casablanca, el cual permitirá determinar la recarga y demandas históricas (reglas de bombeo).

- Actualización, calibración y validación del modelo numérico de flujos subterráneos de la cuenca del Valle de Casablanca.
- Balance Hídrico y determinación del volumen sustentable de los sectores acuíferos de aprovechamiento común.

1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO

La Cuenca del Estero Casablanca, se encuentra 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. El Estero Casablanca recibe los aportes de las cuencas transversales de Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales, además de la cuenca Longitudinal La Vinilla-Casablanca. Estas 4 subcuencas forman el Valle de Casablanca, región 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, decretándose como zona de restricción el año 2005.

El área de estudio comprende toda la cuenca hidrográfica afluyente al sector Las Dichas, este territorio se muestra en la **FIGURA 1-1**.

De acuerdo a lo instruido por la DGA se indica que "Los resultados de este estudio constituyen una propuesta preliminar del consultor, según la información disponible"

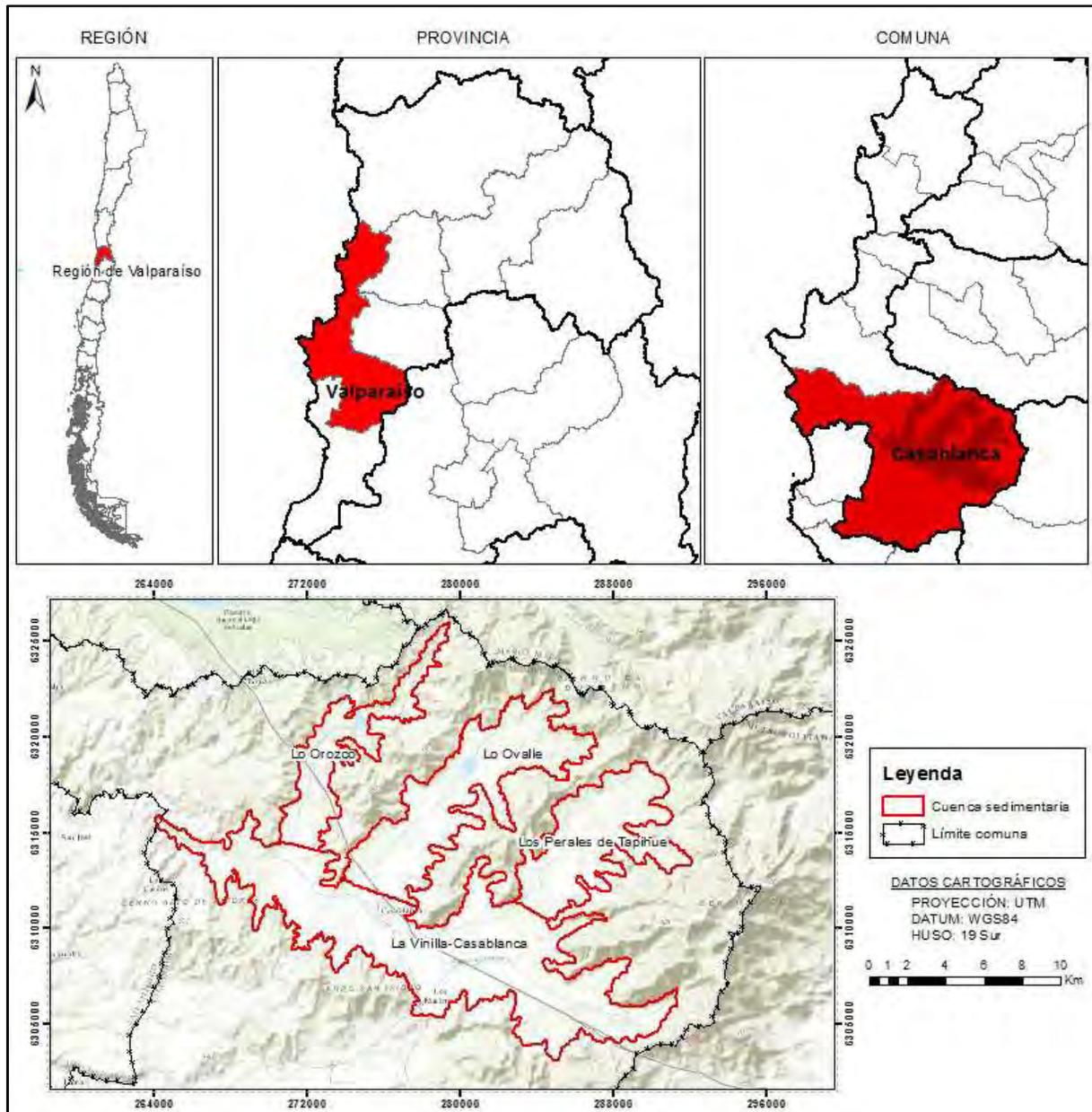


FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

2 ANTECEDENTES

La Cuenca del Valle de Casablanca está siendo estudiada por parte de la Dirección General de Aguas (DGA) desde la década de los 90.

- En el año 1991, se realizó una modelación del sistema hídrico en la cuenca, incluyendo los acuíferos hasta la zona de las Dichas.
- En 1993, se implementó un modelo operacional superficial, y un modelo numérico para caracterizar el funcionamiento del acuífero.
- La División de Estudios y Planificación de la DGA, actualizó la información de la modelación numérica, realizando un nuevo catastro agrícola y de niveles de pozos en el año 2004, utilizando el software Visual Modflow 3.0.
- En la actualidad, ha habido un incremento de la demanda agrícola, provocando que esta superficie se extienda en altura, cubriendo grandes extensiones de lomas en cerros, y ha habido un cambio sustancial en el tipo de cultivos.

3 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se analizaron los antecedentes enviados por la DGA entre los que destacan las referencias a 7 trabajos anteriores, realizando un resumen de todos ellos y destacando sus fortalezas y debilidades.

Del análisis de los informes de referencia, cabe destacar que el que sirve de guía y apoyo a todos los demás es el estudio titulado "*Estudio básico para la modelación del sistema de aguas subterráneas del Valle de Casablanca*". / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación (DEP); Realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., Junio de 1991. (DGA/AC-1991)"

De este estudio se han sacado varios datos y ensayos básicos para poder realizar la actualización de la modelación, aunque teniendo en cuenta las limitaciones y errores de interpretación.

Se ha utilizado de este estudio la información litológica, geológica y de coeficientes de almacenamiento. Los ensayos de bombeo y los SEV han sido reinterpretados en base a la información recopilada.

Del análisis de la información, sobre todo las columnas litológicas, se desprende que en la mayor parte de la cuenca el acuífero es confinado o semiconfinado.

Se realizó una nueva interpretación de 7 ensayos de bombeo del informe antes identificado, ya que estos en su momento fueron interpretados considerando el acuífero como libre mediante la solución de Thiem.

La nueva interpretación de los ensayos de bombeo se realizó mediante el programa Aquifer Test, según la solución de Theis y Nauman Walton y Theis Recovery.

En esta Etapa, los avances respecto a la recopilación de antecedentes disponibles, considerando documentos y datos públicos, se ha enfocado a la bibliografía estipulada en las Bases Técnicas, a los cuales se ha realizado una evaluación crítica, obteniendo los siguientes resultados:

3.1 RESUMEN POR REFERENCIA

A continuación se presentan un resumen de cada informe de referencia consultado para la elaboración del estudio que nos contempla, en el **Anexo 1**, se incluye una tabla resumen con las referencias.

- a) "Estudio básico para la modelación del sistema de aguas subterráneas del Valle de Casablanca". S.I.T. N°2. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación (DEP); Realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., Junio de 1991. (DGA/AC-1991).

Este informe, se realizó con el objetivo de contar con una herramienta que permita predecir los efectos que pudiera causar el aumento de demanda de recursos subterráneos y la construcción de nuevos sondajes, de tal manera de poder planificar y racionalizar el aprovechamiento del recurso hídrico en general.

El informe sentó las primeras bases de un estudio conteniendo la información y conocimiento para conceptualizar y desarrollar la modelación del sistema de aguas subterráneas de la Cuenca de Casablanca.

Muchos de los datos del informe, en el presente se encuentran completamente desactualizados, como por ejemplo el Mapa isofreático, la determinación del borde Cuenca Sedimentario, los volúmenes extraídos, la Recarga del acuífero, etc., ya que han transcurrido 23 años desde su elaboración.

Aunque solo se efectuaron 25 SEV, por primera vez se muestra la potencialidad de la Cuenca, en términos de sus espesores. También es importante aclarar que en aquella época no existían los recursos de software actuales, lo que llevó a que se debieran interpretar manualmente utilizando las Curvas patrones de SEV de Orellana y Mooney.

La salida gráfica escogida para presentar los resultados de la interpretación de los SEV tampoco fue la más acertada, ya que no se transformó el corte geofísico "puro", en un corte hidrogeológico en el que estén incluidos datos tales como facies sedimentarias, tipo de terrenos investigados, indicación de pozos que validen el modelo, se omitió indicar la posición del nivel estático, etc.

Pero lo importante del estudio es que se dispone de los resultados del estudio geofísico y se pueden reinterpretar con los avances informáticos y con la recopilación de nueva información hidrogeológica.

Los perfiles estratigráficos elaborados en aquella época, hoy servirán de apoyo a la interpretación del levantamiento gravimétrico efectuado por Rizzo en este estudio, a saber:

En cuanto a la determinación de parámetros fundamentales del acuífero (T, S, Ss, K) AC Ingenieros y Consultores, consiguió datos confiables de solo 11 pozos de los cuales luego en el informe se reportan 10, ya que el restante no contaba con pozo de observación.

Una aspecto que llama la atención del informe es que a pesar de mencionar que se contaba con datos de 98 ensayos escalonados, no se utilizaron para determinar los términos para los cuales se hace un ensayo de este tipo, es decir los ensayos se hicieron y solo se muestran las gráficas de descensos-tiempo, sin ningún análisis que permita calcular la curva de capacidad específica, las constantes de pérdidas formacionales y constructivas, la eficiencia del pozo, etc.

Así mismo quedan muchas dudas en el informe acerca de la metodología empleada, y no queda claro de donde obtuvo AC Consultores los resultados de los 104 valores de Transmisibilidad, que presentan en su estudio.

En el año 1990 se realizó un Catastro de 210 pozos para caracterizar el aprovechamiento del recurso hídrico en el área de estudio, pero aunque si bien sirven de referencia para este estudio, no parece recomendable utilizar los resultados obtenidos, para el presente estudio, debido a que los datos corresponden a más de dos décadas atrás.

En cuanto a los aportes subterráneos de los tres valles hacia el principal Vinilla - Casablanca, en el estudio de AC Ingenieros Consultores, solo se menciona que fueron determinadas a partir de las Transmisibilidades, sin detallar el modo en que estas fueron obtenidas.

Respecto al concepto de Unidades Hidrogeológicas planteado por AC Ingenieros y Consultores, no se precisa la metodología o el criterio utilizado para tal subdivisión, ya que se infieren divisiones de manera lineal sin mayores explicaciones.

La metodología utilizada para la determinación del Modelo Precipitación Escorrentía es válida atendiendo a que se hizo aplicando una metodología comparativa y tomando parámetros obtenidos por CICA, y extrapolados del modelo empleado en la calibración de la cuenca Lilu Lilu.

Se realizó un modelo hídrico conceptual por parte de AC Ingenieros y Consultores, compuesto morfológicamente por 4 valles, uno principal La Vinilla –Casablanca y los 3 secundarios (Los Perales, Lo Ovalle y Lo Orozco), o un eje principal y 3 subcuencas. El sistema hídrico superficial de cada valle lo constituye un embalse y una serie de canales de riego. En años normales los sistemas subterráneo y superficial interactúan y se complementan entre sí, siendo la lluvia su única fuente de recarga.

Son rescatables muchas de las Recomendaciones aportadas por el informe de AC Ingenieros y Consultores, al mostrar su preocupación por la evidencia de un descenso marcado de los niveles estáticos., aunque todavía hablaban de un excedente de $0,35\text{Mm}^3/\text{año}$ a la salida de la Cuenca.

- b) "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., Julio de 1993. (DGA/AC-1993).

Este informe se realizó con el objetivo de contar con una herramienta que permita predecir los efectos de diferentes condiciones que se impongan al Sistema Hidrológico e Hidrogeológico de Casablanca. Para tal fin, se desarrolló el modelo de simulación integrada Superficial-Subterráneo para poder planificar, administrar y racionalizar el aprovechamiento del recurso hídrico de la zona.

Para el desarrollo de la modelación se ha tomado como base el informe de AC Ingenieros y Consultores Ltda., más una actualización realizada durante 1992 acerca de la situación de pozos de bombeo agregándose 70 pozos más, lo que hizo un universo de 270 pozos utilizados para la modelación. A su vez, también para este informe se realizó un análisis de la situación agropecuaria a partir de 78 predios representativos del área de estudio, que permitió definir mejor la demanda de agua de riego y se revisó la infraestructura de riego a ese momento.

Se caracterizó la recarga que principalmente tiene características pluviales por infiltración en conos de deyección de las quebradas laterales y sectores de contacto roca-relleno, incluidos sectores con roca altamente meteorizada, como así también la producida en los cauces naturales, esteros y quebradas.

A los fines de la simulación hidrológica y carecer la Cuenca de controles fluviométricos, se utilizaron series de precipitación para cada sector en que fue dividida la Cuenca y

series de caudales medios mensuales a las entradas de los cuatro valles mediante un modelo de simulación de escorrentías incluido en el informe de AC Ingenieros y Consultores Ltda., del año 1991.

Para la modelación del sistema subterráneo se dividió el área total en 11 sectores de riego, definiendo una malla de elementos finitos de 589 nudos y 1005 elementos triangulares. Para el manejo del sistema se definió una malla de 57 nudos con tramos de canal, estero y áreas de riego. El intervalo de tiempo de simulación fue de tres meses.

Se menciona que la calibración del modelo es satisfactoria ya que el ajuste entre los valores simulados y los observados es suficientemente aproximado.

En este estudio se realizaron escenarios de simulación para estimar la posibilidad de otorgar nuevos derechos de agua, concluyendo que hay zonas en que no es posible realizar mayores extracciones por ser zonas hidrogeológicamente pobres. La metodología utilizada para el resto de la cuenca permite determinar en cuánto puede ser aumentado el caudal, pero no el lugar físico conveniente. La conclusión fue que el caudal de extracción podría aumentarse en casi 800 l/s.

La modelación del recurso subterráneo se realizó mediante la técnica de elementos finitos utilizando el método residual de Galerkin con elementos triangulares como detalladamente se puede ver en el desarrollo del estudio. Para su calibración y validación se eligió el período desde el año 1986 al 1990.

Finalmente se realizó un modelo integrado de las componentes superficiales y subterráneas del ciclo hidrológico, enlazando las descargas del acuífero con las recargas vía percolación, tanto de los embalses como los cursos superficiales y principalmente áreas de riego.

Se analizaron 5 escenarios diferentes de simulación del modelo integrado para analizar la operación, considerando diferentes situaciones para períodos de como máximo 3 años consecutivos de baja recarga del acuífero, pero tomado en su total y no particularizando dónde convendría aumentar el ritmo de extracciones.

- c) "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. Ministerio de Obras Públicas, Dirección

General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH); Realizado por DGA-DARH., Octubre de 1996. (DGAIDARH-1996)

Se contó con los antecedentes de los trabajos realizados por AC Ingenieros Consultores Ltda., en Junio 1991 y Julio de 1993.

Del estudio se deduce que los recursos Hídricos disponibles en el Acuífero Casablanca son fundamentalmente pluviales, producidas por la infiltración de las precipitaciones en las zonas altas, en los conos de deyección de las quebradas laterales y en los sectores de contacto roca - relleno; Otra fuente de recarga importante, es la infiltración producida en los cauces naturales, esteros y quebradas. Adicionalmente, los embalses también actúan como fuentes de recarga de cierta importancia.

La recarga al acuífero de Casablanca estimada por sectores es:

	Valle Lo Orozco	Valle Lo Ovalle	Valle Los Perales	Valle Vinilla Casablanca	TOTAL
Recarga (l/s)	186	190	261	507	1.144

Estado de Situación de los Derechos de Aprovechamiento, del análisis de las solicitudes de derechos de aprovechamiento, Derechos Otorgados y Pendientes, en la Cuenca de Casablanca presentado como ANEXO (82 derechos Comprometidos y 21 Derechos Comprometidos Pendientes), se desprende que, el caudal nominal comprometido alcanzaría los 4.155 l/s, y que el caudal efectivamente explotado, es de 894 l/s. El porcentaje de uso efectivo se estimó en base a antecedentes recopilados en la región y se presenta en forma de tabla de porcentajes.

Balance Hídrico que arroja el siguiente resultado:

Recarga Total	1144 l/s
Consumo efectivo derechos otorgados	894 l/s
Balance	+ 250 l/s

Se menciona que los antecedentes disponibles permiten establecer claramente que en el acuífero del Valle de Casablanca existe un sector correspondiente al Valle de La Vinilla-Casablanca, que está sobreexplotado, y que no se pueden constituir nuevos derechos y recomienda la declaración de limitación de explotación en este valle.

d) "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° 03/2000 DGA-DARH, Enero de 2000. (DGAJDARH-2000).

Se definen los dos objetivos de la Minuta Técnica:

El principal objetivo: "Resolver la solicitud presentada por Sociedad Agrícola La Rotunda Ltda. y Agrícola El Ensueño Ltda., para declarar área de restricción al Acuífero de Lo Ovalle, en la comuna de Casablanca, provincia de Valparaíso, correspondiente al expediente VAR-V-5-2".

Como objetivo secundario: "Tomando como referencia la Minuta Técnica DARH N° 15 del 10/10/96, se presenta una recopilación actualizada de los derechos comprometidos en el acuífero del valle de Casablanca, con el fin de analizar la disponibilidad en los subsectores acuíferos de Lo Orozco y Los Perales, del mismo valle.

Se abordan los recursos Hídricos Disponibles en el Acuífero Casablanca, basándose en la Minuta Técnica DARH N°15 de 1996, se presenta una tabla con valores parciales por sector, y un valor de caudal disponible total de 1.144 l/s, que proviene de la infiltración de precipitaciones en las áreas cultivadas, más la infiltración de la precipitación en las áreas no cultivadas, más la infiltración de canales y la infiltración por riego.

Situación de los Derechos de Aprovechamiento, el caudal nominal comprometido en el Acuífero de Casablanca alcanza a los 5.286 l/s, lo que equivale a un caudal de uso efectivo de 1.240 l/s.

A continuación, se presenta el Registro de 107 Derechos Concedidos que arroja los caudales mencionados:

- 12 solicitudes en Trámite en Acuífero de Casablanca
- 27 registro de Derechos Comprometidos en Acuífero de Lo Ovalle
- 20 registro de Derechos Comprometidos en Acuífero de Los Perales
- 9 registros de Solicitudes en Trámite en Acuífero de Los Perales
- 12 Derechos Comprometidos en Acuífero de Lo Orozco
- 2 Solicitudes en Trámite en Acuífero de Lo Orozco

Finalmente se presentan las conclusiones, de la Minuta Técnica donde se menciona que:

El caudal nominal comprometido en el acuífero de Lo Ovalle es de 973 l/s, equivalente a 194 l/s de caudal de uso efectivo, siendo la recarga estimada en este acuífero es de 190 l/s.

De acuerdo a lo establecido en los Artículos 62 y siguientes del Código de Aguas, como en los Artículos 26 y siguientes de la Resolución N° 186 de 1996, de la DGA, corresponde acoger la solicitud y declarar área de restricción al acuífero de Lo Ovalle.

Por lo tanto, no existen recursos disponibles para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el Acuífero de Casablanca, y por ende en los subsectores de Lo Orozco y Los Perales, a partir de las solicitudes con fecha de ingreso posterior al 09/07/1997, correspondiente al expediente ND-V-5-2396.

- e) "Modelación hidrológica Valle del Estero Casablanca". / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación. S.I.T N° 97. Realizado por DGA-DEP, Diciembre 2004. (DGAJDEP-2004).

Se definen los límites de batería donde se desarrollará el estudio:

"La cuenca del Estero Casablanca se encuentra ubicada en la vertiente occidental de la cordillera de la costa, en la Quinta Región, entre las coordenadas 30° 10' y 33° 25' de latitud sur y 71° 10' y 71° 40' de la longitud Oeste de Greenwich.

En la cuenca se pueden distinguir cuatro valles de relevancia que la conforman los que son: La Vinilla-Casablanca, Los Perales de Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco.

También se definen las características geomorfológicas, climáticas y régimen pluviométrico de la Cuenca.

El Objetivo General del informe es "Implementar un modelo de Aguas Subterráneas en la cuenca del Estero Casablanca, que permita describir el funcionamiento del sistema acuífero y contar con una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en la V Región."

Queda definido que el estudio comprende la actualización de la información de la situación de riego, como así también, las características de explotación del sistema y la implementación de la modelación hidrogeológica del acuífero de la cuenca del estero Casablanca mediante la utilización del software Visual Modflow (VM) v3.0

Puntos que se abordaron en la "Implementación del Modelo".

Modelo Conceptual: Diagnóstico, se determinan las variables y parámetros para comprender el funcionamiento del agua subterránea en la cuenca en estudio.

Hidrología:

- a) Pluviometría, presenta las precipitaciones mensuales utilizadas para esta modelación, comprendiendo el período desde 1980 a 2002.
- b) Fluvimetría, no existen controles que permitan estimar los recursos de la cuenca, por este motivo se utilizó el modelo precipitación escorrentía MPL que maneja la DGA, y cuyos resultados se utilizan como datos de entrada para el modelo integrado MAGIC-Casablanca.
- c) Evapotranspiración, se tomó información de una campaña de terreno realizada en diciembre del año 2002, por el Departamento de Estudios y Planificación de la DGA, más la ayuda de fotos satelitales en un área de 6.273,3 hectáreas de distribución total de cultivos.

Respecto a la estratigrafía de la cuenca, se analizaron 100 expedientes que contaban con un anexo técnico, incluyendo estratigrafía y prueba de bombeo, para poder estimar los parámetros elásticos y tener una idea de la estratigrafía de la Cuenca. De la misma manera se obtuvo la información para determinar las propiedades hidráulicas de la Cuenca.

La variación histórica de los niveles de agua subterránea, se obtuvo de los antecedentes de las estaciones de agua subterránea que mide la DGA periódicamente y del catastro realizado en terreno en Diciembre del año 2002 (535 pozos) ANEXO B de dicho informe.

Se presenta la información de niveles de agua subterránea de 24 pozos con datos de mediciones comprendidas dentro del período 1º de Enero de 1983 al 31 Diciembre 2002 en Anexo C del informe.

En el Capítulo 4 se realiza la Modelación. Para ello se representa la información hidrogeológica procesada, la cual ha permitido determinar conceptualmente el funcionamiento de la Cuenca del Estero Casablanca, por medio de un modelo matemático construido bajo plataforma Visual Modflow v3.0

Conclusiones y Recomendaciones:

- Los objetivos planteados se lograron satisfactoriamente.
- La metodología desarrollada permitió a través de la información recopilada construir un modelo conceptual, que implementado en el software Visual Modflow v3.0, el que permite simular diferentes alternativas de comportamiento del acuífero.

- En cuanto a la comparación entre los niveles observados y calculados se tiene que el modelo no supera el error medio cuadrático normalizado ($\leq 5\%$). El error medio absoluto fue de 1.58 metros, lo que comparado con el espesor acuífero promedio del área se obtuvo una discrepancia de 3.16%. Por lo tanto, los niveles calculados se ajustan al patrón, ya que siguen la misma tendencia de comportamiento que los niveles observados.
- Con respecto al balance de masa, este se ajusta en buena medida a las estimaciones preexistentes y simula de buena manera los flujos e intercambios del sector considerado en el modelo.
- Los niveles freáticos, en general, no muestran una tendencia marcada de ascenso o descenso, las fluctuaciones parecen estar condicionados hidrológicamente a períodos de recarga interanuales. la tendencia muestra estabilidad.
- El caudal de extracción establecido alcanza el orden de 1 m³/s, de los cuales del orden de 0,99 son para riego.
- El desembalse neto total del modelo alcanza los 17.42 l/s durante el período de calibración y la variable de mayor importancia que determina las entradas es la recarga, mientras que las salidas son definidas marcadamente por las extracciones desde pozos y norias.
- Considerando los resultados obtenidos de la calibración es posible establecer que el modelo simula de forma apropiada los niveles freáticos observados y los flujos que condicionan el comportamiento acuífero de la cuenca.

Como recomendación, el informe señala que se debe que, en primer lugar, validar el modelo para un segundo período de análisis y también realizar el análisis de sensibilidad.

Así mismo, se recomienda generar un escenario de simulación, con el fin de poder estimar en el largo plazo cuales son las potencialidades del acuífero en comparación con los estudios anteriores.

- f) Informe Técnico No 167, "Área de restricción acuífero del Valle del estero Casablanca, sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Lo Orozco, La Vinilla-Casablanca y Los Perales". / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos; Realizado por DGA-DARH, Junio de 2005. (DGA/DARH-2005).

Objetivo del informe:

“Analizar la situación de los sectores del acuífero del Valle del Estero Casablanca, con el objeto de demostrar la procedencia de Declarar Área de Restricción por parte de la Dirección General de Aguas, a los siguientes sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común:

1. LO OROZCO
2. LA VINILLA-CASABLANCA
3. LOS PERALES

Se como antecedente principal el informe Minuta Técnica N°15 denominada “Determinación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector del acuífero del Valle de Casablanca, Comuna de Casablanca, Provincia de Valparaíso, Va Región” del año 1996.

Los límites de los sectores de aprovechamiento común del Valle del Estero Casablanca, se definen de acuerdo al “Informe de Zonificación Hidrogeológica para las Regiones Metropolitana y Va”, SDT N° 133 de mayo de 2002. También se presentan las superficies de cada uno de los sectores acuíferos del Valle. En el mismo punto se presenta el Mapa N° 2 donde se demarca claramente lo antes mencionado.

Para la recarga del sistema se toma de base la Minuta N°15 de 1996, que presenta la disponibilidad de Recursos Hídricos para constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Se mencionan las características de recarga del acuífero que habían sido enunciadas en el Informe Técnico del año 1991. Se presenta una tabla con valores parciales por sector, y un valor total de recarga de 1.144 l/s.

Demanda Vigente al 31 de Diciembre 2004 se presenta en el **ANEXO 1** y corresponde a las solicitudes constituidas, en trámite y aquellas que pueden ser regularizadas a través del Artículo 2º Transitorio del Código de Aguas, aclarando que no se incluye en la misma los listados las solicitudes que han sido denegadas o las que no procede según lo informado al Juez. Se presenta una tabla con valores parciales por sector, y un valor total de demanda al 31 de Diciembre 2004 de 8.162 l/s.

Usos Previsibles del recurso hídrico. Claramente se expresa que procede siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga y las condiciones de uso existentes y previsibles. Al respecto se presenta una tabla por sector de los Usos existentes y previsibles vigente al 31 de Diciembre 2004 de 2.058,39 l/s.

Balance Hídrico. Se presenta una tabla y un gráfico que resume la situación de la recarga del sistema y los usos existentes y previsibles de demanda vigente al 31 de diciembre de 2.004. La tabla reseña notablemente por sector la enorme diferencia entre recarga y demanda.

Se presenta la ubicación y registro de niveles de ocho estaciones de la red de Pozos de la DGA en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de La Vinilla-Casablanca, Los Perales y Lo Orozco (nótese que no se trabajó sobre pozos de lo Ovalle), donde se observa los descensos en los niveles estáticos a través del tiempo. A fin de ilustrar con mayor detalle las variaciones individuales, se presentan gráficas individuales con el control de niveles medidos desde 1.970 a 2.003 en los Mapas 3 y 4. La fuente de información se presenta como ANEXO. Se observa que existe un descenso sostenido de los niveles en el acuífero, a partir del año 1982.

Situación de explotación del acuífero del Valle del Estero Casablanca.

Con la información del balance hídrico se concluyó que la recarga total del sistema (1144 l/s), se encuentra sobrepasada respecto de los usos existentes y previsibles de la demanda al 31 de diciembre de 2004 (2049 l/s). Por lo que se señala que existe una insuficiente recarga para satisfacer dicha demanda. Concluyendo que existe riesgo de un descenso generalizado de los niveles estáticos en el largo plazo, que afecte la capacidad productiva de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de La Vinilla-Casablanca, Los Perales y Lo Orozco, debido a la insuficiente recarga en relación a los usos y explotación prevista en el largo plazo de los derechos. Se menciona que "De acuerdo a lo anterior queda demostrada la conveniencia de restringir el acceso a los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común del Acuífero del Valle del Estero Casablanca"

Conclusiones:

La Declaración de Área de Restricción está contemplada en el Art. 65 del Código de Aguas y arts. 27 al 31 Resolución 186 de 1996. El primer artículo señala que, cuando los antecedentes y estudios sobre la explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar área de restricción, la Dirección General de Aguas es quién deberá hacerlo. Debiendo para ello demostrarse que:

- i. Que existe riesgo de un descenso generalizado de los niveles estáticos en el largo plazo, que afecte la capacidad productiva de los acuíferos, debido a una insuficiente recarga en relación a la explotación existente.

- ii. Que exista peligro de contaminación del acuífero por intrusión de aguas que perjudiquen los aprovechamientos usuales.

Se estima prudente otorgar como derechos provisionales hasta un 25% de los derechos otorgables como definitivos en el acuífero, es decir, un caudal Total de hasta 1265 l/s en el Acuífero del Valle del Estero Casablanca.

Se presenta en ANEXO un catastro de 251 pozos de Demanda Vigente en los Sectores La Vinilla-Casablanca, Los Perales y Lo Orozco.

Se presenta en ANEXO un catastro de 69 Derechos Provisionales en los Sectores La Vinilla-Casablanca, Los Perales y Lo Orozco.

Se presenta en ANEXO Resolución DGA 290 del 5 de Septiembre 2005 que declara Área de Restricción para nuevas extracciones subterráneas al acuífero del Valle del Estero Casablanca, en los sectores La Vinilla-Casablanca, Los Perales y Lo Orozco y su correspondiente publicación en el Boletín oficial de la República de Chile del sábado 1 de Octubre 2005.

- g) "Determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, áreas de restricción, Valle del Estero Casablanca". SDT N° 354 - Informe Técnico DARH N° 77. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos; Realizado por DGA-DARH, Marzo de 2014. (DGA/DARH-2014)

El Informe Técnico hace un resumen de los estudios realizados hasta el momento en el Valle del Estero Casablanca:

Se cita la Minuta Técnica N°15 de fecha 10/10/1996, en la cual se establece la recarga para dicho acuífero en base a estudios de modelación realizados en los años 1991 y 1993, indicando la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo para el acuífero de Casablanca con la definición de 4 sectores individualizados como los valles de: Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales y La Vinilla-Casablanca.

Posteriormente se cita la Minuta Técnica N°3 de fecha 06/01/2000, donde se actualizan los derechos comprometidos en los 4 sectores, concluyendo que no existen recursos disponibles para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en los sectores de Lo Orozco y Los Perales.

Basado en la Minuta Técnica anterior, la Resolución DGA N° 161 de fecha 22/01/2001, declara área de restricción para nuevas exploraciones de aguas subterráneas en el sector de Lo Ovalle. El Sector de Lo Ovalle, queda definido y que se representa en el mapa N°1.

Se identificaron 4 unidades hidrogeológicas, como lo muestra el mapa N°2, correspondientes al valle de Casablanca-La Vinilla y los valles de Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales constituyéndose estos 3 últimos en las recargas naturales del valle de La Vinilla-Casablanca.

Se menciona el Informe Técnico N°167 de fecha 20 de junio de 2005 y la Resolución DGA N°290 de fecha 02/09/2005, declaró área de restricción para nuevas extracciones de agua subterránea al acuífero del Valle del Estero Casablanca, en los Sectores de Lo Orozco, La Vinilla-Casablanca y Los Perales, tal como se muestra en el mapa N°3, estableciendo prudente otorgamiento de derechos provisionales.

Se concluye que las unidades hidrogeológicas identificadas en el punto 4, no pueden ser desvinculados unos de otros, pues tanto el área de recarga como el relleno sedimentario conforman una unidad hidrogeológica, identificada como Sector Hidrogeológico de aprovechamiento común.

Menciona que la Ley N° 20.411 y modificada por la Ley N° 20.419 del 07/02/2011, prohíbe la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas en determinadas zonas o áreas señaladas, entrando en dicha prohibición los sectores acuíferos de aprovechamiento común, de La Vinilla-Casablanca, Lo Ovalle, Lo Orozco y Los Perales.

Finalmente como conclusión se menciona que de acuerdo a los antecedentes expuestos, la delimitación de los sectores acuíferos de aprovechamiento común de La Vinilla-Casablanca, Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales, no pueden ser desvinculados unos de otros, pues tanto el área de recarga de un acuífero como su relleno sedimentario, conforman una sola unidad hidrogeológica, identificada como sector hidrogeológico de aprovechamiento común y mostrados en el mapa N°5.

3.2 REINTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO Y SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES Y REINTERPRETACIÓN ENSAYOS DE BOMBEO

A la fecha, se ha realizado la reinterpretación de ensayos de bombeo del "*Estudio básico para la modelación del sistema de aguas subterráneas del Valle de Casablanca*". / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación (DEP); Realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda., Junio de 1991. (DGA/AC-1991)"

En el estudio presentado por AC Ingenieros Consultores del año 1991, se presentan valores de constantes elásticas obtenidas de varias pruebas de ensayos de bombeo. Para dicho estudio se disponía de antecedentes de ensayos de bombeo realizados a caudal constante y a caudal variable. Al resultar insuficientes, AC Ingenieros consultores realizo específicamente para su estudio 8 nuevos ensayos de bombeo a caudal constante. 7 de estos ensayos se realizaron a 24 horas y uno a 15 horas.

RIZZO ha realizado una interpretación de los 7 ensayos realizados por AC Consultores a caudal constante durante 24 horas, obviando por ser insuficientes los datos el ensayo realizado a 15 horas. (Solo se dispone de tablas de valores de descensos y recuperación en estos 8 ensayos, por lo que son los únicos que se han vuelto a interpretar)

Se decidió realizar una nueva interpretación de los ensayos de bombeo del informe antes identificado, ya que estos en su momento fueron interpretados considerando el acuífero como libre, mediante la solución de Thiem. Se entiende, que no es aconsejable la aplicación de dicho método, ya que prácticamente la totalidad de los pozos presentan condiciones de confinamiento a semi-confinamiento.

De acuerdo a los valores de los coeficientes de almacenamiento y del análisis de las columnas litológicas (más de 50% de niveles arcillosos), obtenidos del mismo estudio, se infiere que el acuífero es de tipo *confinado-semiconfinado*, presentando solo los primeros metros del acuífero y en las zonas de borde, condición de *acuífero libre*.

La nueva interpretación de los ensayos de bombeo, se realizó mediante el programa Aquifer Test, según la solución de Theis y Nauman Walton y Theis Recovery, en la medida de que se dispusieran los datos de la recuperación de los niveles dinámicos. Se adjunta en el anexo 2 una breve ficha resumen de cada ensayo de bombeo reinterpretado por RIZZO donde se presentan además las gráficas obtenidas para su interpretación.

A continuación, en la **Tabla 3-1**, se presentan una comparativa de los datos obtenidos por AC Ingenieros Consultores Ltda., en el año 1991, frente a los resultados obtenidos con la nueva interpretación.

TABLA 3-1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE BOMBEO

POZO	COORDENADAS UTM		VALORES AC CONSULTORES	NUEVA INTERPRETACIÓN RIZZO	
	NORTE	ESTE	TRANSMISIVIDAD (M ² /DÍA)	TRANSMISIVIDAD (M ² /DÍA)	COEF. ALMACENAMIENTO
3310-7120-A8	631963	272186	144	130-140	0,179
3310-7120-C25	6311773	272370	312	365	8,17 x 10 ⁻⁴
3320-7110-A5	6306660	284900	890	1040	5,87 x 10 ⁻⁶ .
3310-7120-D50	6314189	276180	217	103	5,63 x 10 ⁻²
3320-7120-B5	6308417	280195	76	516	2 x 10 ⁻⁴
3310-7120-C18	6314104	285067		128	3,35 x 10 ⁻¹
3310-7120-D33	6309971	276924	387	331	1,69 x 10 ⁻³

3.3 REINTERPRETACIÓN SEV

Los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), del Informe de "*ESTUDIO BÁSICO PARA LA MODELACIÓN DEL SISTEMA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL VALLE DE AC INGENIEROS CONSULTORES CASABLANCA*", fueron interpretados en forma manual, por superposición gráfica, aplicando en forma reiterada el Método del Punto Auxiliar de Ebert, utilizando los ábacos de la colección de Orellana-Mooney, (1954), sin Análisis de Equivalencia.

La reinterpretación actual, consistió en extrapolar desde las curvas de SEV que figuran en el informe, creando una planilla Excel y luego cargarlos en la Base de datos del programa de interpretación automática. Se utilizó el programa Resix plus V.4.3, con control de perforaciones que hayan alcanzado el basamento hidrogeológico, de manera de validar el modelo de espesores sedimentarios.

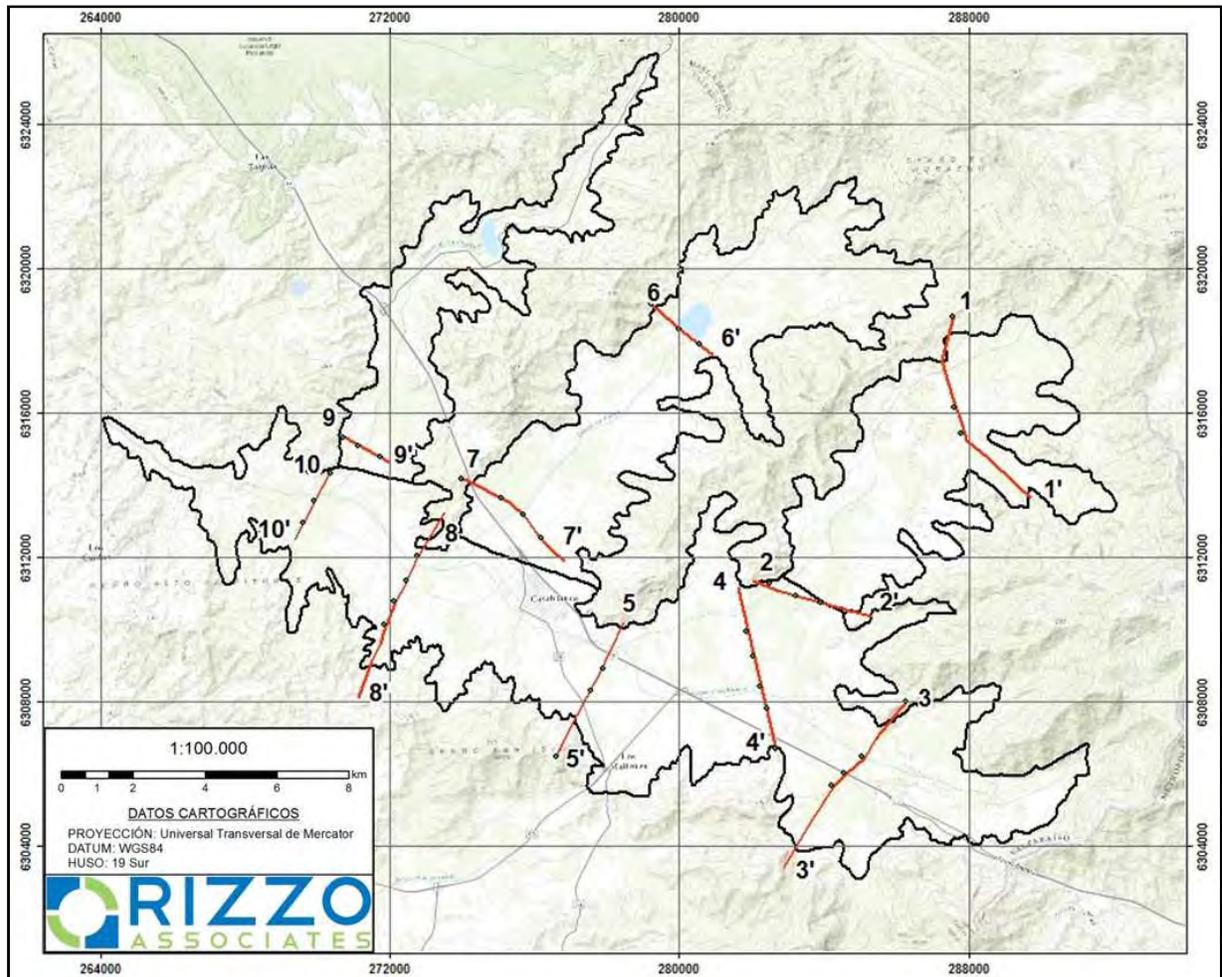


FIGURA 3-1 LOCALIZACIÓN SEV Y CORTES

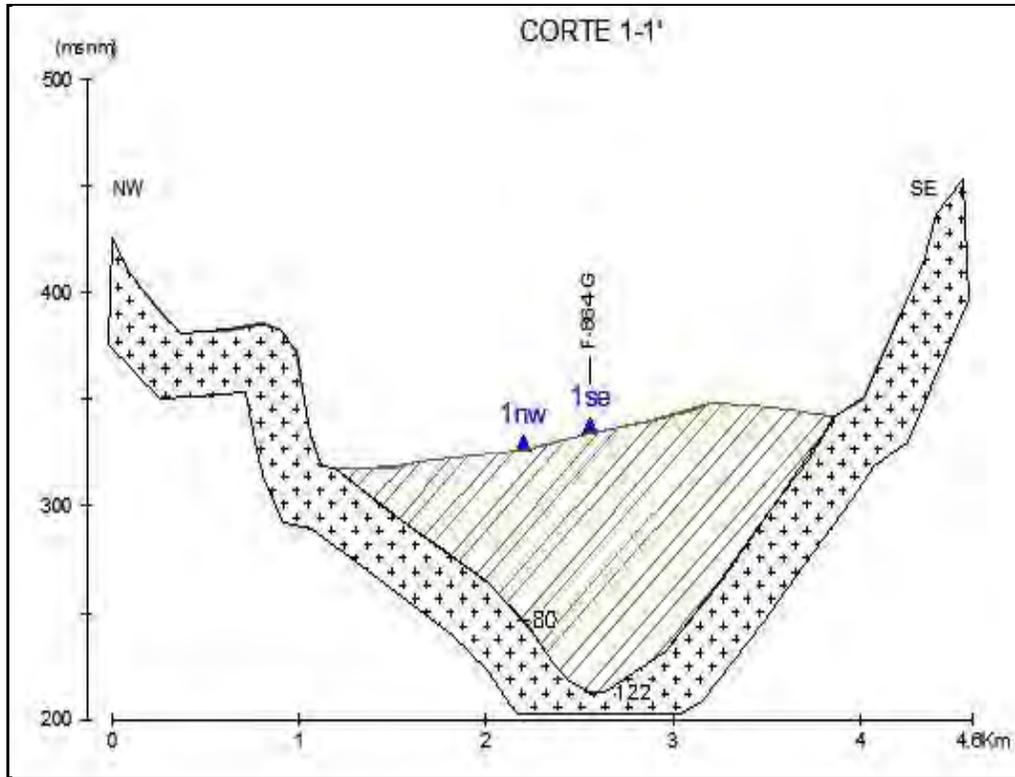


FIGURA 3-2 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 1-1'

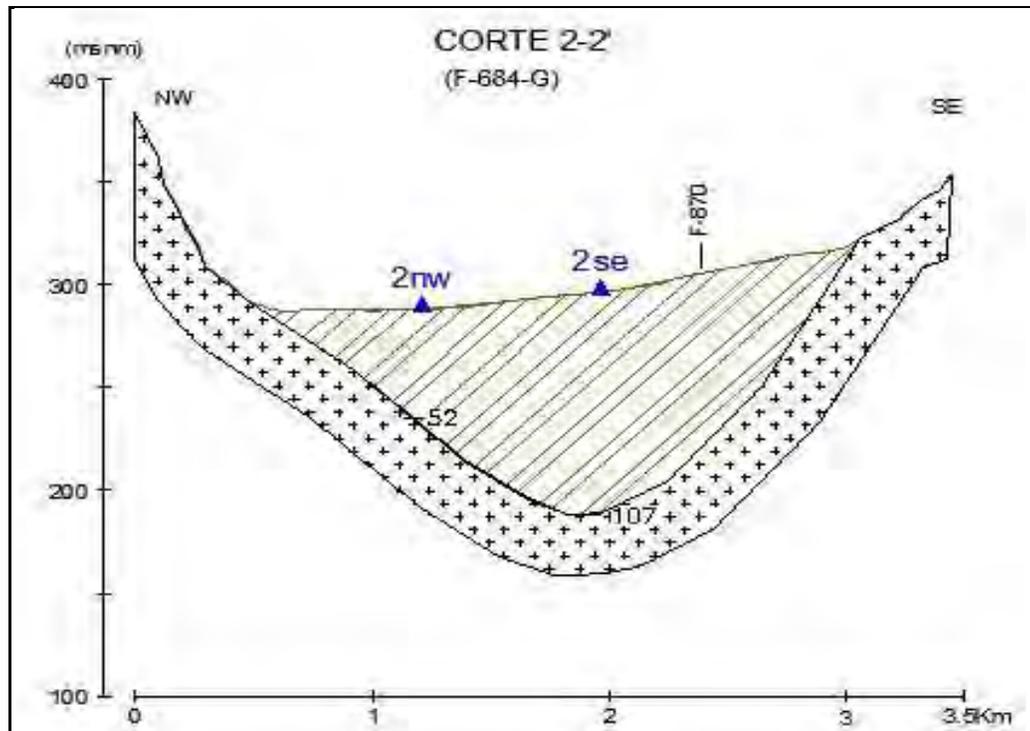


FIGURA 3-3 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 2-2'

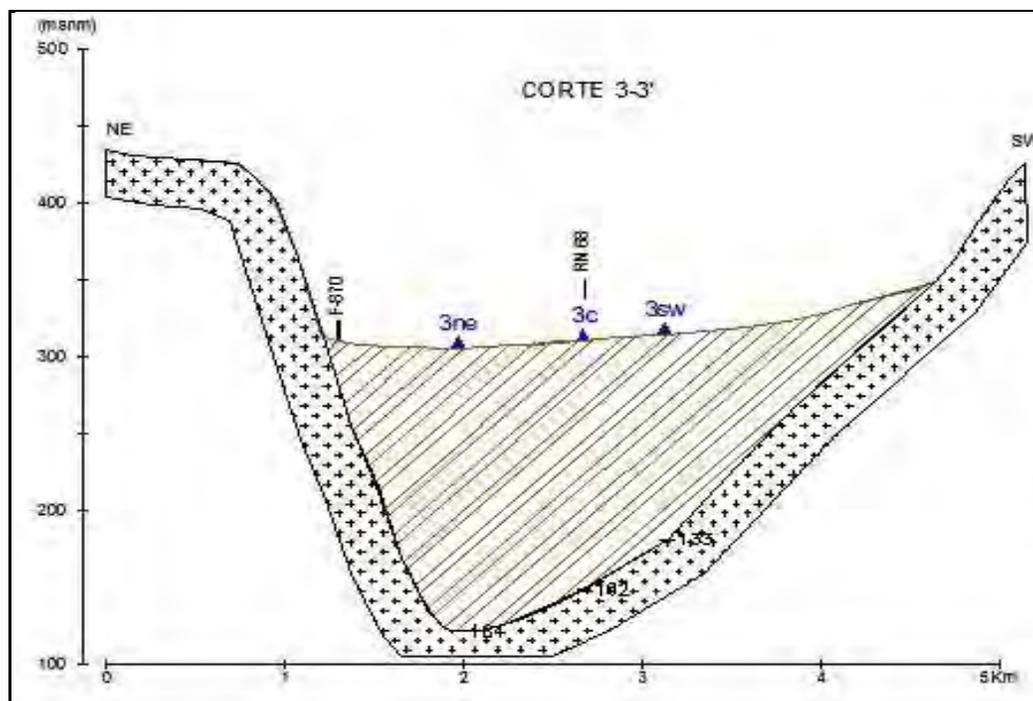


FIGURA 3-4 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - COORTE 3-3'

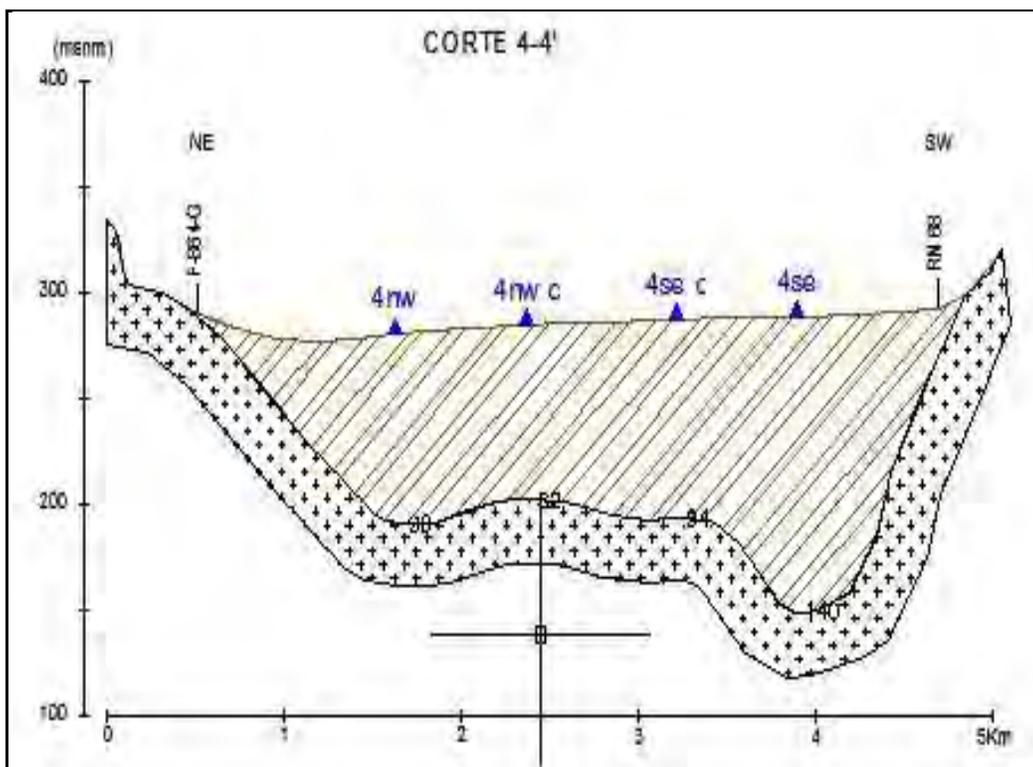


FIGURA 3-5 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - COORTE 4-4'

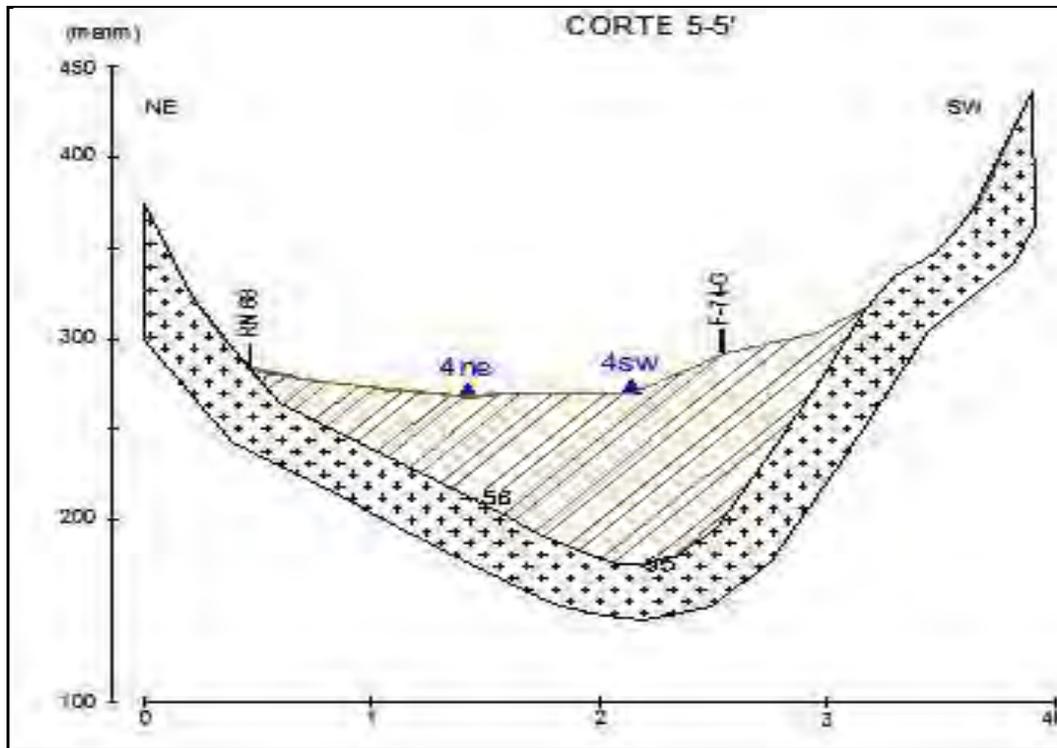


FIGURA 3-6 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 5-5'

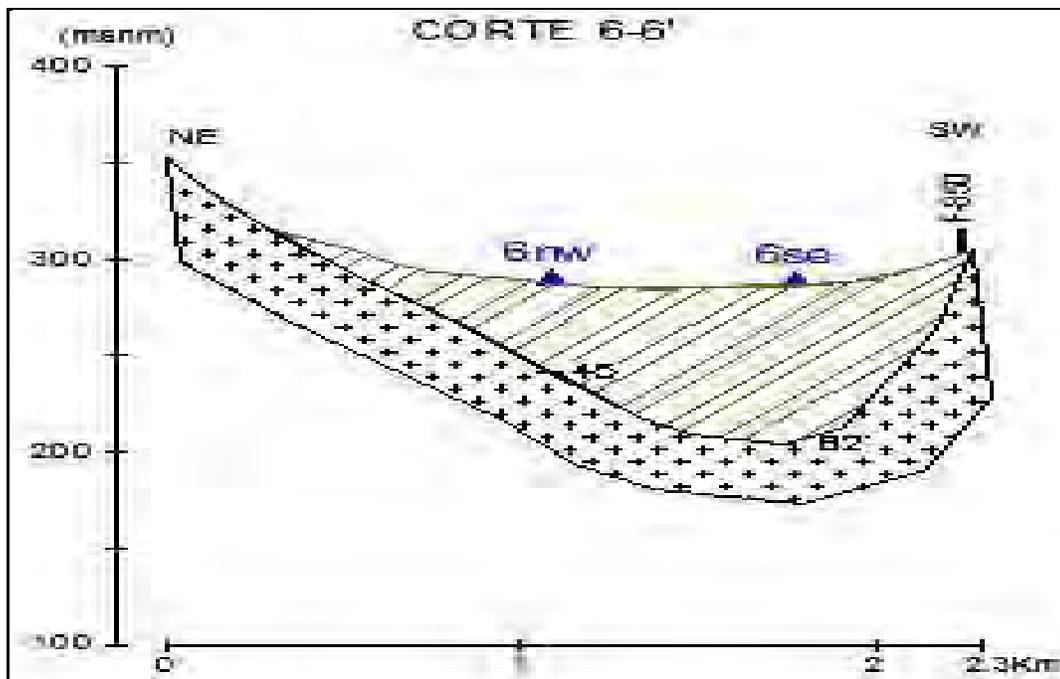


FIGURA 3-7 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV - CORTE 6-6'

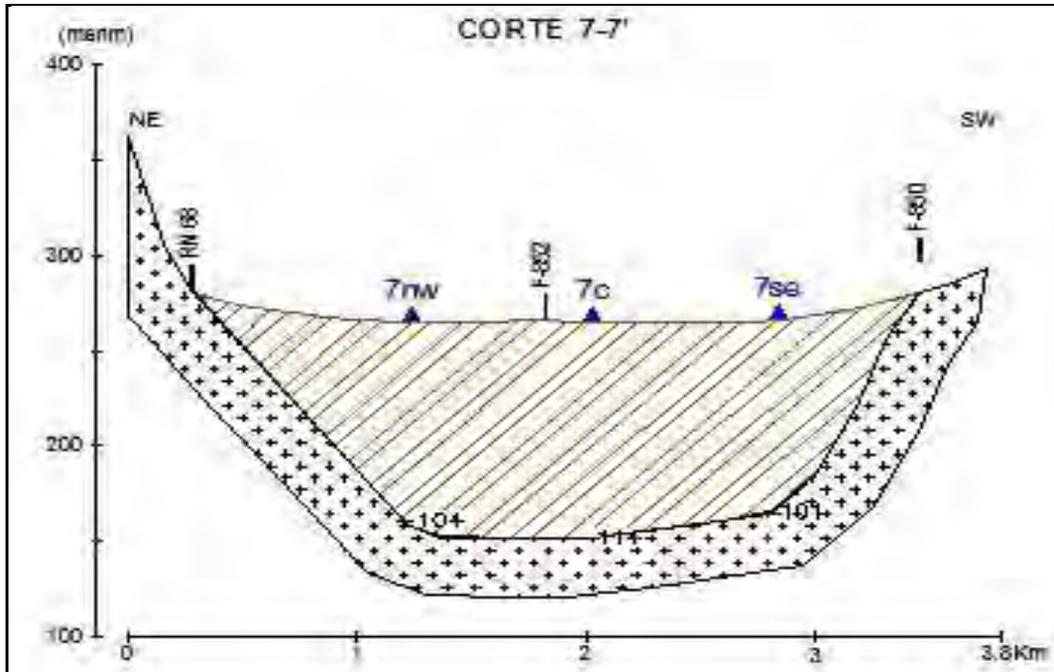


FIGURA 3-8 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 7-7'

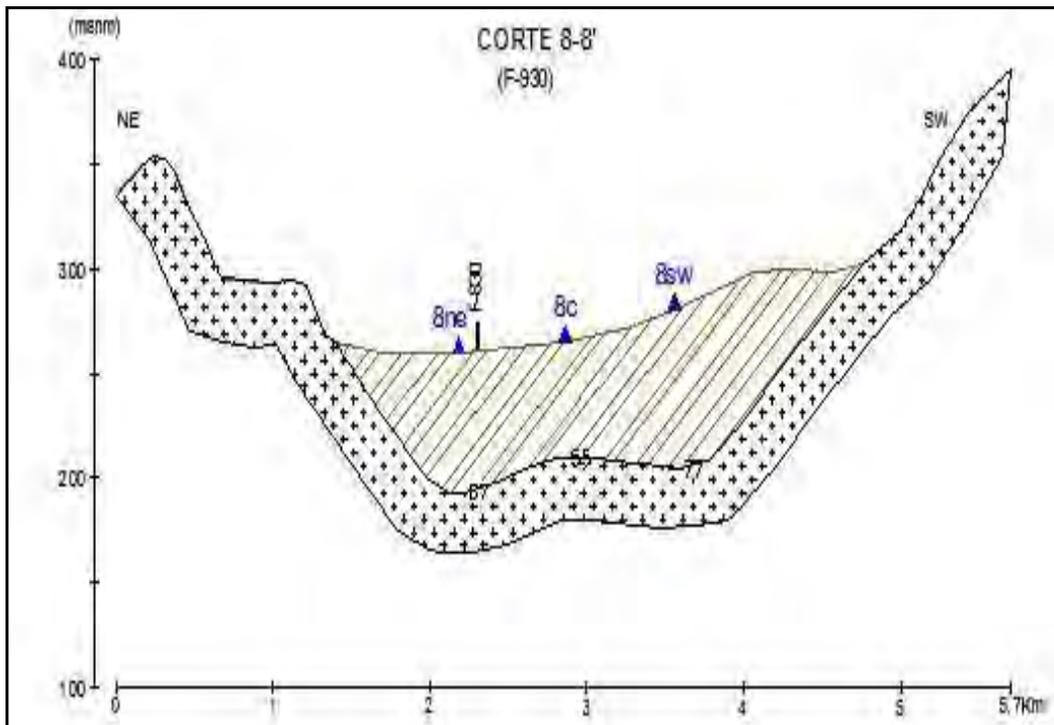


FIGURA 3-9 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 8-8'

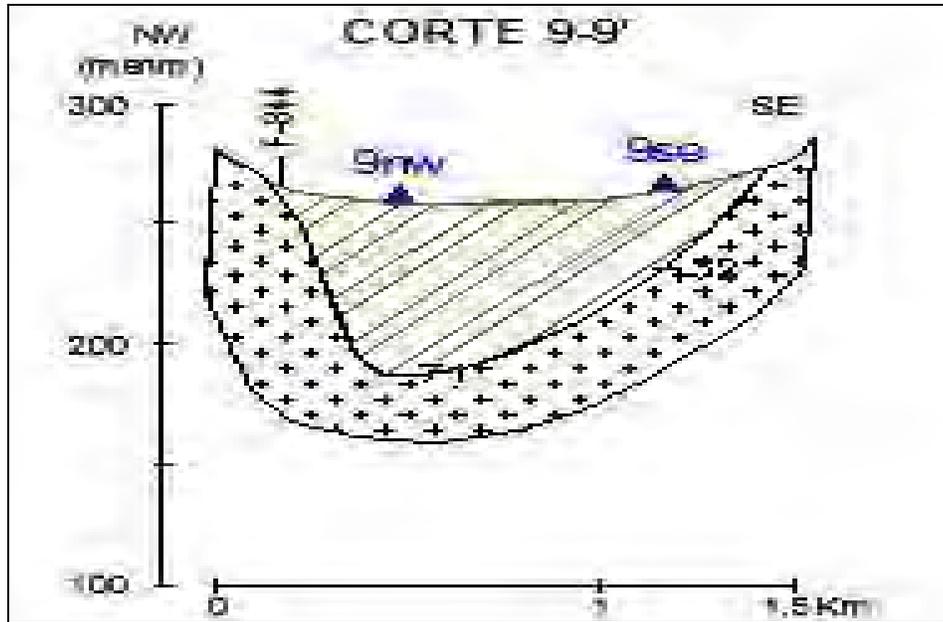


FIGURA 3-10 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 9-9'

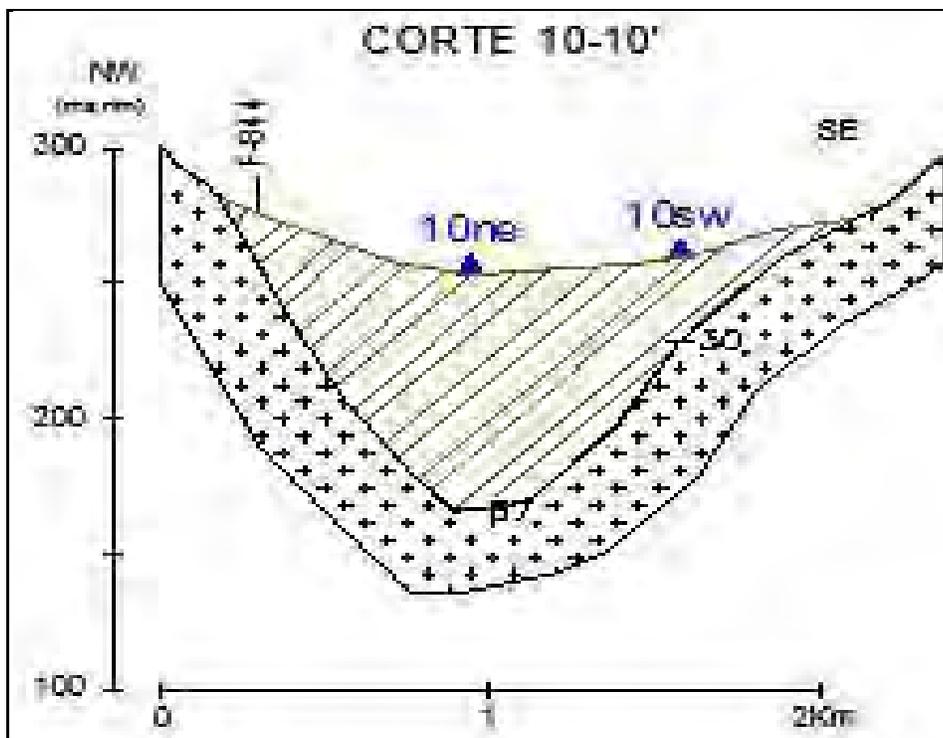


FIGURA 3-11 INTERPRETACIÓN DE LOS SEV A - CORTE 10-10'

4 TRABAJOS EN TERRENO

Durante la campaña de terreno, la que se llevó a cabo entre los meses de Septiembre y Octubre de 2014, se desarrollaron las siguientes actividades:

- a) Catastro de usos y usuarios del agua, se catastraron hasta la fecha 7 de octubre 466 captaciones de agua
- b) Toma de coordenadas y niveles en pozos de observación utilizados por la DGA
- c) Delimitación de la cuenca sedimentaria
- d) Cartografía de usos del suelo
- e) Campaña de geofísica

Los equipos e instrumentos utilizados para el desarrollo del trabajo en terreno fueron los siguientes:

- 2 Camionetas 4x4 y un utilitario
- 2 GPS diferencial Trimble R6
- 2 Cámaras de fotos digital
- 2 Tablet quad core 7", sistema Android, 3G
- 2 Cintas de medir
- 2 Pozómetros
- 3 Teléfonos celulares
- Mapas topográficos
- Fotografías aéreas con los predios para realizar la cartografía de los puntos de agua y sus usos en terreno

4.1 CATASTRO DE CAPTACIONES

Una de las principales actividades en terreno, consistió en el levantamiento de un catastro de captaciones de agua. Este catastro se llevó a cabo realizando un muestreo representativo de aprovechamientos de agua en cada sector, con el objetivo de obtener una información lo más detallada y real posible de los usos y demandas en cada uno de ellos y que sirva para materializar de forma eficiente los modelos hidrogeológicos.

Para realizar el trabajo de una forma más eficiente, se realizó una cartografía previa a partir de la base de datos de expedientes de aprovechamientos de agua entregada por la DGA al inicio de los trabajos. La distribución de los puntos catastrados se muestra en la

Figura 4-1.

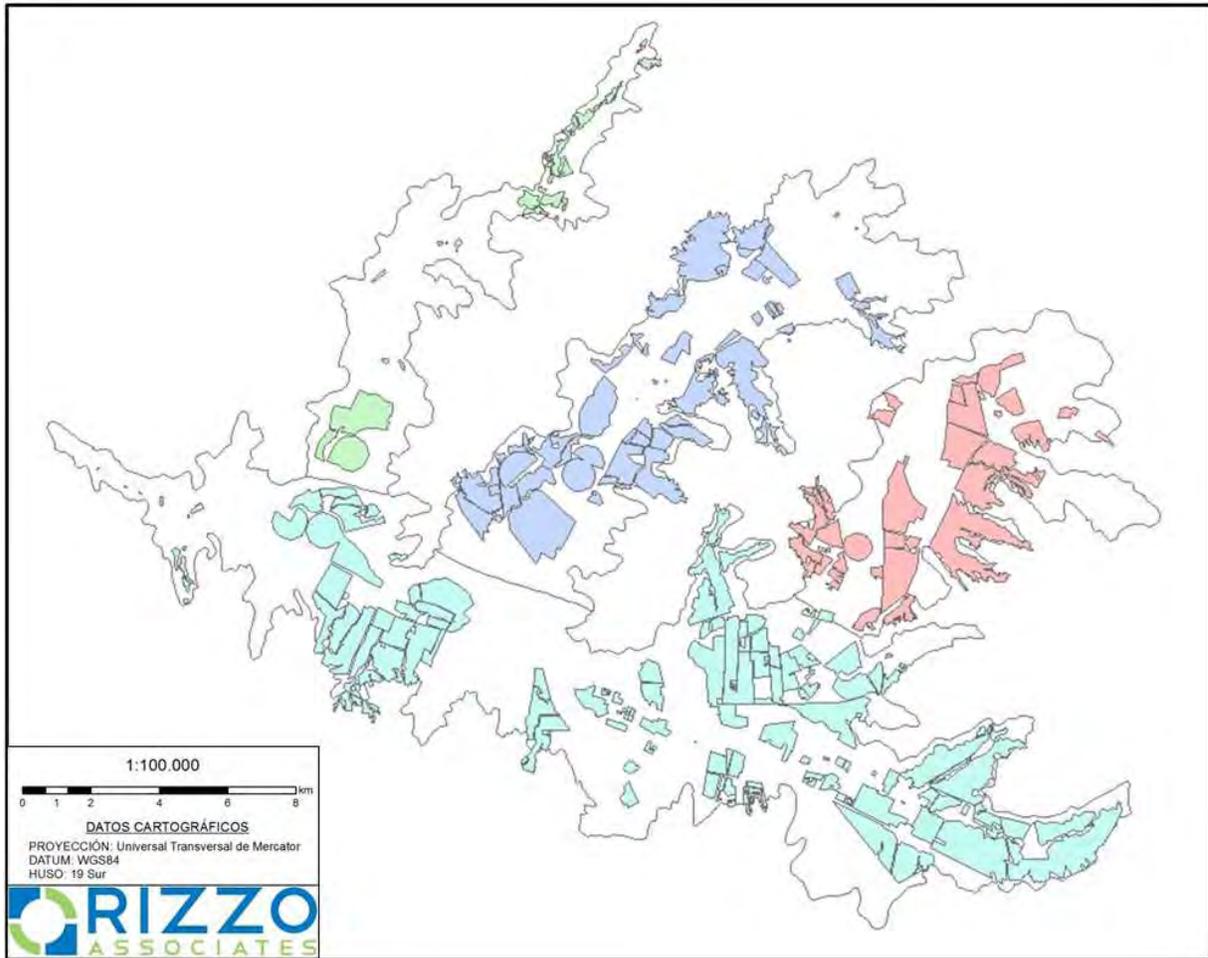


FIGURA 4-1 CARTOGRAFÍA INICIAL

El trabajo se dividió por sectores, siguiendo la división por sectores de la cuenca del Valle de Casablanca de trabajos anteriores

El catastro se llevo a cabo realizando un barrido desde la cabecera de cada sector acuífero hasta su zona final.

Entre los principales objetivos de este trabajo, destacó la obtención de los niveles estáticos en los diferentes pozos catastrados que permitió la generación de curvas equipotenciales.

Durante el catastro se recopiló además información técnica de las captaciones de agua e información sobre el uso del agua que permitió realizar una estimación de los caudales necesarios para satisfacer la demanda de agua.

Se catastraron un total de 466 puntos de agua subterránea para implementar los modelos hidrogeológicos de la cuenca de Casablanca. Los resultados del catastro se incluyen en el **Anexo 3**, del presente documento.

4.2 USOS Y DEMANDAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Durante la realización del catastro de puntos de agua, se realizaron encuestas para obtener la mayor información posible sobre los usos y demandas del agua en la cuenca de Casablanca.

De las encuestas realizadas en terreno, se deduce que los principales usos del agua en el valle de Casablanca son para riego, abastecimiento, doméstico, uso ganadero e industrial, y se distribuye de la siguiente forma:

- El 73% del uso se destina al riego
- El 7,3 % se utiliza para abastecimiento de población (APRs y ESVAL)
- El 1,5% a usos ganaderos
- El 3,2 % para uso industrial
- El 10,9 % se utiliza para uso mixto o compartido (riego, doméstico y ganadero)
- El 3,9% de pozos sin uso

La mayor parte del recurso se utiliza para riego, seguido del uso mixto y abastecimiento de la población.

En la **Tabla 4-1** se presenta el total de hectáreas de riego catastradas por sectores.

TABLA 4-1 DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE RIEGO POR SECTORES

Casablanca-La Vinilla (Has)	Lo Orozco (Has)	Lo Ovalle (Has)	Los Perales de Tapihue (Has)	Total (Has)
3474,92	316,07	1638,68	1241,33	6671

En la **Figura 4-1**, se puede ver la cartografía de las superficies de riego obtenidas del catastro.

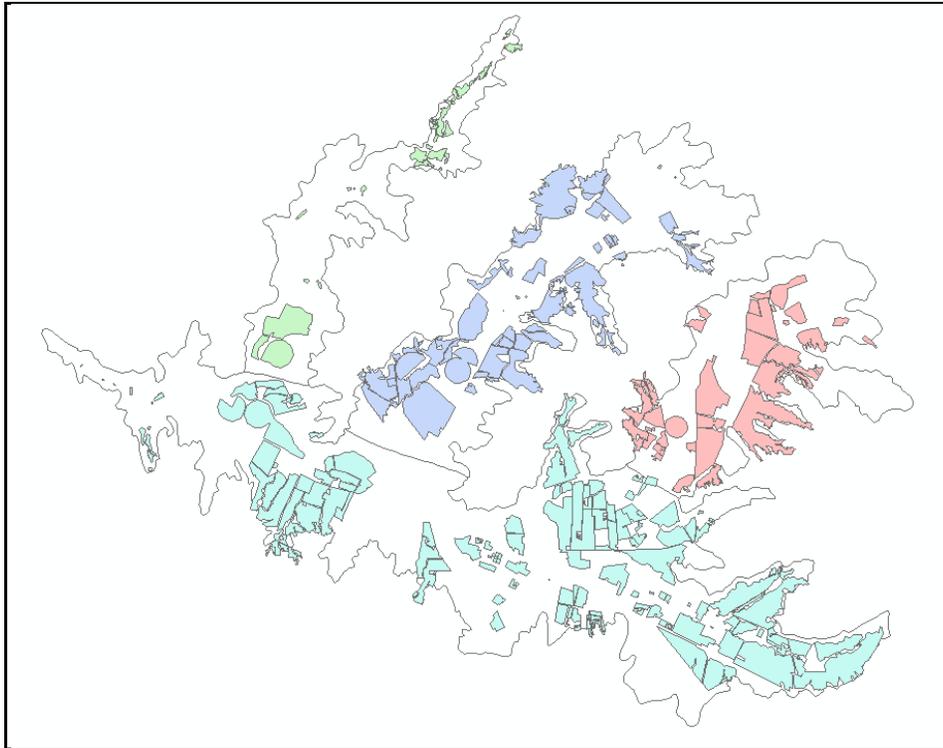


FIGURA 4-2 DISTRIBUCIÓN DE LAS SUPERFICIES DE RIEGO CATASTRADAS

4.3 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA SEDIMENTARIA

El objetivo de este trabajo fue establecer el límite del relleno sedimentario de la cuenca objeto de estudio. Para ello es necesario establecer los límites entre la roca sedimentaria y la roca base sobre la que se asienta.

Las delimitaciones indicadas en los informes antecedentes de la Cuenca sedimentaria de Casablanca, en varios lugares, muestran una extensión mayor al real debido principalmente a que suele confundirse e incorporar a ésta el material meteorizado que permanece in-situ (material regolítico proveniente de la alteración de los feldespatos y micas de las rocas intrusivas que conforman el relieve positivo circundante).

La confusión aumenta cuando se incorporan a la cuenca sedimentaria zonas de regolito que han sido antropizados y transformadas en tierras de labranza.

Durante las inspecciones de campo, se corrigieron aquellas zonas que se prestaban a confusión ya que las imágenes satelitales, a veces, no permiten hacer una discriminación fina del problema.

Para delimitar la cuenca sedimentaria, se realizó por tanto una cartografía en terreno, siguiendo la metodología básica de una cartografía Geológica.

Esta metodología se dividió en 5 etapas:

1. Análisis de la documentación existente:

Se analizaron los estudios de referencia para conocer geología de la zona y así poder identificar y caracterizar las dos litologías que se quieren delimitar. Así mismo se compró el mapa geológico de la zona a escala 1:100000 del Sernageomin de 1996, que sirve para identificar las dos unidades que se quieren delimitar.

2. Reconocimiento:

Durante esta etapa se estudiaron las imágenes satelitales que sirvieron como apoyo para trazar el contacto roca-sedimento. A partir de estas imágenes se realizaron perfiles de elevación en zonas donde no estaban claros los afloramientos de roca.

3. Recorrido:

Esta etapa se corresponde con la cartografía geológica. Se realizaron rutas a pie por toda la zona de estudio localizando los afloramientos de roca y tomando referencias con un GPS Garmin para posteriormente dibujar el límite en una base cartográfica.

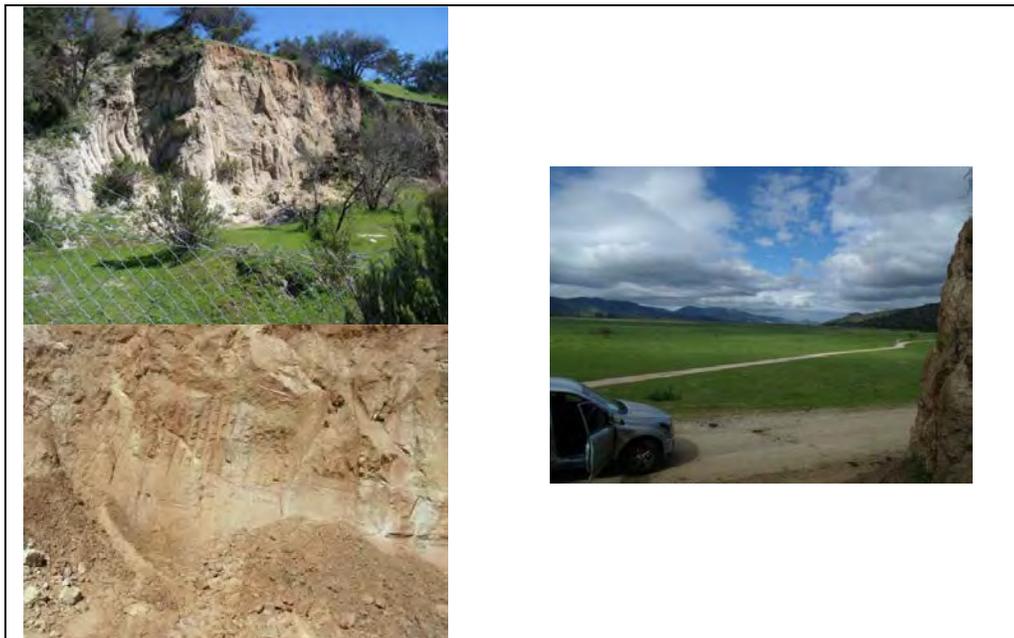


FIGURA 4-3 AFLORAMIENTO DE ROCA BASE

4. Análisis de los datos recopilados y construcción del mapa:
5. Los datos recopilados durante el recorrido a pie, se volcaron en mapas digitales, realizando una cartografía digital mediante el software Arcgis 10.2

En la **Figura 4-4** se muestran los nuevos límites definidos para la cuenca sedimentaria. En la figura se detallan además los límites propuestos en anteriores trabajos.

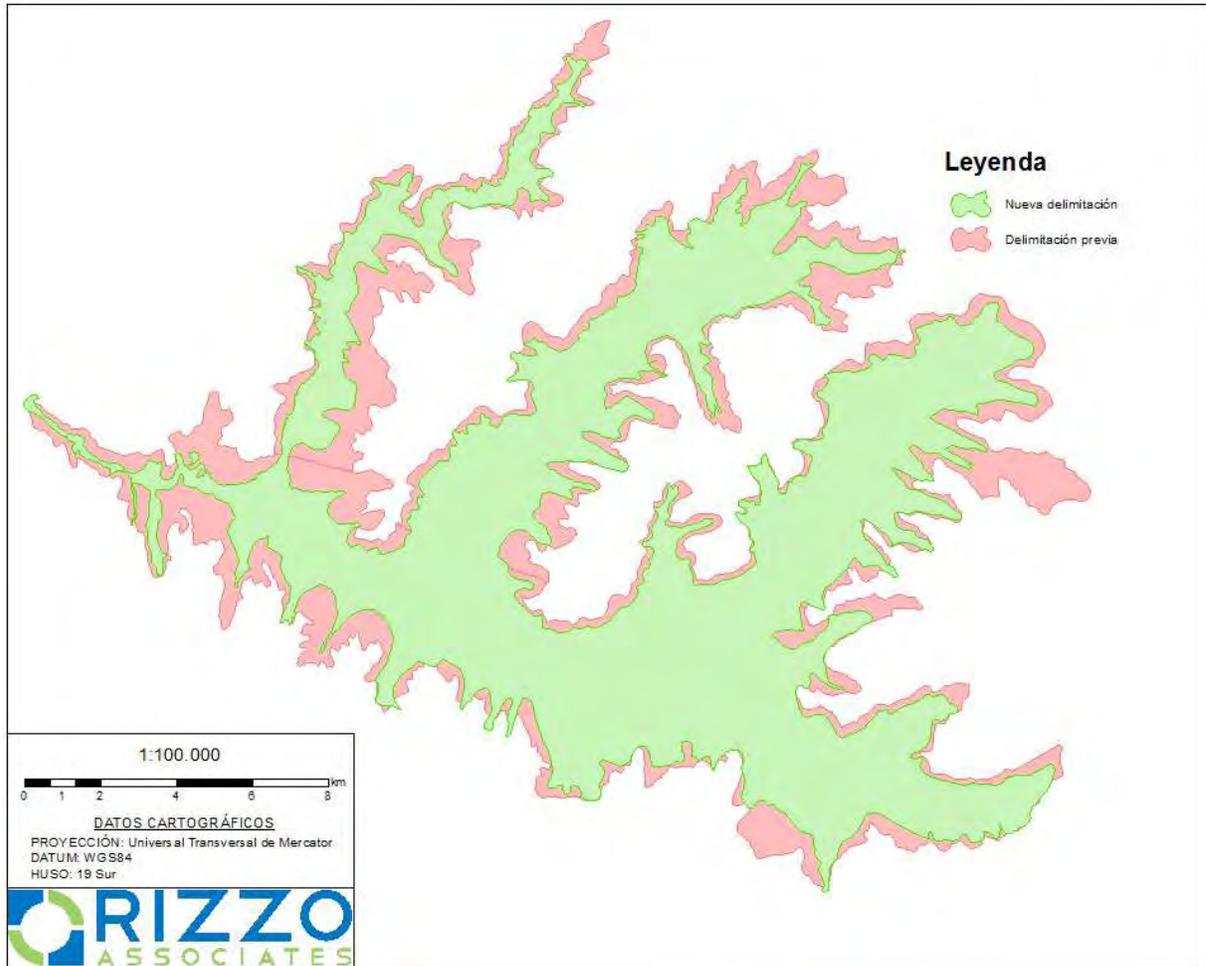


FIGURA 4-4 NUEVA DELIMITACIÓN DE LA CUENCA SEDIMENTARIA

5 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

5.1 OBJETIVOS

Con el objetivo de servir de apoyo para la caracterización hidrogeológica de la cuenca y definir la geometría del acuífero, se ha realizado una campaña de prospección geofísica con los métodos gravimétricos y Nano Tem, que permite además calcular el área de las secciones transversales en donde se determinan los flujos pasantes

En el **Anexo 4** se presentan los resultados de los estudios geofísicos.

5.2 ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE GRAVIMETRÍA

Se materializaron un total de 207 puntos gravimétricos, realizando 2 perfiles en la cabecera y dos perfiles a la salida de cada uno de los acuíferos aportantes al acuífero la Vinilla-Casablanca. Se realizó a su vez un perfil longitudinal en el sector de las dichas, paralelo a la dirección del Estero.

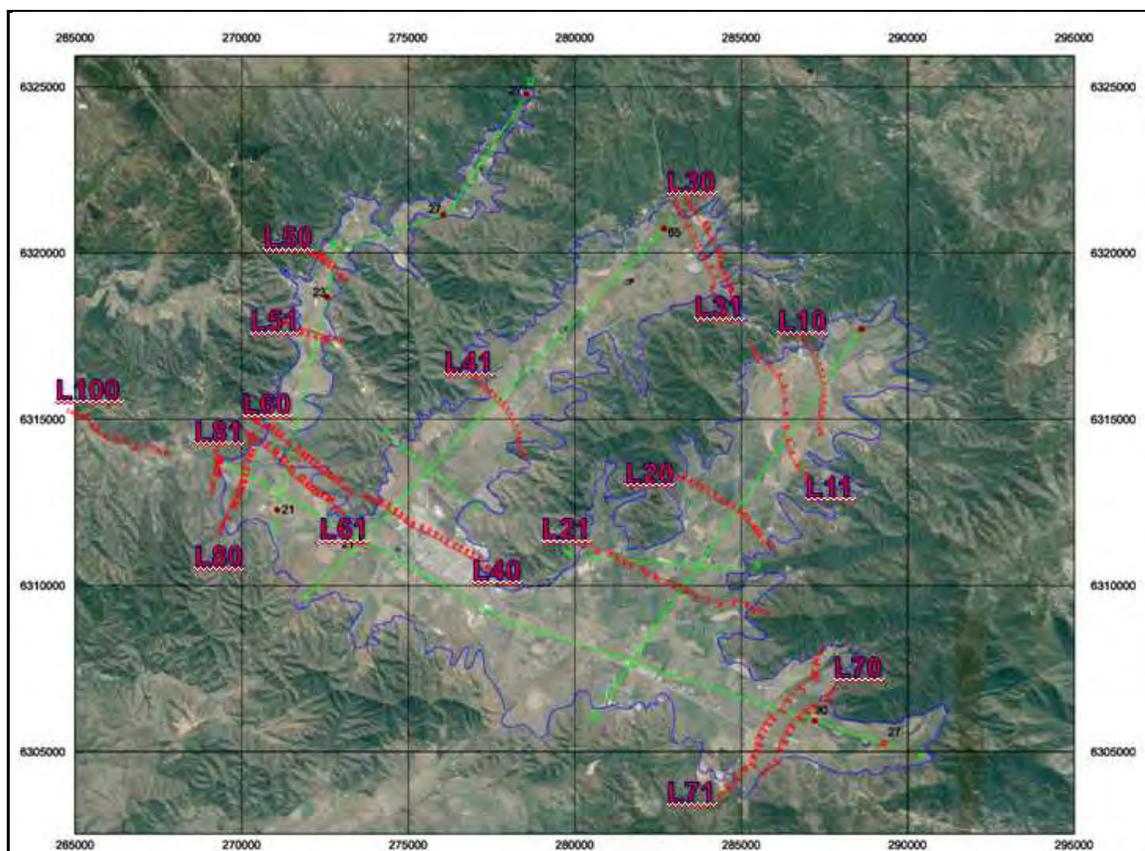


FIGURA 5-1 LOCALIZACIÓN DE LOS PERFILES GRAVIMÉTRICOS.

El detalle de la ubicación de las estaciones gravimétricas se muestra en los planos del **Anexo 2**.

En la **Tabla 5-1**, se indica la ubicación de las estaciones gravimétricas y las medidas de la profundidad del basamento. Las coordenadas de las estaciones gravimétricas se tomaron con un equipo topográfico tipo Trimble R6, por lo que presentan una precisión centimétrica.

TABLA 5-1 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES GRAVIMÉTRICAS Y MEDIDAS DEL BASAMENTO

WGS84		Estación	Elevación	Bouguer	Elevación	Profundidad (Espesor)
Este	Norte		Cota		Basamento	
[m]	[m]		[m]		[m]	
286895,51	6317234,80	1	316,43	34,88	315,20	1,23
287125,11	6317040,30	2	310,22	34,57	292,51	17,71
287185,00	6316835,50	3	310,47	34,19	273,81	36,66
287278,84	6316607,20	4	313,32	33,48	226,13	87,19
287352,64	6316409,30	5	314,82	33,19	206,96	107,86
287391,84	6316229,50	6	316,31	33,32	219,29	97,02
287453,03	6316030,20	11	318,04	33,62	235,55	82,49
287446,04	6315851,80	7	319,96	33,76	245,42	74,54
287411,10	6315658,20	8	320,41	33,96	250,59	69,82
287415,51	6315443,70	9	321,66	34,10	254,14	67,52
287352,89	6315224,60	10	318,99	34,70	283,60	35,39
287303,11	6315014,40	12	319,14	35,44	318,47	0,67
285504,34	6316748,90	20	327,04	36,73	324,46	2,58
285826,47	6316580,30	41	310,83	36,06	267,22	43,61
286094,89	6316275,80	24	302,41	34,87	153,39	149,02
286248,36	6315910,10	25	302,55	34,70	131,58	170,97
286270,05	6315505,10	27	302,00	35,04	170,71	131,29
286288,66	6315100,80	28	305,35	35,31	175,35	130,00
286295,62	6314694,40	30	305,16	36,13	219,66	85,50
286370,59	6314301,70	32	303,45	36,93	248,44	55,01
286468,20	6313919,80	34	300,77	38,12	296,22	4,55
286656,33	6313571,90	40	306,76	37,70	270,46	36,30
286900,93	6313283,10	38	312,06	37,68	264,95	47,11
283080,79	6313164,40	42	309,37	46,67	306,77	2,60
283299,69	6313176,80	43	300,83	46,39	293,15	7,68
283474,14	6313054,70	44	293,60	45,55	258,86	34,74
283670,57	6312953,20	45	288,86	44,69	209,08	79,78
283827,50	6312859,50	46	286,80	44,44	212,21	74,59
284033,28	6312746,50	47	284,48	43,68	184,04	100,44
284207,79	6312641,70	48	283,92	42,83	118,98	164,94
284364,52	6312490,70	49	283,52	42,53	114,17	169,35

WGS84		Estación	Elevación	Bouguer	Elevación	Profundidad (Espesor)
Este	Norte		Cota		Basamento	
[m]	[m]		[m]		[m]	
284551,94	6312411,00	50	283,54	42,42	117,19	166,35
284755,50	6312311,40	51	284,18	42,89	170,65	113,53
284923,85	6312152,60	52	287,14	43,35	216,46	70,68
285085,06	6312021,20	53	287,78	43,46	225,37	62,41
285209,27	6311892,50	54	288,82	43,42	227,76	61,06
285379,41	6311643,50	55	295,06	43,92	276,18	18,88
285472,46	6311549,30	56	306,59	43,83	287,12	19,47
285568,99	6311434,60	57	301,14	44,05	295,57	5,57
280305,90	6311311,50	59	284,41	48,75	280,13	4,28
280673,21	6311124,00	61	277,21	47,82	195,48	81,73
281049,23	6311030,00	63	276,62	48,14	195,54	81,08
281264,11	6310864,30	64	274,29	49,11	237,65	36,64
281477,47	6310777,80	65	274,42	49,90	267,51	6,91
281477,47	6310777,80	65	274,42	49,90	267,93	6,49
281675,54	6310675,80	66	275,01	49,14	242,65	32,36
282046,80	6310546,40	68	275,91	47,99	178,86	97,05
282190,65	6310428,10	69	276,91	47,90	181,00	95,91
282417,48	6310338,60	70	277,99	48,00	190,60	87,39
282495,18	6310225,40	71	278,81	48,40	226,43	52,38
282774,46	6310169,20	72	280,70	48,58	238,93	41,77
282969,02	6310055,00	73	282,61	48,59	245,88	36,73
283180,55	6310031,60	74	284,98	48,25	230,25	54,73
283350,08	6309907,60	75	287,12	48,38	245,06	42,06
283626,92	6309750,80	76	289,65	48,59	267,54	22,11
283981,66	6309620,80	78	295,33	48,82	289,82	5,51
283981,66	6309620,80	78	295,33	48,82	289,60	5,73
284358,90	6309524,50	80	304,61	48,36	287,03	17,58
284771,43	6309590,60	82	306,63	47,70	261,31	45,32
285156,15	6309496,40	84	311,60	47,94	289,12	22,48
285364,46	6309341,80	85	349,29	48,12	345,52	3,77
283584,57	6321212,20	97	312,59	43,07	306,14	6,45
283865,25	6320833,90	96	312,57	41,57	278,46	34,11
283956,24	6320663,50	95	309,82	40,98	266,10	43,72
284102,93	6320361,50	94	307,22	40,28	266,98	40,24
284272,76	6320010,00	93	301,59	39,29	256,86	44,73
284341,91	6319813,10	92	300,79	38,20	206,51	94,28
284321,10	6319584,40	91	300,24	37,80	211,71	88,53
284436,60	6319355,40	90	301,21	37,68	238,83	62,38

WGS84		Estación	Elevación	Bouguer	Elevación	Profundidad (Espesor)
Este	Norte		Cota		Basamento	
[m]	[m]		[m]		[m]	
284536,04	6319158,90	89	305,38	37,62	264,86	40,52
284591,18	6318957,20	88	310,58	37,47	285,81	24,77
284660,46	6318808,90	86	316,08	37,47	309,36	6,72
283241,67	6321060,30	15	322,47	43,24	317,62	4,85
283382,28	6320743,70	16	305,06	41,59	244,55	60,51
283528,90	6320431,00	17	303,49	40,60	226,11	77,38
283684,91	6320121,30	18	301,87	40,39	246,33	55,54
283843,30	6319807,40	19	318,01	39,96	288,63	29,38
284024,73	6319504,00	20	297,48	38,39	202,17	95,31
284218,09	6319219,40	21	299,54	37,96	223,35	76,19
284075,59	6318900,60	22	301,32	38,04	251,66	49,66
284362,26	6318538,70	23	314,86	37,82	298,82	16,04
274070,47	6312463,57	32	262,93	54,33	258,20	4,73
274183,47	6312393,90	130	255,73	54,38	248,32	7,41
274399,72	6312302,60	129	255,83	53,33	181,04	74,79
274600,08	6312153,60	128	255,89	53,22	179,20	76,69
274774,67	6312028,10	127	255,80	53,22	181,45	74,35
274947,58	6311870,60	126	256,46	53,23	173,26	83,20
275129,56	6311727,30	125	256,72	53,72	211,17	45,55
275391,14	6311643,50	124	257,40	53,52	189,76	67,64
275606,69	6311535,30	123	258,47	53,95	217,91	40,56
275816,94	6311413,20	122	258,42	54,21	229,09	29,33
275994,05	6311337,80	121	259,23	54,17	226,36	32,87
276148,14	6311217,40	120	259,78	54,35	232,93	26,85
276387,06	6311093,30	119	261,41	54,52	243,70	17,71
276556,71	6311011,30	118	262,90	54,79	257,46	5,44
276749,63	6310913,00	117	264,75	54,29	261,44	3,31
276909,21	6310820,10	116	265,99	54,07	260,50	5,49
277125,14	6310705,70	115	290,44	53,53	284,07	6,37
277225,86	6315981,70	12	273,39	50,57	266,63	6,76
277294,79	6315854,40	11	269,08	50,50	257,49	11,59
277425,37	6315752,50	10	266,15	50,54	249,83	16,32
277558,47	6315641,20	9	264,83	50,45	247,90	16,93
277702,88	6315508,00	8	265,00	49,75	196,05	68,95
277826,75	6315375,20	7	265,24	49,48	175,63	89,61
277937,42	6315224,70	6	264,90	49,58	168,44	96,46
278038,06	6315070,60	5	265,28	49,98	198,61	66,67
278109,14	6314913,80	4	265,79	50,20	203,85	61,94

WGS84		Estación	Elevación	Bouguer	Elevación	Profundidad (Espesor)
Este	Norte		Cota		Basamento	
[m]	[m]		[m]		[m]	
278189,93	6314742,60	3	266,43	50,28	198,42	68,01
278285,63	6314516,20	2	267,45	50,77	221,21	46,24
278250,03	6314303,00	140	276,09	51,25	250,69	25,40
272277,48	6319857,30	149	275,60	49,16	275,28	0,32
272348,55	6319793,10	148	270,03	48,82	255,32	14,71
272408,11	6319743,70	144	270,10	48,71	253,54	16,56
272497,68	6319664,70	145	269,51	48,78	262,40	7,11
272613,01	6319575,30	146	270,45	48,76	268,09	2,36
272746,45	6319504,70	147	277,18	48,66	275,04	2,14
271716,48	6317777,50	155	274,00	49,90	269,65	4,35
271799,64	6317709,50	150	260,71	49,76	256,23	4,48
271987,43	6317682,90	151	260,43	49,21	241,90	18,53
272206,56	6317612,20	152	260,65	48,84	241,31	19,34
272405,47	6317550,90	153	264,31	48,70	254,89	9,42
272523,64	6317504,20	154	270,27	48,61	261,94	8,33
270782,98	6314685,70	156	253,76	53,41	252,26	1,50
270917,84	6314618,20	157	251,43	53,25	239,97	11,46
271059,49	6314523,10	158	251,33	52,91	217,53	33,80
271184,36	6314422,50	161	252,66	52,93	217,48	35,18
271395,85	6314239,70	162	254,85	53,51	251,24	3,61
271668,92	6314000,10	163	259,09	53,46	249,84	9,25
271821,01	6313869,30	164	273,31	53,61	267,38	5,93
271953,31	6313771,90	165	293,52	53,23	274,99	18,53
272079,81	6313657,80	159	268,01	53,68	256,26	11,75
272221,07	6313541,00	160	260,55	53,78	244,06	16,49
272372,04	6313441,60	170	261,98	54,14	255,91	6,07
272494,26	6313345,60	167	265,58	54,32	261,64	3,94
272622,85	6313237,40	168	271,52	54,44	265,22	6,30
272737,93	6313147,90	169	279,55	54,56	274,51	5,04
272918,80	6313066,40	166	293,06	54,72	289,39	3,67
270533,46	6314283,80	171	255,56	54,58	254,22	1,34
270738,90	6314119,60	172	250,84	54,30	228,65	22,19
270971,85	6313974,50	173	250,36	53,86	195,71	54,65
271010,52	6313850,70	174	252,18	53,87	196,54	55,64
271227,16	6313714,20	175	257,99	54,16	222,89	35,10
271326,21	6313589,70	176	250,17	54,16	206,24	43,93
271451,40	6313435,50	185	250,51	53,90	181,37	69,14
271512,51	6313308,20	177	251,13	54,11	200,62	50,51

WGS84		Estación	Elevación	Bouguer	Elevación	Profundidad (Espesor)
Este	Norte		Cota		Basamento	
[m]	[m]		[m]		[m]	
271752,08	6313159,20	178	252,12	54,30	202,00	50,12
271837,15	6313064,10	179	253,31	54,60	220,33	32,98
271942,67	6312961,50	186	259,76	54,79	236,30	23,46
272049,47	6312871,50	187	259,93	54,85	238,14	21,79
272154,41	6312789,80	180	253,72	54,94	231,03	22,69
272278,71	6312694,60	181	258,18	55,23	251,41	6,77
272406,39	6312629,10	182	256,71	55,07	236,83	19,88
272580,42	6312533,70	183	259,57	55,03	232,61	26,96
272686,98	6312483,60	184	263,89	55,20	244,28	19,61
285977,26	6304721,20	199	325,80	49,99	324,73	1,07
286081,50	6305083,00	197	312,84	48,70	275,94	36,90
286190,53	6305327,20	196	308,99	47,20	173,10	135,89
286302,41	6305564,10	195	307,99	46,48	130,44	177,55
286436,25	6305785,30	194	308,46	46,61	160,74	147,72
286660,24	6306042,90	192	309,99	47,11	225,24	84,75
286875,59	6306227,30	203	310,75	47,24	243,22	67,53
287108,80	6306357,10	189	312,93	47,34	262,51	50,42
287495,06	6306542,00	205	319,75	48,02	319,39	0,36
284557,95	6303911,70	228	368,26	52,33	367,58	0,68
284779,72	6304197,10	226	330,51	51,63	319,39	11,12
285006,09	6304484,90	224	324,43	49,80	235,26	89,17
285257,10	6304601,83	223	321,56	49,50	242,09	79,47
285288,63	6304854,40	222	317,21	48,80	213,81	103,40
285398,43	6305031,40	221	314,79	48,22	186,16	128,63
285439,88	6305223,80	220	312,38	47,75	170,33	142,05
285490,69	6305458,00	219	315,95	47,18	151,39	164,56
285599,65	6305665,30	218	312,70	46,79	142,88	169,82
285705,87	6305825,60	217	305,73	46,72	138,83	166,90
285839,72	6306020,70	216	304,16	46,85	169,40	134,76
286167,87	6306250,00	214	305,88	47,22	228,63	77,25
286333,90	6306556,80	212	309,99	47,18	247,47	62,52
286731,83	6306898,30	210	316,41	46,90	269,71	46,70
287132,51	6307196,30	208	324,54	46,30	276,77	47,77
287130,81	6307367,50	229	325,28	46,25	279,61	45,67
287167,87	6307672,60	206	330,70	46,64	328,89	1,81
269487,89	6312024,00	238	268,97	60,34	268,10	0,87
269654,78	6312360,80	239	262,01	58,89	228,68	33,33
269719,43	6312497,30	240	259,58	58,52	224,13	35,45

WGS84		Estación	Elevación	Bouguer	Elevación	Profundidad (Espesor)
Este	Norte		Cota		Basamento	
[m]	[m]		[m]		[m]	
269814,99	6312658,90	241	257,55	57,91	207,42	50,13
269844,87	6312786,00	237	255,30	57,71	212,69	42,61
269887,39	6312945,20	236	254,36	57,35	216,35	38,01
269964,25	6313127,30	235	251,67	56,69	192,96	58,71
270003,44	6313308,30	234	249,57	56,34	201,13	48,44
270047,24	6313505,70	233	248,49	56,11	212,24	36,25
270067,66	6313762,90	232	249,10	55,50	208,28	40,82
270191,68	6313902,80	231	249,99	55,28	220,32	29,67
270200,42	6314079,10	230	254,98	55,02	229,73	25,25
269163,48	6313295,70	250	259,14	58,39	258,78	0,36
269167,58	6313319,50	249	256,88	58,37	255,23	1,65
269179,18	6313417,70	248	251,63	58,20	250,02	1,61
269195,14	6313528,00	247	249,05	57,90	242,06	6,99
269235,64	6313671,50	246	244,43	57,54	230,93	13,50
269212,87	6313679,00	245	244,23	57,65	232,29	11,94
269221,83	6313715,70	244	246,30	57,56	239,07	7,23
269228,22	6313824,90	243	249,17	57,52	247,44	1,73
269230,78	6313858,30	242	249,58	57,46	249,46	0,12
265363,30	6315013,80	24	236,67	68,01	227,38	9,29
265508,47	6314722,40	25	237,03	67,46	229,46	7,57
265689,23	6314589,80	26	237,78	66,78	219,36	18,42
265931,12	6314433,30	27	243,18	66,24	234,97	8,21
266221,72	6314324,30	28	243,75	65,06	219,50	24,25
266517,60	6314314,90	29	246,91	64,12	214,50	32,41
266815,16	6314054,70	30	240,25	63,26	226,85	13,40
267178,67	6314196,60	31	242,72	62,38	230,62	12,10

La distribución y ubicación de los perfiles gravimétricos, se realizaron tanto en las cabeceras como en las salidas de las cuencas de estudio, siguiendo las piezometrías obtenidas durante el estudio de AC Consultores (1991), en aquellas zonas donde se tuviera información histórica de niveles piezométricas, por lo que se puso especial cuidado en que hubiera un pozo de observación de la DGA cerca de los perfiles.

5.3 ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE NANO TEM

El trabajo realizado consistió en la medición de 5 estaciones NanoTEM, en 3 sectores del estero Casablanca, cuya ubicación se muestra en la siguiente **Figura 5-2**.



FIGURA 5-2 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE NANO TEM

En el sector noroeste se midió la estación 4, la estación 5 se midió a aproximadamente a 600 m aguas arriba de la estación 4. Las estaciones 1, 2 y 3 se ubicaron aproximadamente a 1265 metros hacia el este de la estación 5.

Estas estaciones se midieron con la configuración denominada "Central Loop" utilizando un loop de transmisión de 50 m x 50 m, con lecturas en el punto central usando un loop de recepción de 10 m x 10 m y centrado con el anterior.

Para las lecturas NanoTEM, se usó un equipo marca Zonge Engineering & Research Organizations, Inc., USA, compuesto por un Receptor Multi-Propósito GDP-32, un Transmisor NT-20, energizado por baterías.

Las coordenadas de las estaciones medidas se presentan en Sistema de Coordenadas Proyectado, DATUM WGS 84 método de proyección UTM Zona 19 Sur. La **Tabla 5-2** resume las estaciones medidas y su ubicación.

TABLA 5-2 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES MEDIDAS

Este	Norte	Estación	Elevación	Observaciones
(m)	(m)		SRTM (m)	
266789	6313994	1	254	Perfil L-1
266768	6313989	2	255	Perfil L-1
266824	6314142	3	255	Perfil L-1
265310	6314994	4	250	Aislado
265607	6314472	5	257	Aislado

5.4 RESULTADOS

El objetivo general del presente trabajo geofísico, es la determinación cuantitativa de las propiedades eléctricas del subsuelo en la zona de interés, constituido por formaciones sedimentarias y eventualmente rocas impermeables del basamento. Estas propiedades geoelectricas dependen de la mineralogía (litología) y microestructura (porosidad, granulometría, fracturamiento) de las rocas, las cuales varían significativamente según la profundidad. Afecta de manera importante a la resistividad el tipo de fluidos que contengan las rocas (grado de saturación, salinidad, etc.). La existencia de estructuras y fenómenos de alteración también producen cambios de la resistividad que pueden ser detectados con un estudio geoelectrico.

En las siguientes **Figuras 5-3** a **5-5**, se muestra la interpretación de los resultados obtenidos mediante nano TEM, en el sector de las dichas.

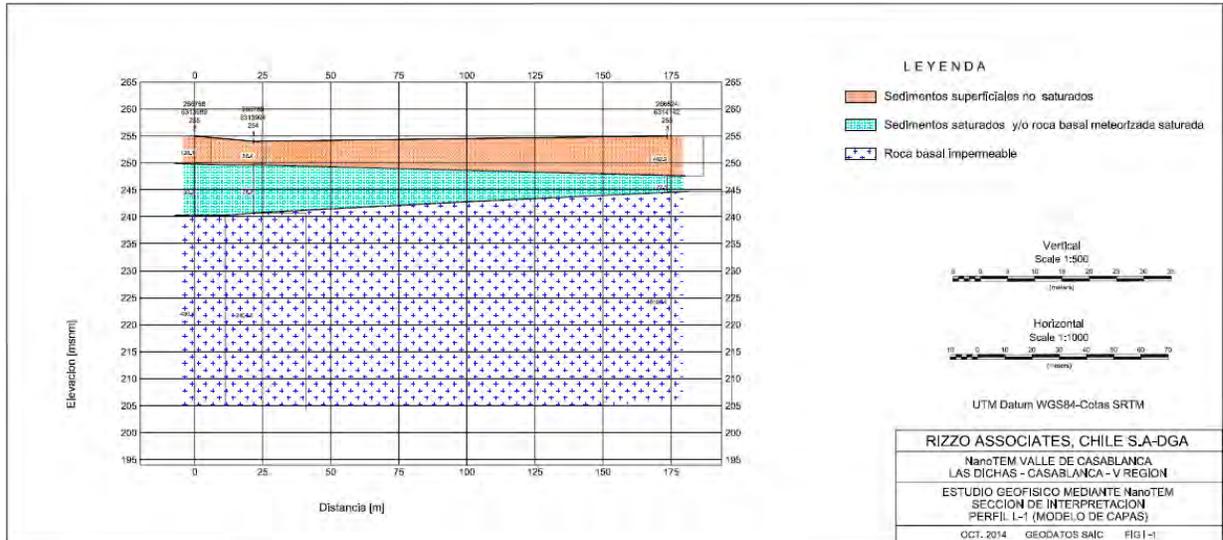


FIGURA 5-3 INTERPRETACIÓN PERFIL L-1 (NANO TEM)

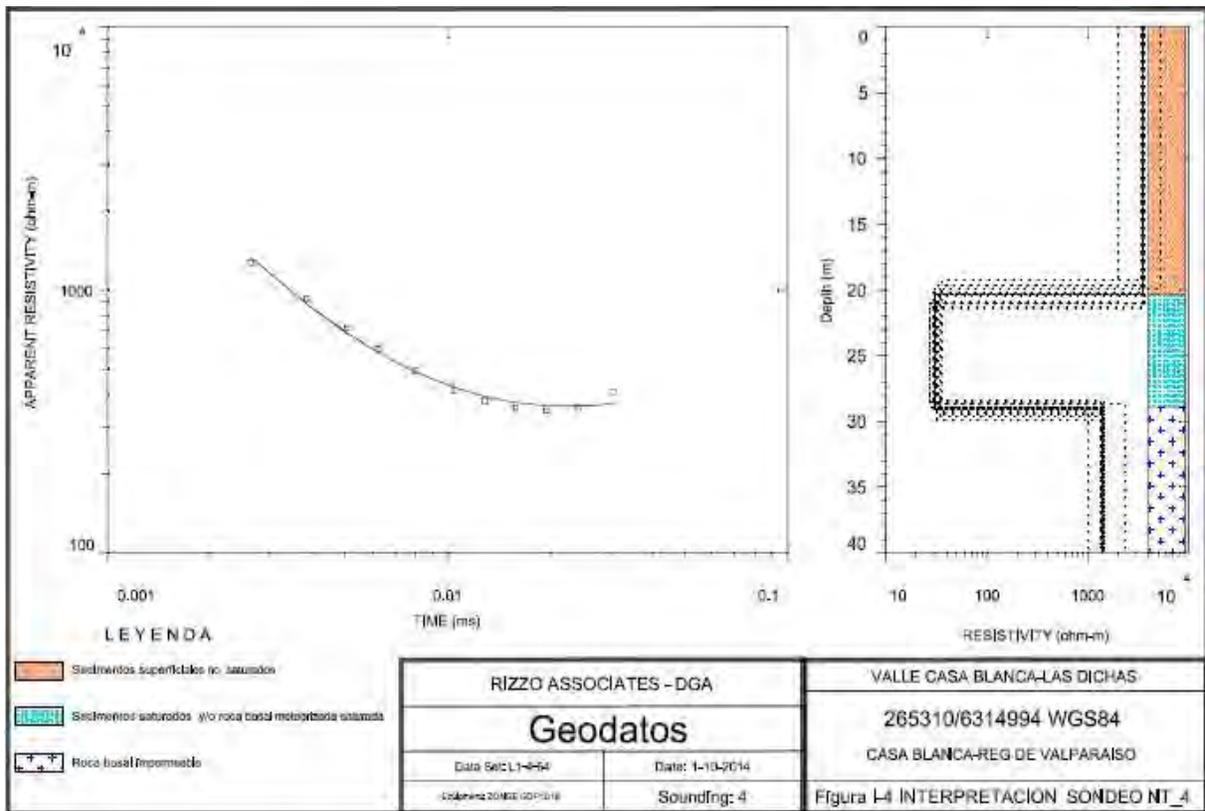


FIGURA 5-4 INTERPRETACIÓN RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ESTACIÓN NT-4

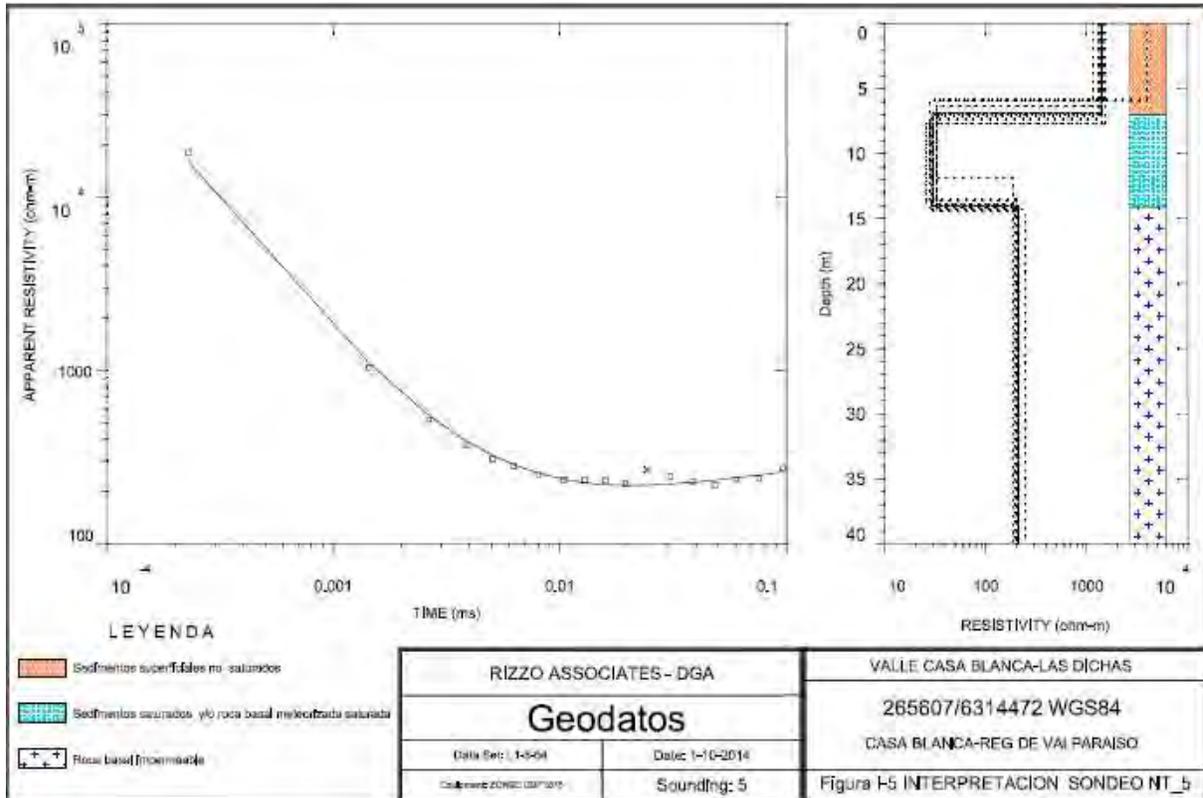


FIGURA 5-5 INTERPRETACIÓN RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN ESTACIÓN NT-5

6 GEOLOGÍA Y FORMACIONES PERMEABLES

6.1 MARCO GEOLÓGICO GENERAL

La cuenca del Estero Casablanca está emplazada en el sector central de Chile, concretamente en interior de la Cordillera de la Costa. En este sector se reconocen principalmente 5 unidades morfoestructurales dispuestas en franjas paralelas de orientación aproximada norte-sur. Estas son, de oeste a este: Cordillera de la Costa, Depresión Central, Cordillera Principal, Cordillera Frontal y Antepaís (**Figura 6-1**) las dos últimas ubicadas en el lado argentino de la cordillera y en las que no entraremos en mayor detalle en este estudio.

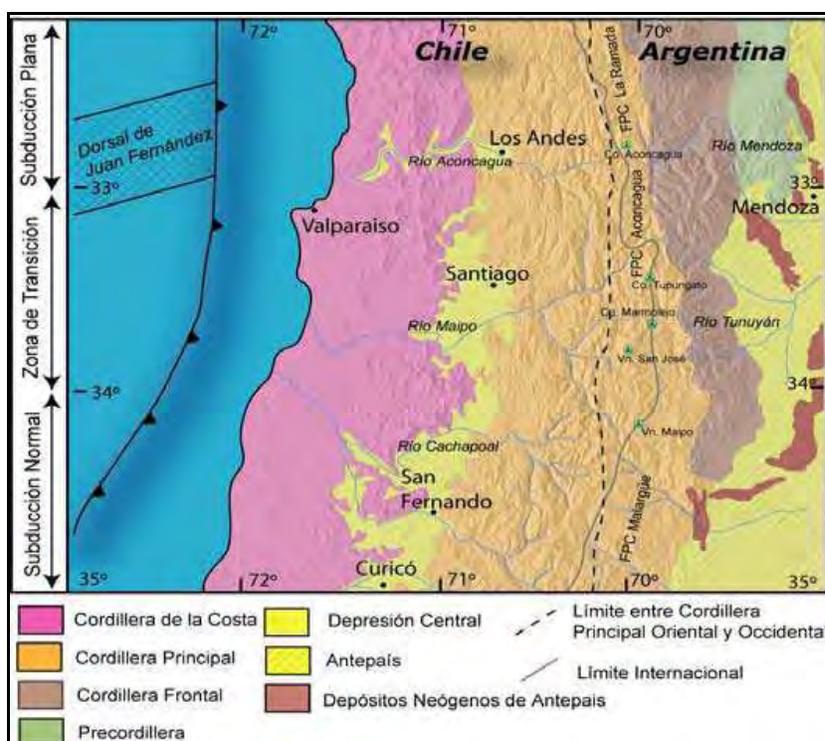


FIGURA 6-1 UNIDADES MORFOESTRUCTURALES DEL CHILE CENTRAL. MODIFICADO DE FOCK (2005)

La Cordillera de la Costa, que rara vez sobrepasa los 2000 m s.n.m, está compuesta por granitoides del Paleozoico Superior en su sector occidental, granitoides Jurásicos en su zona central, las Formaciones vulcano-sedimentarias Jurásicas y Cretácicas, y los intrusivos Cretácicos en el sector oriental. Además, destaca por su topografía suave en comparación a la de la Cordillera Principal. El relleno Cuaternario, por su parte, es principalmente de origen fluvial y coluvial, mientras que el sector costero se caracteriza por la presencia de terrazas de abrasión y de depósitos de remoción en masa.

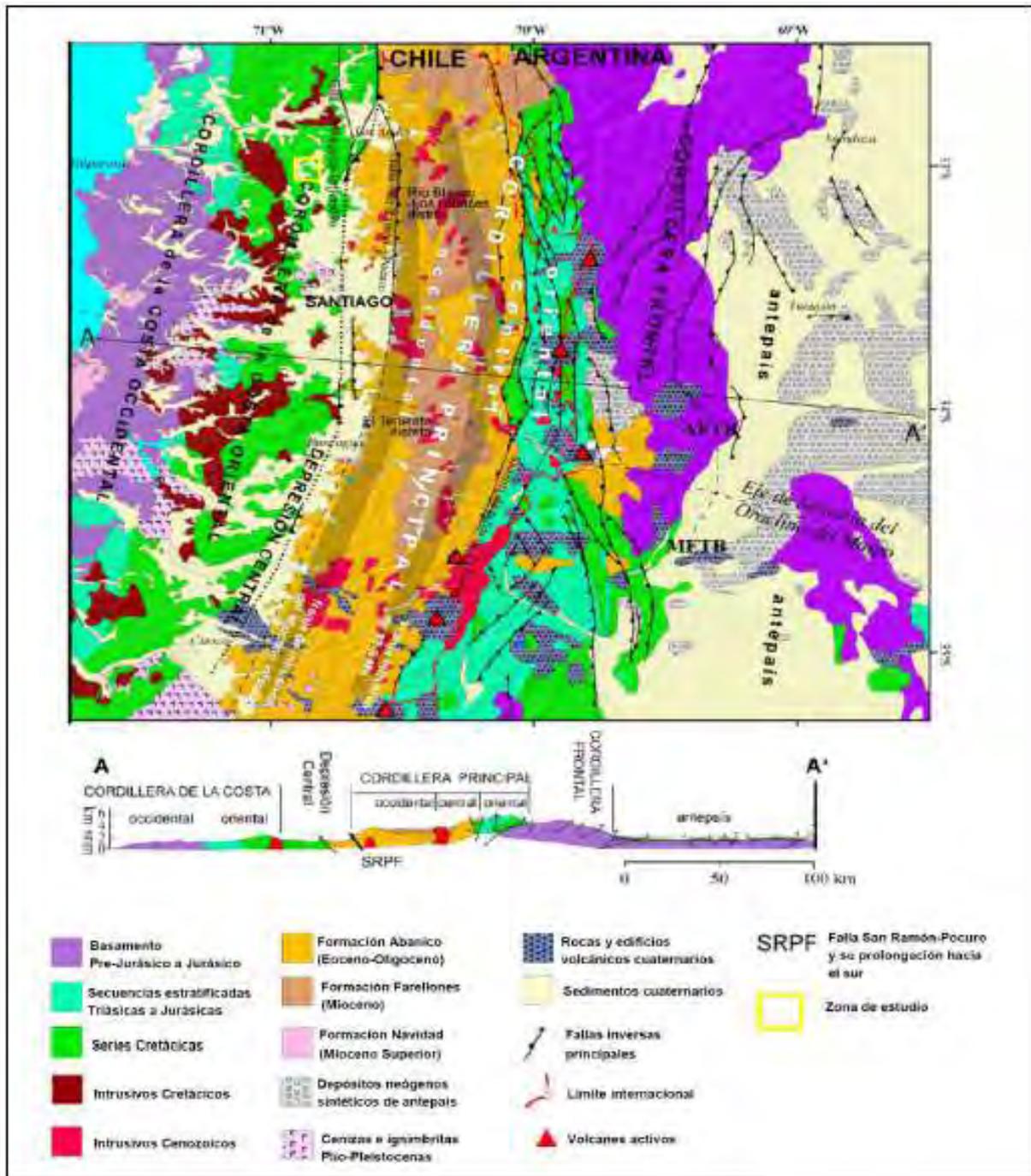


FIGURA 6-2 MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO. EXTRAÍDO DE FARÍAS ET. AL. (2007)

La Cordillera Principal, es la unidad geomorfológica más importante a nivel regional y representa un cambio abrupto, en cuanto a la topografía, ya que su altura va desde los 500 m s.n.m y superando en algunos casos los 5000 m s.n.m (Volcán San José) en dirección al Este. Está compuesta por rocas mesozoicas que presentan fuertemente

deformadas y conforman las denominadas fajas plegadas y corridas del Aconcagua (entre los 32° y 34°) y de Malargüe (entre los 34° y 36°). Los depósitos cuaternarios en la Cordillera Principal son de origen fluvial, coluvial o de remociones en masa.

Por último, la Depresión Central se encuentra limitada al Norte por el Cordón de Chacabuco y al Sur por los cerros de Paine (este es el límite en la Región Metropolitana, pero este rasgo geomorfológico se extiende hacia el Sur). Se caracteriza por presentar una topografía extremadamente suave (en general oscila entre los 450 m s.n.m y los 550 m s.n.m, según base topográfica OTAS). El basamento de la cuenca de Santiago correspondería a rocas volcánicas de la Formación Abanico, de edad Oligoceno Superior – Mioceno Inferior (Charrier y Munizaga, 1979). Los materiales que han rellenado la depresión son fundamentalmente depósitos aluviales y vulcano-sedimentarios cuaternarios que, en algunos lugares, puede llegar hasta los 500 m de espesor (Araneda et al., 2000).

La cuenca del Estero Casablanca se sitúa dentro de la unidad morfoestructural más occidental de las anteriormente citadas que es la Cordillera de la Costa, concretamente en el sector de Valparaíso-Curacaví. Desde el punto de vista estructural esta cordillera se caracteriza por la existencia de dos dominios estructurales:

- a) Un dominio oriental, coincidente con un relieve abrupto y montañoso de la Cordillera de la Costa, que alcanza alturas de 2.000 m. Formado por rocas intrusivas del batolito cretácico, en parte jurásico, y secuencias vulcano-sedimentarias del Jurásico al Cretácico Inferior (formaciones Ajial, Cerro Calera, Horqueta, Lo Prado y Veta Negra), que constituyen un bloque monoclinial de rumbo nor-noreste, cuyos estratos alcanzan una inclinación promedio de 40° hacia el este, y localmente los 70°E debido a flexuras y pliegues.
- b) Un dominio occidental, donde se sitúa nuestra área de estudio, con morfología de relieve maduro, suave, caracterizado por varios niveles de terrazas de abrasión, cuya altura varía entre los 100 y 500 m.s.n.m. Está constituido por rocas del basamento plutónico-metamórfico de edad paleozoica-jurásica media, escasos remanentes de rocas sedimentarios del Cretácico Superior-Paleogénico (Estratos de Quebrada Municipalidad y Estratos de Algarrobo) de rumbo nor-noreste con inclinación de 15° hacia el oeste, y enclaves metamorizados de la base de la secuencia jurásica. El basamento se encuentra cubierto en forma subhorizontal, por unidades sedimentarias marinas y continentales del Neógeno y, en parte, del Pleistoceno (Formación Navidad y

Estratos de Petrero Alto). Predomina un sistema de estructuras en bloques, limitados por fallas noroeste y noreste, de desplazamiento vertical post-Plioceno sobreimpuesta a un movimiento de rumbo, con rotación de bloques, que en parte, afectan a las rocas cretácicas de la Cordillera de la Costa.

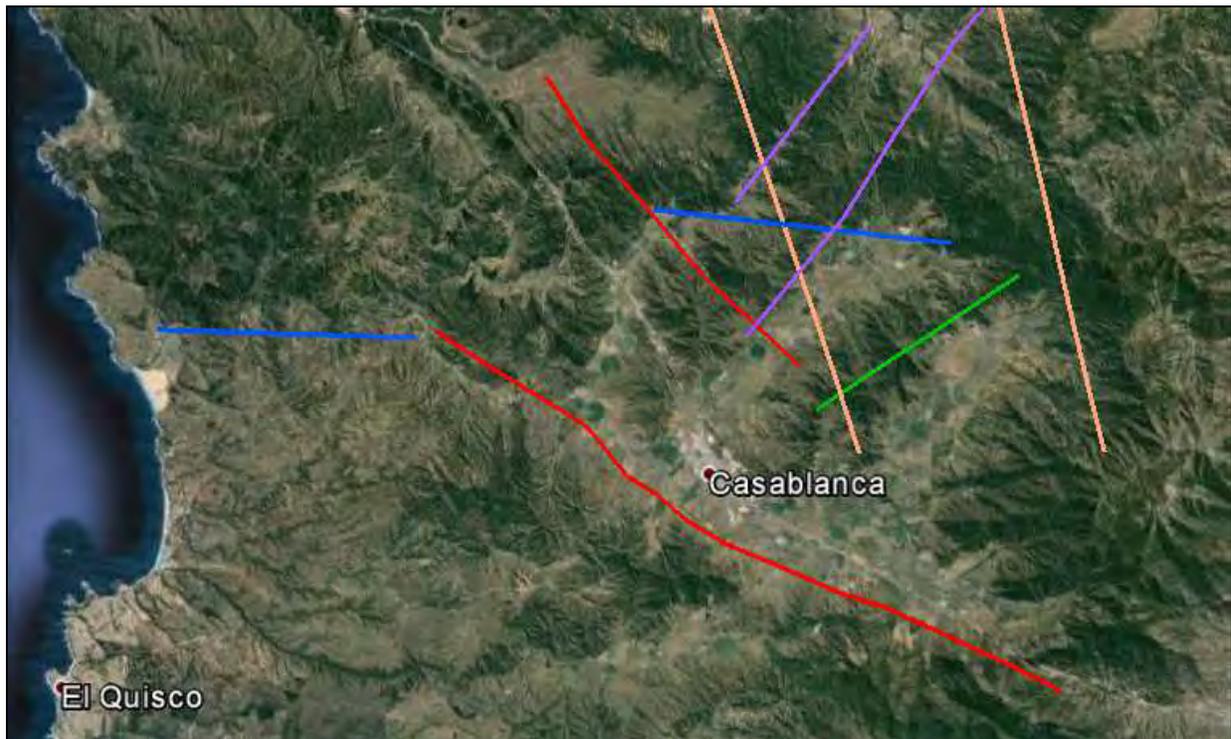


FIGURA 6-3 LINEAMIENTOS Y FALLAS QUE AFECTAN A LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA, MODIFICADO DE SABAJ A. (2008)

En este sentido es importante resaltar que, además de la existencia de lineamientos de orientación NE y NW, se han estudiado las evidencias de otros lineamientos de orientación E-W, NNW y NNE. Sabaj A. (2008) realiza un inventario de lineamientos y fallas activas en la zona, **Figura 6-3**, clasificados según su orientación y basándose en los criterios estructurales del trabajo de campo combinado con análisis de fotografías aéreas. Así se puede observar en la **Figura 6-3** en azul se muestran las lineaciones E-W, en rojo las de dirección NW, las de dirección NNW se muestran en naranja, en morado las de dirección NNE, y en verde las de dirección NE. Los lineamientos controlan la geomorfología de la cuenca del Estero Casablanca., sectorizando la misma en cuatro valles: La Vinilla-Casablanca, Los Perales de Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco. Por otro lado dichas estructuras son decisivos en la morfología de los esteros Lo Orozco y Casablanca, orientado, este último, en su primer tramo, según el lineamiento mayor de dirección NW

que conforma el eje Valparaíso-Curacaví y posteriormente según un lineamiento dirección E-W hasta su desembocadura en el océano Pacífico.



FIGURA 6-4 VISTAS DEL SECTOR ORIENTAL (A) Y OCCIDENTAL (B) DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA

6.2 UNIDADES GEOLÓGICAS

Los materiales sobre los que se encaja la Cuenca del Estero de Casablanca son, fundamentalmente rocas intrusivas del Jurásico, mientras que los materiales que rellenan la cuenca están formados en primer lugar por sedimentos coluviales, aluviales y fluviales pertenecientes al Cuaternario.

Para realizar la descripción de las unidades geológicas que afloran en el sector de estudio se consultó el Mapa Geológico del área de Valparaíso-Curacaví (Escala 1:100.000) realizado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). A continuación detallamos las unidades que afloran en el sector de estudio.

Qc: Depósitos coluviales (Holoceno)

Sedimentos no consolidados, ubicados en las cabeceras de las quebradas; comprenden principalmente depósitos gravitacionales correspondientes a flujos en masa, matriz-soportados, de muy mala selección granulométrica, que pueden incluir desde bloques hasta arcillas, interdigitados con lentes de arenas y gravas generados por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos. Aparecen prácticamente repartidos por todas las faldas de la ladera de la cuenca, siendo más abundantes en el valle de Los Perales de Tapihue y más escasos en el valle de Lo Orozco.

Qa: Depósitos aluviales (Holoceno)

Sedimentos no consolidados, ubicados en zonas de llanura; comprenden principalmente depósitos fluviales con depósitos gravitacionales interdigitados (flujos de barro, flujos de detritos), compuestos por gravas, arenas y limos. Tienen mayor representación en el valle de Lo Orozco y la cabecera de la cuenca del Estero Lo Ovalle.



FIGURA 6-5 TALUD NATURAL EXCAVADO POR EL ESTERO LO OROZCO EN DEPÓSITOS ALUVIALES (QA)

Qf: Depósitos fluviales (Holoceno)

Sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. Predominan facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clastosoportadas, compuestas por bolones redondeados a bien redondeados de baja esfericidad, en parte imbricados; lentes de arenas con estratificación plana-horizontal y cruzada y escasos limos finamente laminados. Se presentan a lo largo del curso de los esteros presentes en la Cuenca.

Qfs: Depósitos fluviales subactuales (Holoceno)

Sedimentos no consolidados de cursos fluviales abandonados, compuestos por gravas, arenas y limos, con desarrollo de cubierta vegetal y reconocidos a un mismo nivel topográfico con respecto al curso fluvial activo. Presentes en los márgenes del sector oriental del Estero Casablanca.

QTt: Terrazas de abrasión (Plioceno – Pleistoceno)

Unidades morfológicas de erosión mariana, labradas sobre intrusivos paleozoicos y jurásicos y formaciones sedimentarias terciarias (Tn, TQPa), preservadas en la zona costera, a cotas variables entre los 40 y 550 m s.n.m. Dentro de este grupo se incluyen terrazas de abrasión sin cubierta sedimentaria, terrazas con una cubierta de arenas cuarzosas, posiblemente marinas, y terrazas con cubierta aluvial. Presentes en todo el valle de La Vinilla-Casablanca así como el de Los Perales de Tapihue y sector sureste del Estero Lo Ovalle.

Kdg: Gabros de dos piroxenos y dioritas de hornblenda-piroxeno (Cretácico Inferior – Cretácico superior)

Rocas mesocráticas a melanocráticas, color gris medio a oscuro, de grano medio a grueso, textura hipidiomórfica granular, con ortopiroxeno (hyperstena) y clinopiroxeno con láminas de exsolución de titanita y coronas de biotita alojando minerales opacos. Poseen 52-58 de SiO₂. 'Stocks' subcirculares de 0,7-1,5 km que intruyen rocas plutónicas del Cretácico (Kp) y del Jurásico (Jlt, norte de Estero Puangue), y que a su vez, están intruidos por granodioritas cretácicas Kdgt. Edad K-Ar en biotita 96±2 Ma. Se presentan de forma muy minoritaria en la divisoria de aguas al norte del valle de Los Perales de Tapihue.

Jlg: Monzogranitos de anfíbola-biotita, con variaciones granodioríticas (Jurásico)

Rocas leucocráticas, color gris claro amarillento, grano grueso, textura hipidiomórfica granular, conteniendo plagioclasa zonada, anfíbola y ortoclasa poikilítica con cuarzo. Poseen un 70-75% de SiO₂. Constituyen plutones circulares de 2-6 km de diámetro, en Cerro Molle, Embalse Poza Azul y Cerro Peumo. Contactos nítidos, instruyendo a tonalitas Jlt. Se presentan en la divisoria del Estero Perales y Estero Puangue.

Jlt: Predominantemente tonalitas y granodioritas de anfíbola-biotita (Jurásico)

Rocas de color gris claro, grano medio a grueso, con escasas (<1%) inclusiones microdioríticas sub-redondeadas; textura hipidiomórfica granular, conteniendo plagioclasa zonada, ocasionalmente con bordes mirmekíticos, ortoclasa y microclina pertítica, hornblenda reemplazada por biotita, que aparece también en grandes láminas automorfas entrecrecida en forma lamelar con esfeno. Abundante apatito, circón y epidota accesorios, así como opacos granulares asociados a los minerales máficos. Rocas de composición calcoalcalinas de K intermedio, 58-75% SiO₂, metaluminosas, de tipo I. Afloran en una

franja continúa nor-noroeste de 55 km de largo, entre Quilpué y Curacaví. Contactos graduales con rocas de la unidad Jp. Intruyen a las formaciones Ajial y Horqueta, generando en ellas, zonas de alteración hidrotérmica. Intruidas por granitoides del Cretácico con formación de zonas de enclaves magmáticos (este de Curacaví) Edades K-Ar en biotita en el intervalo 150-165 Ma (este trabajo); en anfíbola 161±4 Ma (este trabajo); isocrona Rb-Sr en roca total: 173±28 Ma (Hervé et al., 1988); U-Pb en circones 158±1 Ma (Gana y Tosdal, en prep.). Se presentan principalmente en los relieves circundantes al valle de Los Perales de Tapihue en los de la cabecera del Estero Casablanca.

Jpg: Granitos, tonalitas y granodioritas de hornblenda-biotita (Jurásico)

Rocas de color gris claro amarillento, grano medio a fino, con textura alotriomórfica granular, localmente gnéicas; cristales con bordes interdigitados, texturas de reabsorción en cuarzo, intercrecimiento mirmequítico en bordes de plagioclasa, feldespatos con estructura zonal y bordes micrográficos en ortoclasa micropertítica. Las variedades gnéicas muestran grandes cristales de cuarzo rodeados por una trama granoblástica de cuarzo recristalizado y biotita lepidoblástica. Rocas con 70-72% de SiO₂, calcoalcalinas de bajo K, moderadamente peraluminosas. Forman un plutón complejo de 16 km de longitud (Cerro de la Mina, Cuesta Ibacache). Edades K-Ar en biotita de 152±4 Ma y 143 Ma (Corvalán y Munizaga, 1972). Edades U-Pb en circones de 399 Ma y 389-386 Ma, citadas al sur de Casablanca (Corvalán y Minizaga, 1972), podrían indicar la presencia de enclaves paleozoicos. Representados de forma muy minoritaria en los relieves hacia el sur del Estero Casablanca en su sector de cabecera.

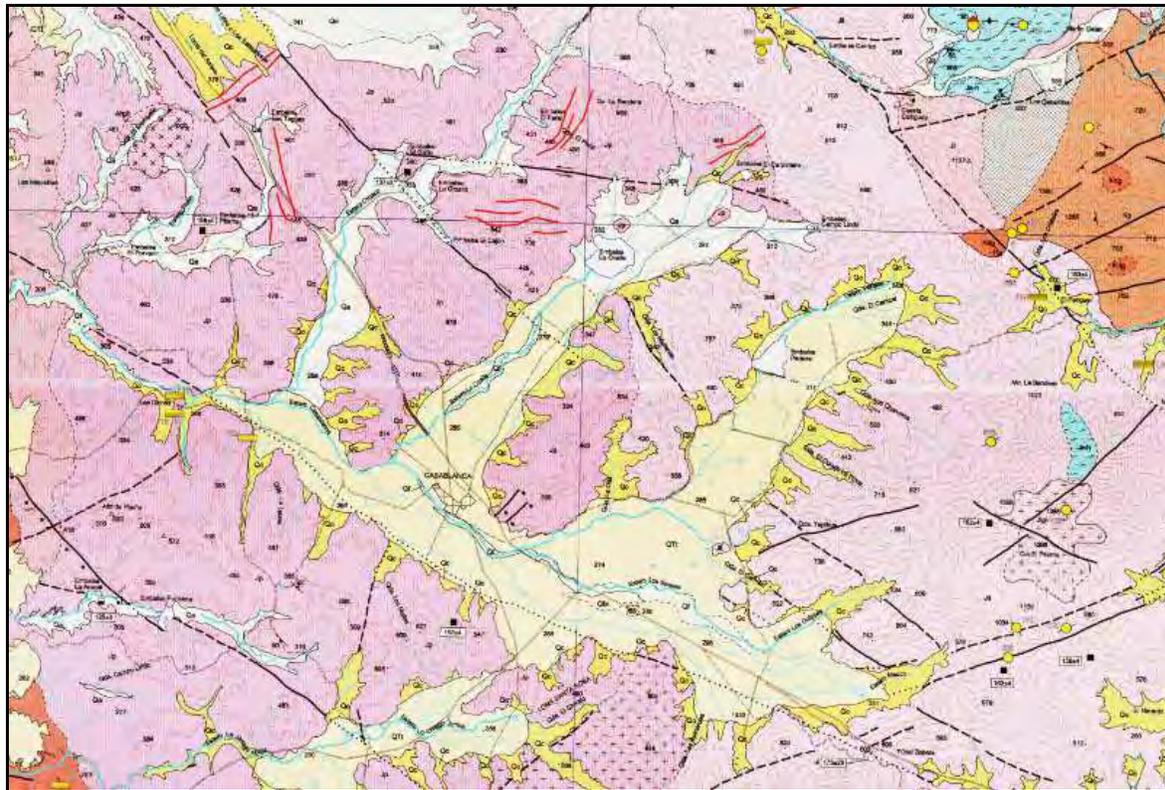


FIGURA 6-6 MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA (ESCALA 1:100.000), (SERNAGEOMIN, 1996)

Jp: Tonalitas de hornblenda-biotita y monzodiorita cuarcíferas que forman un plutón de 42 km de longitud (Jurásico)

Rocas de color gris medio, grano muy variable, desde grueso a fino, que contienen abundantes inclusiones básicas alargadas (1-10%) subparalelas, de 0,1-1 m longitud. Presentan texturas alotriomórfica granular e inequigranular seriada, con plagioclasa micropertítica de bordes mirmekíticos, anfíbola con ambahiamientos de plagioclasa e inclusiones poikilíticas de cuarzo. Contienen 60-65% SiO₂; son rocas calcoalcalinas, metaluminosas a moderadamente peraluminosas, tipo I. Contornos graduales con

granitoides jurásicos Js y Jlt. Atravesadas por enjambre de diques de composición diorítica, granítica y aplítica. Intruyen a granitoides paleozoicos. Edades K-Ar en biotita: 160 ± 4 , 158 ± 4 ; 153 ± 4 Ma y en anfíbola: 129 ± 8 Ma. Se presentan en los relieves circundantes al Estero Lo Orozco, gran parte de los de Lo Ovalle y hacia el sur del Estero Casablanca.



FIGURA 6-7 TALUD EXCAVADO EN EL VALLE DE LO OROZCO SOBRE LA UNIDAD JP (A), DETALLE DE DIQUE ATRAVESANDO LA UNIDAD JP (B)

6.3 COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS TIPO

De los antecedentes geológicos recopilados y facilitados por la DGA se dispone de los expedientes de las captaciones de agua del sector que contienen datos de pruebas de bombeo y en algunos casos columnas litológicas elaboradas a partir de la construcción de dichas captaciones. Concretamente para este estudio se han revisado un total de 43 columnas de entre todos los expedientes analizados.

TABLA 6-1 EXPEDIENTES REVISADOS CON COLUMNAS LITOLÓGICAS

N°EXPEDIENTE	SECTOR	NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84	
			NORTE	ESTE
			(m)	(m)
ND-0505-1243	LA VINILLA	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE	6311360	274070
ND-0505-1491/2	LA VINILLA	JOSÉ FERNANDO LIRA VILLALON	6304340	277039
ND-0505-4321	LA VINILLA	AGRÍCOLA FERNÁNDEZ UNDURRAGA LTDA.	6311535	274315
ND-0505-562	LA VINILLA	MISIÓN REFUGIO PARA NIÑOS LIMITADOS ESPERANZA	6307000	278500
VPC-0505-143	LA VINILLA	INVERSIONES CORSO S.A.	6308778	281885
VPC-0505-160/1	LA VINILLA	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311885	271875
VPC-0505-177	LA VINILLA	VIÑA ERRAZURRIZ S.A.	6309401	277500
VPC-0505-186	LA VINILLA	INVERSIONES CORSO S.A.	6308681	283426
VPC-0505-21/2	LA VINILLA	VILLARD FINE WINES S.A	6307234	283708
VPC-0505-211	LA VINILLA	ROSA EUGENIA UNDURRAGA ECHAZARRETA	6311667	272373
VPC-0505-217	LA VINILLA	ESVAL	6310087	276802
VPC-0505-72	LA VINILLA	VIÑA MORANDE	6306622	284510
VPC-0505-84	LA VINILLA	VIÑA MORANDE	6306944	285235
ND-0505-1491/1	LA VINILLA	JOSÉ FERNANDO LIRA VILLALON	6304410	277270
VPC-0505-107/1	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6316538	272218
VPC-0505-107/2	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6316344	272306
VPC-0505-107/3	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311994	272315
VPC-0505-107/4	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6312631	271631
VPC-0505-107/5	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6313169	271558
VPC-0505-159/1	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6317257	272228
VPC-0505-159/2	LO OROZCO	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	5311991	272313
ND-0505-1111/1	LO OVALLE	AGRÍCOLA GANADERA Y FORESTAL LLANCAY	6315460	277870
ND-0505-1111/2	LO OVALLE	AGRÍCOLA GANADERA Y FORESTAL LLANCAY	6315160	277365
ND-0505-1111/3	LO OVALLE	AGRÍCOLA GANADERA Y FORESTAL LLANCAY	6314922	277267
ND-0505-2075	LO OVALLE	INSTITUTO FILOSÓFICO HERMÉTICO	6312720	277025
ND-0505-412	LO OVALLE	GERMAN Y JOSE LARRAIN DOGGENWEILER	6318500	281900
ND-0505-4373	LO OVALLE	AGRÍCOLA GANADERA Y FORESTAL LLANCAY DE SAN PEDRO LTDA.	6315419	277448
ND-0505-5997	LO OVALLE	COMITÉ AGUA POTABLE VILLORIO LA ROTUNDA	6312833	275917
ND-0505-978	LO OVALLE	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA.	6319200	283650
ND-0505-985/1	LO OVALLE	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA.	6319120	283420
ND-0505-985/2	LO OVALLE	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA.	6319210	283860

N°EXPEDIENTE	SECTOR	NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84	
			NORTE	ESTE
			(m)	(m)
ND-0505-985/3	LO OVALLE	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA.	6319000	283210
VPC-0505-112/1	LO OVALLE	AGRÍCOLA EL RUEDO LTDA.	6320238	284838
VPC-0505-112/2	LO OVALLE	AGRÍCOLA EL RUEDO LTDA.	6320015	284818
VPC-0505-112/3	LO OVALLE	AGRÍCOLA EL RUEDO LTDA.	6320015	284818
VPC-0505-151	LO OVALLE	AGROMORANDE S.A.	6318015	279811
VPC-0505-176	LO OVALLE	VIÑA SANTA CAROLINA S.A.	6313791	275475
VPC-0505-86/1	LO OVALLE	AGUSTÍN VIOLLER VELASCO	6317051	278583
VPC-0505-86/2	LO OVALLE	AGUSTÍN VIOLLER VELASCO	6316912	278626
ND-0505-3075	LOS PERALES	ÁLVARO RENCORET SILVA	6316076	288521
ND-0505-4258/1	LOS PERALES	ALEJANDRO HOLZMANN KINTNER Y OTROS	6316664	289049
ND-0505-4258/2	LOS PERALES	ALEJANDRO HOLZMANN KINTNER Y OTROS	6316810	289199
ND-0505-4672	LOS PERALES	AGRÍCOLA ARS LTDA.	6316794	287260

Las columnas litológicas revisadas junto a las disponibles del estudio realizado por AC Consultores (1991), han permitido la modelización bajo un patrón que define la serie estratigráfica que compone del relleno de la cuenca del Estero Casablanca. En la **Figura 6-8** se muestra una columna estratigráfica correspondiente a uno de los pozos situados en el valle de Lo Orozco y que muestra la estratigrafía típica de la cuenca del Estero Casablanca.

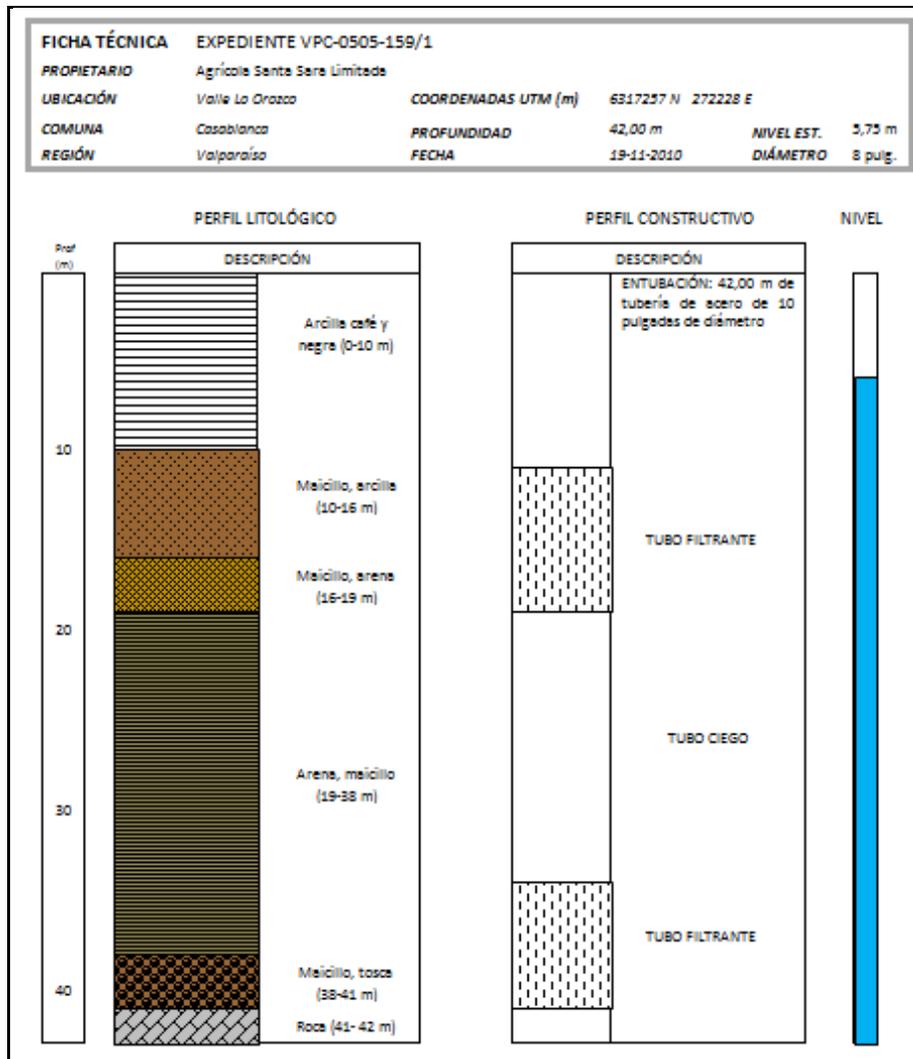


FIGURA 6-8 COLUMNA LITOLÓGICA DE POZO CORRESPONDIENTE A EXPEDIENTE VPC-0505-159/1

Así es como se corrobora la presencia de un nivel superficial fundamentalmente arcilloso, que tendría un espesor en torno a 10 m, posteriormente se presenta un nivel que engloba en realidad una alternancia de niveles finos y gruesos correspondientes a la alternancia de depósitos de alta y baja energía típica de valles fluviales, correspondiendo los materiales más finos a sistemas de baja energía mientras que las granulometrías más gruesas corresponden a sistemas de alta energía. En un perfil transversal de la cuenca estos diferentes depósitos se observarían con morfología lenticular que no hace más que reforzar la típica morfología ligada a depósitos fluviales y aluviales.

Debajo de esta unidad se sitúa el basamento de la cuenca compuesto fundamentalmente por intrusiones graníticas y granodioríticas del jurásico.

7 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

Se delimitó la cuenca hidrológica de la zona de estudio, entendiendo como cuenca superficial aquella que se define como una zona de la superficie terrestre, en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella, son drenadas por el sistema hidrológico hacia un mismo punto de salida. Los límites de la cuenca hidrológica se definieron utilizando un modelo de elevación digital, a partir de los planos topográficos de la zona. Para facilitar el análisis y la obtención de los parámetros necesarios para llevar a cabo el estudio en el Valle de Casablanca, está a su vez se dividió en subcuencas, siguiendo el mismo criterio y la misma definición, en base a la divisoria de aguas. La **Figura 7-1**, muestra las subcuencas hidrológicas, en las que se dividió la zona de estudio.

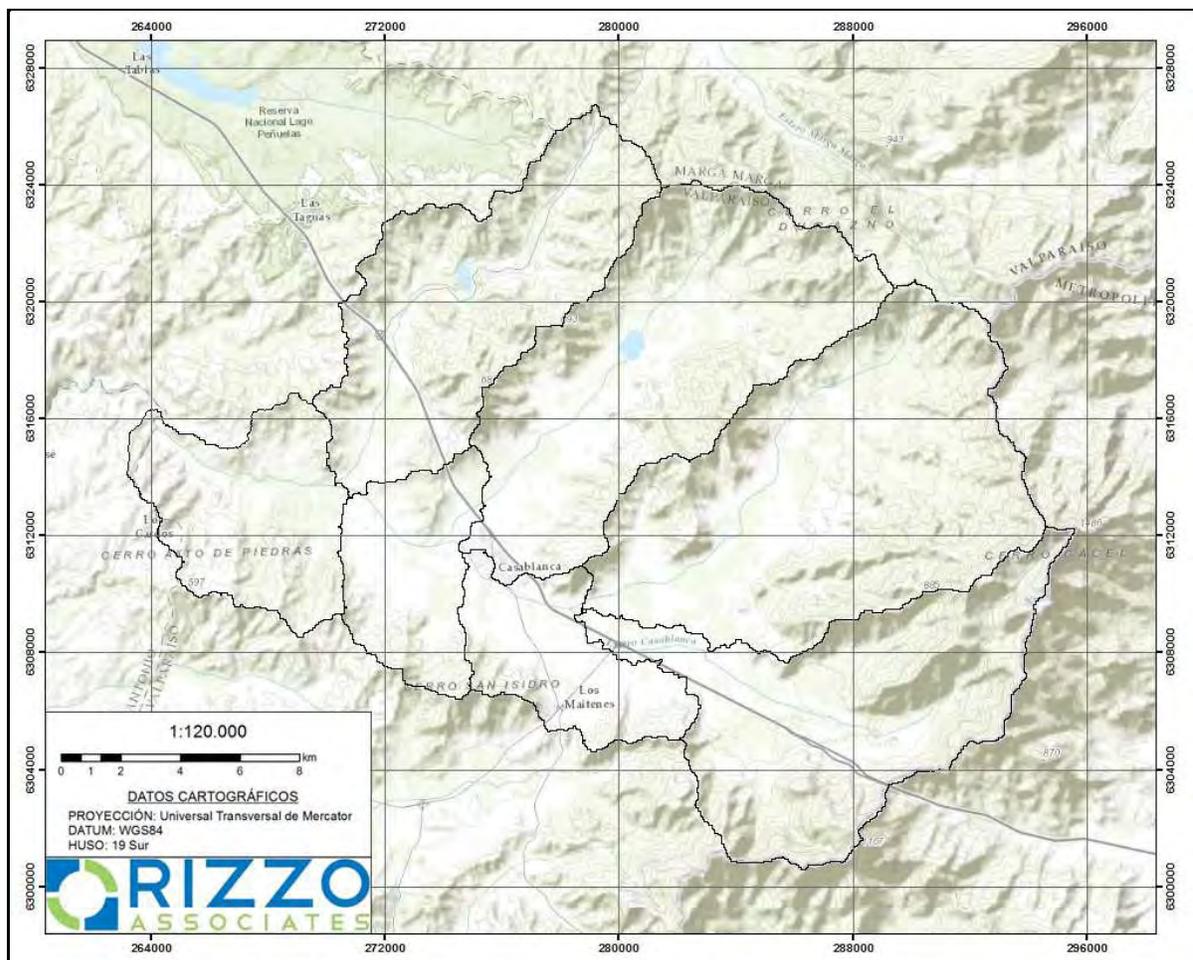


FIGURA 7-1 CUENCAS HIDROLÓGICAS

Para el análisis de los parámetros climáticos, temperaturas, precipitaciones y evaporación, se contó con estaciones meteorológicas vigentes proporcionadas por la DGA. Para las temperaturas y la evaporación, se utilizó la estación del Lago Peñuelas, que si

bien esta fuera de la cuenca de estudio, se encuentra próxima a la misma. Las precipitaciones se obtuvieron de las estaciones de Casablanca y Tapihue localizadas dentro de la cuenca. En la **Figura 7-2**, se muestra la ubicación de todas las estaciones utilizadas para el estudio.

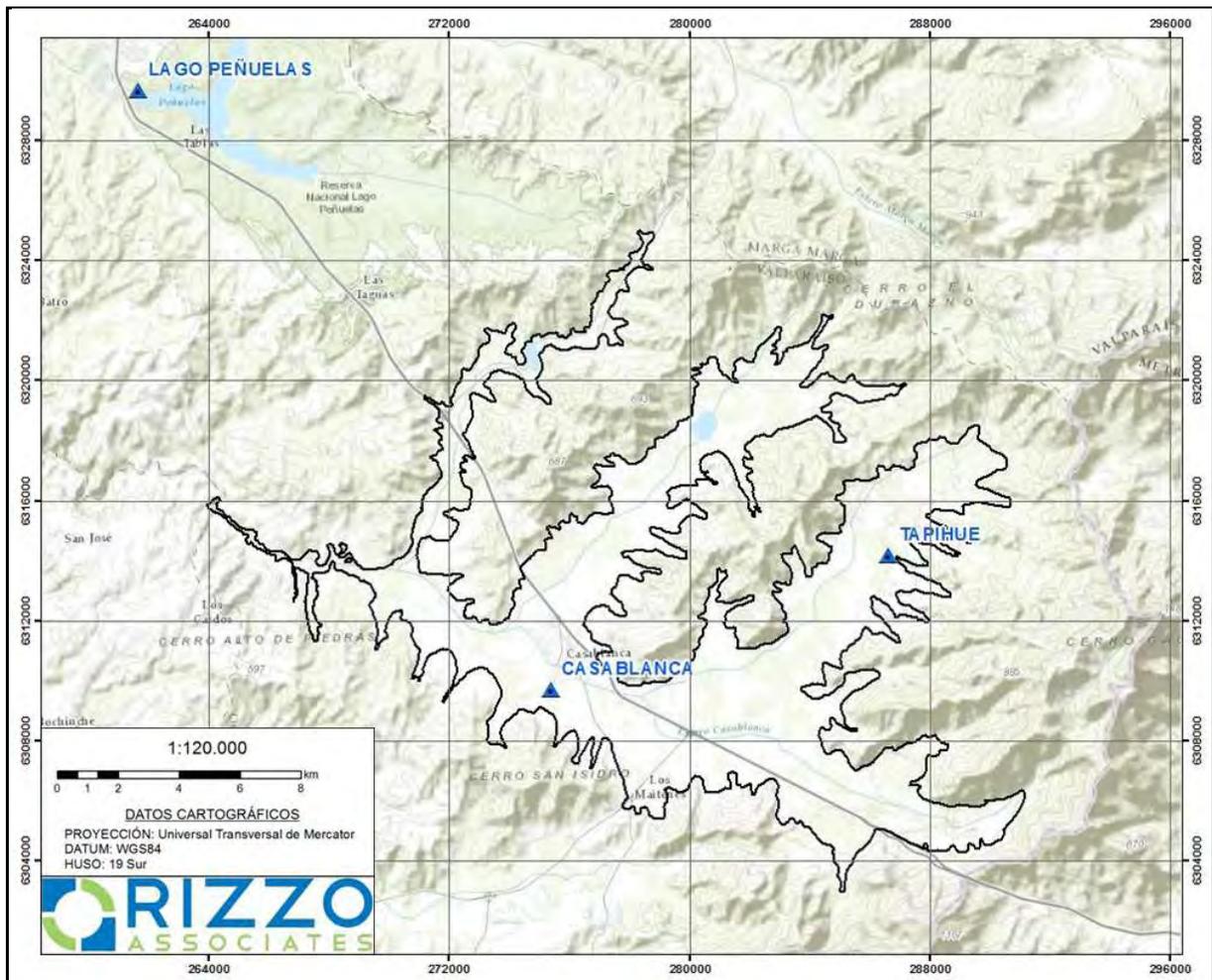


FIGURA 7-2 UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO

7.1 CLIMA

La Región de Valparaíso presenta, en general, un clima Templado Mediterráneo, pero con algunas variaciones, como la semiaridez que se presenta hacia el norte del río Aconcagua, húmedo o mediterráneo costero en el litoral y frío de altura hacia la Cordillera. En la **Figura 7-3**, se observa la distribución de la temperatura y precipitación media anual de la región.

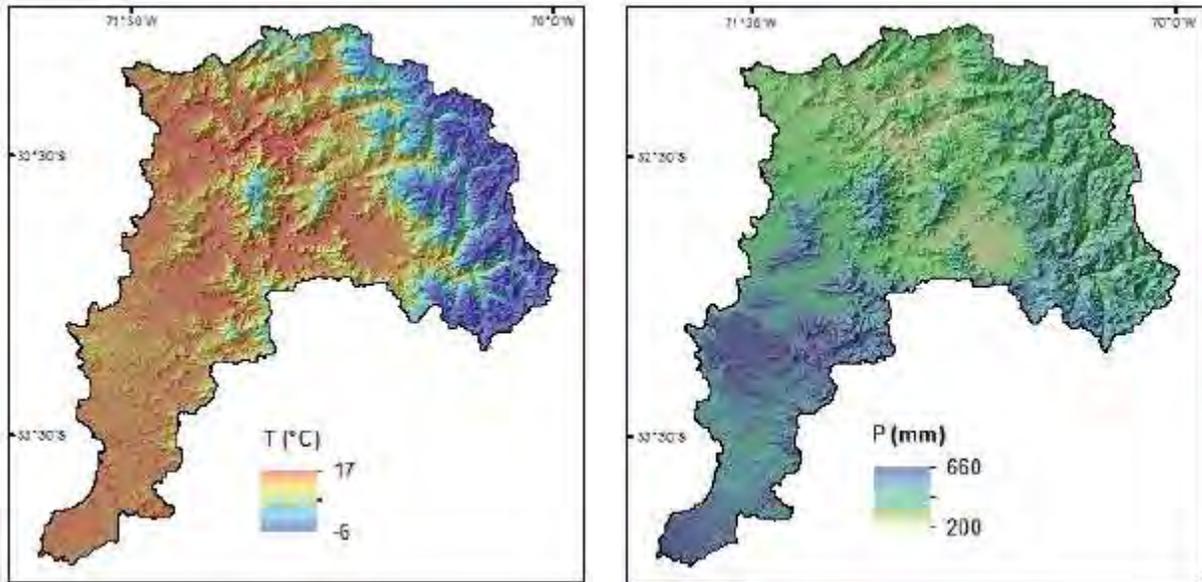


FIGURA 7-3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL (T) Y LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (P) EN LA REGIÓN DEL VALPARAÍSO. MODIFICADO DE LUEBERT F. (2012)

Tanto el océano Pacífico, en general, como la corriente de Humboldt, en particular, condicionan en gran medida la conducta de los elementos climáticos de la región. Las direcciones predominantes de los vientos, todas de componente oceánico y portadoras de humedad, explican la constante presencia de este factor en el clima regional. El carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas vecinas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales.

En general se considera la existencia de cuatro tipos de clima en la región que son:

- Clima de estepa cálido
- Clima mediterráneo templado costero
- Clima mediterráneo templado cálido
- Clima frío de altura

En la **Figura 7-4** se presenta en forma referencial la distribución de precipitaciones y temperaturas anuales para la ciudad de Valparaíso, distante a poco más de 30 km de Casablanca.

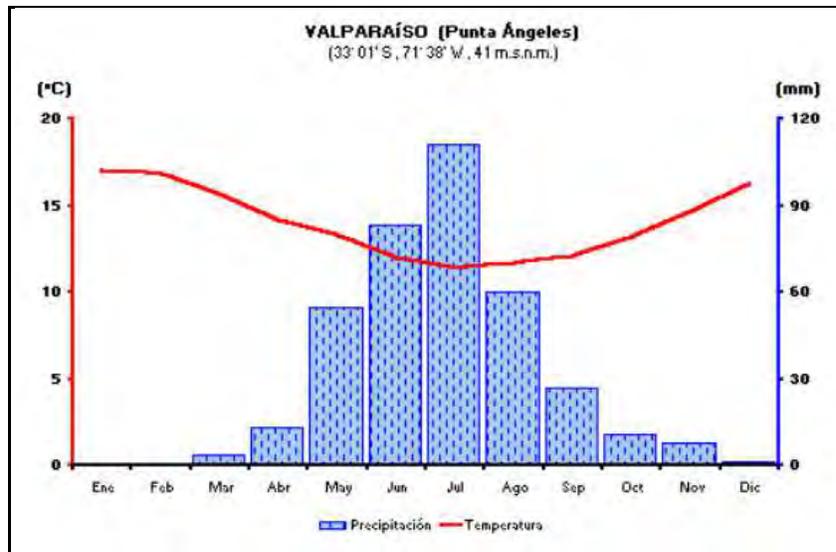


FIGURA 7-4 CLIMOGRAMA DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUNTA ÁNGELES EN VALPARAÍSO

Particularmente la Cuenca del Estero de Casablanca, presenta un clima Templado Mediterráneo (*Csbn* según clasificación climática de Köppen) caracterizado por precipitaciones invernales (80%) y estaciones secas que se extienden por 8 meses (Septiembre hasta Abril). Presenta de manera generalizada a lo largo del año una amplia cobertura de nubosidad baja matinal mayoritariamente de procedencia costera que entra a través de los valles y confiriendo al sector características particulares con rasgos del clima mediterráneo templado costero y el mediterráneo templado cálido propio de áreas interiores.

Las precipitaciones son de origen ciclónico y son afectadas por la influencia del relieve que las incrementa proporcionalmente a la elevación del terreno, de este modo, el bloqueo que ejerce la cordillera de la costa con su altura ocasiona preferentemente precipitaciones en los faldeos occidentales de la misma. El promedio anual de las precipitaciones se estima del orden de 488 mm (DGA, 2004), sin embargo en los últimos 28 años el promedio es menor a 400 mm.

Las temperaturas promedio son inferiores a los 18° C y superiores a 3° C en el mes más frío, con una temperatura media anual de 13,8° C. Una particularidad del clima es la caída de la temperatura en las noches estivales producto de la influencia marina (Ortega, R, 2011).

7.2 PRECIPITACIONES

La variabilidad interanual de la precipitación en la región central de Chile es relativamente alta (Flores,2012), debido al carácter transicional del régimen pluviométrico entre la condición extremadamente árida al norte de 25° y el clima húmedo al sur de 40°. Ésta se encuentra parcialmente condicionada por la ocurrencia de las fases extremas de Oscilación Sur (ENOS) correspondientes a los fenómenos El Niño, que en el Chile central se asocia habitualmente a un aumento excesivo de precipitaciones y La Niña que generalmente está relacionada al déficit de precipitaciones. Estos fenómenos son una muestra del mecanismo de interacción océano-atmósfera de origen tropical que se dan a esta latitud.

Para mostrar esta alta variabilidad interanual, en la Figura 7-5 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la variación de la precipitación promedio anual (1930-2000) de 33 estaciones meteorológicas estudiadas en Chile central. La línea de tendencia corresponde al filtro de baja frecuencia Gaussiano (rojo) y la línea de la media (naranja). Se observa como 1941 presentó la mayor precipitación promedio anual de toda la serie, habiéndose comprobado la coincidencia con la ocurrencia del fenómeno de El Niño. Por otro lado 1998, que vino precedido de año especialmente lluvioso, se caracterizó por representar la mayor sequía meteorológica de la serie. En dicho año el anticiclón subtropical del pacífico sur incursionó entre las latitudes 40-45° bloqueando la entrada de precipitaciones a todo el sector central de Chile.

El fenómeno de El Niño tiene un carácter cíclico pero a su vez errático (suele manifestarse con una recurrencia que oscila entre 3 y 8 años) por lo que no es posible estimar manifestaciones futuras con demasiada anticipación.

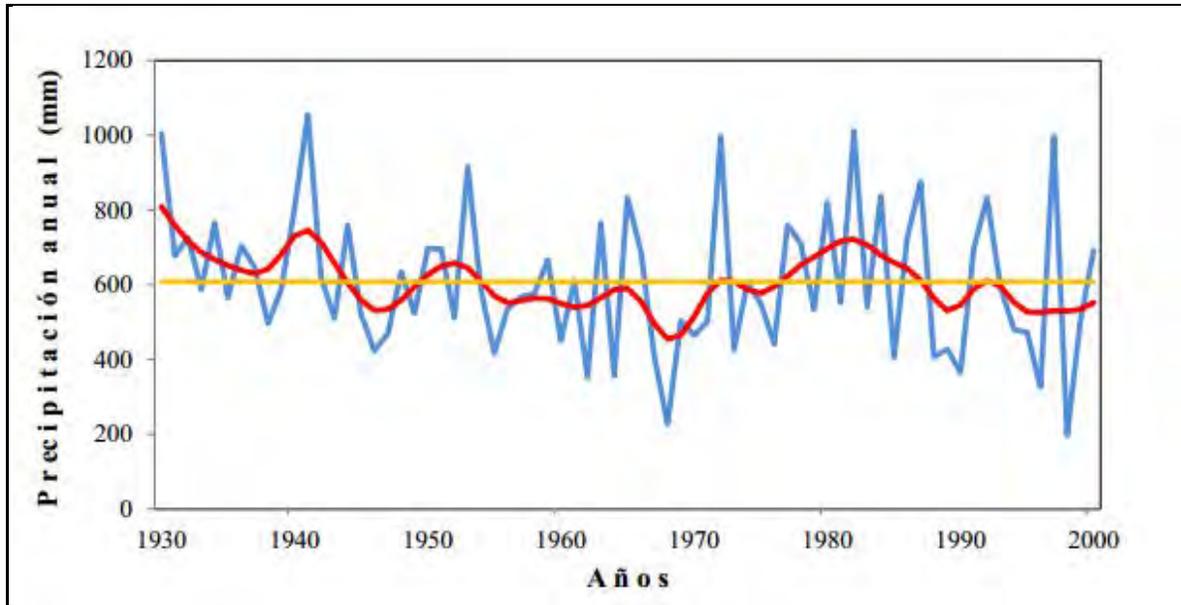


FIGURA 7-5 VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (1930-2000), A PARTIR DE 33 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE CHILE CENTRAL (FLORES, 2012)

El régimen pluviométrico del área de la cuenca del estero Casablanca es de tipo mediterráneo, que tiene lluvias invernales con una estación seca prolongada y se extiende desde los límites del desierto hasta los 38° de latitud Sur. Las lluvias son de tipo ciclónico asociadas al paso de vaguadas polares y se ven afectadas por la influencia del relieve que exagera sus valores en la medida que se introduce al interior del país. La cordillera de la Costa de relieve moderado, actúa como una barrera que provoca lluvias en sus faldeos occidentales; en las regiones ubicadas inmediatamente detrás de la Cordillera, en cambio, las precipitaciones ocurren sensiblemente disminuidas.

La distribución de lluvias es notoriamente desigual, ya que más del 80% de las precipitaciones están concentradas en solo cuatro meses (Mayo, Junio, Julio y Agosto) y el 20 % restante está distribuido en ocho meses (DGA, 2004).

Los vientos, que acompañan a las lluvias son siempre del norte y del noroeste, en donde dominan aquellos con influencia marítima, en cambio, son los vientos del Sur y del suroeste, aquellos que están más asociados a la topografía del sector.

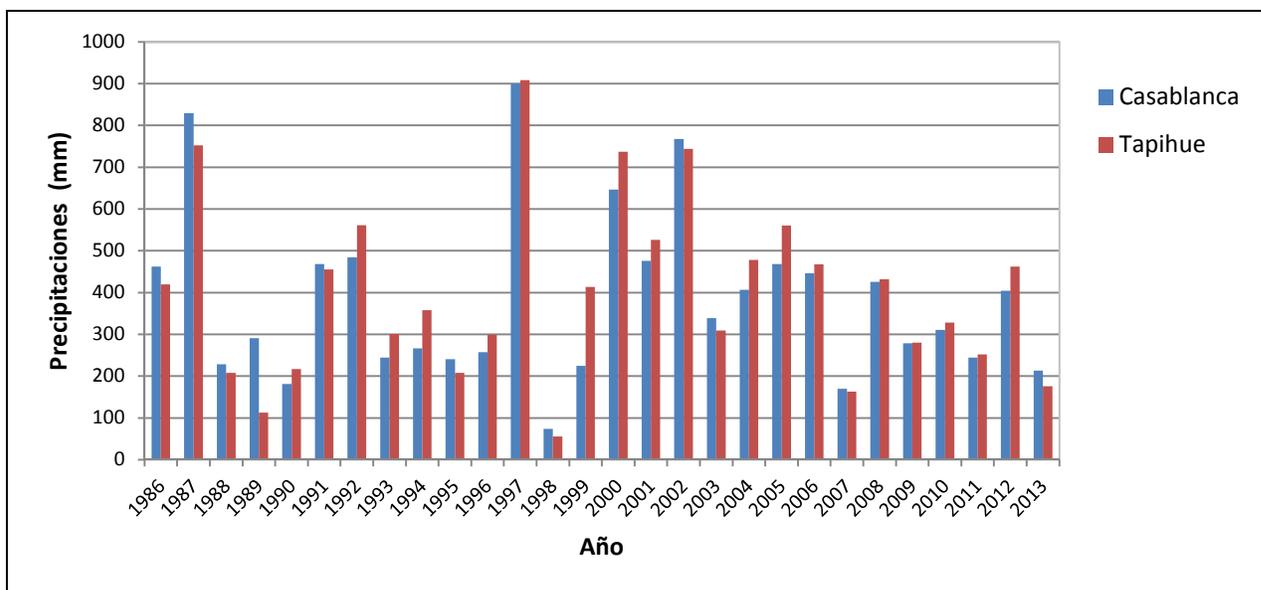


FIGURA 7-6 PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (PERÍODO 1986-2013)

Según la distribución de las precipitaciones medias anuales en las estaciones meteorológicas de Casablanca y Tapihue **Figura 7-6**, se observa la existencia de años extremadamente húmedos como ocurre por ejemplo en 1997 coincidiendo con un episodio intenso del fenómeno del Niño.

Si bien los registros pluviométricos muestran 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.

En este sentido, cabe mencionar la información que proporciona la Dirección Meteorológica de Chile. Este organismo emite periódicamente un Boletín de Monitoreo de Sequía meteorológica realizado mediante la aplicación del Índice Estandarizado de Precipitación (IPE), que es usado para describir condiciones climáticas extremadamente secas o lluviosas. El último boletín de Enero de 2015 (N°21) reporta un Índice IPE normal para el periodo enero-diciembre 2014 en la comuna de Casablanca (**Figura 7-7**).

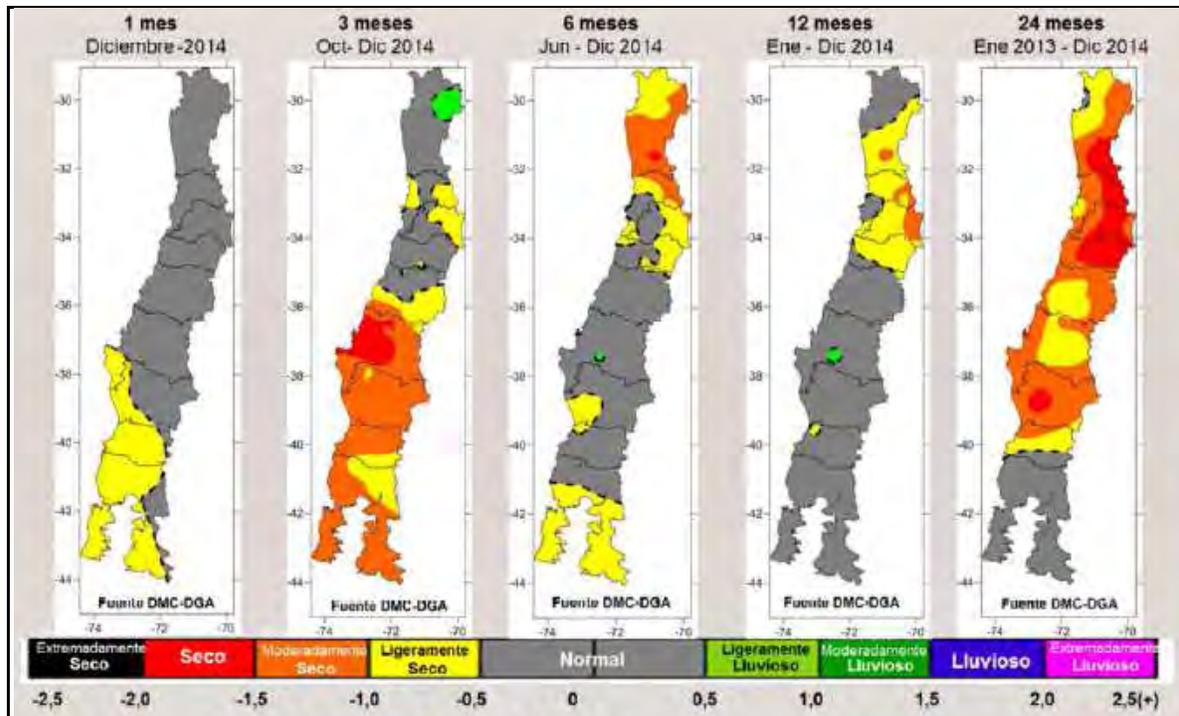


FIGURA 7-7 MAPA DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN PARA CHILE EN DISTINTOS INTERVALOS TEMPORALES ENTRE 2013 Y 2014. (DGAC CHILE, 2015)

7.3 HIDROGRAFÍA

La cuenca del Valle de Casablanca, desde el punto de vista hidrográfico, debido a su ubicación espacial en el flanco occidental de la cordillera de la Costa, carece de cursos de agua principales como son ríos propiamente dichos. Sin embargo dispone de un sistema hidrográfico compuesto por un estero principal, denominado Estero de Casablanca y que se desplaza en sentido Este-Oeste. Este estero principal cuenta como tributarios con los Esteros Los Perales, Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco por el Norte, que son los drenajes principales de cada subcuenca en la que se ha dividido el Valle. Como se observa en la

Figura 7-8

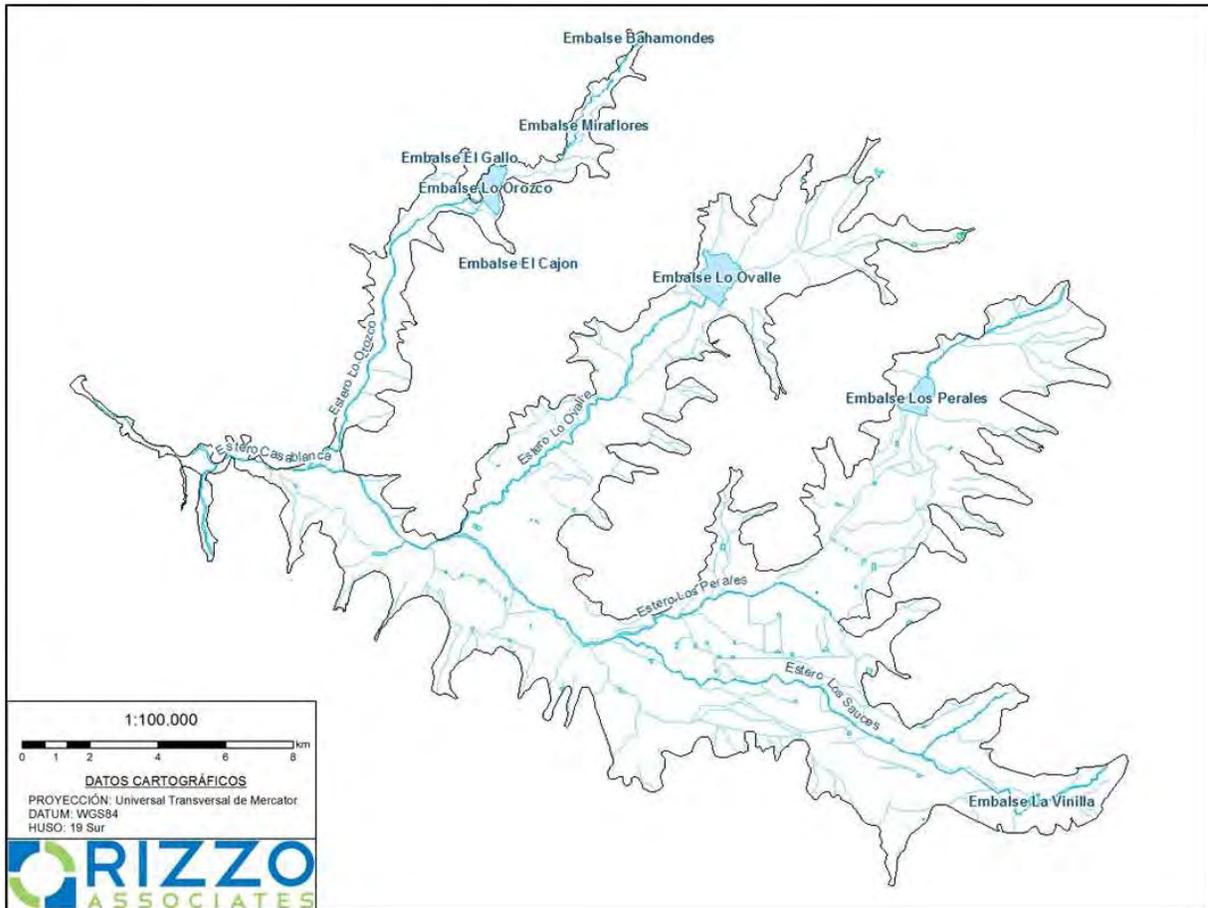


FIGURA 7-8 DISTRIBUCIÓN DE LA RED DE DRENAGE NATURAL DE LA CUENCA Y LOS EMBALSES

La Cuenca de Casablanca dispone además de pequeños tributarios con carácter de arroyos, que hacen que la cuenca sea de tipo dendrítico, presentando estos una ramificación irregular en muchas direcciones y en cualquier ángulo.

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

Además de esta red hidrográfica, en las cuencas que conforman el valle de Casablanca, se localizan 4 embalses, embalse de 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 y desde hace al menos 5 años no contienen agua, pero que en épocas anteriores, década de los 90 abastecían de agua para el riego a través de una red de canales, que en la actualidad tampoco existen.

7.4 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Los parámetros morfométricos de una cuenca representan el estudio cuantitativo de las características físicas de la misma.

En este estudio se han caracterizado los principales parámetros, en este caso se han realizado las medidas de la cuenca hidrológica general, sin tener en cuenta las subdivisiones, para tener una idea global de las características de la misma. En la **Figura 7-9**, se muestran los límites de la cuenca sobre las que se han calculado los parámetros.

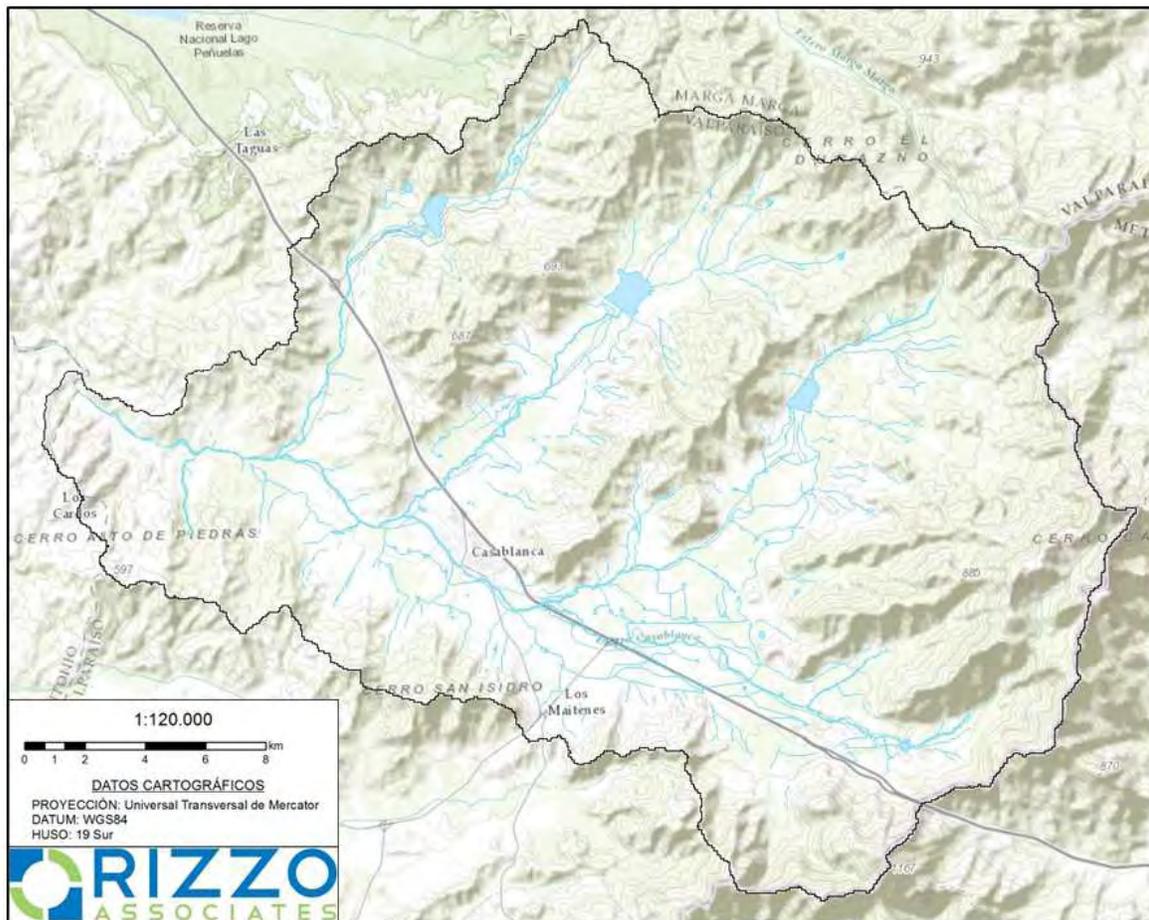


FIGURA 7-9 CUENCA HIDROLÓGICA PRINCIPAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

7.4.1 FORMA DE LA CUENCA

Para caracterizar la forma de la cuenca, se ha utilizado el factor de forma de Horton, que utiliza la siguiente expresión:

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

Donde:

A= Área de la cuenca en Km²

La=Longitud Axial en Km

Aplicando la ecuación para las características de la cuenca en estudio, donde el área de la cuenca son 470,19 km² y la longitud axial 32,45 km, el factor de Horton es de 0,45.

Según este factor nuestra cuenca de estudio se clasifica como una cuenca ligeramente alargada.

Otro parámetro utilizado para calcular la forma de la cuenca es el coeficiente de circularidad de Miller (Cc) y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Cc = 4\pi \frac{A}{p^2}$$

Donde:

A= Área de la cuenca en km²

P= Perímetro de la cuenca en km

Aplicando la ecuación a la cuenca, siendo el perímetro de la misma de 136,57 km, el índice de circularidad de Miller es de 0,314, lo que indica que la cuenca es alargada.

Haciendo caso a las clasificaciones utilizadas desde el punto de vista de la forma, se puede concluir que la cuenca objeto de estudio tiende a ser alargada, lo que significa que en este tipo de cuencas, el tiempo del viaje del agua es más largo que en cuencas más ensanchadas, esto contribuye a que los picos de crecida son menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas.

7.4.2 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

A partir del mapa topográfico de la zona de estudio y mediante un modelo de elevación digital se ha construido el mapa de pendientes de la cuenca del Valle de Casablanca.

Para el cálculo del modelo de elevación se han utilizado herramientas de interpolación de manera que se crea una superficie continua a partir de muestras discretas con valores medidos, tales como la elevación. Hay varias herramientas de interpolación, y cada una de ellas incorpora una variedad de parámetros que influyen la superficie de salida.

El método de interpolación utilizado es el llamado interpolación de vecinos naturales que calculan los valores de superficie de cada celda mediante el valor y la distancia de los puntos cercanos, en el que los puntos de datos utilizados para interpolar los valores de superficie de cada celda se identifican y ponderan mediante una triangulación Delauney.

La **Figura 7-10** muestra el modelo de elevación de la cuenca hidrológica.

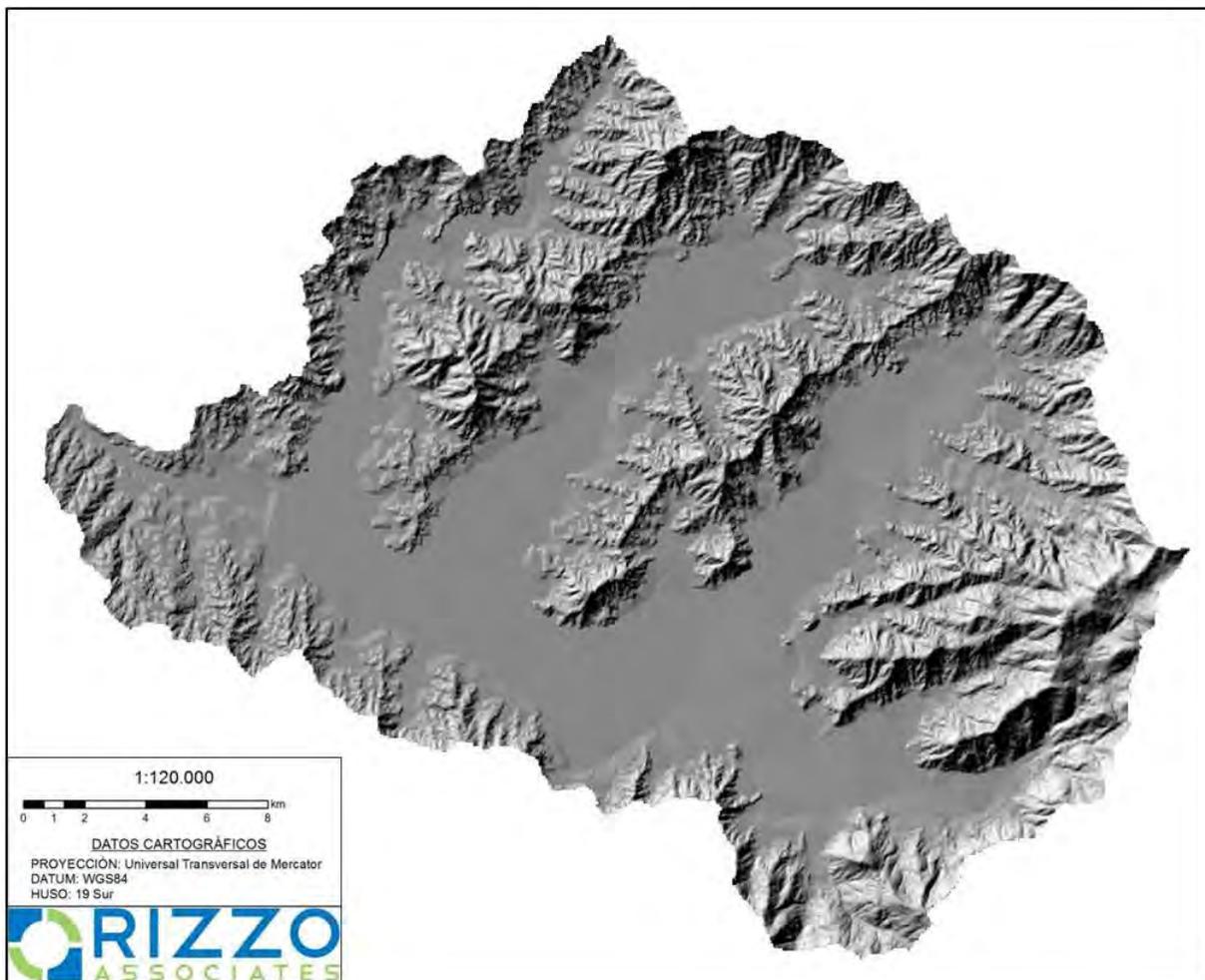


FIGURA 7-10 MAPA DE SOMBRAS OBTENIDO A PARTIR DEL MDE DE LA CUENCA

En la **Figura 7-11**, se muestra el mapa de pendientes, obtenido mediante el cálculo de la tasa máxima de cambio de una celda en relación a sus vecinas, que se utiliza por lo general para indicar la pendiente del terreno a partir del modelo de elevación. El

resultado es una capa raster de pendientes en porcentaje que por defecto toma colores del verde al rojo como se muestra a continuación.

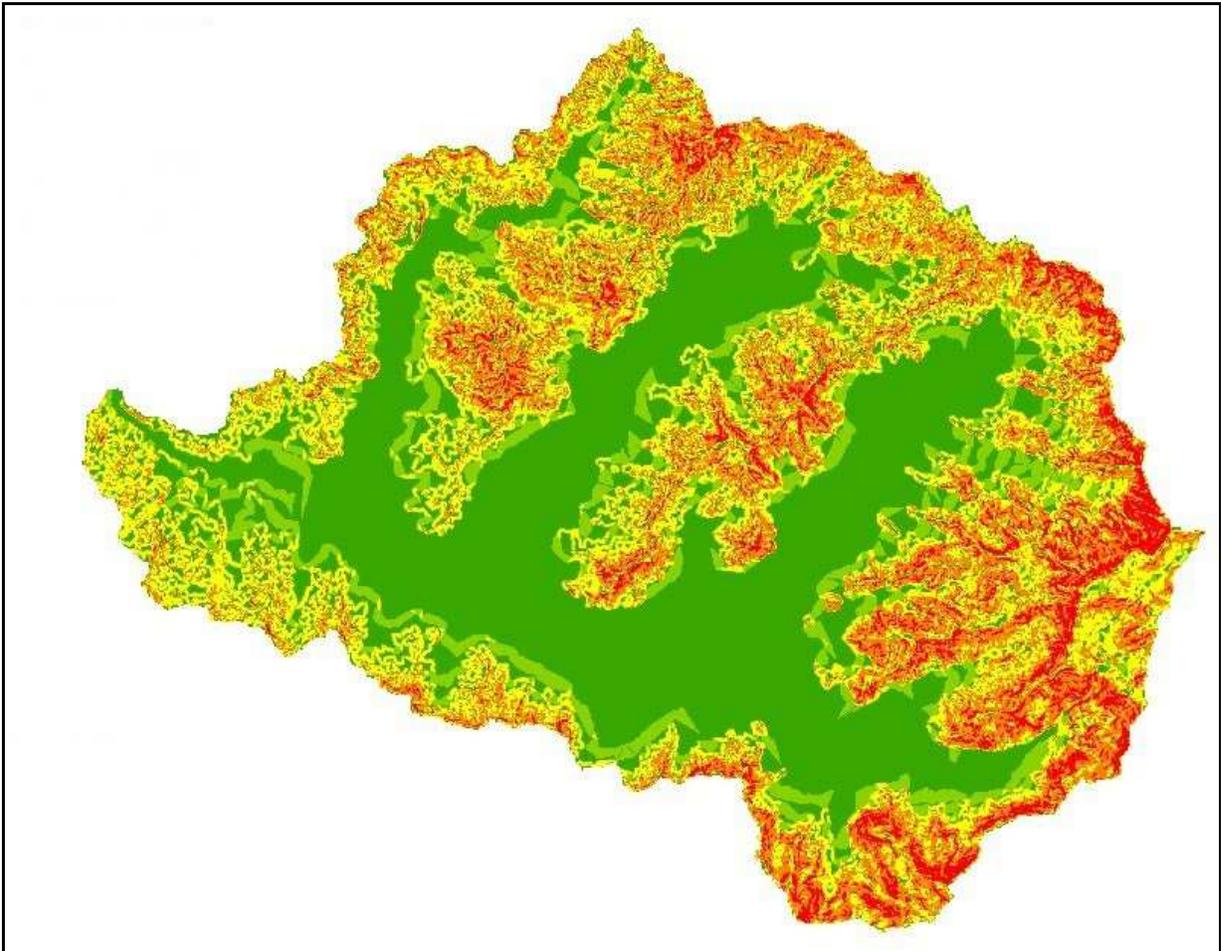


FIGURA 7-11 MAPA RASTER DE PENDIENTES DE LA CUENCA

Finalmente se obtiene el mapa con la distribución de las pendientes en la cuenca hidrológica que se muestra en la **Figura 7-12**.

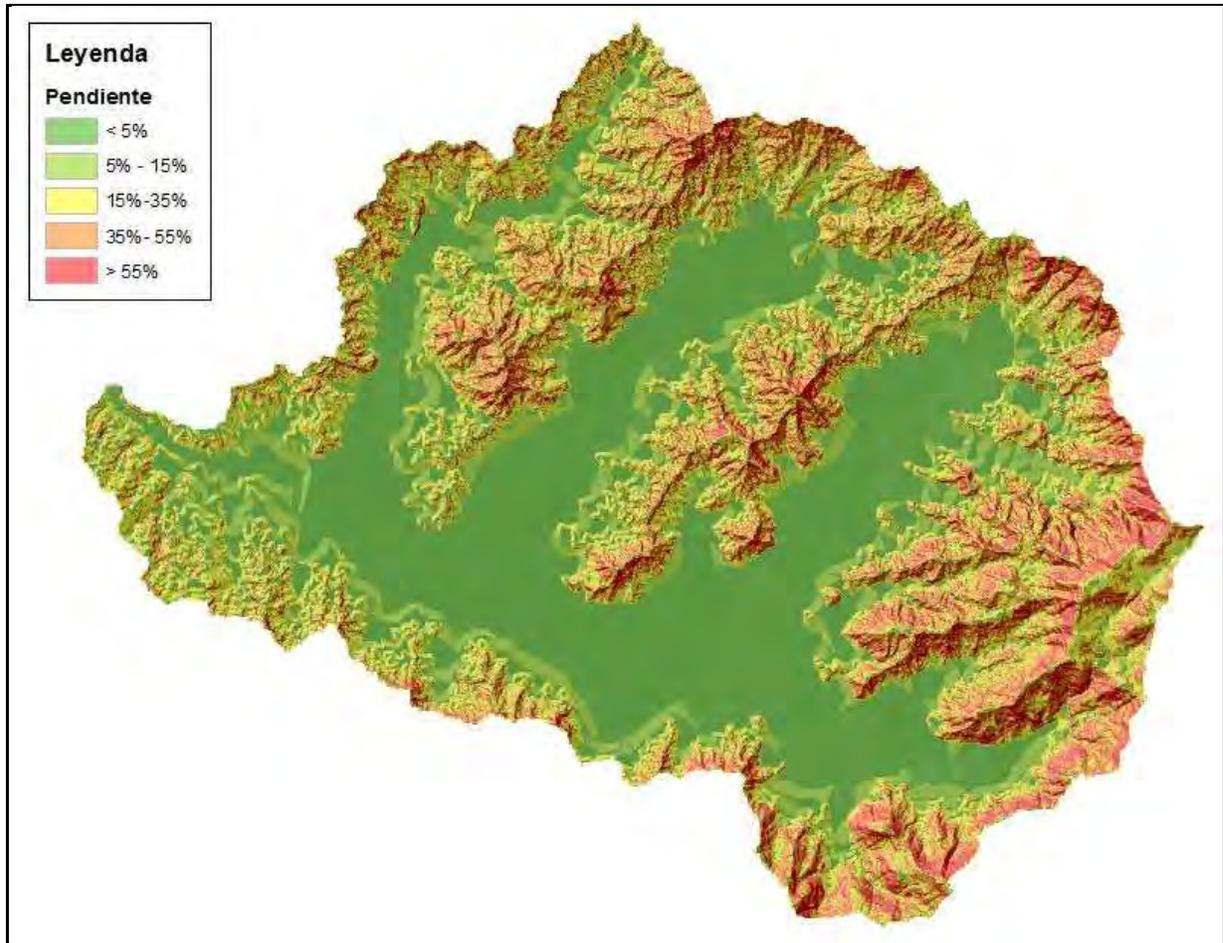


FIGURA 7-12 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES

A partir de estos mapas se ha calculado la pendiente media de la cuenca, siendo esta del 19,7%, clasificando la zona según Pérez (1979) en un terreno fuertemente accidentado.

7.4.3 HIPSOMETRÍA

Se realizaron las curvas hipsométricas de las cuencas hidrológicas correspondientes a cada sector acuífero (**Figuras 7-13 a 7-16**).

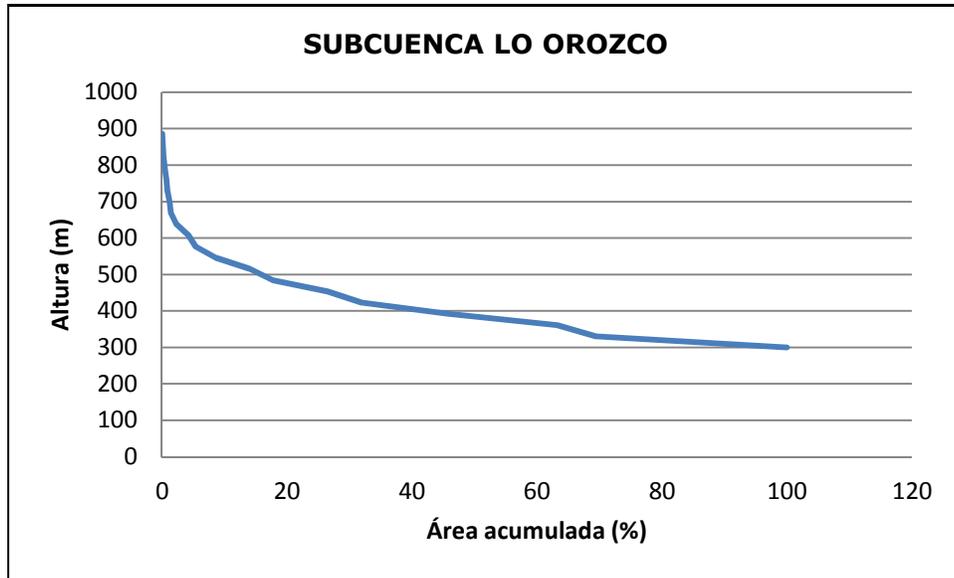


FIGURA 7-13 CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LO OROZCO

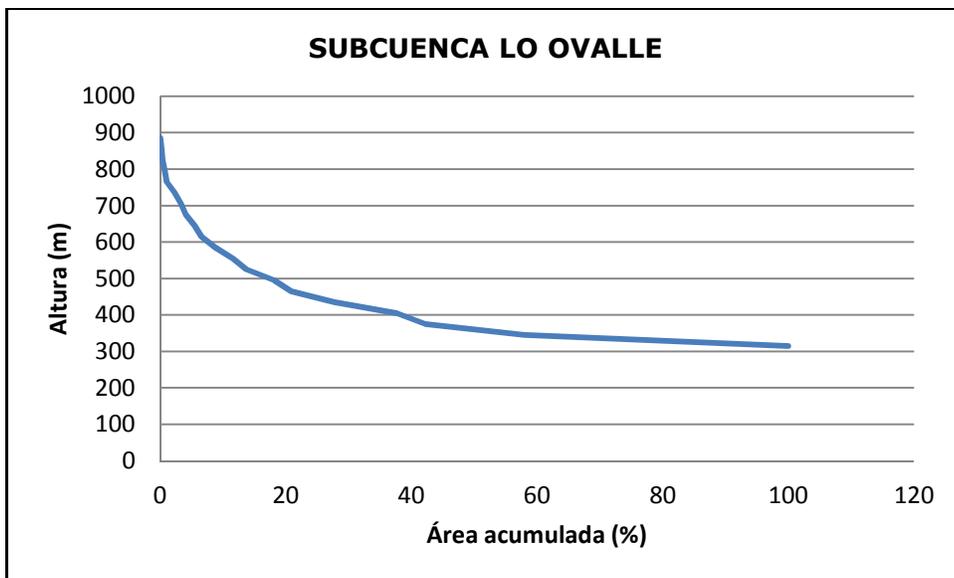


FIGURA 7-14 CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LO OVALLE

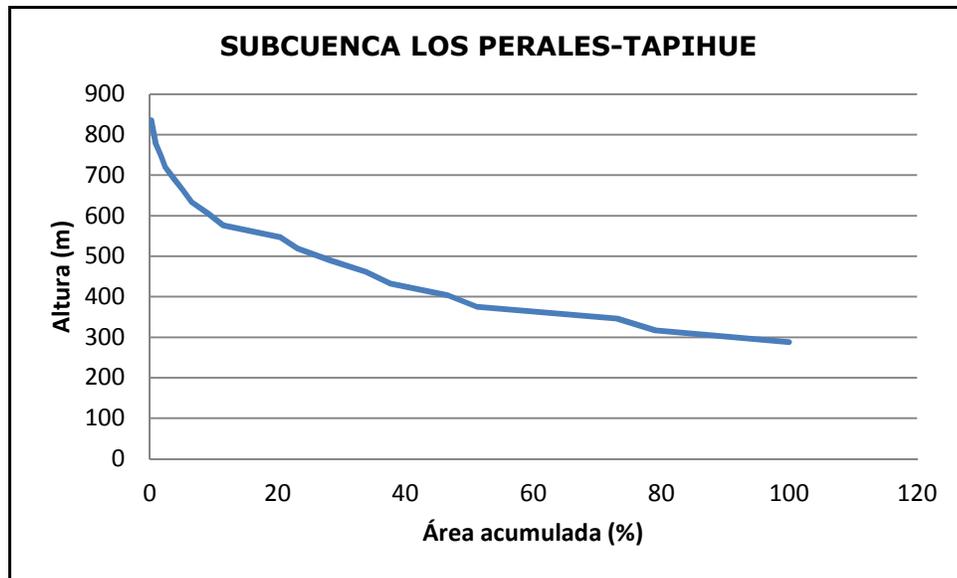


FIGURA 7-15 CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LOS PERALES-TAPIHUE

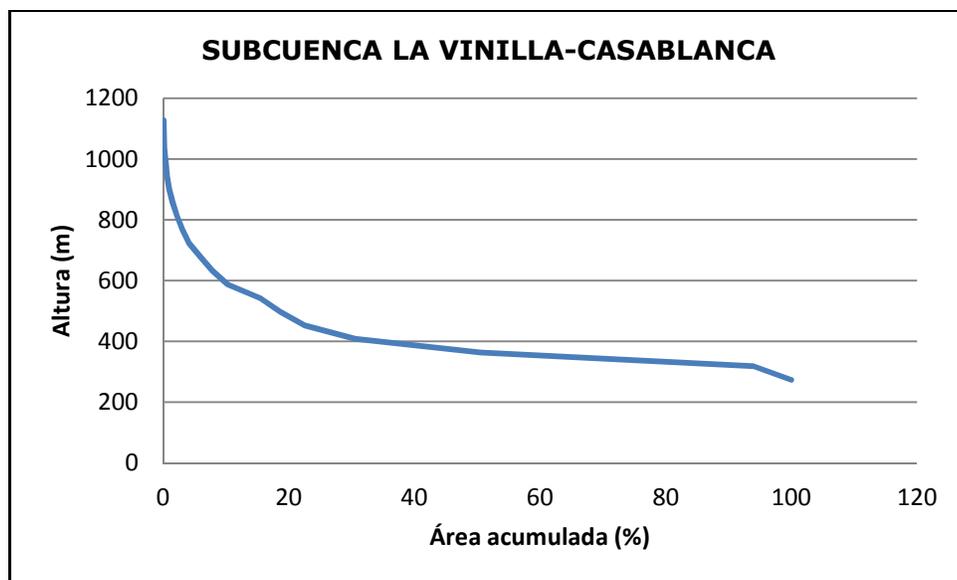


FIGURA 7-16 CURVA HIPSOMÉTRICA CUENCA LA VINILLA-CASABLANCA

Se observa la misma tendencia en todas las subcuencas, se trata de cuencas erosionadas, típicas de cuencas de valle o planicie, con valles extensos. Se corresponde con lo observado en terreno. Las diferentes subcuencas y la cuenca del Valle de Casablanca en general es una cuenca madura, donde se observan extensos valles.

Del análisis de las curvas se deduce que el 50% por ciento de las cuencas se encuentran a una altitud entre 300 y 400 metros, siendo ese rango la altitud media en todas ellas.

8 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y MODELO CONCEPTUAL

8.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A partir de las características geológicas del área, la campaña geofísica realizada, la información disponible de pruebas de bombeo de los pozos construidos, así como las columnas litológicas correspondientes, se han caracterizado los distintos materiales existentes en la cuenca desde el punto de vista hidrogeológico.

Se ha definido una única unidad hidrogeológica, entendiendo por unidad hidrogeológica el conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene estudiar conjuntamente. Se considera una unidad porque están conectados de forma que su funcionamiento (entradas, salidas, balance) hay que estudiarlo de forma conjunta. En la zona de estudio, la unidad hidrogeológica está 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 y su importancia radica en que impide la entrada por infiltración del agua procedente de las precipitaciones y escorrentía. En la **Figura 8-1** se presenta el espesor saturado de la unidad, obtenido a partir de los resultados obtenidos durante la campaña de terreno realizada por Rizzo entre los meses de Septiembre y Octubre de 2014.

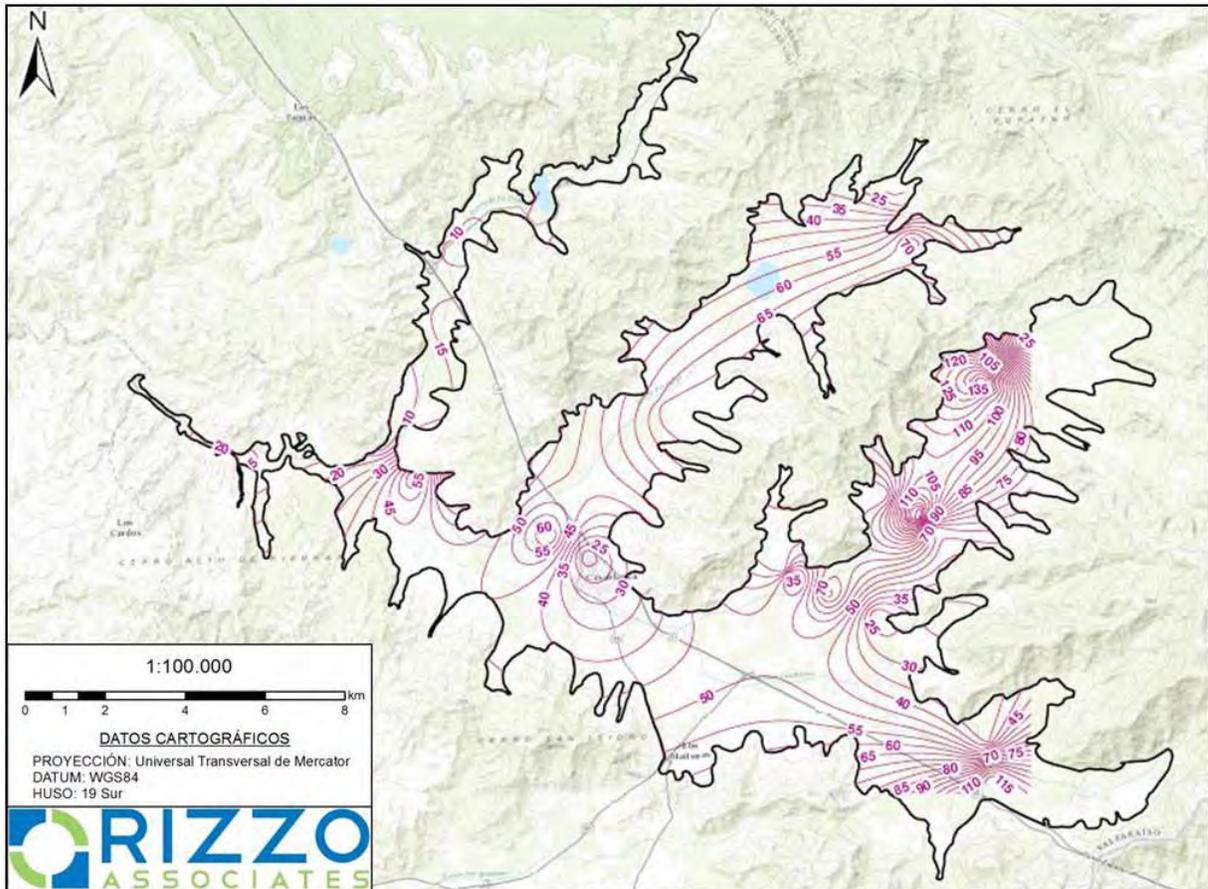


FIGURA 8-1 MAPA DE ESPESOR SEDIMENTARIO SATURADO. ELABORACIÓN PROPIA

A partir de la **Figura 8-1**, es evidente que de los cuatro valles, los de mayor importancia hidrogeológica son los de La Vinilla-Casablanca y Los Perales de Tapihue, confirmándose que en ellos se presenta la mayor potencia del relleno sedimentario, y el mayor espesor saturado.

En el sector de La Vinilla-Casablanca, se observa que es en la cabecera del valle donde se alcanzan los mayores espesores saturados. En esta zona, la formación acuífera muestra un predominio de capas de material permeable (gravas y arenas), con intercalaciones de materiales impermeables o semipermeables. Hacia el sector occidental del valle, la formación acuífera muestra una disminución del número de capas permeables además de una menor potencia del espesor saturado. Los materiales que constituyen la formación acuífera en esta zona son arenas y gravilla o maicillo, con cierto contenido de grava en algunos casos. A lo largo de todo el valle, se observa que los espesores de los estratos permeables de la formación acuífera rara vez superan los 15 m a 20 m, siendo muchos más frecuentes los espesores comprendidos entre 2 m. y 5 m.

El sector de Los Perales de Tapihue presenta formaciones acuíferas de naturaleza lenticular, semejantes a las observadas en La Vinilla-Casablanca, y es en este sector donde el acuífero presenta los mayores espesores en general, alcanzando espesores entre 70 y 135 metros. La formación acuífera está compuesta fundamentalmente por arenas gruesas y finas, con algo de grava. La mayor potencia del relleno sedimentario, se encontraría aguas abajo del embalse Los Perales.

En el caso de Lo Ovalle y Lo Orozco, las características acuíferas son claramente inferiores a la de los valles anteriormente referidos, debido a su menor ancho, una menor potencia del espesor saturado y a las características de los estratos permeables.

La presencia de un estrato superficial arcilloso explica el dominio de napas confinadas a lo largo de los cuatro valles en los que se estructura la cuenca del Estero Casablanca, observándose la existencia de napas libres sólo en los sectores de recarga de estas formaciones acuíferas (conos de deyección en faldeos laterales de la cuenca) y en algunos otros puntos aislados. En este sentido cabe comentar que estos conos de deyección son más abundantes en el valle de Los Perales de Tapihue.

Por otro lado, 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.

8.2 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO

La determinación de la posición del basamento y por tanto la geometría de la unidad acuífera, se ha realizado principalmente con la interpolación de los perfiles geofísicos obtenidos durante esta campaña de terreno y con los resultados de los SEV realizados en estudios anteriores.

En la **Figura 8-2**, se puede observar la ubicación de los perfiles gravimétricos de la Campaña de Prospección Geofísica desarrollada por Rizzo en Octubre de 2014.

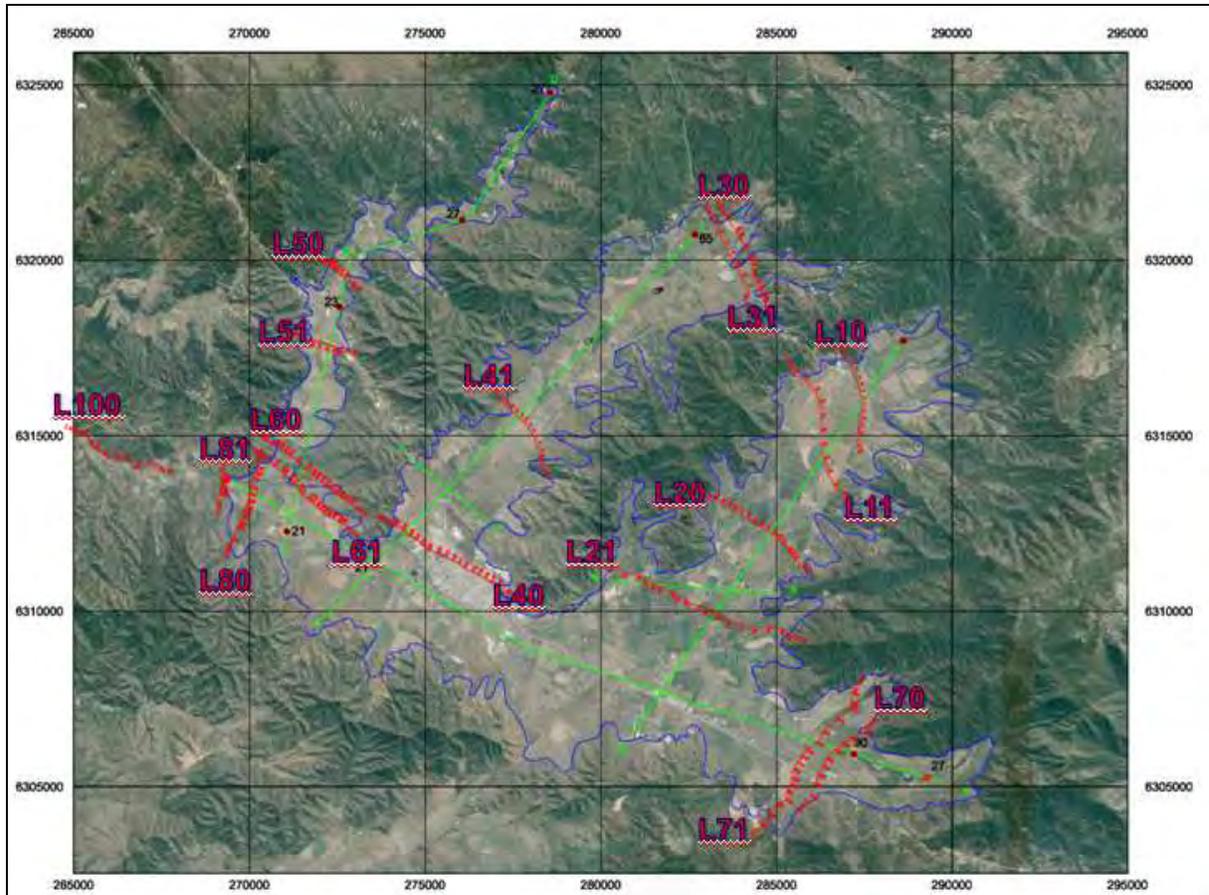


FIGURA 8-2 UBICACIÓN DE LOS PERFILES GRAVIMÉTRICOS

Se ha incorporado además la posición del nivel estático obtenido durante la campaña de terreno, obteniendo de esta manera un perfil hidrogeológico que muestra el espesor saturado del acuífero.

A partir de estos datos, se ha calculado el área de cada sección.

En la **Figura 8-3** se muestra el mapa con la posición del Basamento.

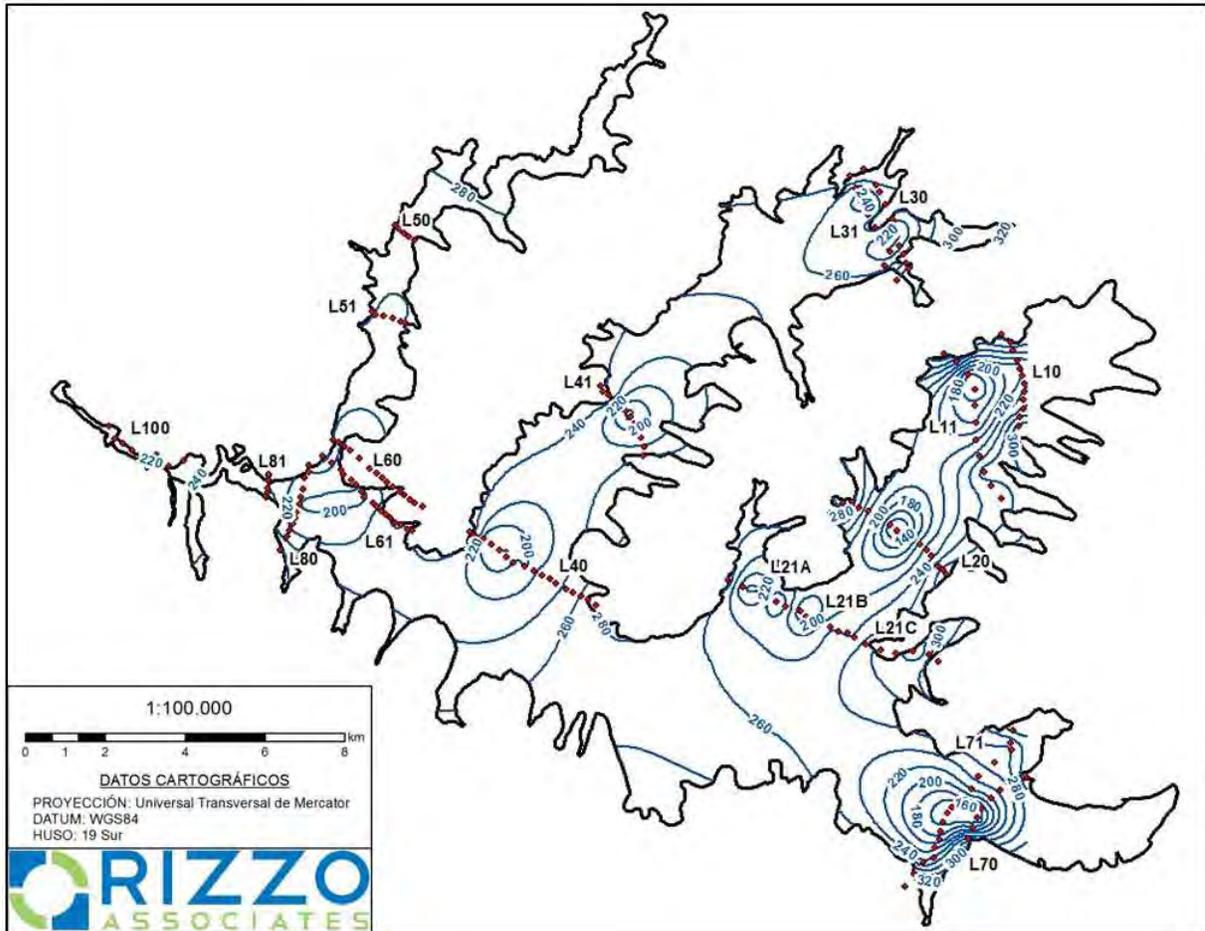


FIGURA 8-3 MAPA ESTRUCTURAL REFERIDO AL TECHO DEL BASAMENTO HIDROGEOLÓGICO

La profundidad del basamento oscila entre un máximo de profundidad de 178 m alcanzados en la Perfil geofísico L 70 situado en el sector La Vinilla-Casablanca y un mínimo de 69 m alcanzados en la Perfil Geofísico L 61 situado en el sector de Lo Orozco

En la **Tabla 8-1** se presenta un resumen de las profundidades máximas obtenidas para el basamento en los diferentes sectores.

TABLA 8-1 PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA

SECTOR	LÍNEA GEOFÍSICA	PROFUNDIDAD BASAMENTO MÁXIMA (m)	PROFUNDIDAD BASAMENTO MEDIA (m)
Lo Orozco	L50	16,5	7,2
	L51	19,4	10,7
	L60	33,8	11,5
	L61	69,1	32,7
Lo Ovalle	L31	95,3	51,6
	L30	94,3	44,2
	L41	96,4	47,9
	L40	83,2	35,4
Los Perales	L10	107,8	56,5
	L11	171	77,8
	L20	169,3	72,0
	L21A	81,7	42
	L21B	97	47,9
	L21C	45,3	19,0
La Vinilla-Casablanca	L70	177,5	78,0
	L71	169,8	86,6
	L80	58,7	36,6
	L81	13,5	5,0
	L100	32,4	15,7

A partir de la información obtenida, se han realizado cortes que se corresponden con las líneas de gravimetría, con información hidrogeológica de las secciones interpretadas a partir de los datos de los perfiles de Geofísica mostrados en la **Figura 8-2**

En las **Figuras 8-4 a la 8-22** se muestran los cortes obtenidos a partir de los perfiles gravimétricos.

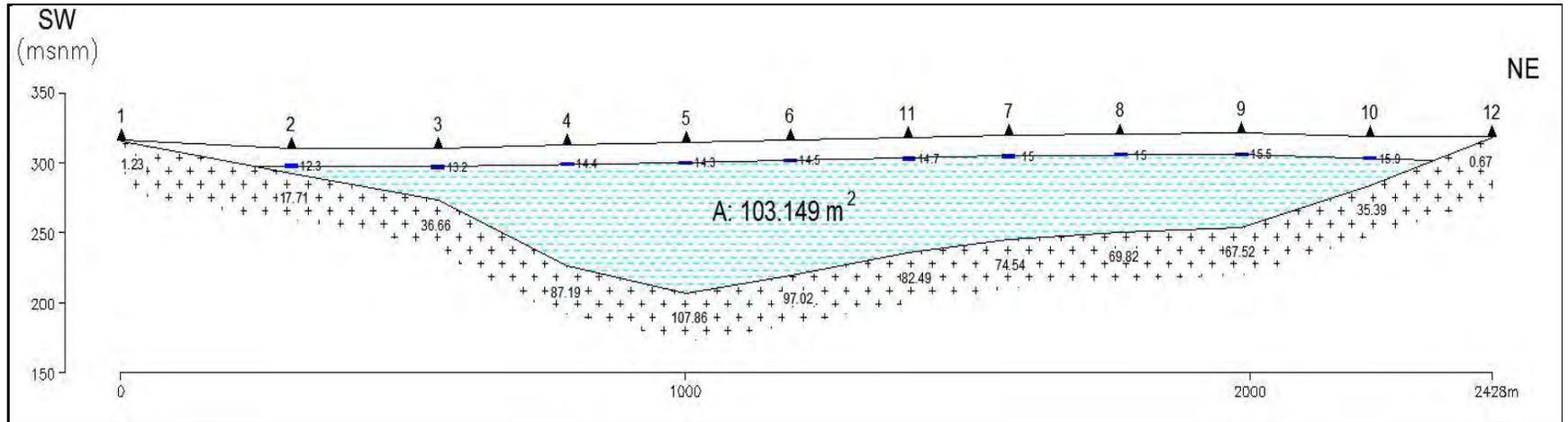


FIGURA 8-4 MODELO DE CUENCA LÍNEA 10

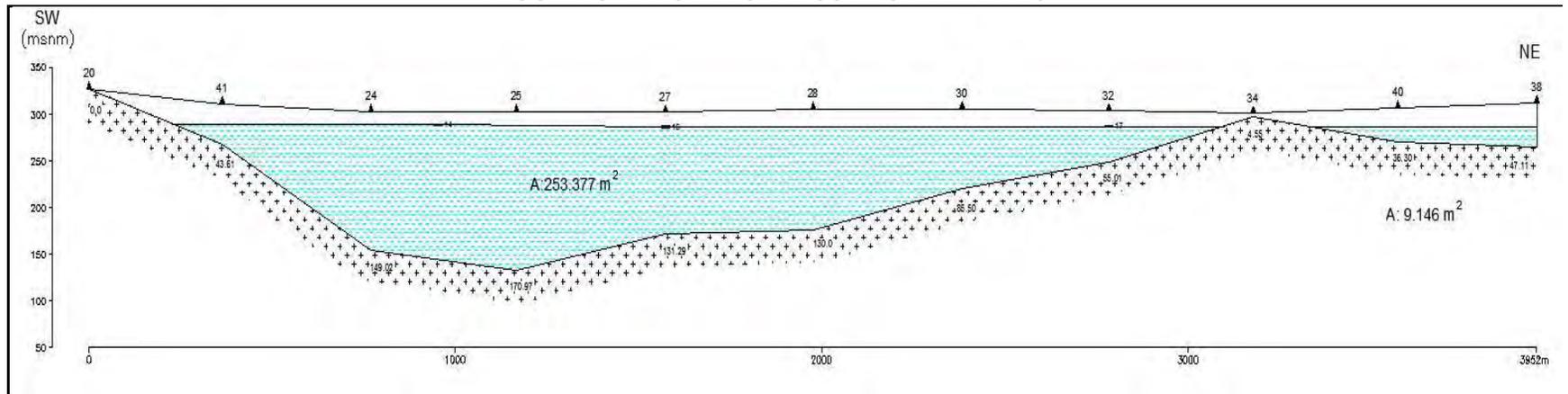


FIGURA 8-5 MODELO DE CUENCA LÍNEA 11

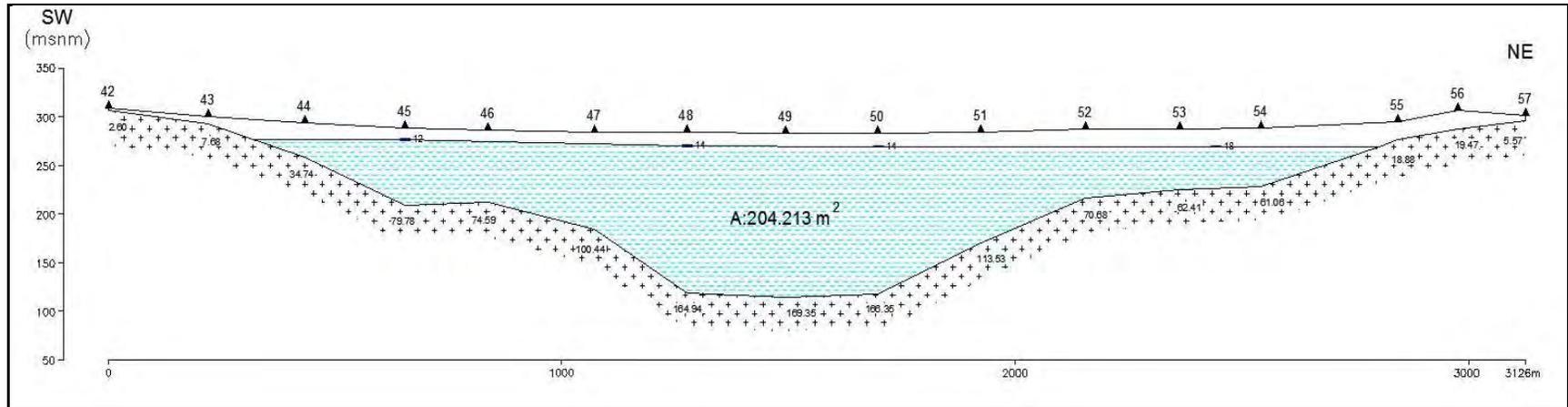


FIGURA 8-6 MODELO DE CUENCA LÍNEA 20

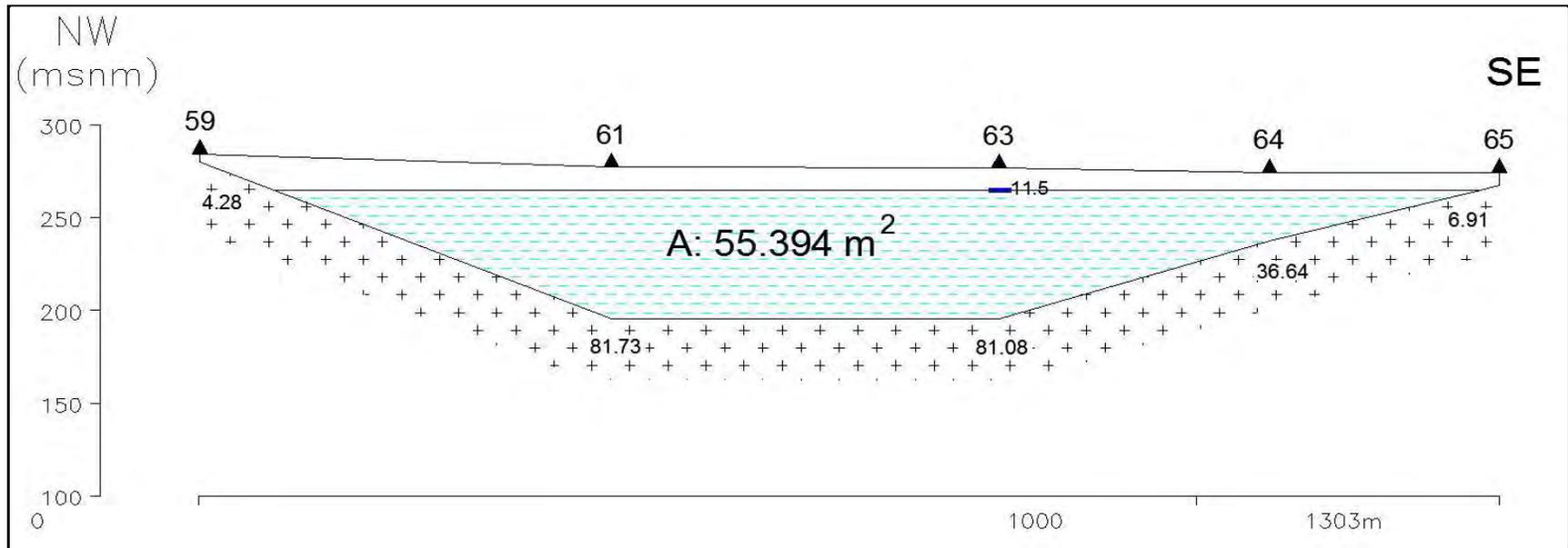


FIGURA 8-7 MODELO DE CUENCA LÍNEA 21 A

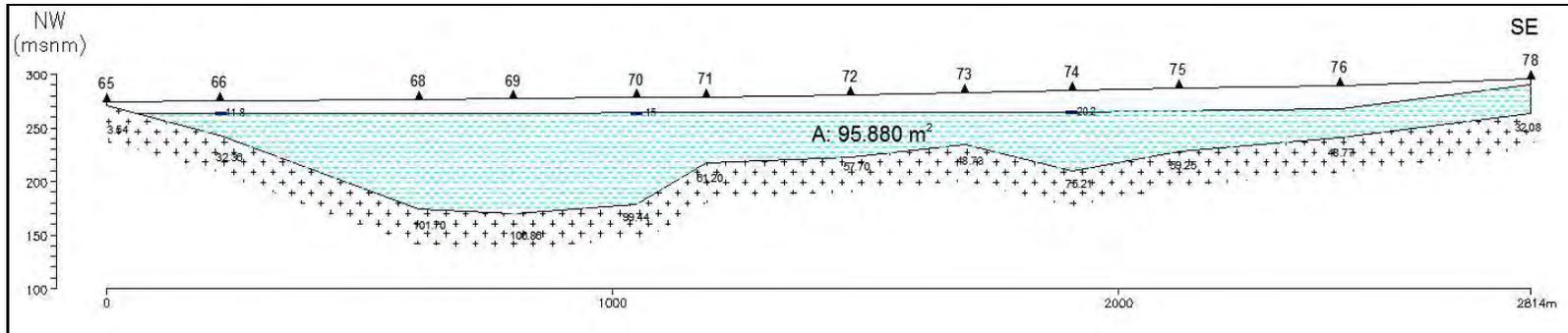


FIGURA 8-8 MODELO DE CUENCA LÍNEA 21 B

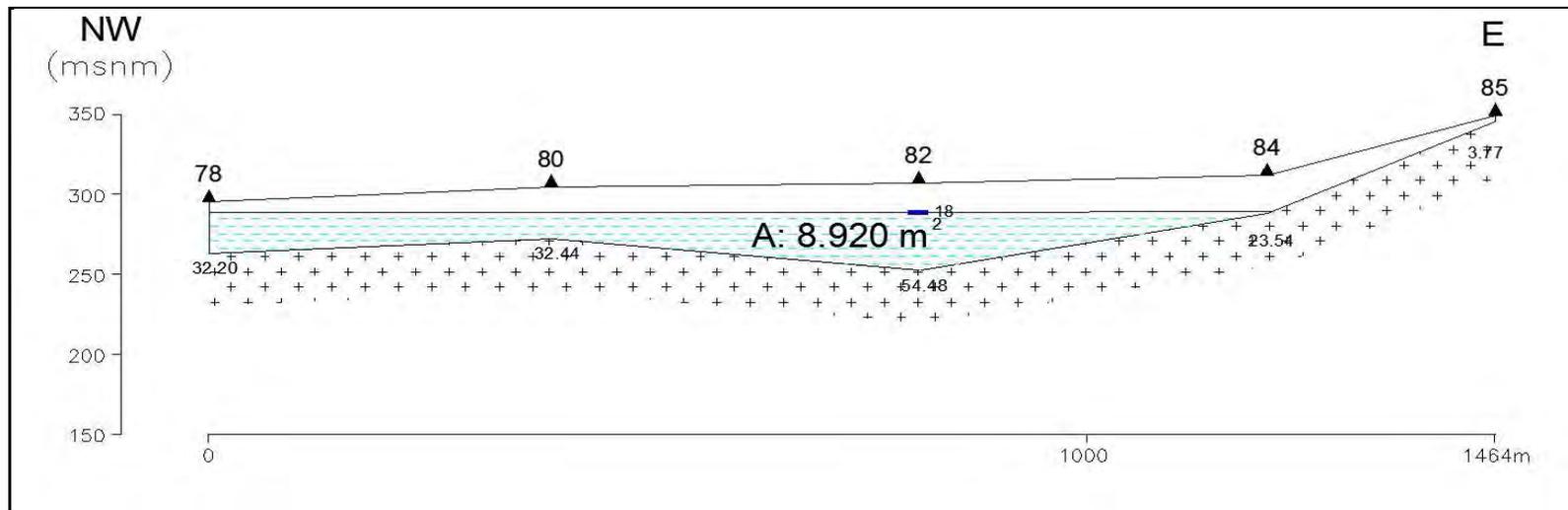


FIGURA 8-9 MODELO DE CUENCA LÍNEA 21 C

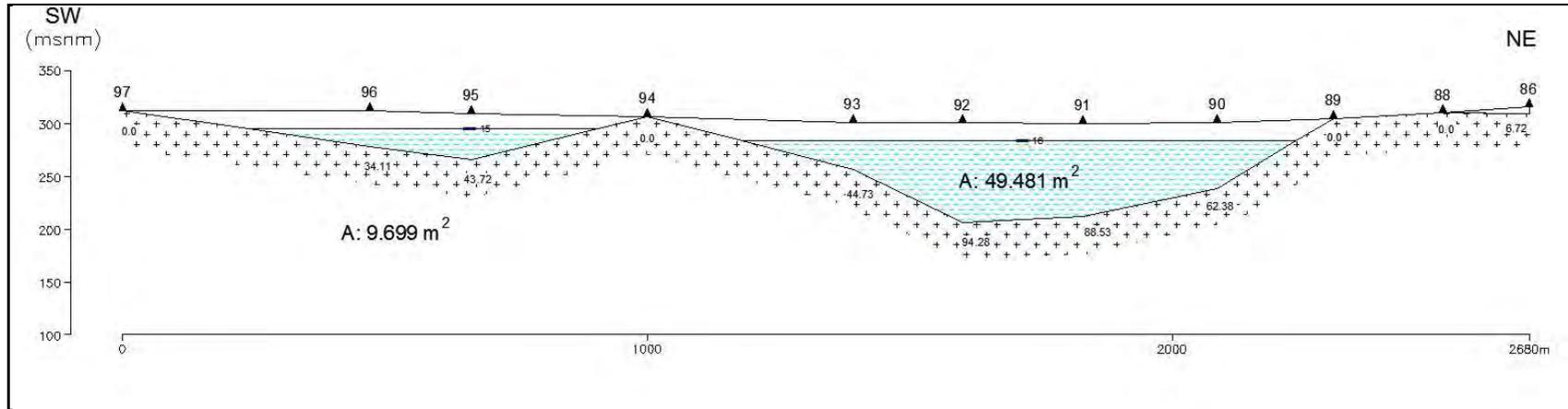


FIGURA 8-10 MODELO DE CUENCA LÍNEA 30

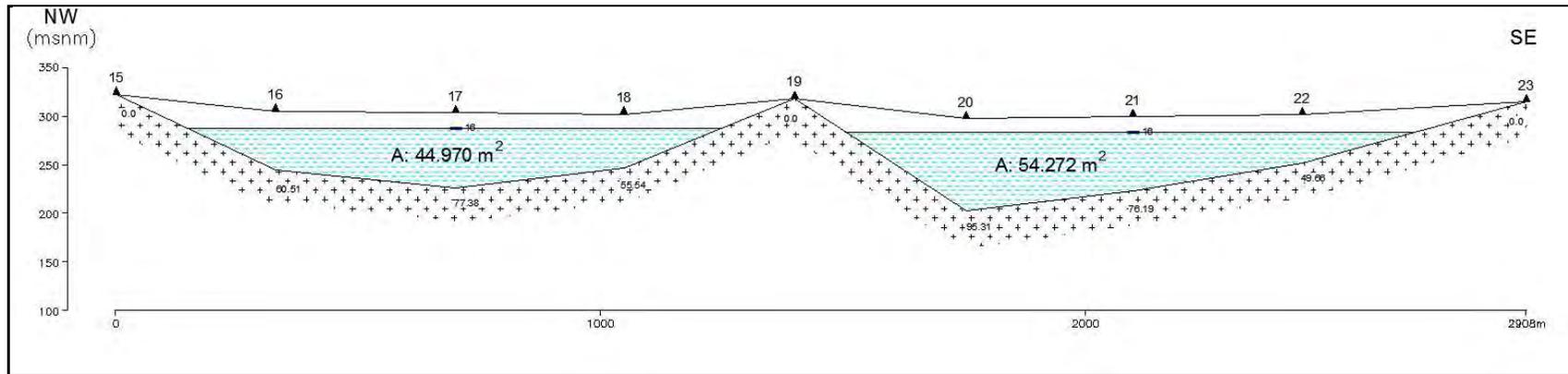


FIGURA 8-11 MODELO DE CUENCA LÍNEA 31

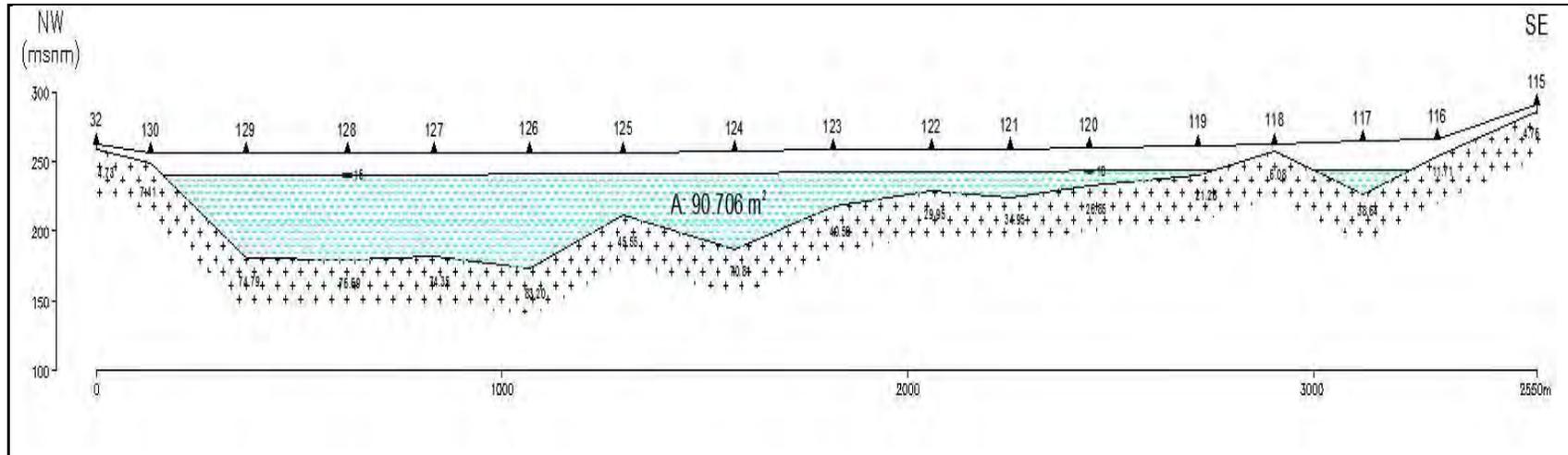


FIGURA 8-12 MODELO DE CUENCA LÍNEA 40

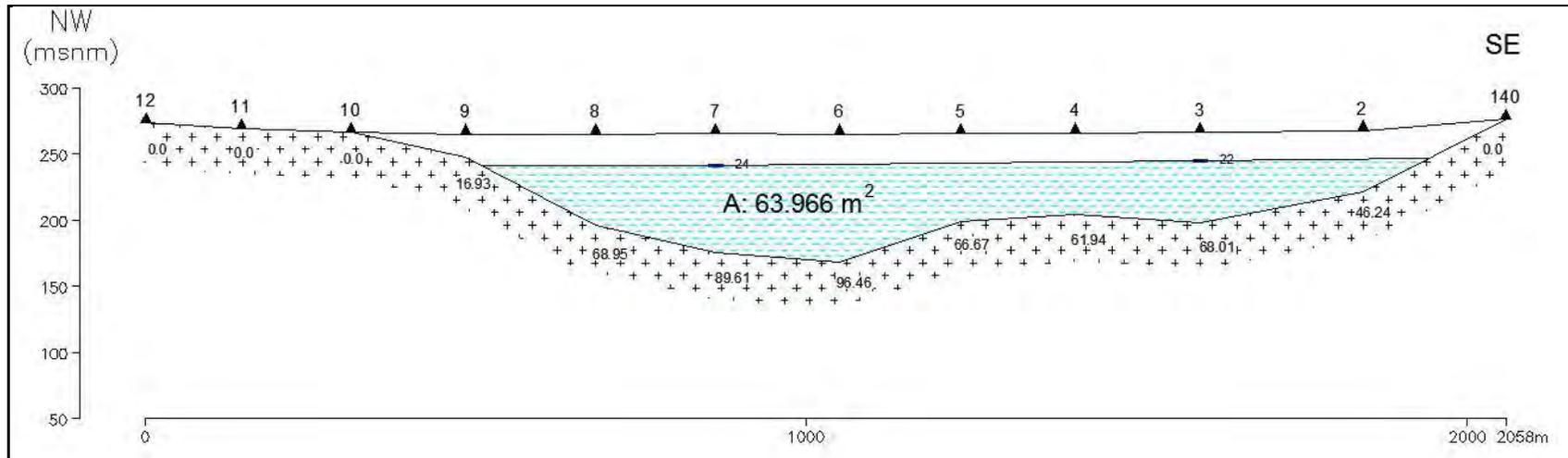


FIGURA 8-13 MODELO DE CUENCA LÍNEA 41

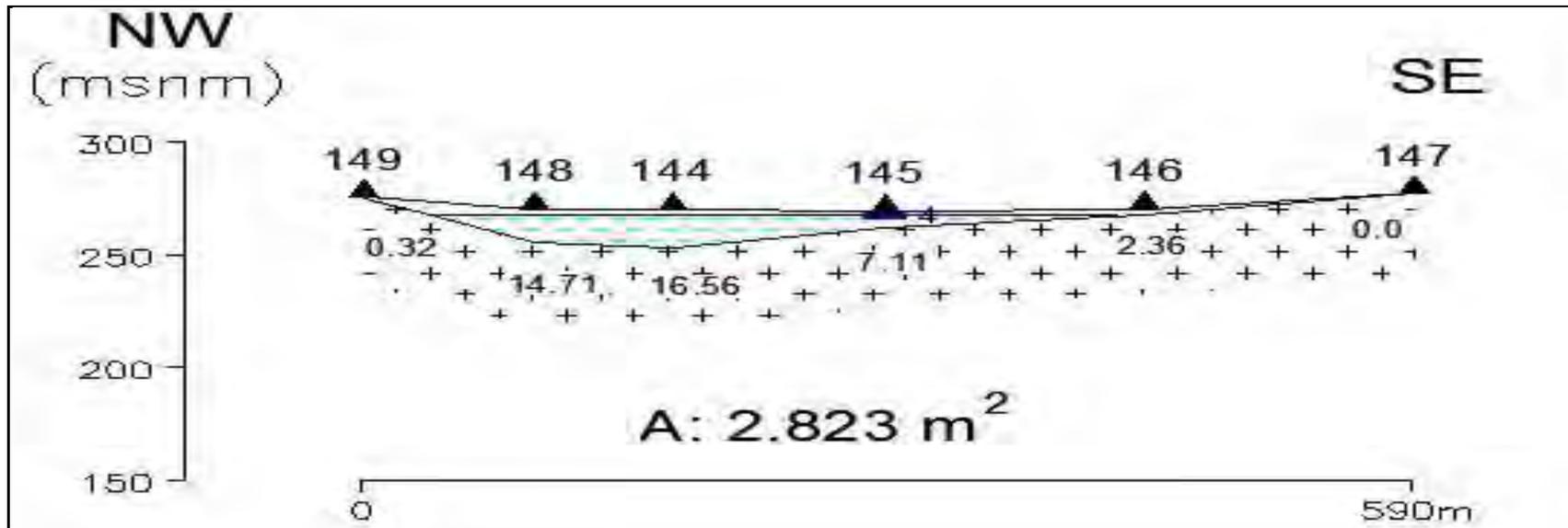


FIGURA 8-14 MODELO DE CUENCA LÍNEA 50

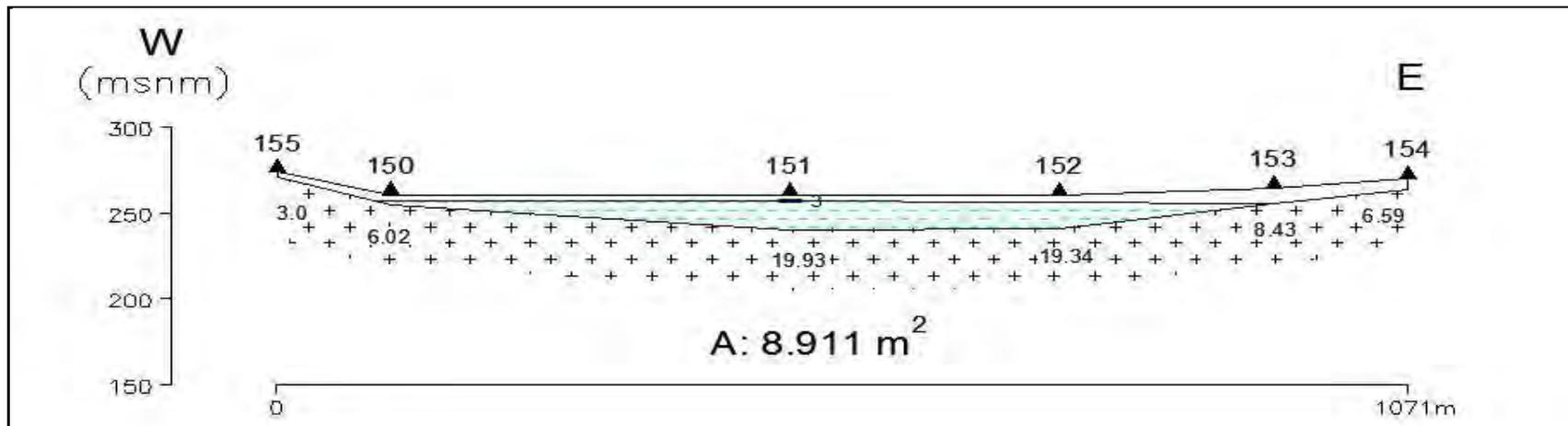


FIGURA 8-15 MODELO DE CUENCA LÍNEA 51

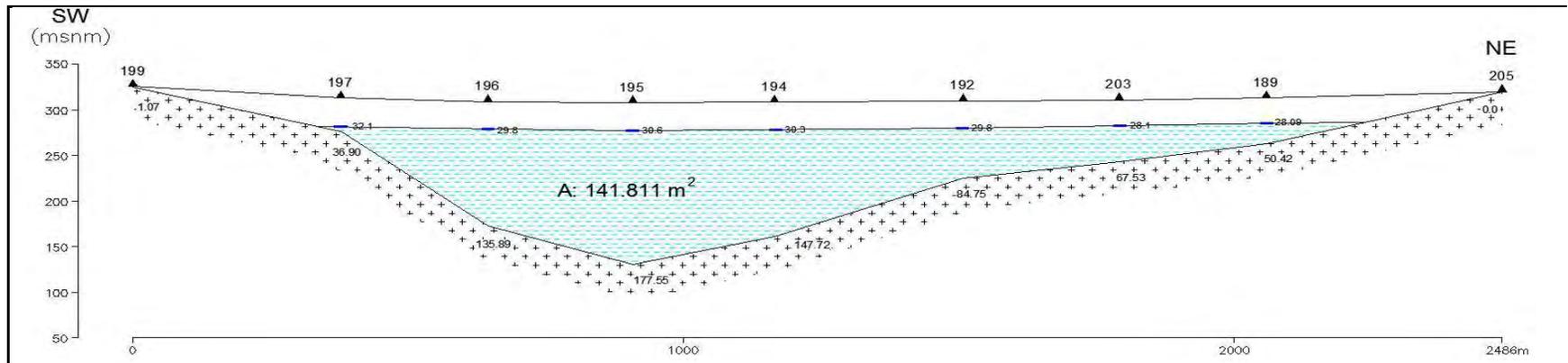


FIGURA 8-18 MODELO DE CUENCA LÍNEA 70

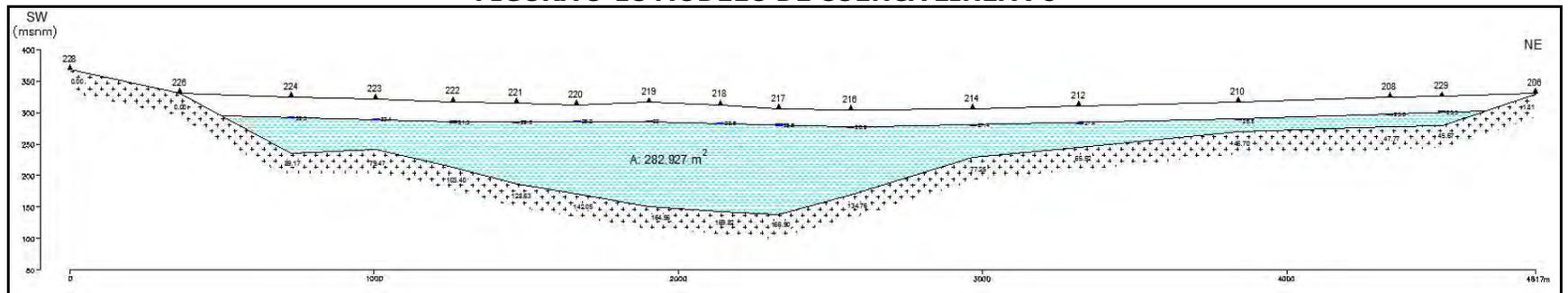


FIGURA 8-19 MODELO DE CUENCA LÍNEA 71

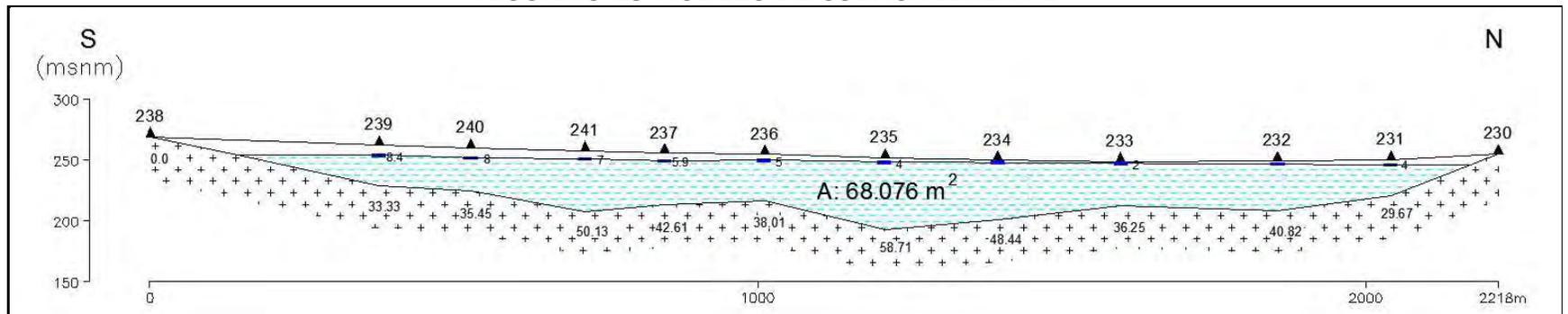


FIGURA 8-20 MODELO DE CUENCA LÍNEA 80

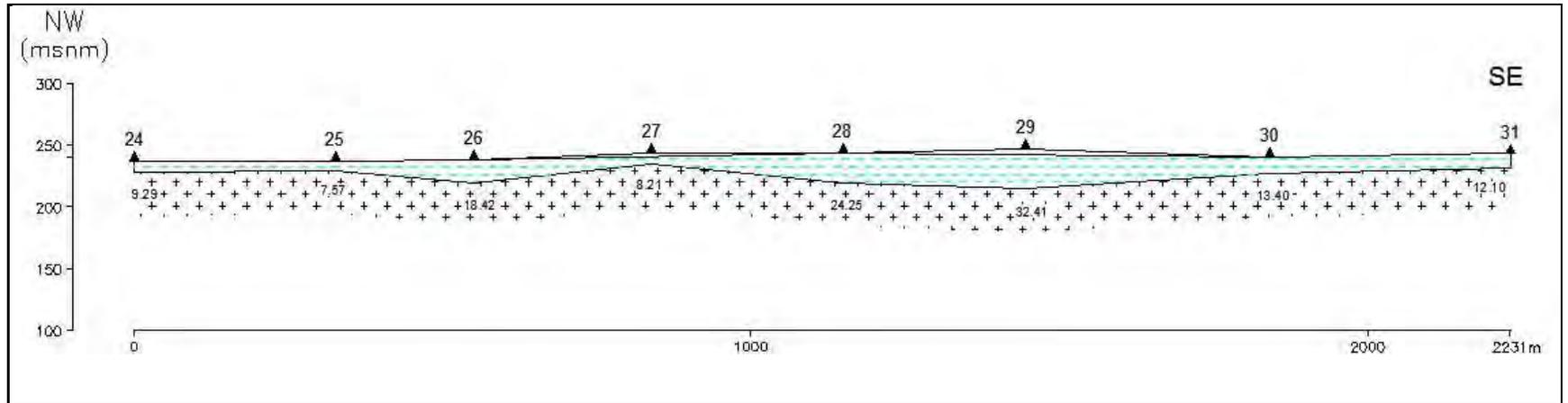


FIGURA 8-21 MODELO DE CUENCA LÍNEA 100

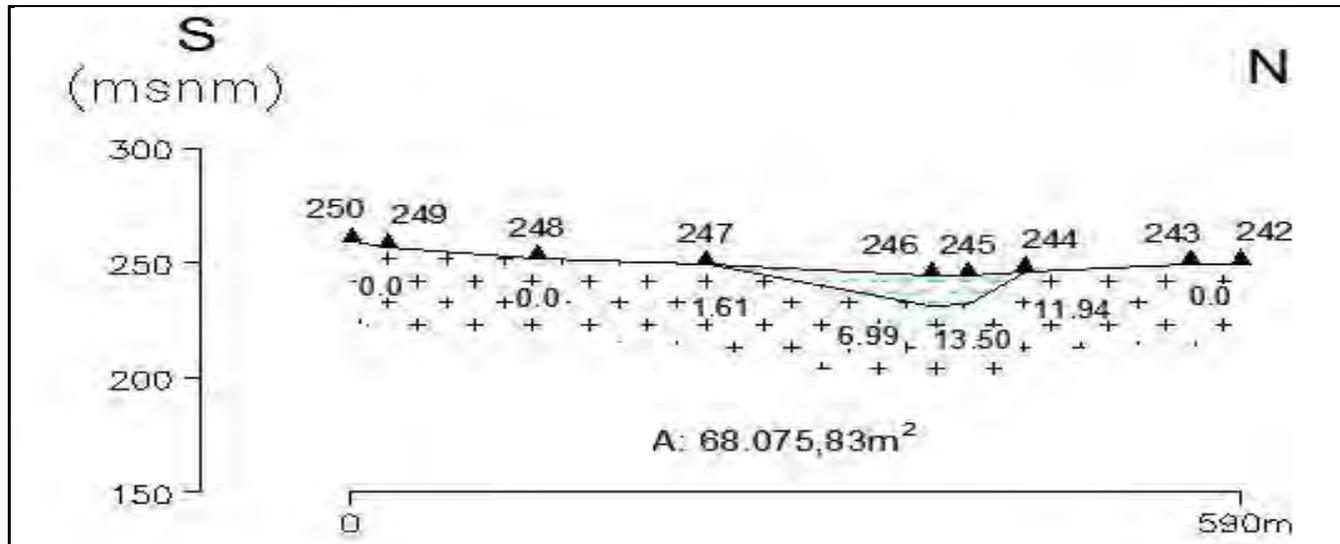


FIGURA 8-22 MODELO DE CUENCA LÍNEA 81

8.3 DELIMITACIÓN DE ZONAS ACUÍFERAS

Para facilitar el estudio y el comportamiento de la cuenca del Valle de Casablanca, se ha dividido el acuífero en sectores. Esta división facilita el cálculo de los balances para cada zona, necesarias para la modelación matemática de la cuenca.

La delimitación se estableció en conjunto con la inspección fiscal de la DGA.

La **Figura 8-23** muestra las zonas acuíferas en las que se dividió la cuenca, a efectos de facilitar los cálculos y simplificar el funcionamiento subterráneo del flujo.

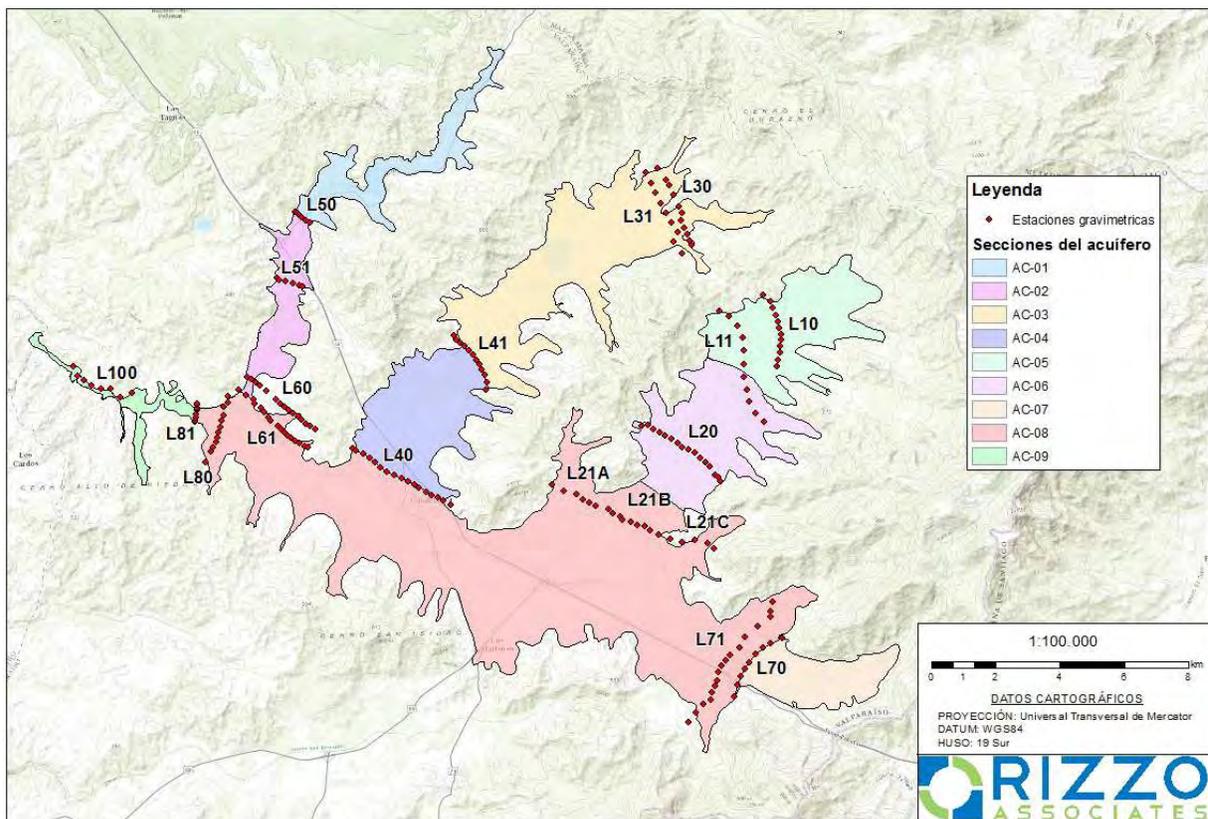


FIGURA 8-23 SECTORES ACUÍFEROS EN LOS QUE SE HA DIVIDIDO LA CUENCA. ELABORACIÓN PROPIA

La selección de los límites adoptados entre cada acuífero obedece a la disposición de información geofísica (Gravimetrías realizadas en la Campaña de Prospección de RIZZO en 2014), como se observa en la **Figura 8-23**, coincidente con los límites superior e inferior de los acuíferos, que permiten conocer las secciones de flujo subterráneo y calcular su caudal.

8.4 CÁLCULO DE FLUJOS SUBTERRÁNEOS

Se ha estimado la recarga lateral de los distintos acuíferos en los que se dividió la cuenca para facilitar los cálculos mediante la aplicación de la ley fundamental que regula el flujo subterráneo, la Ley de Darcy.

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Donde:

Q: Es el caudal subterráneo o volumen de agua medido en que atraviesa una sección total de la capa acuífera, o sección de flujo, normal a la dirección de flujo en la unidad de tiempo

i : Es el gradiente hidráulico el cual expresa, en unidades de longitud, las pérdidas de carga hidráulica que se necesita para trasladar una unidad de masa desde un punto a otro del acuífero en el intento de vencer las fuerzas de rozamiento y retardo viscoso del agua sobre el medio poroso. Es adimensional.

A: Es el área total de la sección de flujo.

K: Es la Permeabilidad horizontal o Conductividad hidráulica expresada en m/día o cm /seg.

El gradiente hidráulico se calcula a partir de los niveles piezométricos medidos en sendos pozos aguas arriba y aguas debajo de la sección de flujo considerada. En la práctica esto es difícilmente posible ya que se debe dar la condición de que ambos pozos de mediciones se encuentren alineados sobre una línea de flujo. Lo corriente es calcularlo mediante el uso del mapa potenciométrico, que permite calcular el gradiente hidráulico medio. Esto es así, puesto que en ciertas circunstancias las líneas equipotenciales contiguas pueden presentar una pequeña divergencia.

La metodología para estimar la recarga por este método es sencilla puesto que se basa en admitir que, en ausencia de bombeos y encontrándose la superficie freática por debajo del nivel de afectación por evaporación de la franja capilar, la diferencia de caudal subterráneo, aguas arriba menos el flujo saliente en una sección aguas abajo, representa la recarga que recibió lateralmente la cuenca sedimentaria, desde las estructuras positivas de relieve que la circundan.

Se han estimado, para los cálculos del flujo subterráneo entre las distintas zonas acuíferas, los aportes laterales de los valles Lo Orozco; Lo Ovalle; Los Perales de Tapihue y del valle central Vinillas-Casablanca para 1991, que por otro lado es el que se toma como inicio de las modelaciones.

El cálculo de los aportes laterales se realizó a partir del mapa de Isopezas tomado del Informe de AC Ingenieros consultores del año 1991. En la **Figura 8-24**, se muestra el mapa utilizado con la ubicación de los pozos de observación de la DGA que disponen de datos históricos de niveles estáticos.

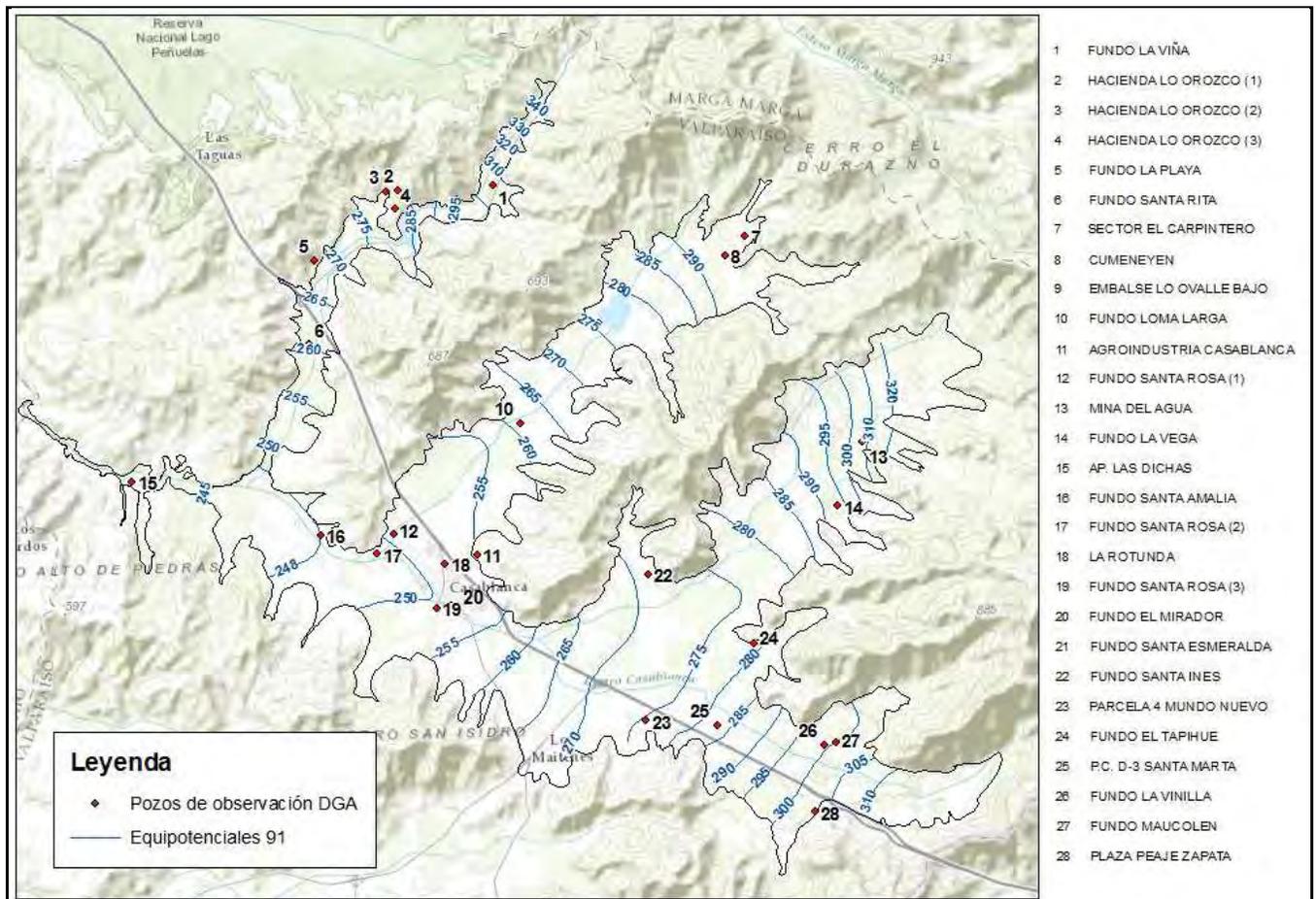


FIGURA 8-24 MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 1991 CON POZOS DE OBSERVACIÓN DE LA DGA

Las áreas de flujo se calcularon a partir de las secciones obtenidas de las líneas gravimétricas obtenidas durante la campaña de geofísica realizada por RIZZO en octubre de 2014. En la **Figura 8-25** se muestran las líneas gravimétricas a partir de las cuales se

calculó el área de las secciones. En el plano se muestra también la división de las zonas acuíferas, donde se realizaron los cálculos de los flujos.

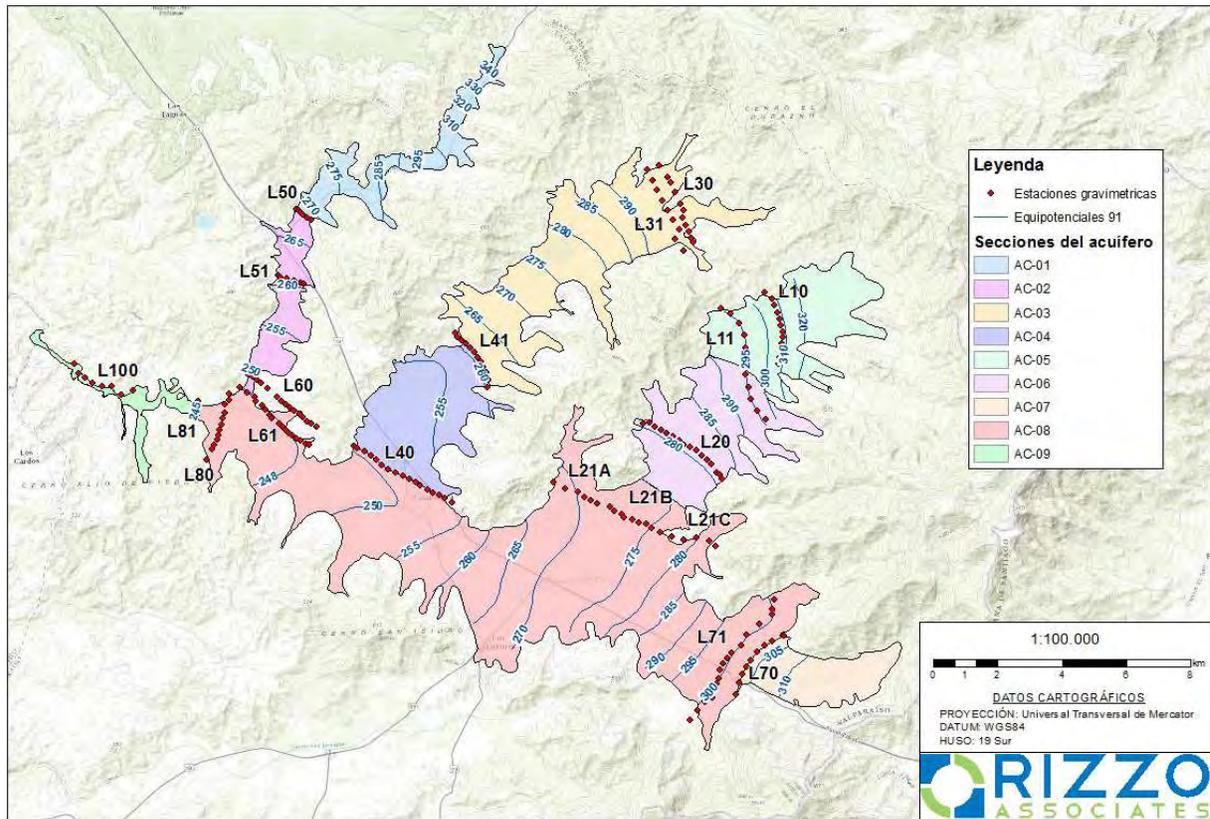


FIGURA 8-25 LÍNEAS GRAVIMÉTRICAS SOBRE MAPA CON LA ZONIFICACIÓN DE LAS ZONAS ACUÍFERAS

Como se mencionara anteriormente, el cálculo mediante la ecuación de Darcy requiere que el gradiente sea calculado en una sección de flujo transversal al mismo. Para los cálculos de caudales subterráneos fue excluida la sección gravimétrica L21 debido a que se dispone transversalmente a las líneas equipotenciales. Para aquellos lugares, donde es necesario calcular el flujo subterráneo de una zona acuífera a otra y no se dispone de secciones geofísicas, como es el caso del acuífero AC-04 y su vinculación con el AC-08 (contacto entre colores malva y rosado, en la desembocadura del valle de Lo Ovalle), se utilizó la siguiente metodología: Se construyó un mapa con las cotas obtenidas en el Catastro de Pozos llevado a cabo por RIZZO durante Septiembre y Octubre 2014, con el cual se puede reconstruir la topografía de la sección y se dispone así mismo del Mapa Isopáquico del Relleno Total Sedimentario 2014, que permite conocer los espesores sedimentarios en cualquier sitio de la zona de estudio. Con la interacción de estos dos

mapas se pudo obtener un perfil de la sección entre los dos acuíferos y calcular el área necesaria para obtener el flujo.

Los datos geométricos de cada acuífero, se utilizan para el modelo integrado MAGIC y son extraídos de los mapas mencionados anteriormente y de los perfiles geofísicos. De esos perfiles se extraen los siguientes parámetros, necesarios para el cálculo del área:

- Sección de Entrada: determinada a través del ancho de la superficie superior (W_s), el ancho de la superficie inferior (W_i) y cotas del techo y base del acuífero,
- Sección de Salida: determinada mediante el ingreso de los respectivos parámetros idénticos a los de la sección de entrada, y
- Largo Equivalente: $Le = \text{Sup del acuífero} * W_s + W_i / 2$

Los gradientes hidráulicos, fueron calculados sobre el mapa de Isopiezas Figura 8-24, y los valores de permeabilidad fueron tomados del Informe Técnico S.I.T N° 97, Diciembre 2004, pág.67

La columna "Flujo subterráneo", expresa el flujo, en lit/seg, entre las secciones de acuíferos indicadas en la columna de la derecha "Flujo entre Acuíferos".

En la **Tabla 8-2** se resumen los valores de flujo obtenidos en cada sección.

TABLA 8-2 RESUMEN DE LOS CÁLCULOS DE FLUJOS SUBTERRÁNEOS EN LAS SECCIONES GRAVIMÉTRICAS

LÍNEA GRAVIMÉTRICA	Área de flujo máximo (m ²)	Permeabilidad Kh(m/d)	Gradiente Hidráulico i (%)	Flujo subterráneo l/s	Flujo entre Acuíferos
Los Perales-Tapihue					
L10	63.967	3,18	4,16 E-3	9,9	
L11 (sección sigmoidal)	235.376	5,17	3,84E-03	41,9	AC-05-AC-06
L20	204.213	6	3,84E-03	53,9	
L 21	133.75	5.17	3,60E-03	28,6	AC-06-AC-08
Vinilla Este					
L70	142.000	7,47	5,00E-03	61,4	AC-07-AC-08
L71	282.297	7,47	6,00E-03	148	
Ovalle					
L30	49.480	3	6,70E-03	11,4	
L31	99.241	3	6,70E-03	23	
L41	66.000	4,3	5,50E-03	18,06	AC-03-AC-04
L40	90.706	41,2	2,77E-03	119,8	AC-04-AC-08
Orozco					
L50	2.822	10,1	4,54E-03	1,5	AC-01-AC-02
L51	8.911	10,1	3,60E-03	3,72	
L61	40.000	6,7	3,18E-03	9,87	AC-02-AC-08
Casablanca Salida Oeste					
L80	68.075	25,8	9,00E-04	18,5	
L81	1.215	41,7	1,00E-03	0,57	AC-08-AC-09

Para el caso de la sección vinculada a la Línea gravimétrica L11, superficie común entre los acuíferos AC 05 y AC06, debido a su trazo sigmoidal, se corrigió el área de flujo afectándola por el sen 45° de modo que se obtenga una superficie virtual transversal al valle

Se estimó el flujo pasante entre ambos acuíferos teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- área transversal a la cuenca sedimentaria del sector saturado (no del total del relleno sedimentario) en la zona de contacto entre AC 05 y AC 06: 214.00 m².
- Ancho base superior= 2500 m ancho (medio)
- base inferior= 800 m
- espesor saturado medio 130 m (se consideró una sección trapezoidal).
- permeabilidad: 5,17 m/día
- gradiente medio: 3,84E-03
- seno 45°= 0,85

Teniendo en cuenta estos parámetros se calculó el caudal emergente de:

- AC 05 a AC 06 = **41,9 l/seg.**

Este valor de flujo deberá considerarse como valor de flujo para MAGIC.

8.5 PARÁMETROS ELÁSTICOS

La definición previa de los parámetros elásticos del sistema hidrogeológico implica la asignación de un valor de permeabilidad y de coeficiente de almacenamiento a cada una de las celdas activas del área de estudio. Estos valores son los de partida del modelo y posteriormente pueden ser modificados a criterio en el proceso de calibración.

La permeabilidad se define como la transmisividad hidráulica dividida por el espesor saturado del acuífero. En el presente estudio se utilizan los valores de transmisividad de extraídos de los expedientes de derechos de agua de la DGA, de los niveles del agua subterránea extraídos de la campaña de Catastro desarrollada por RIZZO en Septiembre- Octubre del 2014, más las transmisividades calculadas recientemente a partir de la reinterpretación de los valores de Bombeo del estudio S.I.T. N°2 de AC Ingenieros Consultores del año 1991, como así también del Informe SIT N°97, pág. 27 de Diciembre del 2004. En el **Anexo 2** se presentan los cálculos y los gráficos correspondientes a dichos ensayos.

Las propiedades hidráulicas analizadas son: Transmisividad (T), Permeabilidad (k) y Coeficiente de Almacenamiento (S).

- **Transmisividad (T)**

La transmisividad de un sistema acuífero, mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario).

La transmisividad para la cuenca de Casablanca fue obtenida de los datos de pruebas de bombeo mediante el uso del software Aquifer Test, donde el valor de transmisividad se obtiene en base a los promedios de los valores que se encuentran dentro de un rango de valores establecidos por los resultados de los distintos métodos que se utilizaron con el software.

Los valores de transmisividad, que fueron obtenidos de los expedientes de derechos de agua fluctúan entre los 5.84 m²/día y 950 m²/día. La tabla **Tabla 8-3** muestra el valor medio de transmisividad de los distintos sectores de la cuenca del estero Casablanca, obtenidos promediando los resultados de los distintos métodos antes mencionados.

TABLA 8-3 VALORES DE TRANSMISIVIDAD PROMEDIO SEGÚN MÉTODOS UTILIZADOS EN AQUIFER TEST

SECTOR	TRANSMISIVIDAD (T) PROMEDIO m ² /día
Perales de Tapihue	105.12
Lo Ovalle	168.48
Lo Orozco	19.44
La Vinilla	161.28
Casablanca	72.00
Las Dichas	96.48

- **Permeabilidad (k)**

Los datos de permeabilidad han sido calculados a partir de los datos de transmisividad y niveles de agua subterránea, con la relación:

$$\text{Permeabilidad} = \frac{\text{Transmisividad}}{\text{Espesor Saturado}}$$

Estos datos, oscilan entre 0.15 y 950 m/día.

En cuanto al valor de la permeabilidad vertical, con el fin de adoptar un valor conservador en la estimación del parámetro se consideró un valor igual a un décimo de la permeabilidad horizontal:

$$\mathbf{KV=0.1*KH}$$

- **Coefficiente de Almacenamiento (S)**

El coeficiente de almacenamiento se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección unitaria y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso unitario del nivel piezométrico o de carga hidráulica. Este coeficiente es adimensional.

En un acuífero semi confinado el coeficiente de almacenamiento se denomina como S_y y en el largo plazo puede ser aproximado a la porosidad eficaz, es decir, al volumen de agua gravífica extraído de una unidad de acuífero saturado.

TABLA 8-4 VALORES DE PERMEABILIDADES INICIALES QUE SE UTILIZARÁN EN EL MODELO

Permeabilidad horizontal (m/día)	
1.944	■
1.944	■
4.212	■
4.212	■
3.504	■
1.752	■
5.376	■
5.376	■
5.376	■
2.4	■
9.648	■

A continuación en la **Figura 8-27** se aprecia la distribución espacial inicial de permeabilidades de acuerdo a la tabla anterior y que es utilizada en el desarrollo del modelo.

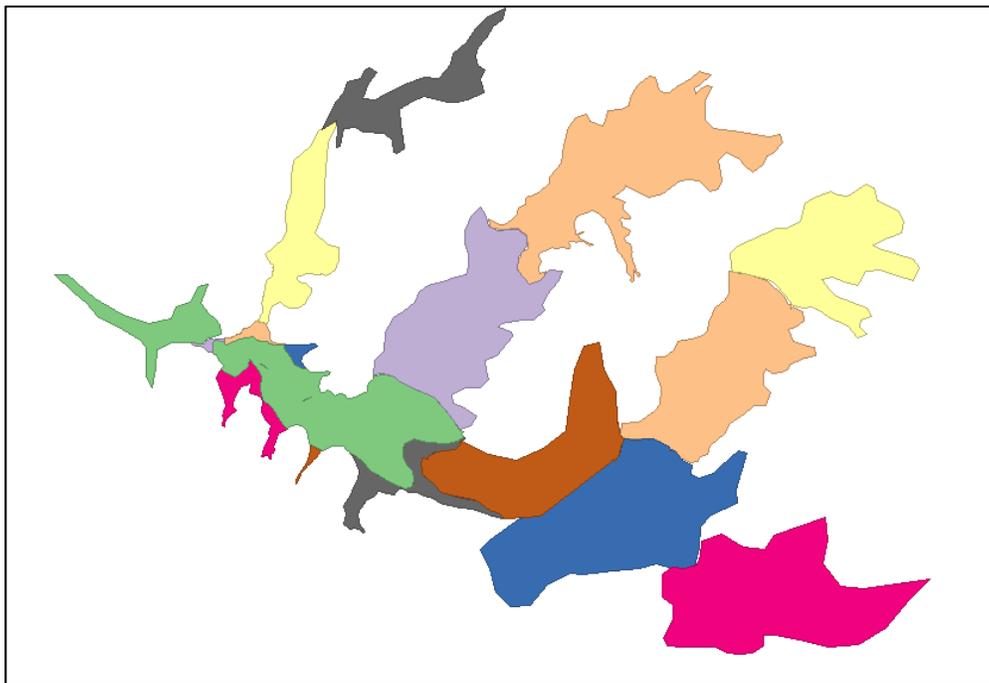


FIGURA 8-27 DISTRIBUCIÓN DE PERMEABILIDADES

En cuanto al valor del coeficiente de almacenamiento y la porosidad, en su mayoría no se dispone de antecedentes para definir los valores de dichos coeficientes. A consecuencia de lo cual, los mismos fueron determinados en forma directa mediante ensayos de

bombeos y en forma indirecta, ya que dependen de la naturaleza del acuífero, si es libre, confinado o semiconfinado, además de la granulometría del mismo.

8.6 PIEZOMETRÍA Y FLUJOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Durante la campaña de terreno realizada entre los meses de septiembre y octubre de 2014, donde el principal trabajo fue el levantamiento de un catastro de usos y usuarios, se recopilaron además valores de los niveles estáticos en aquellos pozos que cumplían las características para ello.

En la **Figura 8-28**, se presenta la distribución de los pozos catastrados.

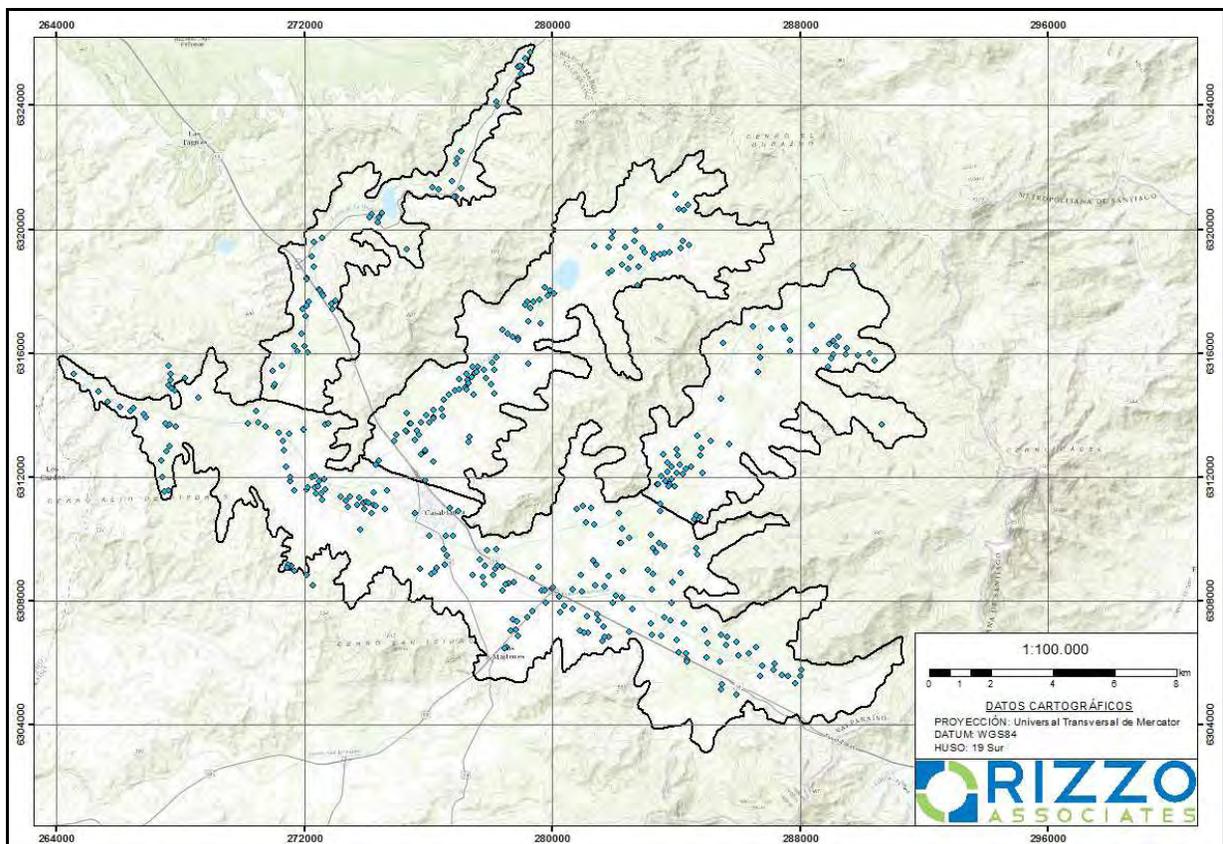


FIGURA 8-28 CAPTACIONES CATASTRADAS

En la **Tabla 8-4** se presentan los pozos y las coordenadas donde se pudieron realizar las medidas de nivel y los resultados de las mismas. Las cotas de los pozos están medidas con GPS Diferencial Trimble R. Tanto las cotas de los pozos como las medidas de los niveles estáticos están referenciadas al suelo.

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
2	VPC-0505-82	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CARMA LIMITADA	6309508,08	284699,86	330,75	14,33	316,42
6	VPC-0505-243/4	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES ALTA VISTA S,A,	6309080,91	276275,97	290,94	22,10	268,84
7	VPC-0505-243/3	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES ALTA VISTA S,A,	6309474,26	276592,10	286,30	19,920	266,38
8	VPC-0505-243/2	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES ALTA VISTA S,A,	6309651,01	276500,93	285,28	20,100	265,18
9	VPC-0505-243/1	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES ALTA VISTA S,A,	6309163,03	276546,64	288,45	20,320	268,13
10	VPC-0505-232/1	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A,	6310537,19	281107,94	298,20	9,28	288,92
11	VPC-0505-223	La Vinilla-Casablanca	VIÑA CASABLANCA S,A,	6306857,09	283520,90	316,71	23,24	293,48
12	VPC-0505-219/1	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA EL ROSAL LIMITADA	6311001,89	281275,45	300,33	11,470	288,86
14	VPC-0505-219/4	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA EL ROSAL LIMITADA	6309182,00	281413,60	301,61	16,260	285,35
15	VPC-0505-219/3	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA EL ROSAL LIMITADA	6309294,49	281337,20	300,76	14,490	286,27
16	VPC-0505-219/5	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA EL ROSAL LIMITADA	6308797,94	281834,56	303,58	18,470	285,11
17	VPC-0505-217	La Vinilla-Casablanca	ESVAL S,A,	6310096,00	276029,00	283,87	27,6	256,27
18	VPC-0505-214/3	La Vinilla-Casablanca	INMOBILIARIA CABIANCA S,A,	6307416,77	278741,71	292,85	7,85	285,00
19	VPC-0505-214/2	La Vinilla-Casablanca	INMOBILIARIA CABIANCA S,A,	6307321,66	278885,06	293,39	8,38	285,02
20	VPC-0505-214/1	La Vinilla-Casablanca	INMOBILIARIA CABIANCA S,A,	6307069,93	278826,84	294,40	9	285,61
22	VPC-0505-213/1	La Vinilla-Casablanca	JOSÉ TORIBIO LARRAIN LARRAIN	6314127,45	270455,22	271,68	12,150	259,53
23	VPC-0505-211/1	La Vinilla-Casablanca	ROSA EUGENIA UNDURRAGA ECHAZARRETA	6311582,74	272691,58	275,11	11,33	263,78
24	VPC-0505-203	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A, (AGRICOLA SALOME LTDA)	6308611,63	283879,42	315,88	20,71	295,17

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
25	VPC-0505-189/1	La Vinilla-Casablanca	ARTURO ALBERTO UNDURRAGA ECHAZARRETA	6311923,49	272654,38	274,75	11,830	262,92
26	VPC-0505-188/1	La Vinilla-Casablanca	ROSA EUGENIA UNDURRAGA ECHAZARRETA	6311374,86	273480,00	277,31	13,190	264,12
27	VPC-0505-186	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A, (AGRICOLA SALOME LTDA)	6308362,16	283226,05	310,71	17,68	293,03
28	VPC-0505-158/1	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A, (AGRICOLA SALOME LTDA)	6307933,12	283865,43	314,61	20,56	294,05
29	VPC-0505-154/1	La Vinilla-Casablanca	VIÑA QUINTAY S,A,	6306909,59	283228,97	315,49	22,800	292,69
30	VPC-0505-143/1	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A,	6308456,92	281686,11	305,19	15,95	289,24
31	VPC-0505-140	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRICOLA MAUKAUWE LIMITADA	6307743,43	282579,09	308,57	18,40	290,17
33	VPC-0505-127 /4	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA MAUKAUWE LIMITADA	6306829,73	281827,73	308,02	19,97	288,05
34	VPC-0505-127	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA MAUKAUWE LIMITADA	6306848,97	281686,07	307,37	19,59	287,78
40	UA-0505-809501	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD FORESTAL FUNDACIÓN S,A,	6308094,20	282263,92	305,94	16,85	289,09
43	NR-0505-926/1	La Vinilla-Casablanca	PLAYA MAITEN S,A,	6309880,42	283451,85	314,50	22,98	291,52
44	NR-0505-925/1	La Vinilla-Casablanca	RODRIGO SOFFIA BAHILLO	6310138,25	283194,62	310,27	20,06	290,21
45	NR-0505-880/1	La Vinilla-Casablanca	SERGIO EDMUNDO AVILA PULGAR	6308612,48	278755,29	292,77	12,450	280,32
46	NR-0505-872/2	La Vinilla-Casablanca	INMOB, CBIANCA	6306866,12	278907,97	295,45	9,390	286,06
49	NR-0505-856 /1	La Vinilla-Casablanca	ANA EUGENIA ROCA KAUFMAN	6311052,63	281005,20	302,11	10,85	291,26
51	NR-0505-185/1	La Vinilla-Casablanca	NOEMI MARIN ROJAS	6314030,00	266832,00	238,00	5,95	232,05
52	NR-0505-1658/1	La Vinilla-Casablanca	GINO PATRICIO TASSARA MUÑOZ	6309632,64	277887,41	288,71	15,830	272,88

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
54	NR-0505-1517	La Vinilla-Casablanca	BERNARDITA REBECA UNDURRAGA ECHAZARRETA	6311333,63	273786,89	278,10	15,94	262,16
58	NR-0505-1316/3	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA DOÑAS ECHEVERRIA LIMITADA	6313608,68	267867,93	271,70	2,800	268,90
59	NR-0505-1316/2	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA DOÑAS ECHEVERRIA LIMITADA	6312993,00	267673,00	281,00	3,650	277,35
60	NR-0505-1316/1	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA DOÑAS ECHEVERRIA LIMITADA	6312509,08	267406,36	290,08	0,730	289,35
61	NR-0505-1315/2	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA DOÑAS ECHEVERRIA LIMITADA	6311982,94	267442,42	300,90	4,800	296,10
63	NR-0505-1047/1	La Vinilla-Casablanca	INMOBILIARIA ALGARROBO LIMITADA	6308424,47	280042,82	296,89	12,560	284,33
64	ND-0505-939/1	La Vinilla-Casablanca	URIBE PÉREZ, JUAN	6307846,08	280382,74	299,17	14,110	285,06
65	ND-0505-851/1	La Vinilla-Casablanca	CORPORA TRESMONTES S,A,	6309347,09	277677,87	287,91	24,4	263,48
66	ND-0505-800101	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A,	6308502,45	281387,21	303,94	15,18	288,76
68	ND-0505-800057	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA MACAIRE S,A,	6308888,53	284154,64	318,10	22,54	295,56
72	ND-0505-6350/1	La Vinilla-Casablanca	VIÑEDOS VALLE DE CASABLANCA S,A, S/N S/N	6307046,34	278658,73	294,26	8,63	285,63
73	ND-0505-6075/1	La Vinilla-Casablanca	MARÍA ANTONIETA VERA AUBELE	6310825,10	275584,02	282,60	14,520	268,08
74	ND-0505-6064	La Vinilla-Casablanca	PEDRO JORGE VERA VERA	6307258,50	284267,52	316,85	22	294,86
77	ND-0505-5994	La Vinilla-Casablanca	COMITÉ AGUA POTABLE RURAL MUNDO NUEVO	6307724,06	280661,24	300,64	14,74	285,90
78	ND-0505-5942	La Vinilla-Casablanca	FERNANDO SANTELICES SAEZ	6306341,00	284090,02	322,71	25,690	297,02
79	ND-0505-5941	La Vinilla-Casablanca	JOSÉ FLORINDO TORRES AGUILAR	6306898,52	285449,64	325,45	24,91	300,54
80	ND-0505-5933	La Vinilla-Casablanca	JUAN MANUEL SILVA NUÑEZ	6309163,03	276546,64	288,45	20,3	268,17

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
83	ND-0505-5891	La Vinilla-Casablanca	COMERCIAL E INVERSIONES SAN AGUSTIN S,A,	6309783,53	276916,80	285,34	21,420	263,92
84	ND-0505-5880	La Vinilla-Casablanca	JOSÉ MIGUEL SILVA NUÑEZ	6308883,31	276098,32	293,96	19,80	274,16
85	ND-0505-5879	La Vinilla-Casablanca	PATRICIO SILVA MUÑOZ	6308931,64	276218,47	292,24	7,500	284,74
88	ND-0505-5872	La Vinilla-Casablanca	MARCELA SOLEDAD CUETO VASQUEZ	6315316,00	264568,00	241,00	2,3	238,70
89	ND-0505-5859	La Vinilla-Casablanca	JUAN MANUEL SILVA NUÑEZ	6309048,73	275740,88	292,81	16,75	276,06
93	ND-0505-5067 /1	La Vinilla-Casablanca	JORGE RENE ARANDA ARANDA	6314751,00	265353,00	238,00	0,400	237,60
94	ND-0505-5065 /1	La Vinilla-Casablanca	ELBA DE LAS MERCEDES SALINAS PULGAR	6313911,00	266901,00	248,00	1,000	247,00
95	ND-0505-5064 /1	La Vinilla-Casablanca	MARIA ELOISA CORROTEA CANALES	6314256,00	266058,00	242,00	5,600	236,40
96	ND-0505-5059 /1	La Vinilla-Casablanca	PEDRO ANTONIO CERDA OYANEDER	6306051,37	285408,40	328,40	27,450	300,95
97	ND-0505-5053 /1	La Vinilla-Casablanca	RICARDO LEONEL VALENZUELA MORGADO	6308554,99	278607,71	292,32	12,380	279,94
99	ND-0505-5046 /1	La Vinilla-Casablanca	ROSAMEL LORETO CATALAN GUAICO	6309101,25	278405,27	289,79	11,95	277,84
100	ND-0505-5044 /1	La Vinilla-Casablanca	ADOLFO DEL TRANSITO ALLENDE MALHUE	6307483,53	279209,05	294,42	9,810	284,61
101	ND-0505-504 /1	La Vinilla-Casablanca	SERGIO FUENTES PEZOA	6308341,20	278419,08	291,36	12,260	279,10
102	ND-0505-5032 /1	La Vinilla-Casablanca	VICTOR FERNANDO VASQUEZ GONZALEZ	6314114,00	266412,00	252,00	5,950	246,05
103	ND-0505-5027 /1	La Vinilla-Casablanca	EDWARD IGNACIO SILVA OSORIO	6307946,15	279785,34	296,98	12,830	284,15
107	ND-0505-4414 /1	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A,	6308834,53	280936,00	301,69	13,93	287,76
109	ND-0505-4318 /2	La Vinilla-Casablanca	JOSE TORIBIO LARRAIN LARRAIN	6313766,18	270533,40	269,80	3,450	266,35

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
116	ND-0505-1234 /1	La Vinilla-Casablanca	VIÑA CONCHA Y TORO S,A,	6305313,93	285492,42	337,61	32,78	304,83
119	ND-0505-1113 /1	La Vinilla-Casablanca	GONZALO JOSE DELAVEAU COVEÑA	6307055,23	284910,74	320,74	22,85	297,89
122	-	La Vinilla-Casablanca	DESCONOCIDO	6308536,88	278486,31	291,82	12,000	279,82
126	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑA DEL MAR DE CASABLANCA S,A,	6307565,44	281455,58	304,10	16,600	287,50
127	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑA DEL MAR DE CASABLANCA S,A,	6307499,97	281125,52	302,63	15,71	286,92
128	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑA DEL MAR DE CASABLANCA S,A,	6306984,86	281035,12	304,26	28,08	276,18
129	-	La Vinilla-Casablanca	FRANCISCO CABELLO	6308336,16	279756,24	295,73	10,95	284,78
130	-	La Vinilla-Casablanca	DESCONOCIDO	6307173,72	281676,63	305,76	17,83	287,93
131	-	La Vinilla-Casablanca	LUIS ORLANDO DE JESU ORTIZ NAVARRETE	6309016,96	278155,85	289,76	12,850	276,91
132	-	La Vinilla-Casablanca	RENE DEL CARMEN CATALAN GUAICO	6308839,01	278098,14	289,91	13,25	276,66
133	-	La Vinilla-Casablanca	LUIS ORLANDO DE JESU ORTIZ NAVARRETE	6309147,27	278238,56	289,67	12,18	277,49
135	-	La Vinilla-Casablanca	EUGENIO ALVAREZ DE LA RIVERA	6306998,44	282508,27	311,61	21,270	290,34
140	VPC-0505-156/1	La Vinilla-Casablanca	INMOBILIARIA VISTA HERMOSA S,A,	6309121,61	271588,05	312,42	7,44	304,98
142	-	La Vinilla-Casablanca	INMOBILIARIA VISTA HERMOSA S,A,	6309063,33	271451,14	316,43	26,51	289,92
143	NR-0505-864/6	La Vinilla-Casablanca	AGUA MINERAL PORVENIR S,A,I,	6315199,56	268172,74	302,55	0,25	302,30
146	NR-0505-864/3	La Vinilla-Casablanca	AGUA MINERAL PORVENIR S,A,I,	6314870,10	267732,51	293,51	2,630	290,88
147	NR-0505-864/4	La Vinilla-Casablanca	AGUA MINERAL PORVENIR S,A,I,	6314968,69	267625,39	299,64	3,14	296,50
148	NR-0505-864/5	La Vinilla-Casablanca	AGUA MINERAL PORVENIR S,A,I,	6315126,69	267695,43	299,35	1,51	297,84

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
154	-	La Vinilla-Casablanca	DESCONOCIDO	6307657,52	279359,84	295,34	20,880	274,46
155	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311445,55	272383,37	277,41	12,05	265,36
156	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311844,13	271555,72	275,25	14,050	261,20
157	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6312003,67	271538,54	274,24	12,90	261,34
158	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA FERNÁNDEZ UNDURRAGA LIMITADA	6311501,05	274245,59	277,97	15,03	262,94
159	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA FERNÁNDEZ UNDURRAGA LIMITADA	6311553,22	274682,01	277,42	15,17	262,25
160	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA FERNÁNDEZ UNDURRAGA LIMITADA	6310954,10	274600,59	280,34	17,98	262,36
163	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE LIMITADA	6311224,77	273336,76	276,79	12,430	264,36
164	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE LIMITADA	6311094,50	273707,05	279,39	15,90	263,49
167	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE LIMITADA	6311088,48	274242,04	279,73	17,400	262,33
168	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE LIMITADA	6311045,41	274314,56	280,15	17,47	262,68
169	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE LIMITADA	6310842,76	274191,99	281,02	18,00	263,02
170	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA CASAS DEL BOSQUE LIMITADA	6310948,60	273956,92	280,16	20,00	260,16
172	-	La Vinilla-Casablanca	INVERSIONES CORSO S,A,	6308311,27	280955,02	301,77	13,80	287,97
175	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑA CONCHA Y TORO S,A,	6306050,28	284340,82	328,28	27,35	300,93
178	-	La Vinilla-Casablanca	AGRÍCOLA LO HIDALGO S,A,	6305787,39	288058,26	347,01	26,74	320,27
180	-	La Vinilla-	VIÑEDOS VERAMONTE S,A,	6305335,86	287850,12	347,49	28,57	318,92

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
		Casablanca						
183	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑEDOS VERAMONTE S,A,	6305584,42	286709,65	336,74	31,70	305,04
187	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑEDOS EMILIANA S,A,	6306299,27	286340,07	334,58	29,00	305,58
188	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑEDOS EMILIANA S,A,	6305761,62	287151,59	341,78	30,59	311,19
189	-	La Vinilla-Casablanca	VIÑEDOS EMILIANA S,A,	6306230,01	286033,88	331,34	25,73	305,61
191	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6313159,77	271310,18	271,63	5,880	265,75
192	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6312848,06	271360,82	272,43	7,53	264,90
193	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6312310,93	271433,65	273,37	23,73	249,64
197	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311656,85	272343,64	275,22	11,840	263,38
198	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311700,56	272457,15	275,83	12,29	263,54
199	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6312007,99	272255,30	274,19	7,24	266,95
200	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6312027,90	272334,85	272,81	5,42	267,39
201	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311865,20	272489,39	273,70	9,35	264,35
202	-	La Vinilla-Casablanca	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6311563,13	271669,70	276,57	14,60	261,97
203	-	La Vinilla-Casablanca	ESVAL	6310081,00	276805,00	284,83	26,30	258,53
204	-	La Vinilla-Casablanca	ESVAL	6310101,00	276564,00	284,65	25,80	258,85
205	-	La Vinilla-Casablanca	DESCONOCIDO	6312810,00	267562,00	274,34	5,80	268,54
206	-	La Vinilla-Casablanca	COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL LAS DICHAS	6313667,00	267608,00	244,00	4,35	239,65

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
208	-	La Vinilla-Casablanca	COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL LAS DICHAS	6313711,00	267534,00	250,00	3,460	246,54
211	NR-0505-1602/2	La Vinilla-Casablanca	JOSÉ GABRIEL UNDURRAGA Y OTROS	6313728,00	272776,00	279,00	2	277,00
212	NR-0505-1597 y 1584	La Vinilla-Casablanca	JOSÉ GABRIEL UNDURRAGA Y OTROS	6313389,61	271515,50	272,72	4,92	267,80
213	VPC-0505-141	La Vinilla-Casablanca	COOPERATIVA AGRÍCOLA Y LECHERA CASABLANCA	6311008,00	276712,00	263,00	20,90	242,10
215	NR-0505-1635	Lo Orozco	PEDRO CAUSSADE PITTE	6321292,00	277080,00	303,00	1,400	301,60
216	NR-0505-1633	Lo Orozco	MARIE SOLANGE CAUSSADE LARRAIN	6321054,00	276893,00	313,00	0,1	312,90
217	NR-0505-1488/4	Lo Orozco	AGRICOLA JUAN FRANCISCO MARIN Y COMPAÑÍA	6319342,35	275305,75	331,70	0,340	331,36
219	NR-0505-1488/2	Lo Orozco	AGRICOLA JUAN FRANCISCO MARIN Y COMPAÑÍA	6318770,26	272300,76	292,46	1,870	290,59
220	NR-0505-1469 /2	Lo Orozco	GLORIA DIGHERO TRAVERSO	6317422,17	272908,67	306,00	1,720	304,28
222	NR-0505-1469	Lo Orozco	GLORIA DIGHERO TRAVERSO	6317636,00	272135,00	248,00	2	246,40
223	NR-0505-1451/6	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA DON MANUEL	6321322,72	276141,53	321,65	2,360	319,29
224	NR-0505-1451/5	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA DON MANUEL	6321285,71	276350,10	323,03	2,32	320,71
225	NR-0505-1451/4	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA DON MANUEL	6322274,83	276946,44	331,94	1,93	330,01
226	NR-0505-1451/3	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA DON MANUEL	6324100,23	278198,11	370,06	11,34	358,72
227	NR-0505-1451/2	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA DON MANUEL	6322096,06	276918,94	330,56	1,84	328,72
228	NR-0505-1451	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA DON MANUEL	6323961,40	278226,22	367,80	11,60	356,20
229	NR-0505-1415/7	Lo Orozco	OBISPADO DE VALPARAISO	6318060,25	272468,08	288,10	6,14	281,96

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
230	NR-0505-1415/6	Lo Orozco	OBISPADO DE VALPARAISO	6318001,15	272503,96	288,37	6,000	282,37
232	NR-0505-1415/4	Lo Orozco	OBISPADO DE VALPARAISO	6317842,29	272617,02	290,41	5,75	284,66
234	NR-0505-1415/2	Lo Orozco	OBISPADO DE VALPARAÍSO	6317687,19	273021,94	320,08	5,910	314,17
235	NR-0505-1415/1	Lo Orozco	OBISPADO DE VALPARAISO	6317572,26	272883,76	305,60	3,550	302,05
236	NR-0505-1378/1	Lo Orozco	COMITÉ DE AGUA POTABLE RURAL LO VÁSQUEZ	6317189,17	272035,38	283,83	2,97	280,86
237	ND-0505-6413/1	Lo Orozco	COMITÉ APR LA PLAYA	6318396,00	272076,00	267,00	2,60	264,40
238	ND-0505-5999/1	Lo Orozco	COMITÉ AGUA POTABLE RURAL LO OROZCO	6320480,00	274188,00	279,00	4,550	274,45
239	ND-0505-5939	Lo Orozco	JOSÉ ARAVENA ARAOS	6320389,00	274128,00	284,00	1,950	282,05
242	ND-0505-5864	Lo Orozco	EULOGIO MARÍN ROJAS	6320214,00	274381,00	273,00	3,2	269,85
243	ND-0505-5863	Lo Orozco	EULOGIO MARÍN ROJAS	6320517,00	274519,00	285,00	2,100	282,90
244	ND-0505-5862/1	Lo Orozco	RUBÉN PEÑA ÁLVAREZ	6317405,76	271964,81	284,38	2,590	281,79
247	ND-0505-1551/1	Lo Orozco	AGRÍCOLA E INVERSIONES SANTA CECILIA LIMITADA	6325007,00	279015,00	370,00	15,82	354,18
248	ND-0505-1242 /2	Lo Orozco	GREGORIO HERNÁN IÑIGUEZ DÍAZ	6319702,00	272582,00	267,00	3,9	263,10
250	ND-0505-1242 /3	Lo Orozco	GREGORIO HERNÁN IÑIGUEZ DÍAZ	6319568,00	272329,00	269,00	1,600	267,40
251	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6315433,44	270970,73	276,25	5,24	271,01
252	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6316212,51	271674,05	278,46	5,04	273,42
254	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6316217,38	272020,13	281,38	11,900	269,48
255	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA	6316024,17	272104,77	281,72	7,07	274,65

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
			SARA					
256	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6316630,03	271911,76	280,16	3,35	276,81
257	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6314907,41	271025,02	274,32	3,80	270,52
258	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6314975,27	271063,10	274,82	4,08	270,74
259	-	Lo Orozco	SOCIEDAD AGRÍCOLA SANTA SARA	6315578,51	271276,27	276,46	4,83	271,63
261	-	Lo Orozco	EULALIA MATTA ARAGAY	6325219,05	279046,11	397,69	27,510	370,18
263	-	Lo Orozco	EULALIA MATTA ARAGAY	6325215,94	278913,48	399,65	21,97	377,68
264	-	Lo Orozco	EULALIA MATTA ARAGAY	6325260,34	278957,54	401,26	23,00	378,26
265	-	Lo Orozco	EULALIA MATTA ARAGAY	6325710,10	279308,46	415,52	17,48	398,04
266	-	Lo Orozco	EULALIA MATTA ARAGAY	6325512,71	279127,21	408,71	24,79	383,92
267	-	Lo Orozco	CASABLANCA ORGANICS	6321540,16	276765,88	331,16	17,48	313,68
268	-	Lo Orozco	CASABLANCA ORGANICS	6322497,37	277064,79	337,01	11,60	325,41
269	-	Lo Orozco	COMITE DE AGUA POTABLE RURAL LO VASQUEZ	6317194,53	272040,74	283,98	3,08	280,90
270	-	Lo Orozco	MARIE SOLANGE CAUSSADE LARRAIN	6321047,00	276846,00	313,00	1,300	311,70
277	-	Lo Ovalle	VIÑA CASABLANCA S,A,	6313169,64	274909,15	280,39	22,27	258,12
278	-	Lo Ovalle	SOCIEDAD TRANSPHOENIX INGENIERÍA, TRANSPORTE Y CONSTRUCCIÓN LTDA,	6318583,57	281844,74	310,68	12,02	298,66
284	VPC-0505-150	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA EL ÁLAMO LIMITADA	6317458,32	279304,83	295,23	18,52	276,71
287	VPC-0505-133/4, 133/5 y ND-0505-4779/1	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LIMITADA	6314001,56	275934,38	282,38	29,92	252,46
289	NR-0505-	Lo Ovalle	ROSEMARY GUBBINS BROWNE	6317915,54	280061,40	298,59	4	294,59

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
	962/1							
290	NR-0505-955/3	Lo Ovalle	ANA EUGENIA ROCA KAUFMAN	6315649,53	279222,55	297,30	14,65	282,65
294	NR-0505-657 /2	Lo Ovalle	AGUSTÍN VIOLLER VELASCO	6316508,78	278745,21	292,07	19,68	272,39
296	NR-0505-363/2	Lo Ovalle	GONZALO SAMUEL BALBONTIN GUBBINS Y OTROS	6318018,38	279939,57	295,95	12,8	283,15
297	NR-0505-363/1	Lo Ovalle	GONZALO SAMUEL BALBONTIN GUBBINS Y OTROS	6317859,63	279855,79	297,95	15,83	282,12
298	NR-0505-1667/1	Lo Ovalle	ISMAEL ENRIQUE CARRASCO VASQUEZ	6319912,27	281965,06	315,22	15,25	299,97
304	NR-0505-1433/1	Lo Ovalle	JOSÉ LUIS LEÓN LEIVA	6317552,96	279128,33	296,86	19,120	277,74
308	ND-0505-985	Lo Ovalle	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA,	6319174,00	283504,00	294,00	10,88	283,12
309	ND-0505-978	Lo Ovalle	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA,	6319233,00	283800,00	294,00	9,68	284,32
311	ND-0505-891	Lo Ovalle	AGRÍCOLA EL ENSUEÑO	6313941,00	276458,00	266,00	23,12	242,88
313	ND-0505-891	Lo Ovalle	AGRÍCOLA EL ENSUEÑO	6313275,77	277335,94	289,41	23,43	265,98
314	ND-0505-891	Lo Ovalle	AGRÍCOLA EL ENSUEÑO	6314190,34	276443,10	282,80	26,11	256,69
316	ND-0505-891	Lo Ovalle	AGRÍCOLA EL ENSUEÑO	6313756,07	276034,69	281,54	24,90	256,64
317	ND-0505-891	Lo Ovalle	AGRÍCOLA EL ENSUEÑO	6313754,71	275783,39	281,69	14,33	267,36
320	ND-0505-891	Lo Ovalle	AGRÍCOLA EL ENSUEÑO	6313371,50	275714,42	280,98	16,66	264,32
322	ND-0505-800010	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LTDA,	6314043,59	275316,68	282,21	14,37	267,84
323	ND-0505-800009	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LTDA,	6313724,28	275414,53	281,34	14,19	267,15

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
325	ND-0505-800006	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LTDA,	6314493,75	276517,03	283,19	27,7	255,49
326	ND-0505-800005	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LTDA,	6314669,90	276674,35	283,56	27,2	256,36
329	ND-0505-800001	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LTDA,	6315552,82	277442,09	286,84	24,65	262,19
334	ND-0505-5739/1	Lo Ovalle	LUZMENIA DEL ROSARIO POBLETE PASTENE	6316494,00	278897,00	273,00	19	254,00
335	ND-0505-5727/1	Lo Ovalle	JOSÉ MAURICIO BUSTOS IBÁÑEZ	6321117,90	283980,60	340,58	15,7	324,88
337	ND-0505-540/7	Lo Ovalle	FERNANDO VIOLLIER VELASCO	6314493,75	276517,03	283,19	27,7	255,49
338	ND-0505-540/6	Lo Ovalle	FERNANDO VIOLLIER VELASCO	6314669,90	276674,35	283,56	27,2	256,36
342	ND-0505-540/2	Lo Ovalle	FERNANDO VIOLLIER VELASCO	6315552,82	277442,09	286,84	24,650	262,19
344	ND-0505-5078	Lo Ovalle	CONDominio EL REFUGIO DE CASABLANCA	6313135,19	277320,49	290,25	15,410	274,84
345	ND-0505-5061	Lo Ovalle	CLEMENTE EUGENIO ARAVENA LOPEZ	6319600,00	282279,00		13,88	-13,88
346	ND-0505-5060 /1	Lo Ovalle	JUAN RAUL ADASME ROJAS	6316942,00	279639,00	269,00	15	254,00
348	ND-0505-5041 /1	Lo Ovalle	CLEMENTE EUGENIO ARAVENA LOPEZ	6319519,00	282168,16		12,93	-12,93
349	ND-0505-5030 /1	Lo Ovalle	JORGE OSVALDO ARAVENA ALCAINO	6320609,63	284268,60	337,07	13,69	323,38
350	ND-0505-5011 /1	Lo Ovalle	CARLOS LEONARDO SILVA IBAÑEZ	6320760,64	284394,77	342,38	1,99	340,39
355	ND-0505-3381/3	Lo Ovalle	SOC, DE INVERSIONES Y AGRICOLA EL TRANQUE Y CIA LTDA	6319407,60	281603,60	310,4	11,50	298,90
356	ND-0505-3381/2	Lo Ovalle	SOC, DE INVERSIONES Y AGRICOLA EL TRANQUE Y CIA LTDA	6319405,60	281819,60	311,32	11,00	300,32

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
361	ND-0505-2355 /3	Lo Ovalle	AGRICOLA MAQUEHUA LTDA,	6319229,00	283006,00	291,00	10,72	280,28
363	ND-0505-1821/1	Lo Ovalle	AGUSTIN VIOLLER VELASCO	6315697,17	278059,55	288,62	19,53	269,09
364	ND-0505-1821 /2	Lo Ovalle	AGUSTIN VIOLLER VELASCO	6315852,13	278193,72	289,27	19,57	269,70
365	ND-0505-1278/2	Lo Ovalle	VIÑA SANTA CAROLINA S,A,	6313341,85	274986,64	281,10	23,65	257,45
368	ND-0505-1111 /1	Lo Ovalle	AGRÍCOLA, GANADERA Y FORESTAL LLANCAY DE SAN PEDRO	6315375,97	277563,94	287,04	26,9	260,14
369	ND-0505-1098 /3	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRICOLA LA ROTUNDA LTDA,	6315462,59	277807,77	287,26	24,44	262,82
370	EN TRAMITE	Lo Ovalle	COMITÉ DE AGUA POTABLE LO OVALLE	6317015,05	279246,54	294,39	19,50	274,89
371	-	Lo Ovalle	ROLANDO PACHECO	6318123,00	279759,00	282,00	14,25	267,75
372	-	Lo Ovalle	AGRÍCOLA MAQUEHUA LTDA,	6318180,00	282767,00	312,00	27,17	284,83
376	-	Lo Ovalle	AGRÍCOLA, GANADERA Y FORESTAL LLANCAY DE SAN PEDRO	6315183,08	277877,01	287,39	21,95	265,44
377	-	Lo Ovalle	AGRÍCOLA, GANADERA Y FORESTAL LLANCAY DE SAN PEDRO	6315209,99	277407,01	286,89	28,14	258,75
379	ND-0505-4373/3	Lo Ovalle	AGRÍCOLA, GANADERA Y FORESTAL LLANCAY DE SAN PEDRO	6314828,86	277242,12	293,56	27,31	266,25
380	-	Lo Ovalle	SOCIEDAD AGRÍCOLA LA ROTUNDA LTDA,	6313709,52	275439,32	281,66	13,90	267,76
381	-	Lo Ovalle	SOCIEDAD DE INVERSIONES PORZIO Y PIDDO LTDA,	6318834,00	282266,90	311,03	10,85	300,18
382	-	Lo Ovalle	CARLOS ORELLANA	6318726,87	282467,38	315,18	14,25	300,93
383	-	Lo Ovalle	-	6319092,11	282518,53	312,06	11,73	300,33
384	-	Lo Ovalle	ISMAEL ENRIQUE CARRASCO VASQUEZ	6319713,19	281925,56	312,38	13,25	299,13

Nº	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
387	VPC-0505-234/1	Lo Ovalle	AGRÍCOLA LOS ALCORNOQUES LIMITADA	6319379,93	284157,37	321,21	10,26	310,95
388		Lo Ovalle	AGRÍCOLA LOS ALCORNOQUES LIMITADA	6319620,05	284213,43	322,54	11,96	310,58
390	VPC-0505-247	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA ARS LIMITADA	6316065,60	287677,96	343,53	21,36	322,17
391	VPC-0505-224/1	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA LAS COLINAS DE TAPIHUE LIMITADA	6315559,56	288902,72	358,74	17,64	341,10
392	VPC-0505-210	Los Perales-Tapihue	INMOBILIARIA PRADO VERDE S,A,	6315391,45	286659,65	329,93	16,82	313,11
393	VPC-0505-209 /2	Los Perales-Tapihue	INMOBILIARIA PRADO VERDE S,A,	6316833,40	286495,52	329,67	11,59	318,08
394	VPC-0505-209 /3	Los Perales-Tapihue	INMOBILIARIA PRADO VERDE S,A,	6316836,00	286492,00	312,00	11,59	300,41
396	VPC-0505-207/3	Los Perales-Tapihue	CRISTIAN ARTURO HOLZMANN POISSON	6315917,06	289886,56	376,06	18,20	357,86
397	VPC-0505-207/2	Los Perales-Tapihue	CRISTIAN ARTURO HOLZMANN POISSON	6315748,19	290412,85	391,97	21,20	370,77
398	VPC-0505-207/1	Los Perales-Tapihue	CRISTIAN ARTURO HOLZMANN POISSON	6313696,58	290655,78	396,00	13,85	382,15
399	VPC-0505-199/1	Los Perales-Tapihue	ROBERTO DANIEL MAYER WINTER	6310905,08	283505,40	310,02	19,75	290,27
402	UA-0505-809545	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316150,14	289525,92	363,54	19,38	344,16
403	-	Lo Ovalle	AGUSTÍN VIOLLER VELASCO	6315685,82	277708,66	287,73	22,11	265,62

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
404	UA-0505-809544	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316150,14	289525,92	363,54	19,38	344,16
405	UA-0505-809541	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316150,14	289525,92	363,54	19,38	344,16
406	UA-0505-809540	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316150,14	289525,92	363,54	19,38	344,16
407	NR-0505-800140	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA LAS COLINAS DE TAPIHUE LIMITADA	6315944,80	289467,24	365,50	20,86	344,64
408	NR-0505-800139	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA LAS COLINAS DE TAPIHUE LIMITADA	6315817,50	289006,83	357,52	19,50	338,02
409	NR-0505-1558	Los Perales-Tapihue	JUAN ALBERTO VERA TAPIA	6311130,38	283494,05	309,16	18,78	290,38
410	NR-0505-5033	Los Perales-Tapihue	JUAN ALBERTO VERA TAPIA	6311134,39	283487,02	309,05	18,62	290,43
411	NR-0505-1507	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA SAN ROBERTO LTDA,	6310905,08	283505,40	310,02	19,75	290,27
417	ND-0505-808	Los Perales-Tapihue	INMOBILIARIA PRADO VERDE S,A,	6315854,51	286706,36	314,00	14,41	299,59
420	ND-0505-637/2	Los Perales-Tapihue	INMOBILIARIA PRADO VERDE S,A,	6316784,56	287074,54	332,41	12,27	320,14
421	ND-0505-637	Los Perales-Tapihue	INMOBILIARIA PRADO VERDE S,A,	6316175,72	286708,40	329,95	13,34	316,61
422	ND-0505-5996	Los Perales-Tapihue	COMITÉ AGUA POTABLE RURAL TAPIHUE POZA OSCURA	6311763,35	283405,72	305,14	14,12	291,02

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
423	-	Los Perales-Tapihue	COMITÉ AGUA POTABLE RURAL TAPIHUE POZA OSCURA	6311749,49	283434,34	305,06	13,67	291,39
424	ND-0505-5667/1	Los Perales-Tapihue	MANUEL ENRIQUE ÁLVAREZ BASUALTO	6310686,90	284795,68	328,53	29,79	298,74
427	ND-0505-4672 /1	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA ARS LIMITADA	6316417,55	287684,92	339,80	16,74	323,06
430	ND-0505-4364 /1	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA LOS FRESNOS S,A,	6312112,94	284850,36	308,84	16,79	292,05
432	ND-0505-4258 /2	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316378,54	289094,87	355,98	19,32	336,66
433	ND-0505-4258 /1	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316268,46	288944,00	353,95	19,83	334,12
434	ND-0505-3075 /1	Los Perales-Tapihue	ÁLVARO RENCORET SILVA	6316083,22	288514,83	349,48	18,64	330,84
436	ND-0505-1550 /2	Los Perales-Tapihue	SOCIEDAD AGRÍCOLA LOS FRESNOS LTDA,	6312334,23	284481,38	304,76	13,23	291,53
437	ND-0505-1550 /1	Los Perales-Tapihue	SOCIEDAD AGRÍCOLA LOS FRESNOS LTDA,	6313311,00	284691,00	296,00	14,07	281,93
440	-	Los Perales-Tapihue	SOCIEDAD AGRÍCOLA LOS FRESNOS LTDA,	6310769,31	284658,28	322,62	18,16	304,46
441	-	Los Perales-Tapihue	SOCIEDAD AGRÍCOLA LOS FRESNOS LTDA,	6312078,94	284230,88	304,94	14,40	290,54
443	-	Los Perales-Tapihue	CRISTOPHER ALFONSO HOLZMANN KINTNER	6316201,00	289177,68	357,40	18,43	338,97

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
444	-	Los Perales-Tapihue	FUNDO CLARA, INVERSIONES CERES LTDA,	6311683,06	283949,73	310,37	18,41	291,96
445	VPC-0505-208	Los Perales-Tapihue	INVERSIONES CORSO S,A (Fundo La Toma)	6310314,59	282258,44	302,69	13,83	288,86
446		Los Perales-Tapihue	FUNDO LA RETAMA - Juan Pablo Castillo	6313043,71	285704,90	319,20	16,23	302,97
447		Los Perales-Tapihue	PLAYA MAITEN S,A,	6313155,34	285126,75	314,33	15,41	298,92
448	VPC-0505-82	Los Perales-Tapihue	LOS PUMAS	6309508,08	284699,86	330,75	14,33	316,42
449		Los Perales-Tapihue	POZO COMUNITARIO	6308853,61	283272,56	311,28	18,78	292,50
450		Los Perales-Tapihue	RUPERTO CUADRA	6309713,64	283260,13	312,22	20,89	291,33
451		Los Perales-Tapihue	JUNTA DE VECINOS TAPIHUE	6310614,88	284601,05	326,08	29,21	296,87
456	VPC-0505-114/1	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA MINA DEL AGUA LIMITADA	6312331,08	283868,03	306,89	14,13	292,76
457	VPC-0505-103/2	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA MINA DEL AGUA LIMITADA	6311931,46	283853,43	307,76	16,28	291,48
458	VPC-0505-103/1	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA MINA DEL AGUA LIMITADA	6311876,37	283661,23	306,90	18,21	288,69
460	-	Los Perales-Tapihue	DANIEL SCHACHNER ROIZBLATT	6312019,61	283521,73	305,06	15,16	289,90

N°	Código de Expediente	Sector	PROPIEDAD-PROPIETARIO	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	COTA (msnm)	NIVEL ESTÁTICO (m)	COTA PIEZOMETRICA (msnm)
461	ND-0505-2154 /1	Los Perales-Tapihue	DANIEL SCHACHNER ROIZBLATT	6312451,94	283734,06	307,59	14,64	292,95
462	ND-0505-5877	Los Perales-Tapihue	PEDRO RENE MARTÍNEZ PLAZA	6312740,41	283591,56	311,71	16,78	294,93
463	ND-0505-5908	Tapihue	AGRÍCOLA MINA DEL AGUA LIMITADA (Fundo El Estero)	6310813,30	282152,31	302,34	13,72	288,62
464	UA-0505-809595	Tapihue	INVERSIONES CORSO S,A (Fundo La Toma)	6308953,78	282300,03	306,68	16,00	290,68
468	ND-0505-5068/1	Tapihue	LUIS ROJAS MOYANO	6309565,87	283362,28	313,44	21,78	291,66
469	ND-0505-1613	Los Perales-Tapihue	AGRÍCOLA LOS FRESNOS S,A	6312693,19	284788,35	307,91	19,52	288,39
470	ND-0505-5997	Lo Ovalle	COMITÉ AGUA RURAL VILLORIO LA ROTUNDA	6312838,08	275918,40	282,19	16,60	265,59
471	-	Lo Ovalle	COMITÉ AGUA RURAL VILLORIO LA ROTUNDA	6312848,50	275922,85	282,19	17,58	264,61

TABLA 8-5 NIVELES ESTÁTICOS MEDIDOS DURANTE LA CAMPAÑA DE TERRENO 2014

Con los datos recopilados en la Campaña de Terreno desarrollada por RIZZO en septiembre-octubre 2014, se construyó el mapa de Isopiezas **Figura 8-29**, que permitió caracterizar la dirección del flujo subterráneo en cada uno de los sectores acuíferos estudiados.

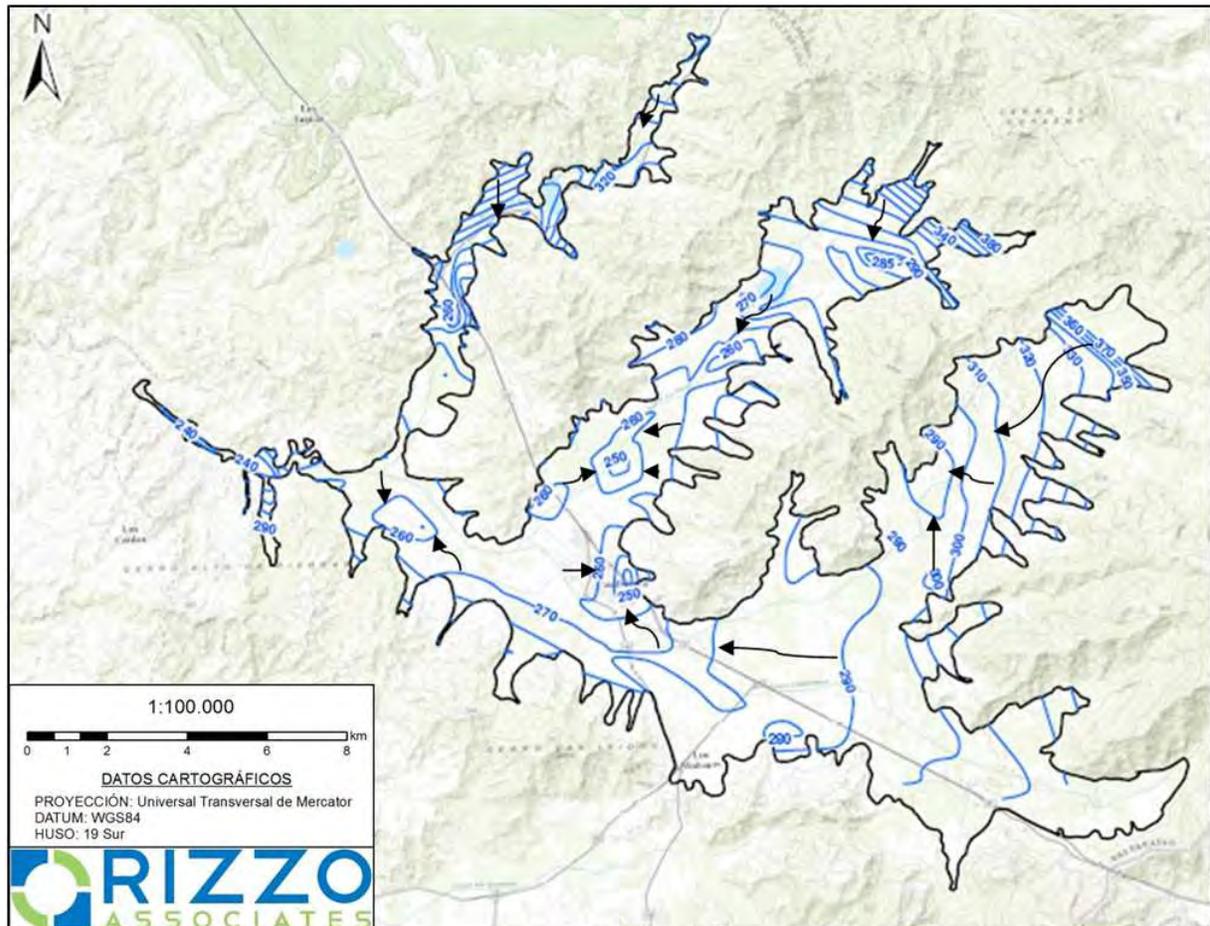


FIGURA 8-29 MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 2014

La dirección del flujo subterráneo viene representado en la **Figura 8-29** por las flechas. El agua subterránea sigue trayectorias que se representan gráficamente por líneas normales a las curvas de las líneas equipotenciales. Con el mapa de isopiezas y las líneas de flujo se define la red de flujo subterráneo, que determina la entrada horizontal del agua a los acuíferos.

8.6.1 EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DE LA CUENCA

A continuación se presentan diferentes mapas de Isopiezas, resultado de campañas de medidas de niveles anteriores, para observar la evolución de la cuenca a lo largo del tiempo.

El primer mapa (**Figura 8-30**) que se muestra corresponde al mapa de Isopiezas realizado por AC Ingenieros Consultores del año 1991.

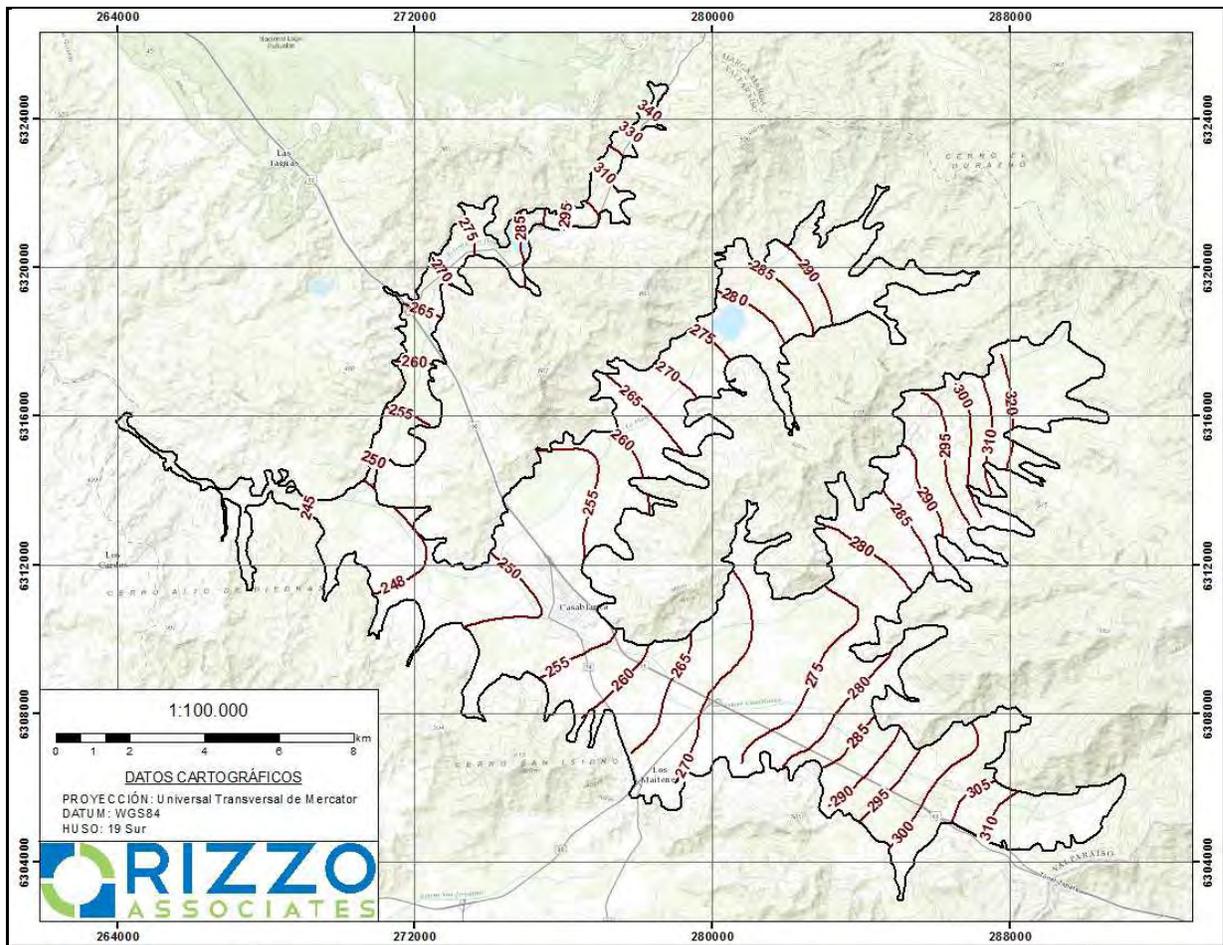


FIGURA 8-30 MAPA DE ISOPEZAS AÑO 1991

Se muestra a continuación el mapa de Isopiezas (**Figura 8-31**), construidos con los datos de los niveles estáticos del estudio Modelación Hidrogeológica Valle del Estero Casablanca, realizado por el departamento de Estudios y Planificación de la DGA en diciembre de 2004. Los datos se corresponden con un catastro realizado en una campaña de terreno de la DGA en el año 2002.

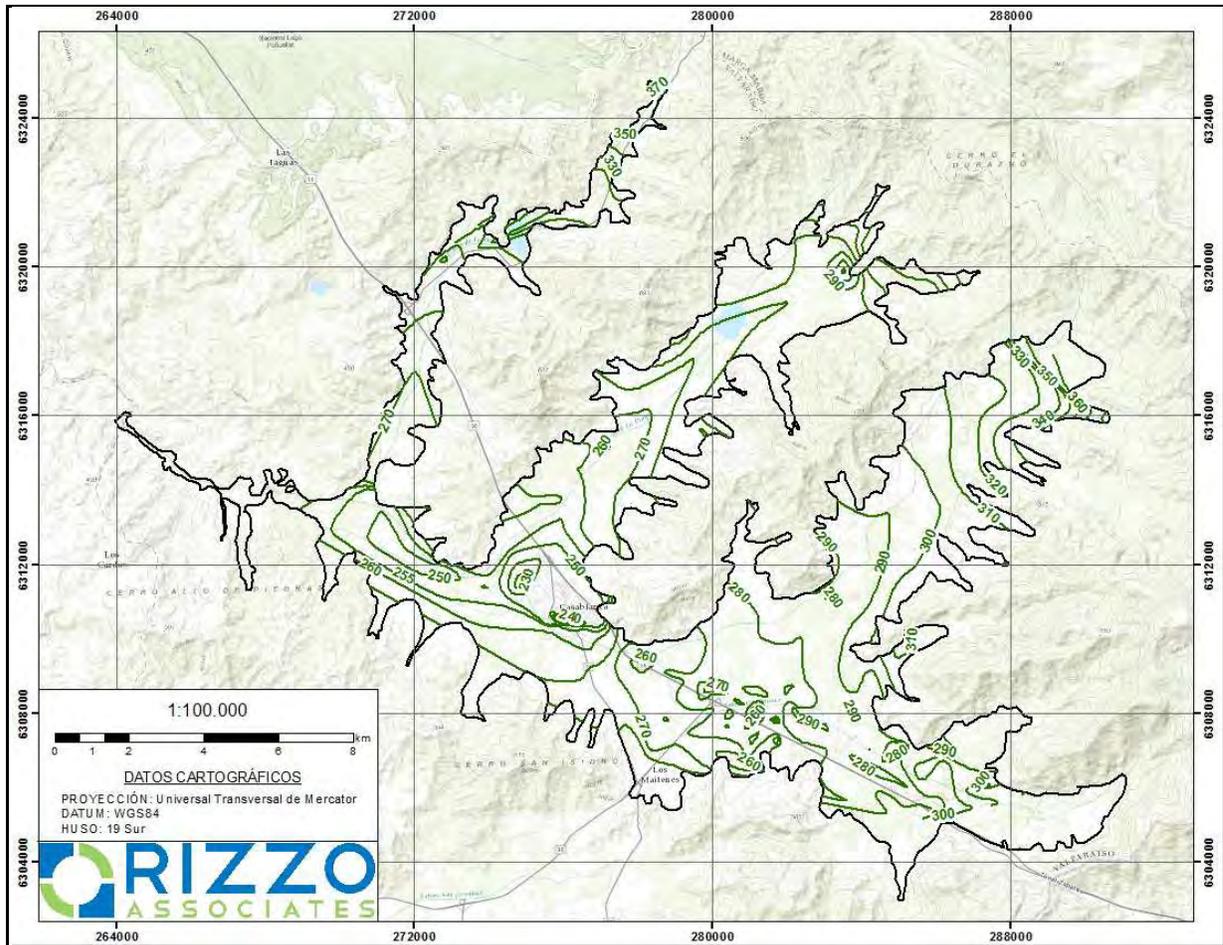


FIGURA 8-31 MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 2002

Se observa cómo se produce un aumento de zonas de depresión, probablemente debido a bombeos puntuales, pero que empieza a provocar un cambio en el funcionamiento del flujo subterráneo de la cuenca respecto a su situación en el año 1991.

A partir de las Isoprofundidades medidas en años anteriores y en la actualidad, se ha elaborado un mapa que muestra la depresión en la profundidad que se ha producido en los niveles del acuífero objeto de estudio. **Figura 8-32.**

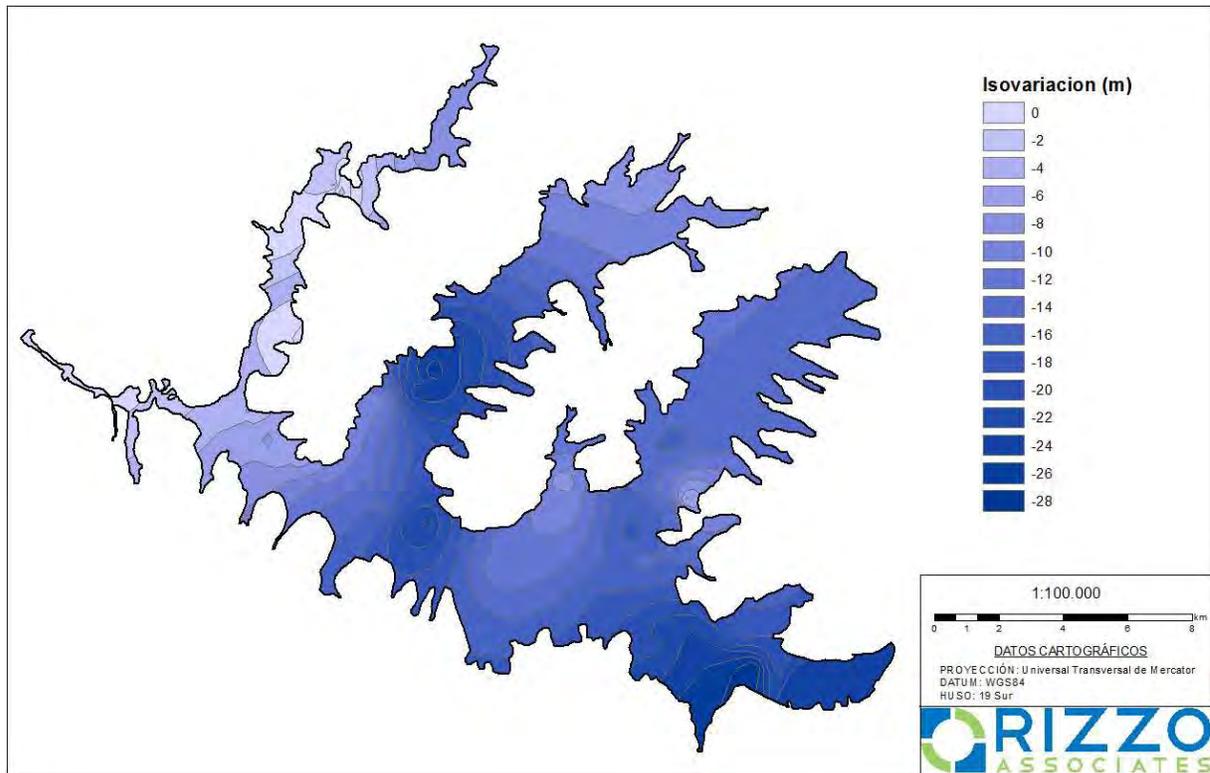


FIGURA 8-32 ISOVARIACIÓN EN LOS NIVELES DE PROFUNDIDAD DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DE CASABLANCA DEL AÑO 1991 -2014

8.7 BALANCE HÍDRICO

En este capítulo se aborda un tema por demás importante el cual se refiere a la hidrología de la Cuenca del Estero Casablanca, es decir, sobre la demanda total de agua, la cual incluye los usos Consuntivos y No Consuntivos. El balance hídrico se calculó para el año 2013, por tanto los datos utilizados para realizar los cálculos son los correspondientes a dicho año.

El cálculo de Evapotranspiración Total, tanto de la superficie cultivada, como la correspondiente a zonas de bosques y matorrales, se abordó mediante la aplicación de fórmula agronómica de Blaney-Criddle, la cual a partir de la determinación de la Evapotranspiración de referencia, se la ajusta de acuerdo al consumo de las distintas especies cultivadas en la zona de trabajo. La adopción de dicha fórmula, además, es consecuente con lo adoptado por otros investigadores que han realizado el mismo trabajo en la Cuenca del Estero Casablanca desde 1991.

Finalmente se incluye un balance entre la demanda total respecto de la precipitación.

8.7.1 SALIDAS

A los efectos de realizar el Balance Hídrico de la Cuenca del Estero Casablanca, se ha planteado en forma separada las pérdidas de agua causadas por el fenómeno natural de evapotranspiración en plantas (estrechamente ligadas a la actividad agrícola de la zona), y aquellas relativas al consumo humano urbano e industrial. Vale aclarar que se trata de una cuenca geomorfológicamente inactiva, sin presentar egresos a través de escurrimiento superficial por ríos, arroyos, etc., al menos dentro del corto plazo

8.7.1.1 CÁLCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL POR CULTIVO

En este apartado se desarrolla la metodología empleada en la determinación de los volúmenes de agua requeridos para satisfacer las necesidades de los cultivos, incluyendo la vegetación natural boscosa, y las pérdidas internas, a partir de datos climáticos, de cultivos y estimaciones de uso interno.

Las demandas de agua se calculan para las diferentes plantaciones, conformadas por viña, maíz, frutales, alfalfa y cebada, además de las áreas boscosas aledañas.

Para estimar la Evapotranspiración Potencial (máxima) de los cultivos existen varios métodos, de los cuales el método de Blaney-Criddle modificado por la FAO (Agencia Americana de Alimentos) es el más adoptado. Este método establece que las pérdidas de agua que se realizan a través de una planta (ET_c) dependen de una componente fisiológica, propia de cada especie vegetal, y que viene representada por el Coeficiente de cultivo (K_c), así como una componente climática que determina la Evapotranspiración de Referencia (ET₀) en función algunas variables meteorológicas. Así, la fórmula que permite su cálculo adquiere la siguiente forma:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (1)$$

Dónde:

K_c es el Coeficiente de Cultivo [adimensional]

ET₀ es la Evapotranspiración Potencial de Referencia, dada en [mm/día y

ET_c es la Evapotranspiración Potencial de cada cultivo, expresada también en [mm/día].

A continuación se detalla cada término.

Coeficiente de Cultivo (**Kc**): Es un valor adimensional que depende de la especie vegetal y no permanece constante a lo largo del año. En la **Tabla 8-6** se resumen los Coeficientes de Cultivos promedio utilizados para los cálculos, en relación al período vegetativo y desarrollo.

TABLA 8-6 COEFICIENTES DE CULTIVOS PROMEDIO DE ACUERDO A LOS MESES (FUENTE: "DIAGNÓSTICO ACABADO DE LA CUENCA DEL VALLE DE CASABLANCA UTILIZANDO TECNOLOGÍA GEOESPACIAL", UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, CATA, 2013)."

	Viña	Maíz	Frutales (Olivos-Cítricos)	Alfalfa-Cebada	Bosque
Septiembre	0,15	-	0,6	-	Se asume que por su gran follaje perennifolio el bosque trabaja con valores máximos de evapotranspiración ($ET_c = ET_0$), por lo que se adopta un Coeficiente de cultivo $K_c = 1$ para todos los meses del año.
Octubre	0,42	0,3	0,7	0,3	
Noviembre	0,675	0,65	0,7	0,7	
Diciembre	0,675	0,85	0,7	1,05	
Enero	0,85	1,2	0,8	1,3	
Febrero	0,85	1,1	0,7	1	
Marzo	0,6	0,9	0,7	1	
Abril	-	-	0,7	0,9	

Evapotranspiración Potencial de referencia (ET_0): Indica la Evapotranspiración Potencial de cierta región geográfica en función únicamente de las características meteorológicas dominantes en la misma. Es importante destacar que aunque se trate de un valor diario, expresado en mm/día, representa un promedio mensual dado que las variables contempladas en su cálculo son valores de promedios mensuales. En su forma original Blaney-Criddle proponen la fórmula:

$$ET_0 = (0,457.t + 8,13). P \quad (2)$$

Dónde:

t es la temperatura media mensual [$^{\circ}C$] y

p es el factor de duración del día [adimensional]

Ambos coeficientes se obtienen de tablas en función de la latitud.

En la **Tabla 8-7** se presentan los porcentajes "p" de horas de luz diaria para el hemisferio sur.

TABLA 8-7 PROMEDIO DE LUZ DIARIA PARA EL HEMISFERIO SUR (FUENTE: "CURSO HIDROLOGÍA APLICADA – ING. EDUARDO A. CHAVARRI V.", FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PERÚ.)

Latitud	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
-5	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
-10	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29
-15	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29
-20	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
-25	0,31	0,29	0,28	0,25	0,25	0,24	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31
-30	0,31	0,30	0,28	0,24	0,24	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32
-35	0,32	0,30	0,28	0,23	0,23	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32
-40	0,33	0,31	0,28	0,22	0,22	0,21	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34
-42	0,33	0,31	0,28	0,22	0,22	0,21	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34
-44	0,34	0,31	0,28	0,22	0,22	0,20	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35
-46	0,34	0,32	0,28	0,21	0,21	0,20	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35
-48	0,35	0,32	0,28	0,21	0,21	0,19	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36
-50	0,35	0,32	0,28	0,20	0,20	0,18	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36
-52	0,36	0,33	0,28	0,20	0,20	0,17	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37
-54	0,37	0,33	0,28	0,19	0,19	0,17	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38
-56	0,38	0,33	0,28	0,18	0,18	0,16	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39
-58	0,39	0,34	0,28	0,18	0,18	0,15	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40
-60	0,40	0,34	0,28	0,17	0,17	0,14	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41

La modificación introducida por la FAO al método empírico de Blaney-Ciddle, se trata de una aproximación más realista que contempla los factores más importantes influyentes en la Evapotranspiración. Así, surgen los coeficientes "a" y "b" que depende de la humedad relativa del aire, de la insolación y de la velocidad del viento, y que afectan a la Evapotranspiración de Referencia ET_0 de la ecuación (2). La Evapotranspiración de Referencia modificada por la FAO resulta ser:

$$ET_0 = a + b.f \quad (3)$$

Donde los términos "a" y "b" son coeficientes adimensionales que se obtienen de la **Tabla 8-8**, y "f" es el factor de uso Consuntivo promedio mensual [mm/día], que no es más que la Evapotranspiración de Referencia de Blaney-Ciddle de la ecuación (2).

TABLA 8-8 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS ADIMENSIONALES EN FUNCIÓN DE LA FRACCIÓN DE INSOLACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA(FUENTE: "CURSO HIDROLOGÍA APLICADA – ING. EDUARDO A. CHAVARRI V.", FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PERÚ.)

n/N	HR min %	Velocidad del Viento m/seg		Inter (a)	Tan (b)
Alta > 0.8	Baja <20%	Baja	0 - 2	-2,60	1,55
		Media	2 - 5	-2,30	1,82
		Alta	> 5	-2,00	2,06
	Media 20-50%	Baja	0 - 2	-2,40	1,37
		Media	2 - 5	-2,50	1,61
		Alta	> 5	-2,55	1,82
	Alta >50%	Baja	0 - 2	-2,15	1,14
		Media	2 - 5	-1,95	1,22
		Alta	> 5	-1,70	1,31
Media 0.6 a 0.8	Baja <20%	Baja	0 - 2	-2,30	1,35
		Media	2 - 5	-2,05	1,55
		Alta	> 5	-1,80	1,73
	Media 20-50%	Baja	0 - 2	-2,20	1,20
		Media	2 - 5	-2,15	1,38
		Alta	> 5	-2,10	1,52
	Alta >50%	Baja	0 - 2	-1,80	0,97
		Media	2 - 5	1,75	1,06
		Alta	> 5	-1,70	1,16
Baja 0.3 a 0.6	Baja <20%	Baja	0 - 2	-2,00	1,15
		Media	2 - 5	-1,80	1,28
		Alta	> 5	-1,60	1,40
	Media 20-50%	Baja	0 - 2	-2,00	1,05
		Media	2 - 5	-1,85	1,15
		Alta	> 5	-1,70	1,25
	Alta >50%	Baja	0 - 2	-1,45	0,80
		Media	2 - 5	-1,55	0,88
		Alta	> 5	-1,65	0,98

Siendo:

n/N : fracción de insolación [mm/mes]

mín: humedad relativa mínima media [%]

Velocidad media del viento registrada a 2 m de altura [m/s]

A su vez:

n: promedio diario de horas de sol para cada mes

N: cantidad máxima diaria de horas de sol para cada mes (N)

En función de la latitud, que se obtiene de la **Tabla -8-9**

TABLA 8-9 CANTIDAD MÁXIMA DIARIA DE HORAS DE SOL POR MES Y LATITUD (FUENTE: "CURSO HIDROLOGÍA APLICADA – ING. EDUARDO A. CHAVARRI V.", FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, PERÚ.)

Latit. Norte Latitud Sur	Ene. Jul.	Feb Ago.	Mar. Set.	Abr Oct.	May. Nov.	Jun. Dic.	Jul. Ene.	Ago. Feb	Set. Mar.	Oct. Abr	Nov. May.	Dic. Jun.
50°	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48°	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46°	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44°	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42°	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.9	11.1	9.8	9.1
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
5°	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
0°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

Finalmente la fórmula de Blaney-Cridle modificada por la FAO se obtiene al insertar la ecuación (2) en la (3), y la misma en la (1), resultando en:

$$ET_c = [a + b. (0,457.t + 8,13). p] . Kc \quad (4)$$

Dónde:

Velocidad del viento: Datos estación meteorológica Casablanca, serie 2013.

t: Datos estación meteorológica Casablanca, serie 2013.

HR mín: Datos estación meteorológica Casablanca, serie 2013.

n: Datos estación meteorológica Santo Domingo, serie 2013.

Al no disponer de datos de insolación diaria en la estación meteorológica Casablanca para ninguna fecha., se tomaron los datos de la estación cercana Santo Domingo, presentados en el Anuario Climático 2013 (pág.30). En la figura se muestra la ubicación de esta estación.



FIGURA 8-33 UBICACIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SANTO DOMINGO

La estación de Santo domingo se sitúa a 40 km del valle de Casablanca, lo cual significa una mínima o nula variación en la insolación, justificando el uso de la estación Santo Domingo para salvar la falta de datos de insolación de la estación Casablanca.

8.7.1.2 CÁLCULO DEMANDA REAL DE AGUA SEGÚN TIPO DE CULTIVO

Conocidos los valores de Evapotranspiración Potencial de los diferentes cultivos, se procede a calcular la dotación para cada uno de estos, es decir, el volumen medio mensual unitario [$m^3/Ha.mes$] requerido para satisfacer las necesidades de agua del mismo, las cuales dependen además de la eficiencia del sistema de riego y de los requerimientos de lavado del suelo. El primer cálculo es el del Requerimiento neto de riego (RNR):

$$RNR = ET_c - (PP + Ss + Alm) \quad (5)$$

Dónde:

RNR: Requerimiento Neto de Riego [mm/mes]

ET_c: Evapotranspiración Potencial del cultivo [mm/mes] (previamente calculado)

PP: Precipitación [mm/mes] (datos de la estación meteorológica Casablanca)

Ss: Provisión subsuperficial de agua

Alm: Aportes del almacenamiento de agua del suelo

La Evapotranspiración Potencial de cada cultivo calculada por el método de Blaney-Criddle, es un valor promedio diario ($mm/día$); para obtener los valores mensuales se multiplica dicho valor por el número de días del mes correspondiente. La precipitación se obtuvo de la estación meteorológica Casablanca.

En el caso de los bosques, debido a su gran follaje, las pérdidas por intercepción pueden ser significativas por lo que se ha considerado un valor conservativo del 28% (tomado de un informe anterior del mismo proyecto).

En la visión más conservadora aquí tomada, se considera que la influencia de la provisión subsuperficial "Ss" y los aportes del almacenamiento de agua del suelo "Alm" son despreciables, con lo que lo que el Requerimiento Neto de Riego es

$$RNR = ET_c - PP \quad (6)$$

Los requerimientos netos de riego representan la cantidad de agua que se deberá derivar hacia el área de riego para cubrir las necesidades efectivas de agua en los cultivos. Para calcular los Requerimientos Totales de Riego es necesario tener en cuenta una cantidad

adicional indispensable para mantener el nivel de salinidad adecuado en la solución del suelo.

$$RTR = RNR \cdot (1 + RL) \quad (7)$$

Dónde:

TR: Requerimiento Total de Riego [mm/mes]

RNR: Requerimiento Neto de Riego [mm/mes]

RL: Requerimientos de lavado del suelo [%],

La cantidad de agua para lavado de suelo está condicionada por el método de riego, la calidad del agua empleada y la tolerancia a salinidad de los cultivos. En el caso de la zona de estudio no hay requerimientos de lavado debido a la excelente calidad del agua de riego y a los métodos de riego. Por lo tanto los requerimientos totales y netos son los mismos, con lo que:

$$RTR = RNR \quad (8)$$

Por último, se tienen en cuenta las pérdidas de agua que se producen en el uso interno por parte del regante, el cual depende básicamente del sistema de riego y del tipo de suelo. Por lo tanto el volumen de agua mensual que se necesita en una hectárea de un cultivo dado, para un tipo de suelo y cierta calidad de agua, viene dada por la siguiente expresión, conocida como dotación volumétrica unitaria, o simplemente dotación

$$DOT = (RTR/Ea) \cdot 10 \quad (9)$$

Dónde:

DOT: Dotación volumétrica unitaria [m³/Ha.mes]

RTR: Requerimiento Total de Riego [mm/mes]

Ea: Eficiencia de aplicación [%]

La **Tabla 8-10** contiene los valores de eficiencias de aplicación (eficiencias de riego) para los diferentes cultivos estudiados según el sistema de riego y las superficies correspondientes

TABLA 8-10 SISTEMA DE RIEGO PARA DIFERENTES CULTIVOS

Especie vegetal	Sistema de riego	Superficie bajo el sistema de riego (%)	Eficiencia de riego (%)
Viñas	Goteo	100	90
Maíz	Pivote	60	80
	Surco	40	50
Frutales	Goteo	100	90
Alfalfa (pradera)	Pivote/tecnificado	60	80
	Surco/tendido	40	50
Bosque	Secano (natural)	100	100

La demanda mensual para cada cultivo se calcula como el producto de la dotación de dicho cultivo por la superficie cultivada en [Ha] correspondiente con lo que se obtiene un valor expresado en [m³/mes]. Como puede apreciarse en la tabla de arriba, los cultivos de maíz y alfalfa están regados por dos sistemas diferentes, por lo cual es imprescindible el cálculo de dos dotaciones para cada cultivo. La demanda mensual en ese caso, como es de esperar, se calcula como la suma de los productos de la dotación para cada sistema de riego por las correspondientes superficies cultivadas bajo dicho sistema. Finalmente, la demanda anual por cultivo es la suma directa de las demandas mensuales de cada cultivo.

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones para el cálculo de la demanda anual de agua para el riego de la viña:

Control de heladas: Una de las características productivas relevantes de la viña en el Valle de Casablanca es la gran superficie que opera con control de heladas por agua entre los meses de Septiembre y Noviembre. El gasto de agua de este sistema de control puede llegar a ser alto, de 20 m³/Ha por hora de funcionamiento. En general, se presentan 7 a 10 eventos de heladas por temporada, y en cada día de control de heladas los sistemas se mantienen en funcionamiento por un tiempo cercano a las 8 horas. Según información proveniente del Catastro realizado por RIZZO en Septiembre – Octubre 2014 y de información tomada de “Diagnóstico acabado de la cuenca del Valle de Casablanca utilizando Tecnología Geoespacial”, Universidad Técnica Federico Santa María, CATA, 2013, la superficie viñatera en que tiene control de heladas en el Valle de Casablanca sería de aproximadamente unas 3000 Ha. El gasto es muy variable dependiendo del

modelo del sistema utilizado y de las condiciones ambientales. Sin embargo, se ha optado como un cálculo conservativo aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Gasto por control de heladas [Hm}^3\text{/año]} = 20 [\text{m}^3\text{/Ha. hora}] * 10 * 8 \quad (10)$$

Estrés hídrico: El estrés hídrico, como práctica agrícola, consiste en la reducción controlada del agua aportada a las plantas con diferentes objetivos. En la vitivinicultura es una práctica muy utilizada como herramienta para mejorar la concentración de taninos y color de las uvas, trasladándose dichas características posteriormente a los vinos, lo que mejora su calidad. Pero también se la utiliza como práctica cuando hay una importante escasez de agua, y en situaciones límites para racionar las dosis en los riegos, reduciendo de esta manera el gasto de agua hasta donde la planta vive y pueda resistir con menor producción vegetal. En particular, en la zona de estudio se observa una disminución de la demanda anual de riego en un 40% al someter a las viñas al mencionado estrés hídrico controlado (tomado de "Diagnóstico acabado de la cuenca del Valle de Casablanca utilizando Tecnología Geoespacial", Universidad Técnica Federico Santa María, CATA, 2013). Por consiguiente, la demanda anual de las viñas se calcula inicialmente como la demanda a partir de la dotación y superficie cultivada, multiplicada por el factor de estrés hídrico, para el caso 60% (100% - 40%), y sumando los gastos por control de helada explicados anteriormente.

$$\text{Demanda anual total [Hm}^3\text{/año]} = \text{Demanda anual [Hm}^3\text{/año]} * 0,6 + \text{Gasto por control de heladas}$$

8.7.1.3 RESULTADOS

A continuación en **Tabla 8-11** se muestra una síntesis de lo anteriormente explicado, resumido con las demandas anuales para cada cultivo, incluyendo el bosque natural.

TABLA 8-11 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

8.7.2 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 8-12** se muestra una sintéticamente las precipitaciones acumuladas mensualmente durante el año 2013.

TABLA 8-12 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.

8.7.3 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.

8.8 ESTIMACIÓN VOLUMEN DE AGUA

Se ha realizado una primera estimación del volumen de agua almacenado en la cuenca mediante el software Surfer. Estos valores serán validados y ajustados en el capítulo correspondiente a la modelación numérica, estimando el cálculo mediante el software Modflow.

El software Surfer, nos permite calcular el volumen geométrico de la cuenca en varios escenarios. Se ha realizado un cálculo del volumen geométrico de la cuenca en base a los datos del año 1991, obtenidos de los trabajos de AC consultores, reconstruyendo el mapa de isopiezas de esa época, **Figura 8-34** una vez conocida la geometría del acuífero, estimada mediante métodos geofísicos detallados en el capítulo 5 del presente estudio.

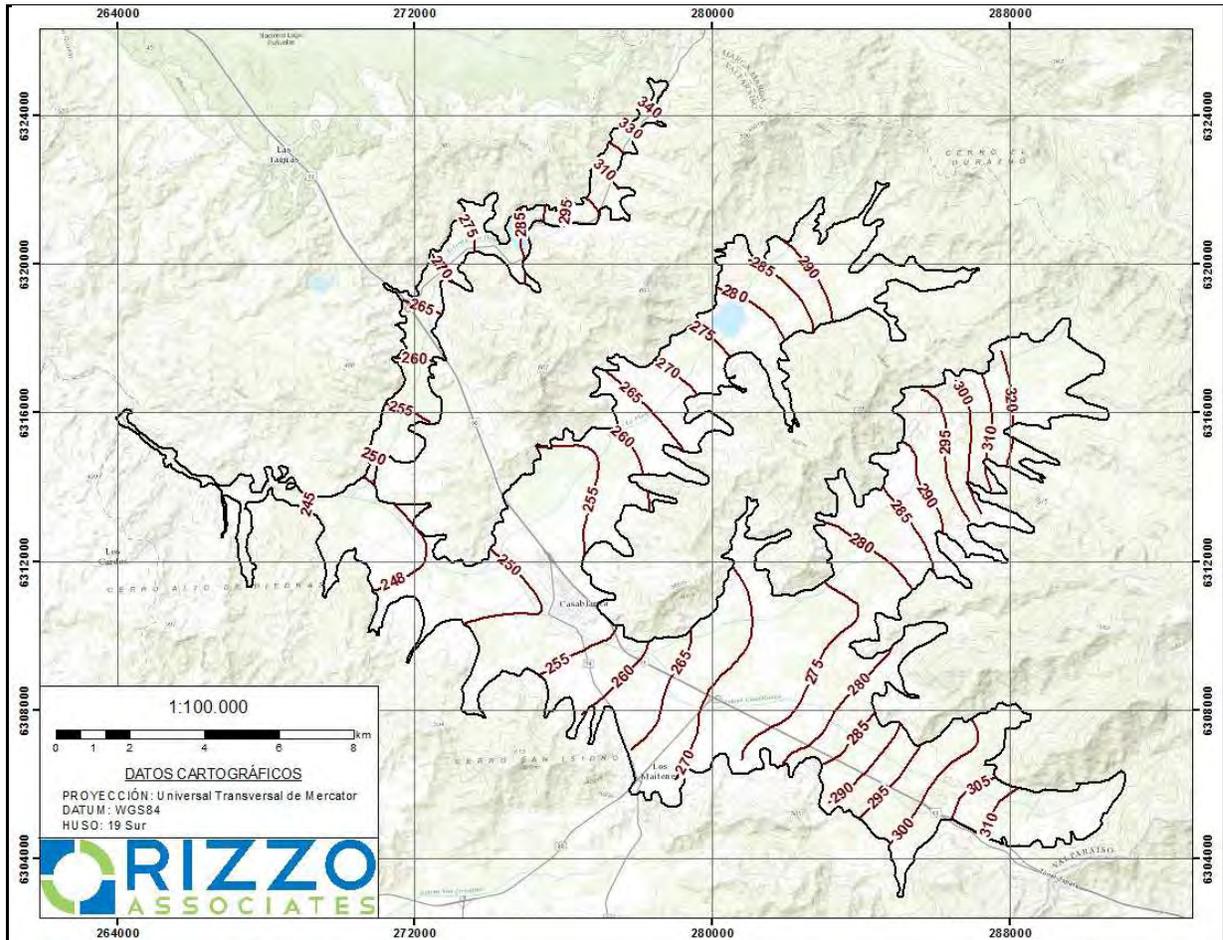


FIGURA 8-34 MAPA DE ISOPIEZAS 1991

Se ha realizado así mismo un cálculo del volumen actual, ya que tras realizar la campaña en terreno se obtuvo una piezometría actualizada que muestra la realidad de la cuenca en el año 2014, **Figura 8-35**.

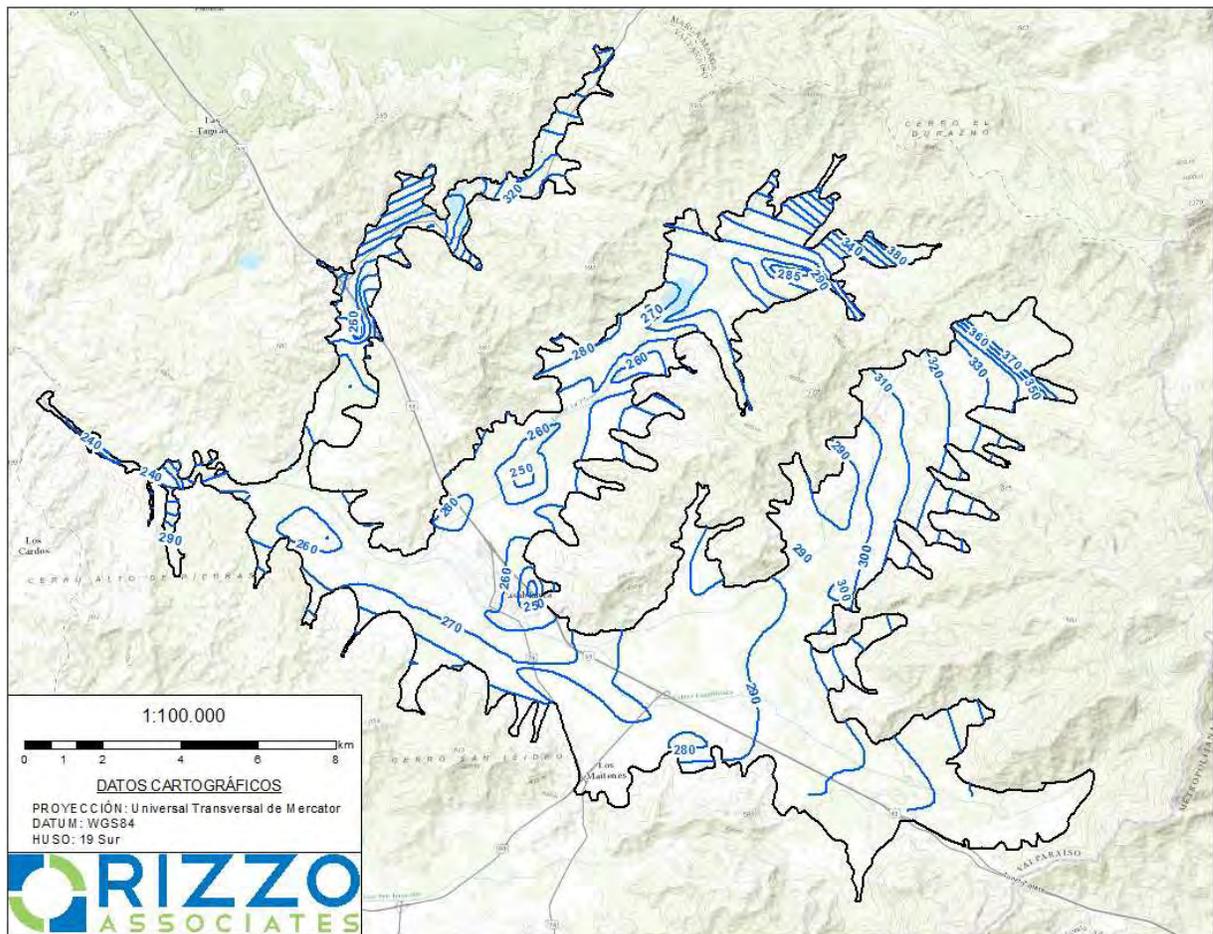


FIGURA 8-35 MAPA DE ISOPIEZAS AÑO 2014

Se realizó así mismo un mapa de isovariación, **Figura 8-38** que muestra gráficamente el grado de variación de los niveles acuíferos en la cuenca, se presupone que debido al bombeo de agua del acuífero, incrementado en los últimos años, debido a la inexistencia de recursos de agua superficiales para el riego.

Para la estimación del volumen de agua entre los años 1991 y 2014, se ha seguido la siguiente metodología:

En primer lugar se genera un mapa de Isoprofundidad para el primer período considerado, en nuestro caso se tomaron los datos de nivel de agua del año 1991, estos datos se han obtenido del informe de AC Consultores y se muestran en la **Figura 8-36**

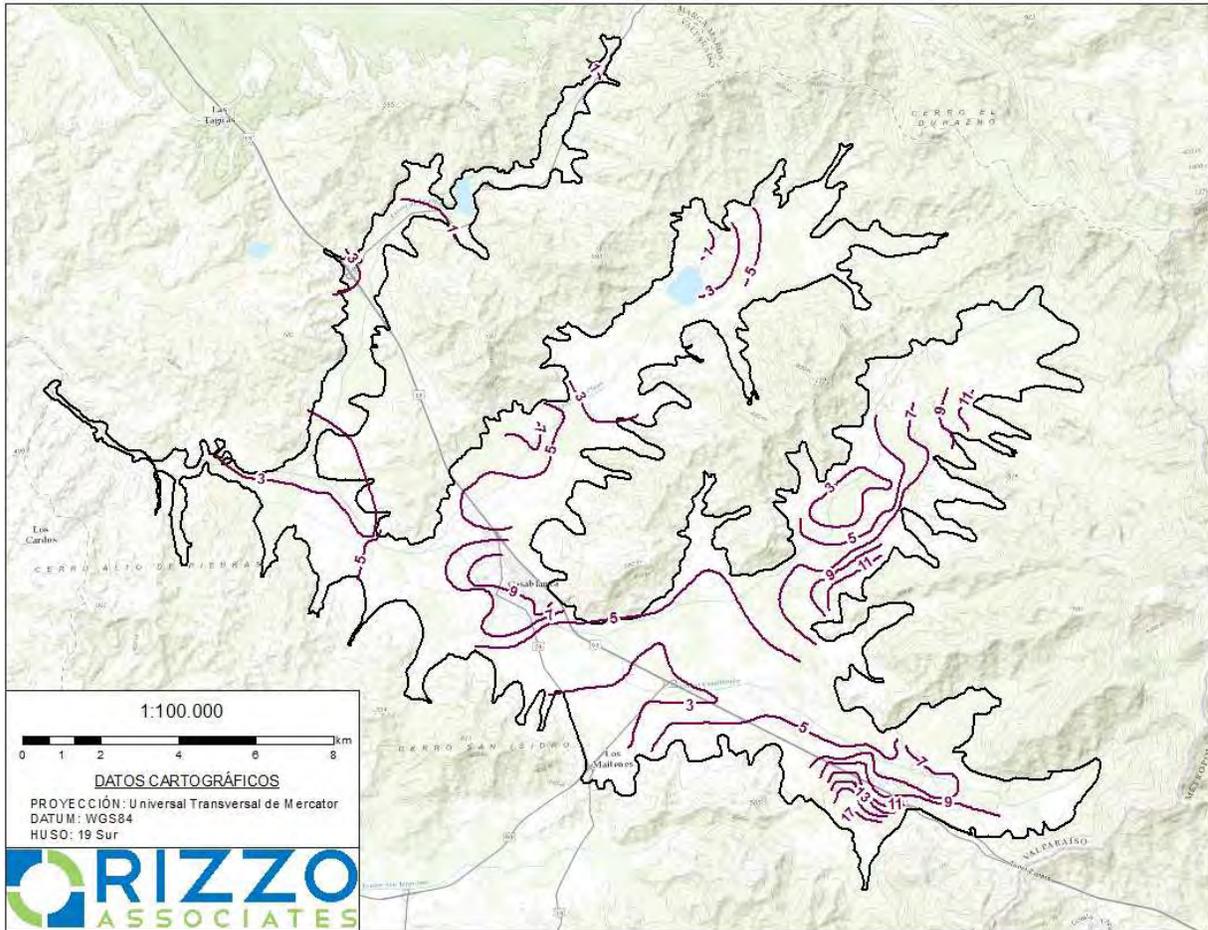


FIGURA 8-36 MAPA DE ISOPROFUNDIDADES 1991. DIGITALIZADO A PARTIR DEL INFORME DE AC. CONSULTORES DEL AÑO 1991

Para el cálculo del volumen, a partir de estos datos se generó en Surfer un grilla de la zona de estudio, asignándole a cada nodo de la grilla un valor de acuerdo al algoritmo de interpolación seleccionado por el usuario, en este caso se recurrió al Método de Krigging. El programa genera un nuevo archivo que contiene los nodos, con extensión.grd; extrapolando las profundidades del agua a todos los nodos generados dentro de la cuenca. Luego se grafica nuevamente el Mapa de Isopropfundidad para el año 1991.

Se repite el proceso creando otro archivo con extensión .grd para el año 2014 y se obtiene un Mapa de Isopropfundidad 2014, **Figura 8-37**.

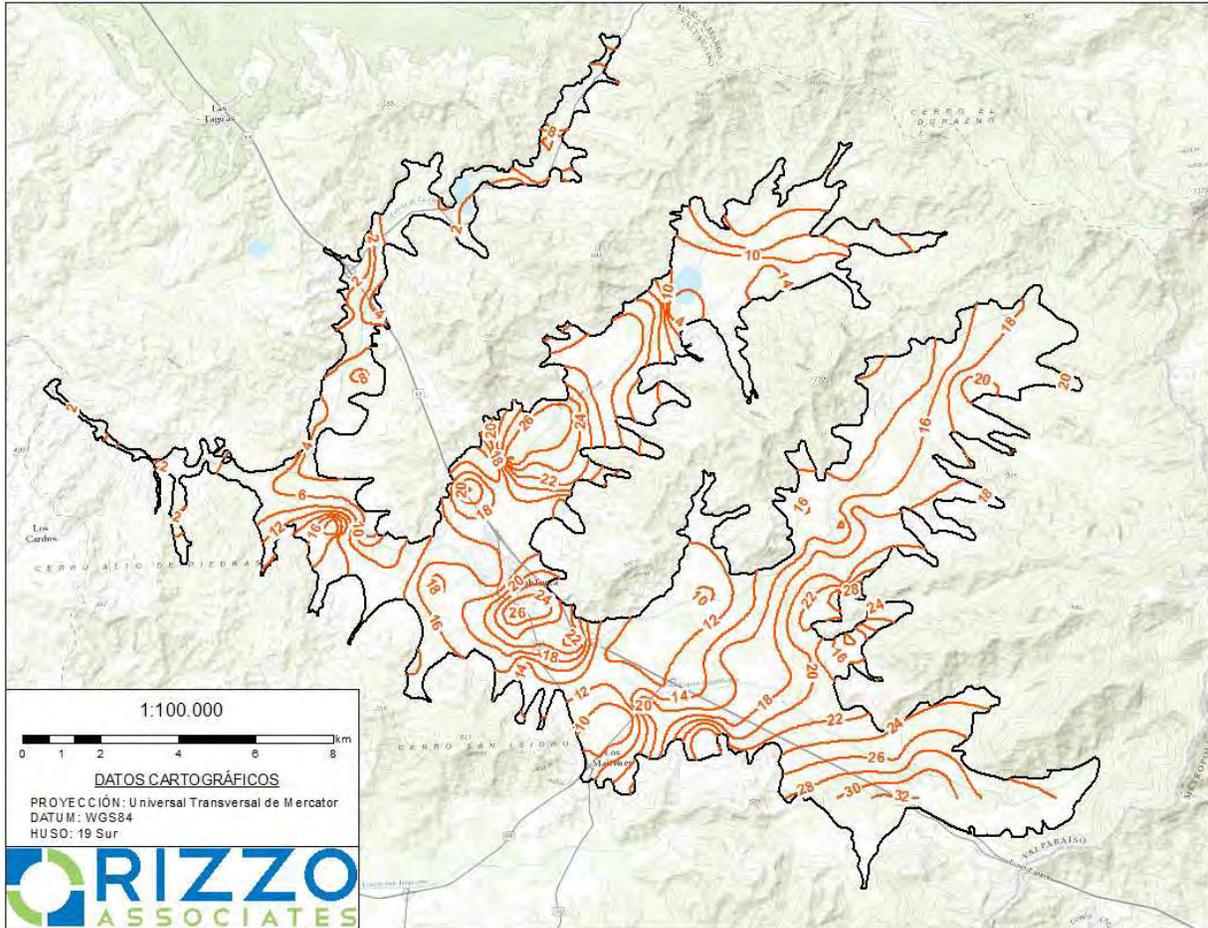
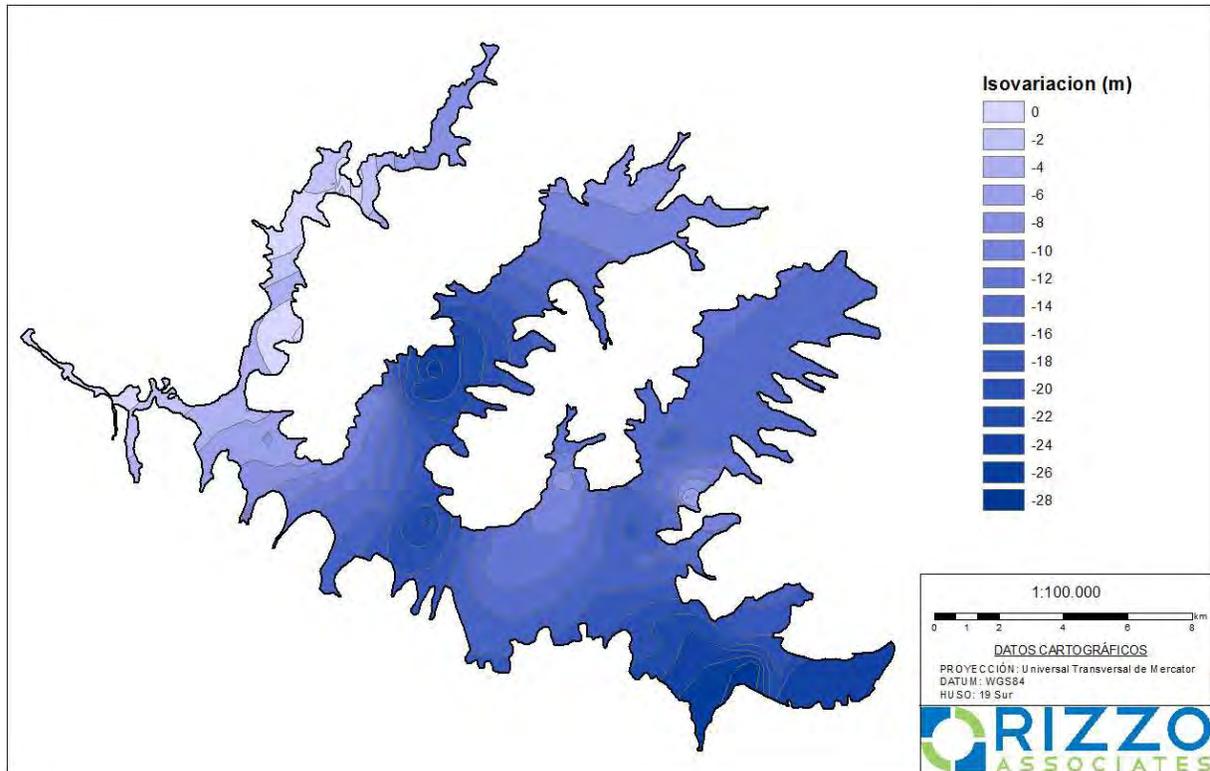


FIGURA 8-37 MAPA DE ISOPROFUNDIDADES 2014. ELABORACIÓN PROPIA

Como tercer paso se recurre al comando "Residual" donde se inserta el archivo .grd 1991 y el archivo .grd 2104 (ambos contienen como datos las coordenadas planimétricas de cada nodo y el valor de la profundidad del agua de cada nodo y de cada serie de datos) El comando Residual, calcula la diferencia entre ambos archivos .grd siendo el resultado un nuevo archivo .grd 1991-2014, que contiene como valor z la diferencia de profundidad observada para el período considerado.

Por último se genera el Mapa de Isovariación del nivel estático, que experimentó la cuenca durante el período considerado que para este caso muestra la evolución del descenso en los últimos 23 años.



**FIGURA 8-38 MAPA DE ISOVARIACIÓN PERIODO 1991-2014.
ELABORACIÓN PROPIA**

El Mapa de Isovariación muestra los efectos producidos por los bombeos en varios sectores de la cuenca (Figura 8-37)

Los sectores que han sufrido descensos muy importantes, en orden de magnitud y de extensión de acuífero afectado son:

- i. Sector del entrono de la población de Casablanca donde se observan descensos acumulados que superan los 20 a 25 m y que afectan prácticamente a todo el ancho del valle.
- ii. Sector oriental del Valle de La Vinilla, donde los descensos acumulados superan los 24 a 25 m, decayendo en dirección oeste hasta su coalescencia con el sector mencionada más arriba.
- iii. Sectores centrales de los valles Orozco y Perales. Se observan descensos acumulados de hasta 25 m en el valle de Lo Orozco y superiores a los 18 m en el valle de Tapihue.

Mediante la herramienta "Volume" del surfer se puede conocer el volumen encerrado entre dos superficies.

Esta herramienta se utilizó para calcular el Volumen total sedimentario acumulado en los cuatro valles; Volumen de terreno al cual se le drenó el agua durante el período 1991-2014 y el Volumen de terreno actualmente saturado. Los valores del volumen geométrico obtenido para los distintos escenarios se muestran en la siguiente **Tabla 8.13**

TABLA 8-13 CÁLCULO VOLÚMENES GEOMÉTRICOS DE LA CUENCA SEDIMENTARIA

ESCENARIOS	VOLUMEN GEOMÉTRICO	
	(m ³)	(Hm ³)
ESPESOR SATURADO CUENCA (1991)	4820425741	4820
ESPESOR SATURADO CUENCA (2014)	3101777794	3102
DIFERENCIA VOLÚMENES SATURADOS (1991-2014)	1718647947	1719

- Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones-Se presupone que, al menos, los primeros 20 a 30 m superiores del acuífero se encuentran en condición "libre", es decir el agua está sometida, en su superficie libre a la presión atmosférica, por lo cual se adopta un valor de Porosidad Efectiva igual al considerado por AC Consultores (Pág. 59) del 10% (Pe= 0,1)
- De acuerdo al examen de las columnas litológicas de los pozos consignados en los Perfiles de Subsuelo del mismo informe, se estima que existen un 40% de materiales finos (limos y arcillas) que se comportarían como acuitardos, es decir, niveles sedimentarios de baja permeabilidad en estado de saturación , pero que no ceden el agua por atracción gravitatoria (por lo que, aún bajando el nivel estático por debajo de su base, conservan el agua de saturación) y que el 60% restante lo componen sedimentos de granulometría mayor, comprendida entre arena fina a arena gruesa y escasos niveles de grava , a los que se les atribuye una porosidad promedio de 0,1.
- De acuerdo a los datos provenientes del relevamiento topográfico de los 473 pozos censados en octubre/2014 por Rizzo y a los resultados de la interpretación de las 207 estaciones gravimétricas realizadas por Geodatos S.A., el programa Surfer calculó un total de sedimentos (saturados e insaturados) de 37.986 Hm³

El volumen de sedimentos saturados alcanza, aproximadamente, los 4.820 Hm³

Estimación del Volumen de agua embalsado en 1991

Aplicando las consideraciones expuestas más arriba, se obtiene que el volumen de agua embalsada en el año 1991 era de:

$V_{\text{embalsado}} = 4.820 \text{ Hm}^3 * 0,6 * 0,1 = 289,2 \text{ Hm}^3$ (No se consideran los efectos expansivos del agua y compresivos del acuífero para los primeros 30 m de acuífero)

Estimación del volumen embalsado en 2014

El volumen embalsado en 2014, aplicando las mismas consideraciones es:

$V_{\text{embalsado}} = 3.102 \text{ Hm}^3 * 0,6 * 0,1 = 186,1 \text{ Hm}^3$

Variación del volumen embalsado periodo 1991-2014

La Variación de Almacenamiento para el período 1991-2014 se estima en:

$V_{\text{almacenamiento}} = 294 \text{ Hm}^3 - 186,1 \text{ Hm}^3 = 103,1 \text{ Hm}^3$

$V_{\text{porcentual}} = - 27\%$

Considerando una recarga promedio de $45 \text{ Hm}^3/\text{año}$ (AC Consultores, Pág. 76) la variación estimada de almacenamiento representa 2,28 veces la recarga anual de la cuenca.

En primer lugar se calculará el volumen drenado por expansión del agua y por compresión elástica del acuífero, por lo que corresponde multiplicar $V_{\text{real}} \times 0,005$ (Valor conservativo promedio de Coeficiente de Almacenamiento: $5 \text{ E-}3$)

Volumen drenado por expansión elástica= $4,8 \text{ Hm}^3$

Una vez que el agua del acuífero perdió su presurización, drena el agua restante que se encuentra a presión atmosférica por lo cual corresponde multiplicar el $V_{\text{real}} \times 0,1$ (porosidad promedio para arena s limpias: 0,1).

9 MODELACIÓN INTEGRADA (MAGIC)

La plataforma MAGIC, acrónimo de Modelación Analítica, Genérica e Integrada de Cuencas, es una plataforma de modelación hidrológica desarrollada por la Dirección General de Aguas, la cual, en términos generales, está diseñada para realizar cualquier análisis que requiera un balance hídrico de cuenca, siempre y cuando los procesos de la cuenca real estén bien simulados por el esquema conceptual del modelo. Posee además la capacidad de integrar tanto el sistema superficial de drenaje como el subterráneo. (DGA, 2005).

El programa MAGIC está diseñado en lenguaje de programación Delphi 7.0, dado lo cual, tiene las cualidades de la programación orientada a objetos. En este tipo de programación computacional, los programas son divididos en entes llamados objetos que pueden comunicarse, intercambiar información, y colaborar unos con otros, lo que la hace perfecta para la adecuada definición de cuencas hidrográficas. (DGA, 2005).

Este modelo permite simular el comportamiento a través del tiempo de los elementos superficiales que componen una cuenca y relacionarlo con las variaciones de volumen experimentadas por los acuíferos subyacentes en la cuenca en análisis. MAGIC utiliza como datos de entrada los parámetros que describen a cada uno de los objetos del Sistema y la información hidrológica, en términos de valores medios mensuales. Además, se puede obtener el valor mensual de la recarga hacia los acuíferos existentes, producto tanto del riego agrícola como de las precipitaciones y la infiltración provenientes de ríos, canales y embalses, entre los resultados más importantes para esta aplicación hidrogeológica. La modelación se realiza utilizando la Ecuación de Continuidad y la Ley de Darcy. En la **Figura 9-1** se muestra un esquema de su funcionamiento.

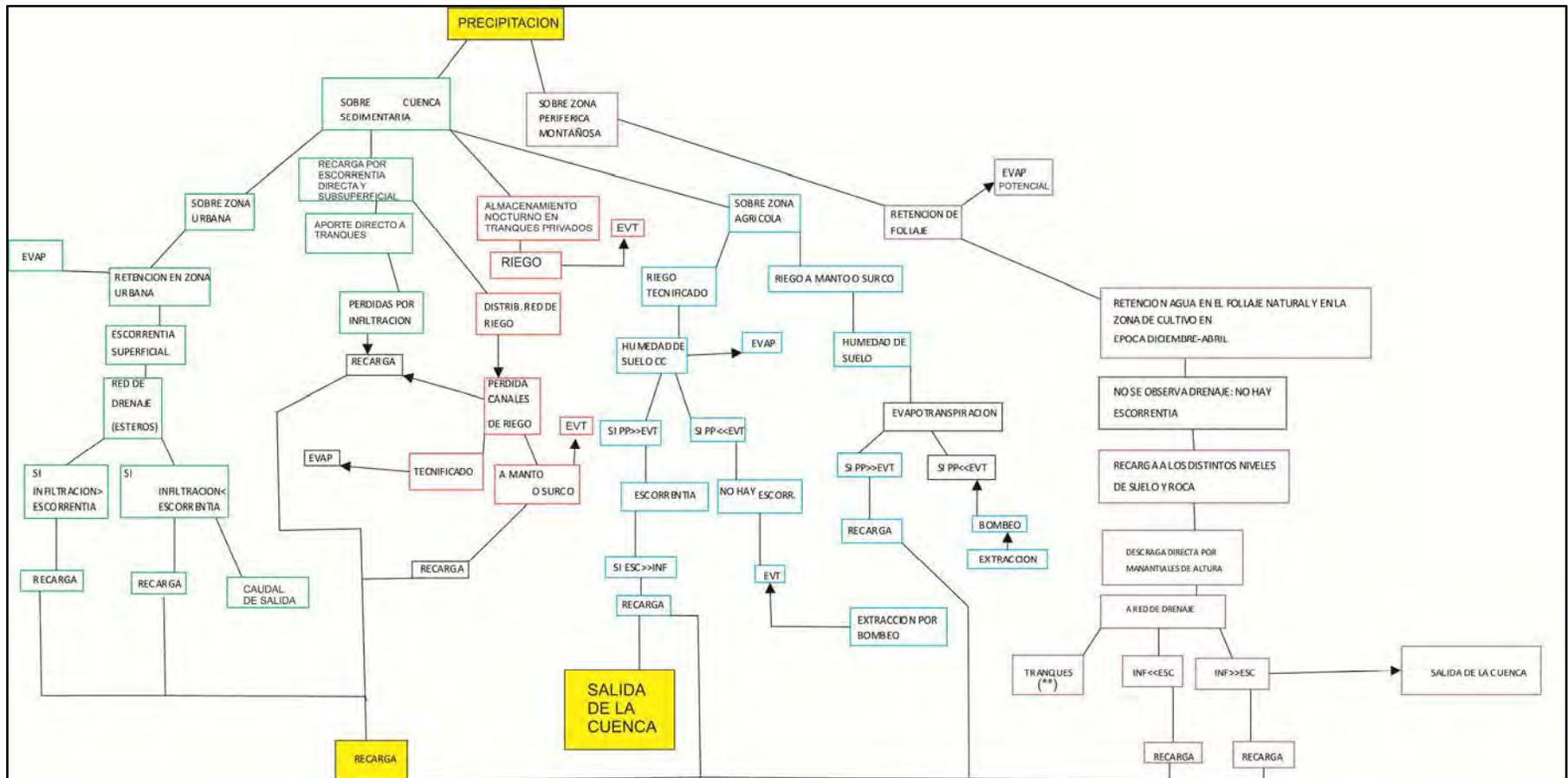


FIGURA 9-1 DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO INTEGRADO (MAGIC)

La **Figura 9-1**, muestra que la interacción del embalse subterráneo depende de las variables que aportan agua al acuífero (recarga) proveniente de la superficie y de las variables que extraen agua (descarga) ya sea en forma natural o artificial. Además, del propio flujo subterráneo.

En el caso del estero Casablanca se implementó la versión 2.0 del modelo MAGIC, el cual utiliza 11 objetos, mostrados en la **Tabla 9-1**, cuyos atributos los definen parámetros que permiten caracterizarlos, los cuales se ingresan en una base de datos MS ACCESS, conteniendo la topología de la red de simulación y una o más tablas para cada objeto que contienen los datos de entrada del modelo.

En el caso particular, los objetos representados se detallan en la **Tabla 9-1**

TABLA 9-1 OBJETOS REPRESENTADOS EN EL MODELO MAGIC DE LA CUENCA DEL VALLE DE CASABLANCA

Objetos	Código MAGIC	Nº
Acuíferos	AC-	9
Cuencas Laterales	CL-	32
Aportes Naturales	AP-	4
Nodos	NO-	35
Nodos secundarios	CA-	8
Tramos de Río	TR-	33
Embalses	EM-	4
Tramos de Canal	CT-	19
Derivados de Canal	DR-	8
Superficie Urbana	SU-	1
Zonas de Riego	ZR-	11

Para la implementación del modelo, se determinaron previamente las demandas evapotranspirativas históricas a nivel de zonas de riego y de cubierta vegetal natural, por lo tanto la versión de esta modelación está preparada para ser operada con las "necesidades netas mensuales representativas".

Por su parte, se utilizó la distribución de caudales en los nodos de manera porcentual, al no disponer de mayores antecedentes de los caudales realmente extraídos.

Así mismo, se realizó el cálculo de los aportes de las cuencas laterales a la cuenca mediante un modelo de escorrentía-precipitación denominado HEC-HMS.

Se definió la topología de los nodos de balance y las conexiones de los diferentes elementos, y se determinaron los valores iniciales de los parámetros del modelo integrado.

Se definió la topología y se determinaron los valores iniciales de los parámetros del modelo integrado.

Al no disponer de estaciones fluviométricas en la zona de estudio, input necesario para la modelación, se determinó realizar la calibración del modelo contrastando los flujos pasantes y niveles en cada uno de los acuíferos definidos para realizar la modelación en el modelo subterráneo. Es decir, la recarga y serie de bombeo histórica determinada en el modelo integrado e impuesta en el numérico subterráneo deberá explicar los flujos pasantes de las secciones de control y los niveles históricos de los pozos de observación.

A continuación se describe la topología y los parámetros obtenidos y tenidos en cuenta para la implementación del modelo MAGIC, al realizar la calibración del modelo para el periodo 1991-2013, se ha realizado una reconstrucción de la cuenca desde el año 1991, se debe tener en cuenta que la cuenca ha variado mucho desde los inicios de esta modelación hasta la actualidad, por lo que muchos de los parámetros que se describen ya no existen.

A continuación se describe la determinación de las variables y los parámetros necesarios para comprender el funcionamiento del agua subterránea en la cuenca en estudio.

9.1 DELIMITACIÓN ZONAS ACUÍFERAS

Se utilizó para implementar el MAGIC los mismos sectores acuíferos definidos en la caracterización hidrogeológica, en el capítulo 8.3 del presente estudio. La delimitación de los acuíferos con su topología para el modelo integrado se observa en la **Figura 9-2**

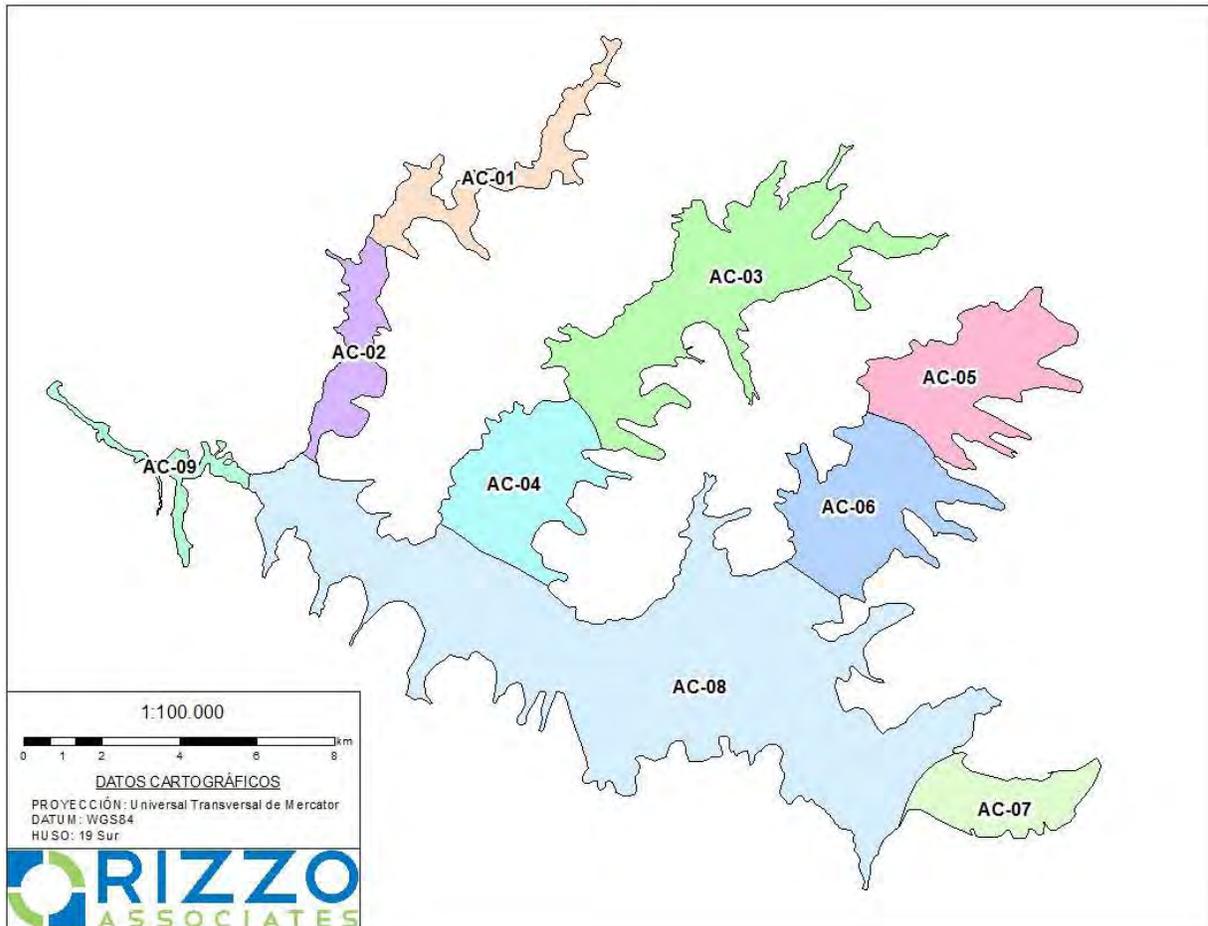


FIGURA 9-2 DELIMITACIÓN Y NOMENCLATURA DE LOS ACUÍFEROS

Esta división, como se explicó anteriormente, se realizó en concordancia con la DGA. Se dividió en 9 sectores acuíferos, procurando establecer las divisiones en secciones de dimensiones conocidas o estimadas mediante la gravimetría establecida así como también, considerando el funcionamiento de hidrogeológico.

MAGIC, considera las relaciones entre estos sectores acuíferos en virtud de la dirección de los flujos, en consecuencia se definieron dos sectores acuíferos conectados sucesivamente en las cuencas de los esteros Perales, Ovalle y Orozco, y que se conectan a un acuífero principal en el sector de Casablanca. Asimismo, se consideró un sector acuífero en el

sector ubicado aguas arriba del embalse la Vinilla y otro en la salida de la cuenca en el sector de Las Dichas.

A continuación la **Figura 9-3**, muestra la topología que se ha definido para MAGIC de las conexiones de los flujos subterráneos entre los acuíferos definidos.

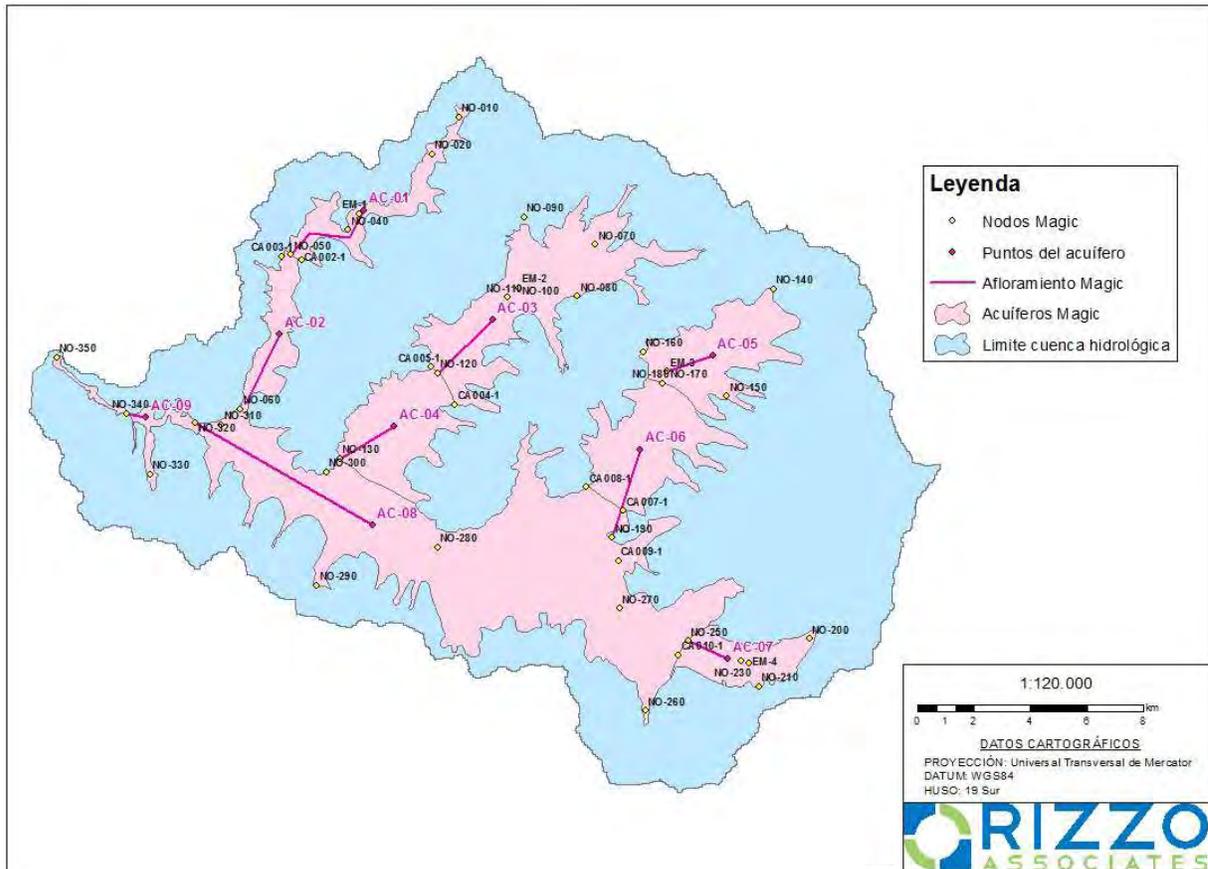


FIGURA 9-3 TOPOLOGÍA MAGIC DE LAS CONEXIONES DE LOS FLUJOS SUBTERRÁNEOS ENTRE LOS ACUÍFEROS DEFINIDOS.

Asimismo, para los efectos de calibración, se definió un nodo superficial a la salida de cada acuífero, con el fin de registrar los afloramientos generados por la operación del modelo. Si bien el modelo conceptual muestra que solo se producen afloramientos en el sector denominado "las Dichas", (asociado al acuífero AC-09), sin tener registro de este evento en otros sectores acuíferos definidos, este elemento topológico otorgará control para la calibración de los flujos subterráneos entre los diferentes sectores acuíferos definidos. La **Figura 9-4**, muestra la topología de los afloramientos subterráneos.

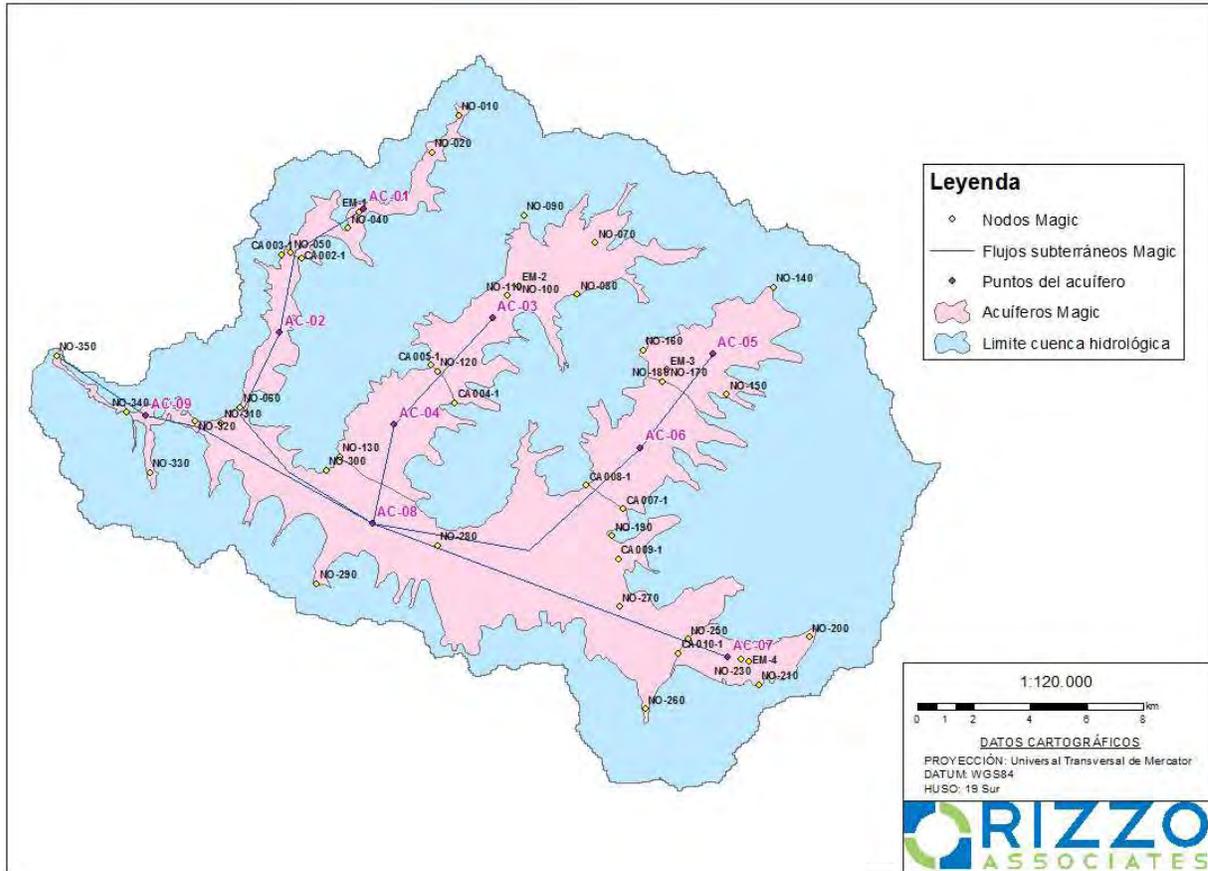


FIGURA 9-4 TOPOLOGÍA DE AFLORAMIENTOS SUBTERRÁNEOS DE LOS DIFERENTES SECTORES ACUÍFEROS MAGIC.

En relación a las forma y dimensiones de los acuíferos y anchos superficiales, se utilizaron valores de anchos superiores de sección de entrada y salida, como así como también de su altura, equivalentes a las respectivas áreas de las secciones de entrada y salida de los acuíferos definidos y su volumen máximo (relleno sedimentario), estimados en el Capítulo 8 (**Tabla 8.2**) del presente informe, asociados a los perfiles gravimétricos realizados.

Los volúmenes máximos utilizados se pueden apreciar a continuación en **Tabla 9-2**

TABLA 9-2 VOLUMENES MÁXIMOS DEL RELLENO SEDIMENTARIO UTILIZADOS EN EL MODELO MAGIC DEL VALLE DE CASABLANCA

Acuífero	Volumen (Mm3)
AC-01	136.6
AC-02	157.6
AC-03	1263.3
AC-04	774.3
AC-05	748.4
AC-06	893.3
AC-07	411.0
AC-08	3994.6
AC-09	46.1

En relación a la geometría del acuífero, para los efectos de simplificado de los cálculos se consideró de forma rectangular las áreas de entrada y de salida de los diferentes acuíferos. Esto se fundamenta en que MAGIC realiza balances en base al cálculo de los flujos de entrada y salida en las diferentes secciones de los acuíferos, en base a la áreas de flujo conforme a la ecuación de Darcy, así como también el volumen total de agua en el acuífero, sin tener incidencia directa la geometría de este.

9.2 DELIMITACIÓN ZONAS DE RIEGO

Se ha dividido la cuenca en macrozonas de riego que se utilizaran en la modelación asociándolo a pozos equivalentes de bombeo.

La modelación se basó en estas 11 zonas.

En base a la información de las superficies cultivadas de los años 1991, 2003, 2006 y actual, se establecieron tres periodos de variación de estas superficies dentro de cada zona de riego. Sobre ellas se estimaron las necesidades netas de cada zona de riego en base al método de Blaney-Criddle, la cual a partir de la determinación de la evapotranspiración de referencia, se la ajusta de acuerdo al consumo de las distintas especies cultivadas.

A partir de las series de necesidades netas mensuales para cada año, se ingresaron a MAGIC el promedio mensual de los periodos: 1991-2003, 2003 – 2006 y 2006-2013.

En la **Figura 9-5** se muestra la distribución de las zonas de riego.

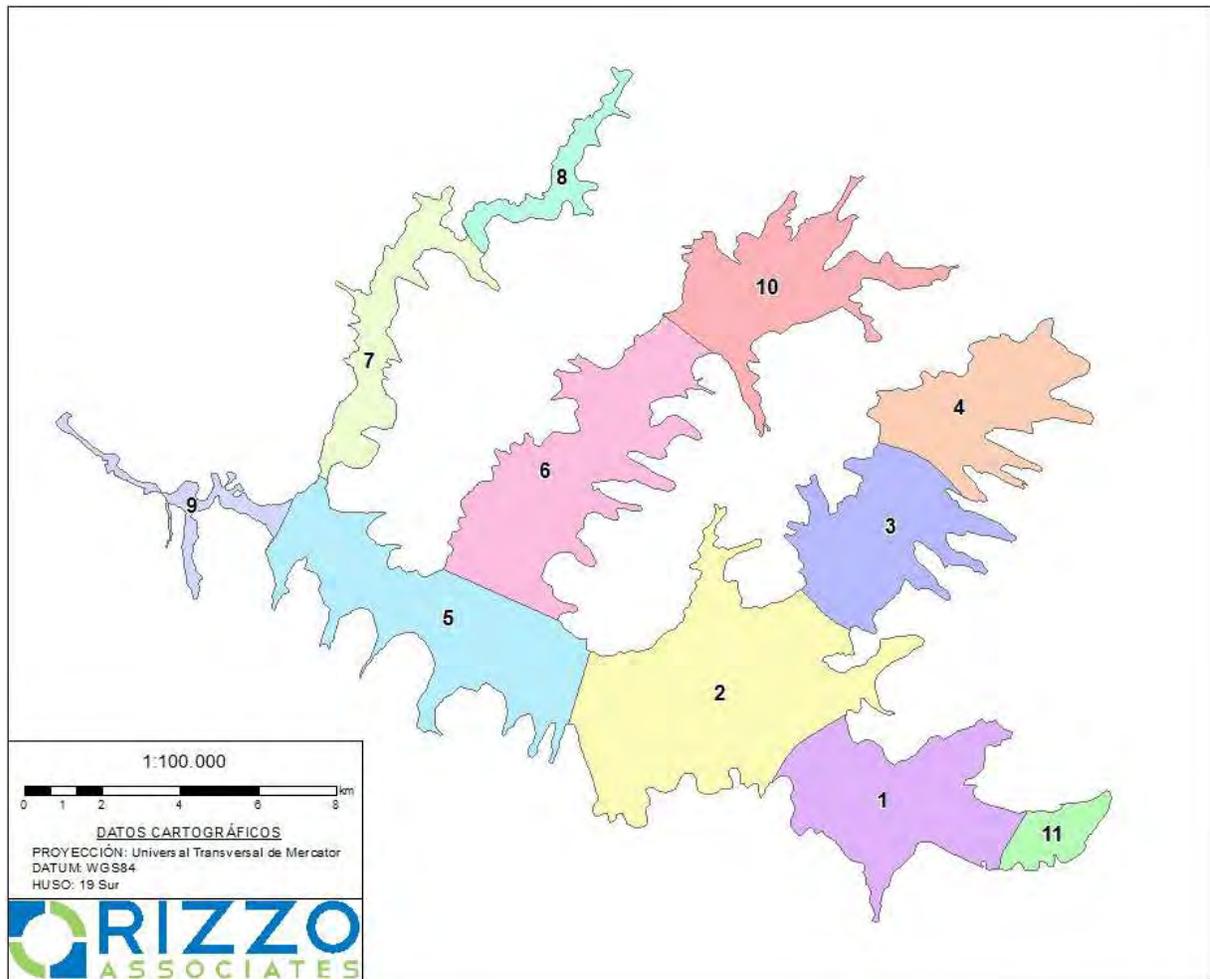


FIGURA 9-5 DIVISIÓN DE LA CUENCA EN ZONAS DE RIEGO

9.3 RED DE DRENAJE Y CANALES DE RIEGO

Es necesario establecer las condiciones tanto hidrográficas como de riego que se daban en la cuenca al principio del periodo de la calibración del modelo.

Si bien, las condiciones de la red de drenaje superficial y del sistema de riego asociado a ella, han cambiado a lo largo de todo el periodo en el cual se establecerá la modelación, se ha definido la red de drenaje y los embalses que existían en la cuenca en el año 1991, así como toda la red de canales, que se utilizaban para el riego parte de la extensión de la cuenca, (**Figura 9-6**)

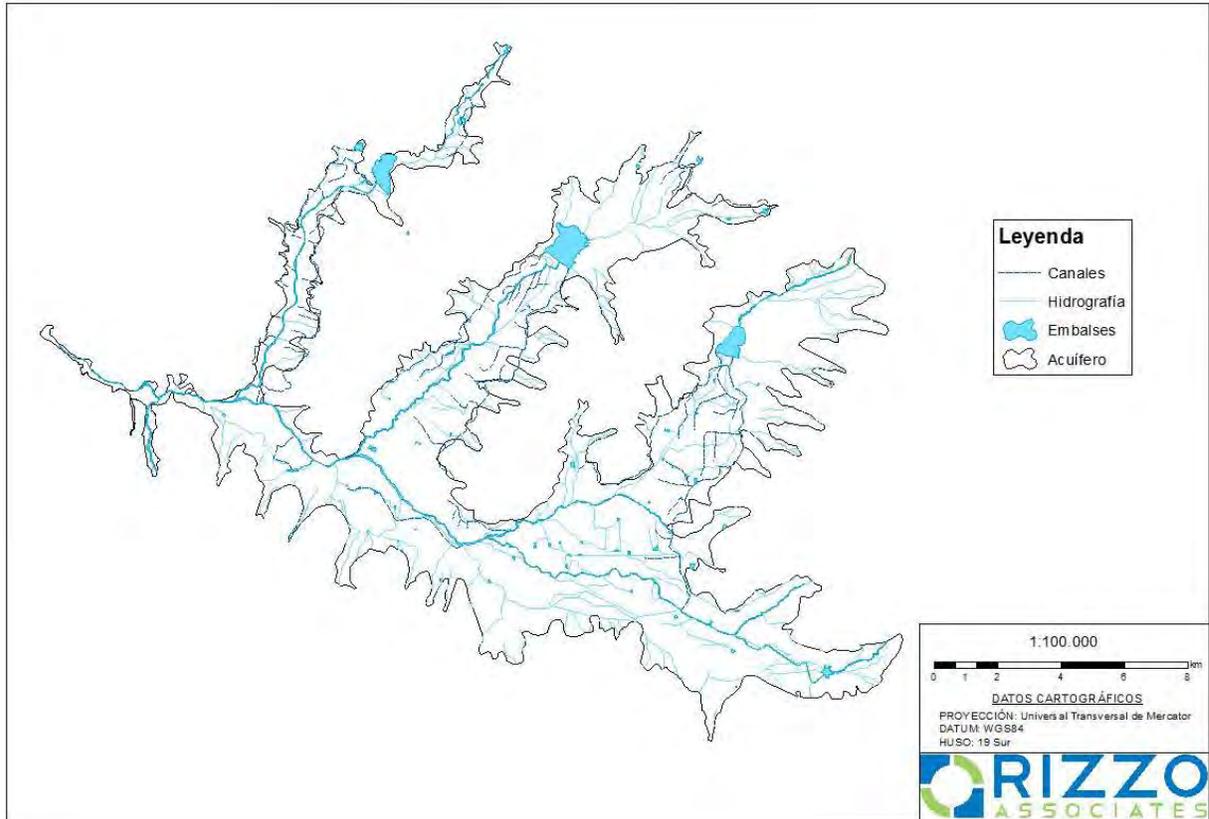


FIGURA 9-6 LOCALIZACIÓN DE LA RED DE DRENAJE NATURAL Y LOS CANALES DE RIEGO EN EL AÑO 1991

Topológicamente, la red de drenaje superficial, se representó mediante un total de 35 nodos de simulación y 34 tramos de río, los que se disponen a lo largo de los cauces principales, de acuerdo a los aportes de cabecera y laterales que se generan a lo largo de la cuenca, las extracciones principales y sus derivados, obras de regulación, y secciones de termino de los acuíferos definidos.

Los cauces principales modelados corresponden a los esteros Orozco, Ovalle, Perales, Tapihue y Vinilla-Casablanca. Asimismo, se consideró el aporte de las cuencas laterales mediante tramos de ríos equivalentes para simular el aporte de escorrentía subsuperficial que estas realizan a los respectivos acuíferos.

Además, se consideraron los cuatro embalses principales que se encuentran en las cabeceras de las cuencas: Orozco, Ovalle, Perales y La Vinilla. Estos embalses se conectaron a nodos de entrega sobre los cuales se establecieron las captaciones principales.

En relación a la red de canales, se consideraron en forma equivalente un total de 21 canales principales mediante 29 tramos de canal con sus correspondientes derivados, con el fin de representar las extracciones para las diferentes zonas de riego.

Cabe mencionar que en los casos de los derivados, en cada sector de riego de cada canal, se consideró un largo equivalente a todo el conjunto de derivados que se asocian a una determinada zona de riego. Asimismo, si bien se representaron las extracciones principales de los canales asociados mayoritariamente a los embalses, también se consideraron canales equivalentes en todos los nodos que reciben aportes naturales (AN) y cuencas laterales (CL), con el fin de representar las extracciones de las zonas de riego que se encuentran adyacentes a estas mismas.

En la **Figura 9-7** se muestra la disposición de toda la red de drenaje establecida para el modelo con su correspondiente topología.

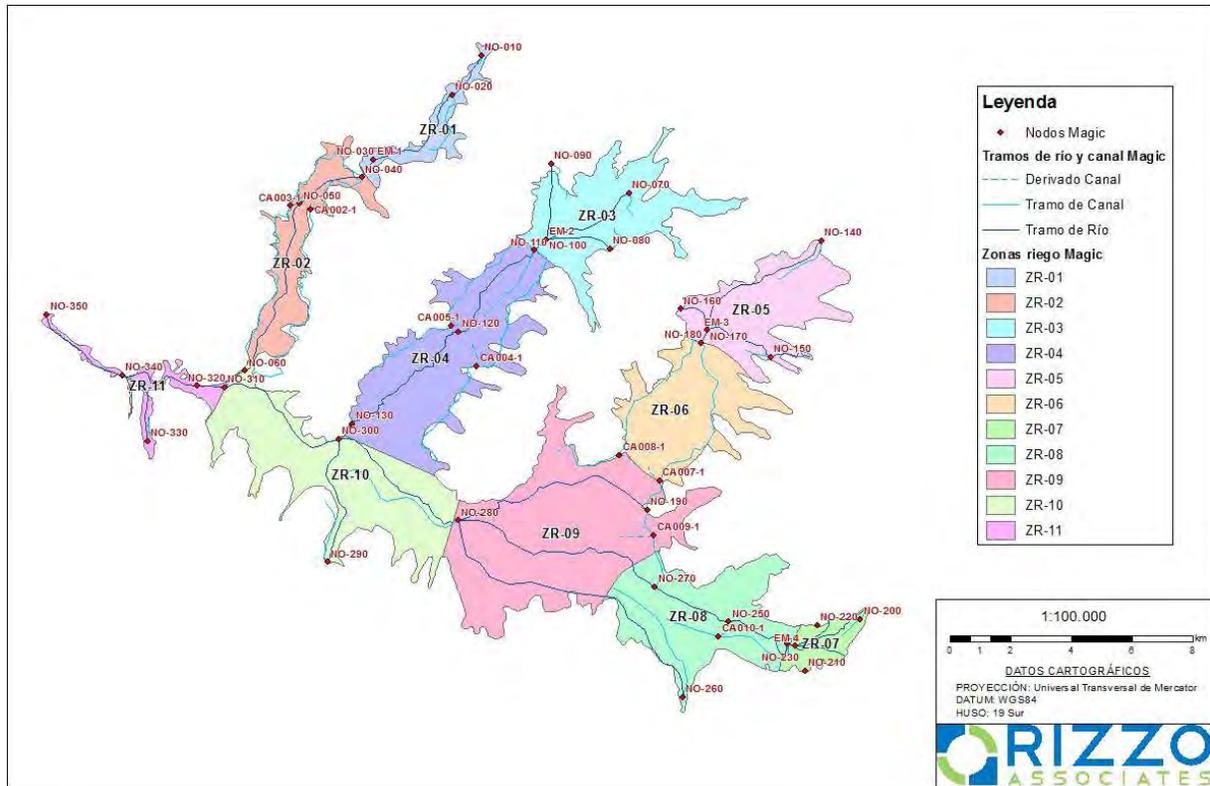


FIGURA 9-7 TOPOLOGÍA RED DE DRENAJE UTILIZADO PARA MAGIC

En la **Tabla 9-3** se presenta un resumen de la nomenclatura utilizada.

TABLA 9-3 TOPOLOGÍA UTILIZADA PARA LA RED DE DRENAJE DEL MAGIC

CÓDIGO NOMENCLATURA	IDENTIFICACIÓN
TR	Tramo Río
CT	Tramo Canal
DR	Derivado de canal
NO	Nodo
CA	Nodo derivado
EM	Embalse

Cabe mencionar el caso particular del estero Perales el cual, de acuerdo a los antecedentes, se re representó como tramo de río solo hasta el embalse de mismo nombre, continuando mediante dos canales en ambos costados de la cuenca los cuales abastecen a sus respectivas áreas de riego, dejando la posibilidad de descargar sus excesos al inicio del estero Tapihue y en el estero la Vinilla

La distribución de caudales sobre los nodos, se modeló mediante porcentajes de distribución.

A continuación se describe la red de canales que existían en 1991, la información se recopiló de los estudios realizados por AC consultores en los años 1991 y 1993 para la modelación de la cuenca.

El sistema hídrico superficial de cada uno de los valles que conforman el valle de Casablanca, está constituido básicamente por un embalse, el cual regula y distribuye el recurso agua disponible a la red de canales de riego existentes.

En los años normales, los sistemas superficiales y subterráneos interactúan y se complementan entre sí, siendo la lluvia la única fuente de recarga al sistema total. Los cauces naturales confluyen y forman esteros cuyos flujos ya presentan intermitentes, en ciertos tramos superficiales y en otros subterráneos, con lo cual se recarga la napa. Las filtraciones sufridas en los embalses y las pérdidas en los canales en la época de riego, también representan recargas al sistema subterráneo. Lo mismo ocurre debido a la percolación en los terrenos agrícolas regados, sea directamente por los recursos superficiales o bien por los provenientes de los pozos de bombeo, en cuyo caso parte de los excedentes del caudal extraído se estaría reincorporando nuevamente a la napa, formando con ello también parte de la recarga.

Para caracterizar los canales existentes se considera la ubicación física de los canales, organización de los regantes, formas de distribución de las aguas, estado de conservación de los canales, longitudes y secciones tipo, clase de terreno en que están excavados, capacidades de conducción y áreas bajo riego.

La información se recopiló fundamentalmente en terreno así como también a través de entrevistas con directivos de las asociaciones de canalistas y usuarios en general.

La infraestructura superficial de riego existente en el área del estudio ha sido construida fundamentalmente por particulares, dueños de fundo que tomaron en consideración solamente su propia conveniencia. Por ello el sistema de canales le falta cierta unidad de criterio, en especial en el valle principal.

Los canales son excavados en tierra, salvo pequeñas longitudes revestidas, con pendiente de acuerdo a las características topográficas del terreno que atraviesan, en general relativamente bajas.

En cuanto a los suelos atravesados, en general corresponden a suelos finos, limos y/o arcillas, existiendo también estrato superficial de tosca, bastante duro.

La distribución de las aguas se efectúa, en la mayoría de los casos, mediante marcos partidores controlados en general por celadores. La jurisdicción de las asociaciones de canalistas, termina en los marcos ubicados a la cabeza de cada predio. La regulación nocturna se presenta como característica en la zona, existiendo una cantidad apreciable de tranques acumuladores.

Cabe señalar que los canales son limpiados por lo general 1 vez al año, entre Agosto y Septiembre, previo al inicio de la temporada de riego.

9.3.1 EMBALSE Y CANALES LA VINILLA

El embalse de la Vinilla cuenta con 3.0 millones de m³ útiles aproximadamente, se encuentra a Octubre de 1990 vacío al igual que todos los restantes embalses de la cuenca del río Casablanca. Entrega el recurso a través de 3 válvulas de fondo tipo tornillo a 3 canales: canal derecho (CD), canal medio o central (CM) y canal izquierdo (CI). Estos canales en sus primeros metros son revestidos en manpostería de piedra, son canales trapeciales con taludes más bien verticales (1/3 aproximadamente), que se encuentran en buen estado de conservación a pesar de la falta de limpieza en los último 2 años. Las principales características físicas de estos canales se consignan en las **Tablas 9-4 y 9-5**

TABLA 9-4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CANALES SECTOR LA VINILLA

Canal	Base (m)	Profundidad (m)	Diámetro Válvula (m)	Marca de Altura de Aguas Máximas (m)
C.D.	1.17	1.70	0.74	0.50
C.M.	1.35	1.25	0.60	0.35
C.I.	1.00	1.35	0.60	0.42

TABLA 9-5 LONGITUDES APROXIMADAS DE LOS CANALES

Canal	Longitud Revestida (m)	Longitud Total (km)
C.D.	100	1.70
C.M.	100	1.25
C.I.	50	1.35

El C.M. es el que efectivamente se usa en los últimos años dado que su cota de válvula de fondo es la menor. El C.D. no se usa actualmente pero podría ser usado dado que no hay

gran deterioro, en cambio el C.I. definitivamente no se usa, está de hecho abandonado, e incluso no tiene alcantarilla en su supuesto paso bajo la ruta 68.

El C.M. casi inmediatamente aguas abajo del término del revestimiento entrega el recurso a un estero. Tras escurrir por breve trecho por este cauce natural, el recurso es captado nuevamente en forma artificial por una bocatoma artesanal, canalizándose nuevamente a través de un suelo arenoso en una sección medianamente definida de 2.5 a 3.0 m de ancho, paredes casi verticales y profundidad de 1.0 a 1.5 m en promedio, aun cuando se profundiza en un barranco hasta casi los 4.0 m.

Pese a que el terreno es relativamente arcilloso, no existirían pérdidas importantes en el canal en opinión de los usuarios.

Por otro lado el C.D. en su primer kilómetro, aguas debajo de revestimiento, está excavado en un terreno fino limo arcilloso (tierra gredosa y negra), para continuar hacia aguas abajo por un terreno más arenoso. Este canal presenta una sección similar al C.M., pero su trazado en un comienzo va en ladera de cerro, más bien encajonado, con un ancho medio de 3.0 m y profundidades de hasta 5.0 m aproximadamente.

El C.D. termina su trazado en las cercanías del camino interno a Tapihue.

Por su parte el C.I., presenta un cauce muy poco definido, con gran cantidad de vegetación menor y tiene una sección más pequeña que los otros canales. El tipo de suelo en el cual está excavado es claramente fino, más bien arcilloso.

9.3.2 EMBALSE Y CANALES LOS PERALES

El embalse de Los Perales tiene en la actualidad algo menos de 10.0 millones de m³, regando una superficie total aproximada de 600 ha. Actualmente entrega agua a través de sólo una válvula de fondo ubicada en el sector izquierdo del muro, ya que la válvula del sector derecho se encuentra inhabilitada. La válvula en operación entrega el recurso a 2 canales, el canal derecho (C.D.) de apenas 1 km, que entrega sólo al fundo Los Quillayes, y el canal izquierdo (C.I.), que actúa como canal matriz, de 14 km de longitud siendo los último 2 km particulares, y por ello están bajo la jurisdicción de la Asociación de Canalistas del Embalse Los Perales de Tapihue 12 km de canal. Este canal tiene 10 marcos partidores ubicados a la entrada de los predios que sirve, incluido el marco que lleva agua al C.D. mediante una tubería, y presenta en gran parte de su longitud un

cauce medianamente definido, con un ancho basal de su longitud un cauce medianamente definido, con un ancho basal del orden de 3.0 m por lo general, aunque en partes puntuales llega a cerca de 5.0 m. En cuanto a su profundidad, varía en promedio entre 1.0 y 1.5 m

El trazado del C.I., se desarrolló en sus primeros 8.3 km (altura de Tapihue) al pie de los cerros o en las cercanías de las laderas del sector izquierdo, para luego virar a la derecha hasta el sector de las Rosas y continuar hacia la izquierda, finalizando los 12 km mencionados antes del cruce a la ruta 68. En su recorrido hacia aguas abajo atraviesa suelos fundamentalmente finos, arcillas o limos arenosos. Puntualmente se acentúa el carácter arcilloso en algunas zonas (sector fundo Retama) y algo arenoso en otros (Tapihue).

Dado que no se ha utilizado ni limpiado en los últimos 2 años, se presenta descuidado, con sectores con vegetación menor.

Por su parte el breve trazado del C.D. atraviesa suelos similares al C.I., y presenta una sección menor, con un ancho medio de 1.0 a 1.5 m. En realidad es más bien un reguero.

9.3.3 EMBALSE Y CANALES LO OVALLE

Este embalse tiene una capacidad útil de 6.5 millones de m³, cuenta con 100 acciones de riego para 14 asociados que conforman la Asociación de Canalistas del embalse Lo Ovalle. El área regada por estas acciones varía entre 200 y 300 ha y cada asociado utiliza su porción de agua cuando lo estima conveniente, usándose un sistema de cuenta corriente, es decir se entrega a cada asociado un volumen total de agua para la temporada y él va rebajando de este total a medida que usa el recurso. Generalmente los agricultores guardan el agua que les corresponde para Diciembre y Enero, regando el resto del tiempo sólo con pozos. Este sistema de distribución hace perder preponderancia a los 6 marcos partidores existentes en este valle.

El embalse Lo Ovalle entrega el recurso por una válvula de fondo, de diámetro 1.00 m, a una cámara de distribución desde la cual salen 3 canales principales: el canal derecho (C.D.) de 10 km de longitud, el canal medio o central (C.M.) de 2 km de longitud y el canal izquierdo (C.I.) de 9 km de longitud.

El C.D. presenta una sección tipo de preferencia definida, con anchos que varían entre 2.50 y 3.50 m en su mayor parte, taludes casi verticales y profundidades del orden de 1.20 m aproximadamente. Este canal atraviesa suelos del tipo limo arenoso, con un trazado que va al pie de los cerros. A lo largo de su recorrido tiene 2 marcos partidores.

A su vez el C.M. es los más pequeños y cortos de los 3 canales existentes. Presenta una sección más definida, con anchos variables entre 1.0 y 2.0 m y una profundidad del orden de 1.0 más bien pareja. El terreno que atraviesa es fundamentalmente arcilloso y sólo tiene 1 marco partidor.

Por último el C.I. es el que mayores superficies riega y posee 3 marcos partidores en su recorrido. Este canal se desarrolla a través de suelos finos, del tipo arcilla arenosa. Su sección tipo no tiene un carácter único, variando entre 2.0 y 5.0 m, con taludes medianamente verticales y profundidades entre 1.0 y 3.0 m. Su trazado va en la mayor parte de su recorrido al pie del cerro, para virar finalmente a la derecha y finalizar en el estero Lo Ovalle.

9.3.4 EMBALSE Y CANALES LO OROZCO

El embalse de Lo Orozco tiene un volumen útil de 5.5 millones de m³, regando en forma efectiva 500 ha. El recurso proveniente de este embalse se divide en 1020 acciones pertenecientes a 12 usuarios que conforman la Asociación de Canalistas del embalse Lo Orozco. Se calcula que se necesita 2 acciones para regar 1 ha. Este bajo rendimiento proviene de la política de la organización de guardar recursos para las temporadas venideras, previniendo una eventual escasez. Esta planificación permitió regar a los usuarios hasta Febrero de 1990, aun cuando los restantes embalses de la zona se encuentran secos desde ya 2 años.

El embalse entrega el recurso mediante 3 válvulas de fondo tipo tornillo, de 50 cm de diámetro cada una, a 3 canales: el canal derecho (C.D.) de 5.5 km de longitud y 6 marcos partidores, el canal medio o central (C.M.) de 4.5 km de longitud también con 6 marcos partidores y el canal izquierdo (C.I.) de apenas unos metros ya que es una salida de agua que riega unas pocas ha sólo cuando hay excesos, teniendo solamente 1 marco partidor y escasa importancia.

El C.D. presenta un trazado tortuoso, con innumerables entradas y salidas, desarrollándose al pie de los cerros a través de un suelo fino, intercambiándose en su

recorrido el carácter arcilloso y arenoso de los suelos atravesados. Presenta un ancho promedio de 1.5 a 2.0 m, y su profundidad varía entre 1.0 y 5.0 m. Este canal transporta un caudal promedio de 400 l/s en la temporada de riego, en la cual se utiliza 8 h al día y entre 3 y 4 días a la semana y riega preferentemente el sector aguas arriba de la ruta 68. Previo a la alcantarilla con que cruza esta carretera presenta una sección trapecial revestida, de ancho basal 60 cm y talud 2:3 (H:V) en una longitud de entre 150 y 200 m, en regular estado de conservación, existiendo algunas losetas removidas.

Por su parte el C.M. transporta un caudal de 500 l/s durante la temporada de riego con idéntico régimen de uso que el anterior, y riega preferentemente el sector aguas abajo de la ruta 68. Este canal atraviesa suelos arenosos en el sector alto, variando su carácter a arcilloso aguas debajo de ruta 68. Su sección tipo es relativamente definida, con un ancho basal de 2.0 a 2.50 m y una profundidad media de 2.0 a 3.0 m, y presenta un regular estado de conservación con pasto, zarzamora y arbustos en el fondo y paredes.

9.4 DELIMITACIÓN DE CUENCAS LATERALES Y APORTES NATURALES

Se ha realizado una división de las subcuencas hidrológicas definidas para la cuenca del Valle de Casablanca, delimitando las cuencas laterales y las zonas de aportes naturales. La delimitación se ha realizado siguiendo la definición utilizada para la modelación integrada de la cuenca, en la que se define como cuenca lateral al aporte de caudal correspondiente a una o más Cuencas o Sub cuencas ubicadas entre dos nodos consecutivos del sistema, descontando el área correspondiente a la/s zona (s) de riego que pudiesen existir entre dichos nodos. Se han delimitado 11 cuencas laterales y 4 cuencas de aportes naturales.

La delimitación de las cuencas laterales se trazó conjuntamente con la inspección fiscal de DGA, teniendo en cuenta la definición anteriormente planteada. Se agruparon de esta forma la red de drenaje que solamente aporta agua a cada sección de acuífero definido en el modelo conceptual.

Las áreas consideradas como aportes naturales se definieron siguiendo la misma metodología, teniendo en cuenta que representa el aporte de caudal de una Cuenca de cabecera del sistema hacia su punto de salida, representado por un nodo del sistema. Este aporte corresponde a una estadística de caudales medios mensuales, la cual puede tener origen en mediciones de una estación fluviométrica o nivométrica conocida, o bien,

en los caudales generados a través de un modelo sintético apropiado al tipo de Cuenca (pluvial, nival o nivo-pluvial). En este caso al no disponer de estaciones fluviales, el caudal se ha generado mediante el modelo HEC-HMS generado para calcular la escorrentía en cuencas laterales.

En las **Figura 9-8** y **9-9** se muestra la división de estas cuencas.

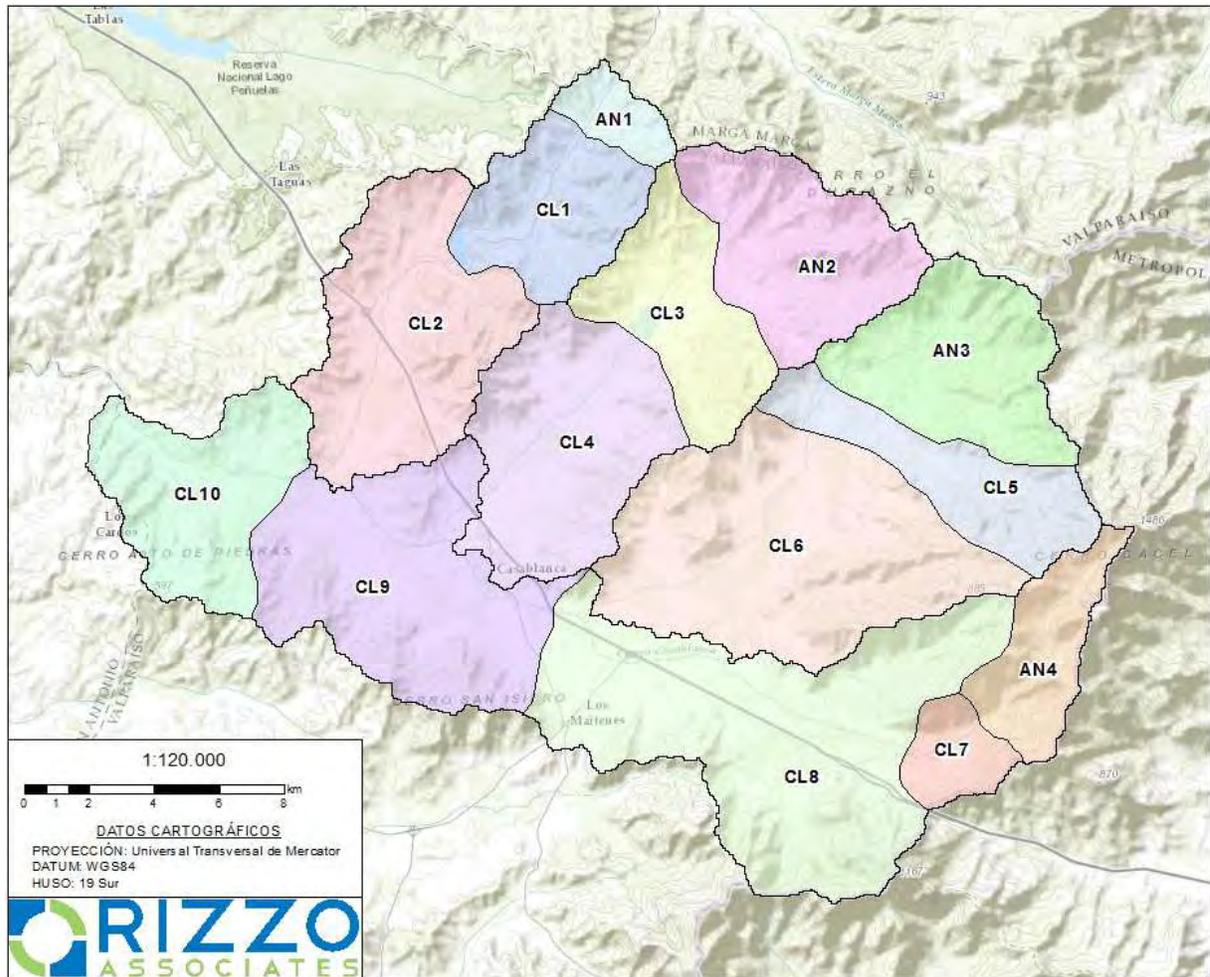


FIGURA 9-8 DELIMITACIÓN CUENCAS LATERALES Y APORTES NATURALES



FIGURA 9-9 DETALLE DIVISIÓN CUENCAS LATERALES CON LA CUENCA SEDIMENTARIA

En este caso para definir los diferentes Aportes Naturales, se delimitó sobre un mapa topográfico la red de drenaje que vierte sus aguas exactamente en la cabecera de la Cuenca. Sin embargo, puede apreciarse que en el caso de las cuencas de AN-02 y AN-03, éstas no coinciden con el ápice de la Cuenca. La razón de este diseño responde a que no existe un solo cauce sino tres o más que aportan agua proveniente de las serranías circundantes, en consecuencia el punto de convergencia de los tres cauces se toman como límite de la Cuenca que genera el Aporte Natural.

En las **Figuras 9-10** y **9-11** se explica de forma gráfica la metodología seguida.

En la figura se muestra la división de las diferentes cuencas laterales

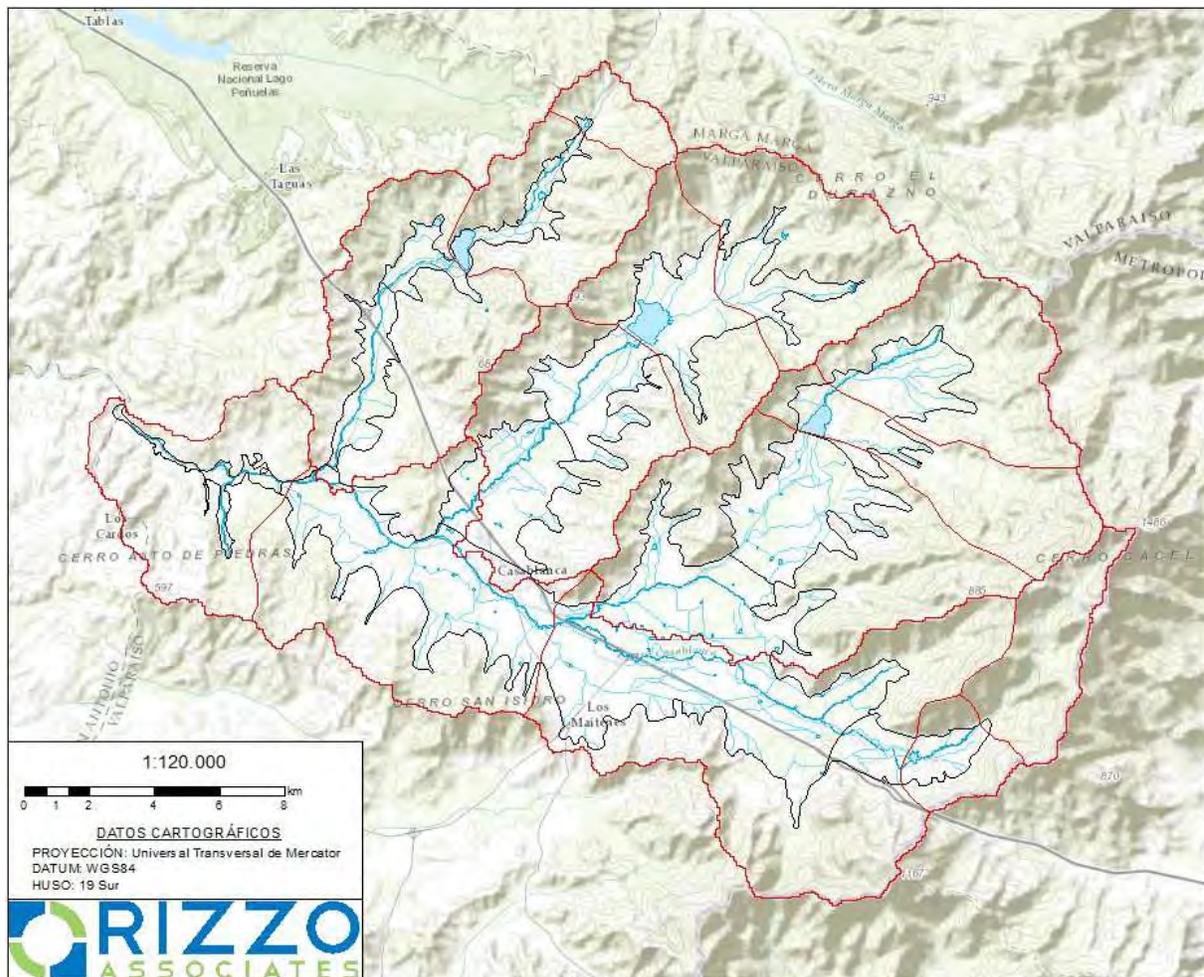


FIGURA 9-10 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS LATERALES SOBRE MAPA TOPOGRÁFICO

A continuación se muestra un detalle de los criterios seguidos en el valle de Lo Ovalle y Tapihue para delimitar la zona de aporte natural.

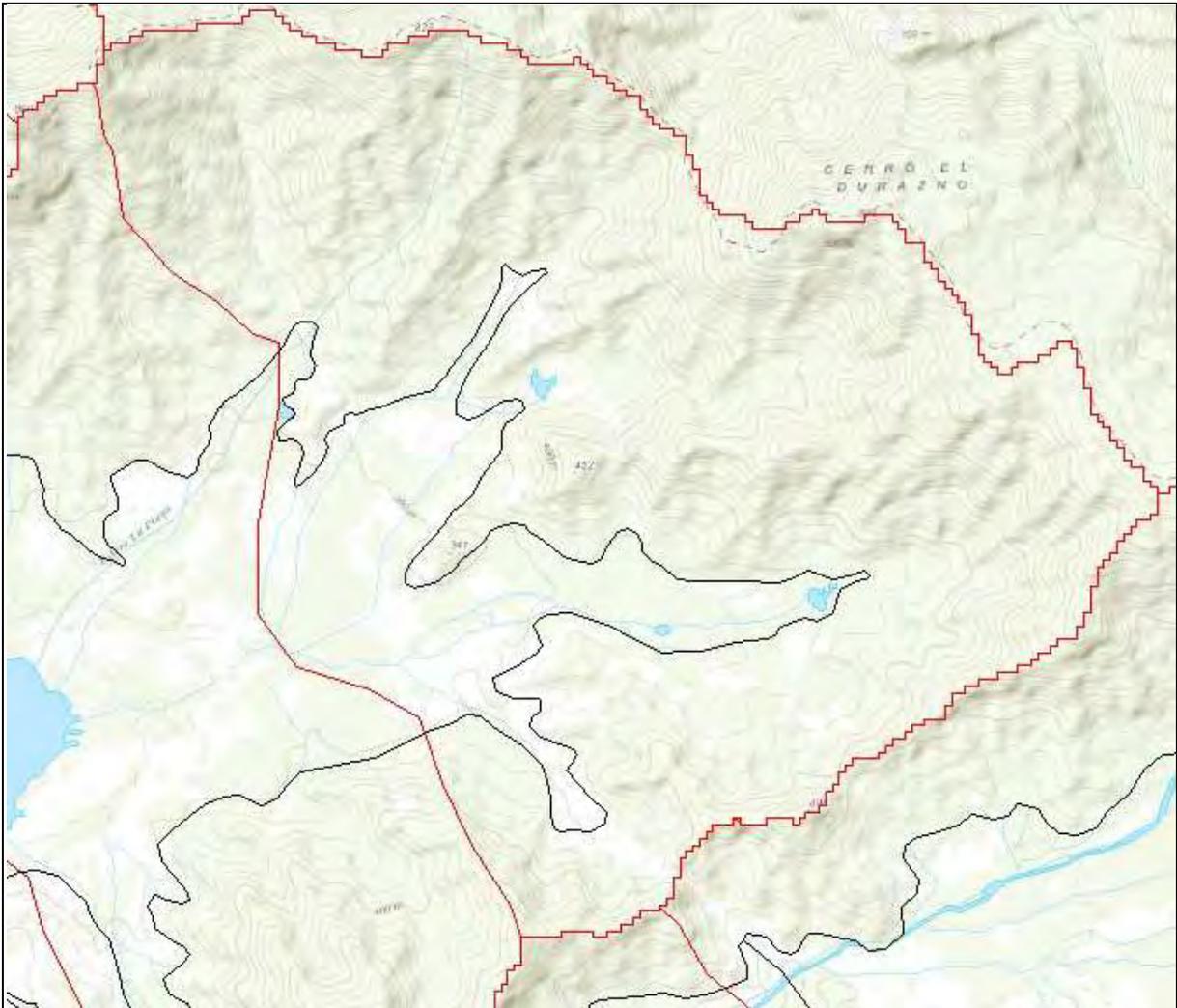


FIGURA 9-11 DETALLE DELIMITACIÓN CUENCA NATURAL EN EL VALLE LO OVALLE

Como se observa en el detalle, la red de drenaje está constituida por más de un aporte, y confluyen en un punto, criterio que se siguió para establecer en ese punto el límite de la cuenca aportante.

Se estableció el aporte en escorrentía producto de las precipitaciones, tanto hacia el sistema superficial como al subterráneo, mediante el modelo de simulación HEC-HMS, cuyos resultados se muestran en el **Anexo 5** y cuya metodología se explica a continuación.

9.5 MODELO DE GENERACIÓN DE ESCORRENTÍAS EN CUENCAS LATERALES

El modelo de escorrentías en cuencas laterales se elaboró en HEC-HMS.

Para la modelación de la hidrología superficial, se utilizó un balance de agua diario, basado en el método de "Soil Moisture Accounting" (SMA), la cual provee una simulación continua. Para el presente estudio, se utilizó una serie diaria de precipitación de 12 horas tomadas desde enero de 1989 hasta la actualidad. Se utiliza un intervalo de 12 horas en el modelo para garantizar la estabilidad numérica del cálculo de la balanza de masa. El programa hidrológico automáticamente ajusta los datos diarios para el intervalo de 12 horas basado en una distribución uniforme de lluvia en el intervalo.

La metodología SMA permite la simulación del movimiento de agua y su almacenamiento en la capa vegetal, la superficie del suelo y dentro del suelo. Utilizando la precipitación y la evapotranspiración potencial como entradas, el modelo computa el escurrimiento superficial, el flujo en el subsuelo, las pérdidas por evapotranspiración y percolación hasta el acuífero para cada subcuenca. Esta percolación hasta el acuífero, puede ser utilizado como entrada en el modelo de agua subterránea (**USACE, 2000**) y es la que se ha utilizado para las modelaciones realizadas en la cuenca.

El modelo HEC-HMS tiene un módulo de SMA para representar una subcuenca como una serie de "embalses" o "almacenamientos" como se indica en la **Figura 9-12**. El volumen de agua en cada subcuenca, está calculado para cada intervalo de tiempo en base a las tasas de flujo hasta afuera de los embalses, y a la capacidad de almacenamiento del mismo.

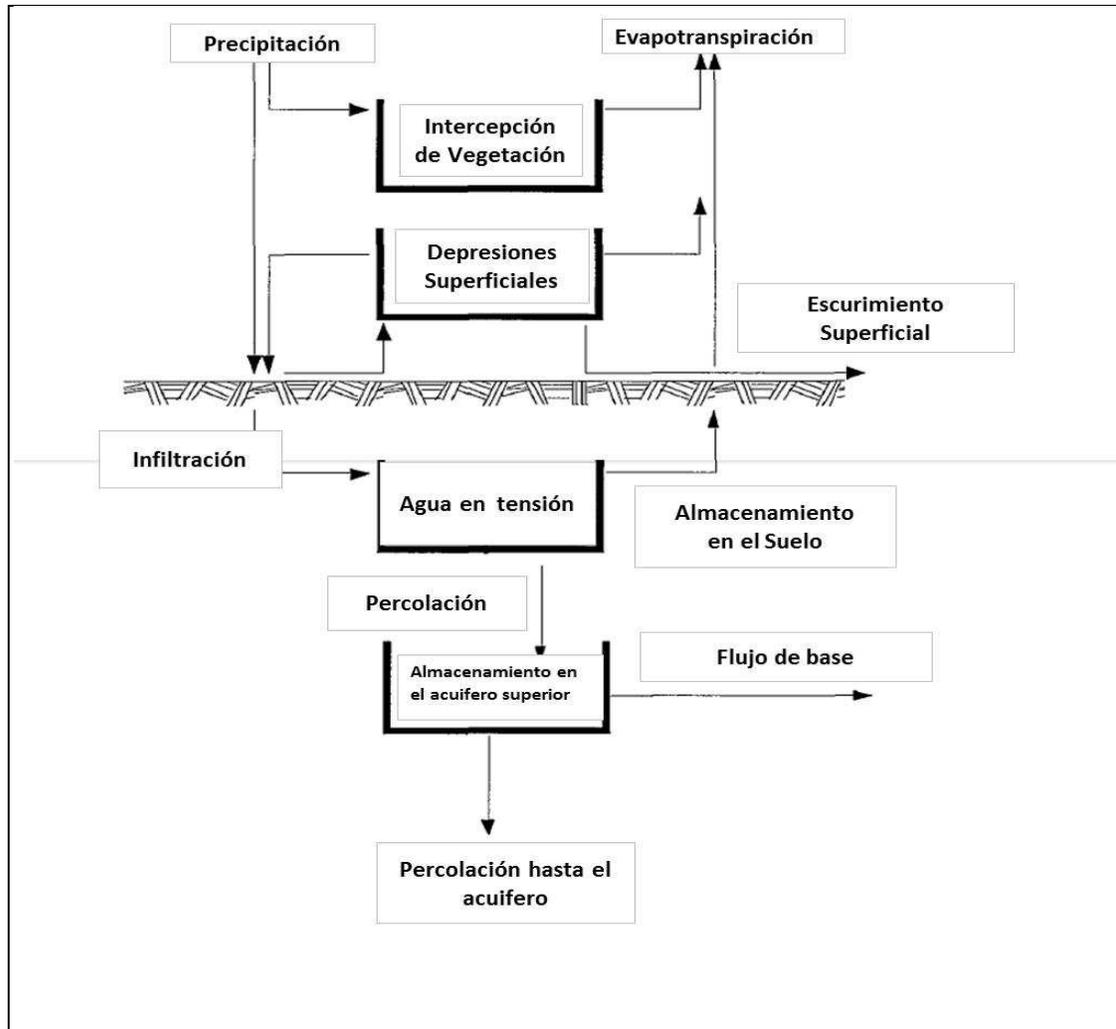


FIGURA 9-12 ESQUEMA DEL MODELO SMA (ADAPTADA DE USACE, 2000)

En la **Figura 9-12** cada recuadro representa un almacenamiento de agua dentro del proceso hidrológico, y las flechas representan flujos entre los almacenamientos (o “embalses”). A continuación se presenta una descripción breve de cada almacenamiento representado en la antes mencionada.

- Almacenamiento por Intercepción de Vegetación (“Canopy Storage”), representa el volumen de precipitación capturada por las hojas de árboles y plantaciones, previendo que el agua alcanza la superficie del terreno. En el modelo, este volumen debe ser llenado antes que la precipitación pueda entrar a otros almacenamientos – después de la reducción por evapotranspiración (ET)

- Almacenamiento en depresiones superficiales, es el volumen de agua que debe ser llenado antes que empiece el escurrimiento superficial. El agua en este almacenamiento al inicio del intervalo de computación, está disponible para ET e infiltración también.
- Almacenamiento en el suelo, está representado en dos "columnas". La primera representa el agua en los poros que puede drenarse por gravedad, y la segunda representa el agua en tensión. El agua en tensión, está disponible solamente para ET. El agua en la otra columna puede salir de almacenamiento por percolación hasta el acuífero, flujo base de un cauce, o por el proceso de ET. La ET actual, está relacionada con la ET potencial tomando en cuenta la tendencia de agua en tensión de pegarse al suelo.

9.5.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS

Se ha utilizado el modelo para el cálculo de los aportes de las cuencas laterales, por lo que se ha utilizado la subdivisión realizada para el modelo de cuencas laterales y cuencas de aportes naturales explicado en el capítulo 9.3. Para la implementación del balance de agua, basado en la topografía y en la delimitación de las cuencas laterales y aportes naturales no se ha tenido en cuenta el relleno sedimentario de la cuenca ni las zonas de riego ubicadas en la base de las cuencas laterales, ya que como se ha mencionado el objetivo de este modelo es calcular los aportes de las cuencas laterales, necesarios para las modelaciones numéricas.

En la **Figura 9-13** se muestran las subcuencas, que se han tenido en cuenta para los cálculos.



FIGURA 9-13 SUBCUENCAS DELIMITADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

En la **Tabla 9-6** se presenta un resumen de las áreas de cada subcuenca, para los cálculos se descontó la superficie cultivada en las cuencas laterales, es decir se utilizaron los datos de la tercera columna de la tabla antes mencionada, que tiene en cuenta solo la superficie No cultivada de las cuencas laterales.

TABLA 9-6 RESUMEN DE LAS SUBCUENCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

SUBCUENCA	SUPERFICIE TOTAL (km ²)	SUPERFICIE CUENCA-SUPERFICIE CULTIVADA (KM ²)
AN1	6,43	5,95
AN2	26,15	25,49
AN3	23,9	22,96
AN4	16,48	16,48
CL1	19,10	18,93
CL2	34,73	34,27
CL3	16,61	14,88
CL4	20,66	17,96
CL5	17,79	17,36
CL6	35,11	32,91
CL7	5,36	5,23
CL8	43,0	40,48
CL9	28,28	23,5
CL10	28,14	27,66

9.5.2 PRECIPITACIÓN

Se trabajó con medidas diarias de precipitación obtenidas de las dos estaciones pluviométricas localizadas en la zona de estudio, la estación de Casablanca y la estación de Tapihue. Las mismas son mantenidas por el Centro de Información de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, desde el año 1986 hasta la fecha. Se utilizó información de la estación de Casablanca para el Valle de La Vinilla-Casablanca, y la estación de Tapihue para los Valles de Lo Orozco, Lo Ovalle, y Los Perales de Tapihue.

Se presenta un resumen de los datos básicos de las dos estaciones en la **Tabla 9-7**

TABLA 9-7 DATOS BÁSICOS DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO ACTUAL

Estación y Condigo BNA	Casablanca, 05520001-7	Tapihue, 05520002-5
Cuenca	Costeras Aconcagua-Maipo	Costeras Aconcagua-Maipo
Subcuenca	Costera entre E Casablanca y E San Jerónimo	Costera entre E Casablanca y E San Jerónimo (Incl)
Altitud, msnm	290	310
Latitud, S	33°19'00"	33°17'00"
Latitud, W	71°24'00"	71°17'00"
UTM Norte, m	6309718	6314194
UTM Este, m	275383	286618

Se presentan los regímenes anuales para las dos estaciones en la **Figura 9-14**

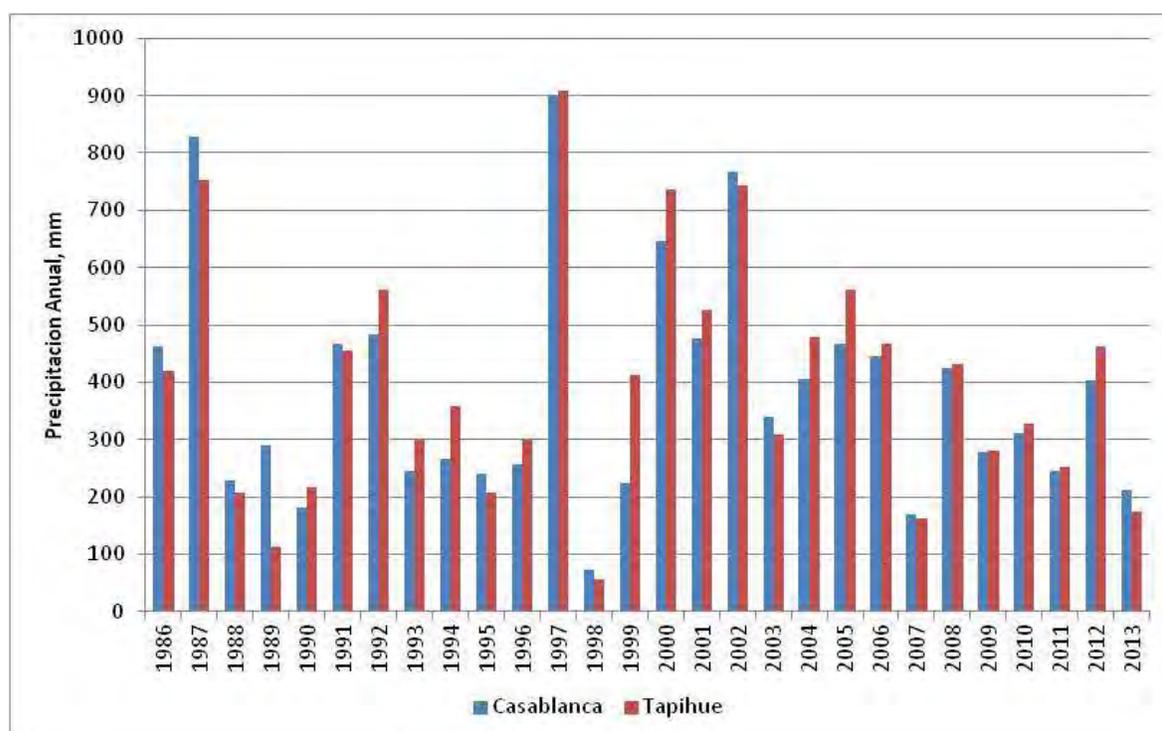


FIGURA 9-14 REGÍMENES ANUALES DE LLUVIA EN LA ZONA DEL ESTUDIO

De la lectura de la **Figura 9-14** se puede observar que no hay una tendencia de largo plazo a la disminución de lluvia con el tiempo, dentro de la serie de tiempo disponible.

Para el estudio se tomaron los valores históricos de precipitación diaria desde 1/1/1991 hasta 1/1/2013.

Para completar las series se utilizó una correlación entre las dos estaciones a fin de estimar los valores faltantes, de acuerdo a lo presentado en la **Figura 9-15**

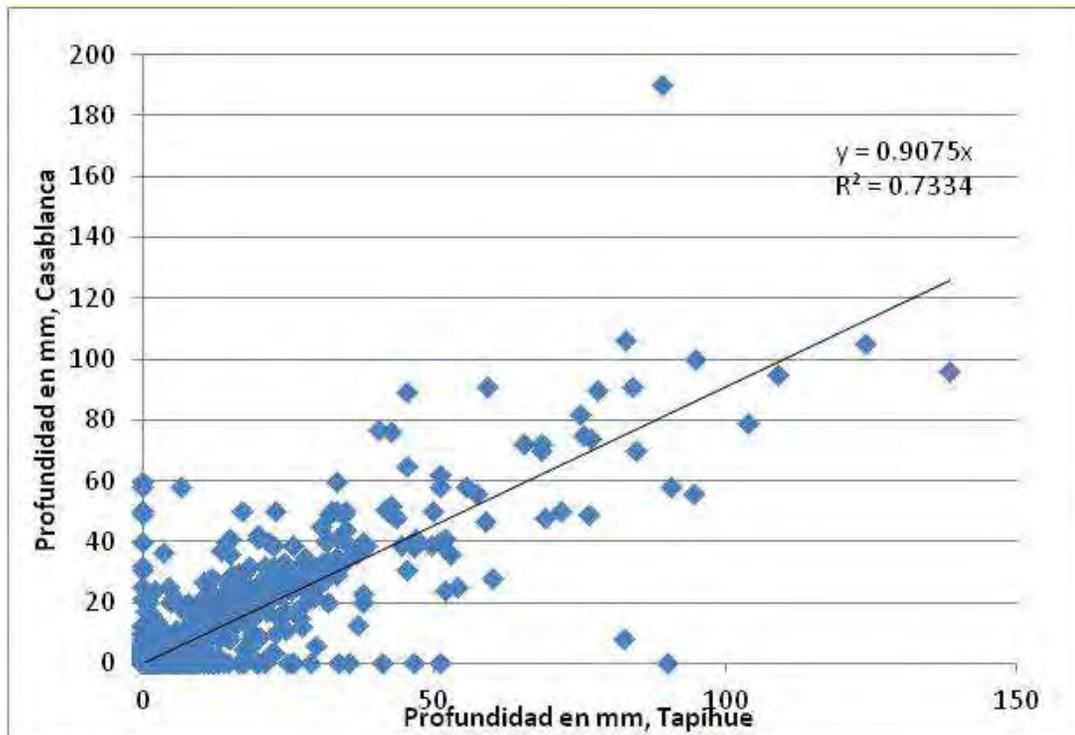


FIGURA 9-15 CORRELACIÓN ENTRE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

La serie del tiempo para cada estación está incorporado como entrada en el módulo de Meteorología en el modelo HEC-HMS (**USACE, 2010**), utilizándose un intervalo de 12 horas para la modelación del balance de agua.

9.5.3 INTERCEPCIÓN POR VEGETACIÓN Y ALMACENAMIENTO EN DEPRESIONES

La intercepción de la lluvia ("Canopy Storage") y el almacenamiento en depresiones del suelo, se representan en el balance hídrico como profundidades de almacenamiento, medidas en milímetros. Los valores del almacenamiento son determinados como funciones del uso del suelo de acuerdo a lo reportado en la literatura, según lo que se describe a la continuación. Los usos del suelo en cada subcuenca se han clasificado de acuerdo a lo visto en campo con la ayuda de fotografía aérea facilitada por ArcGIS 10.2 entre los siguientes grupos:

- Bosque
- Frutal
- Matorral

- Montaña
- Sin Cultivo
- Terreno Cultivo
- Viña

A continuación se presenta un resumen de la forma de estimar el parámetro de intercepción para cada uso de suelo en la **Tabla 9-8**

TABLA 9-8 ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE INTERCEPCIÓN EN FUNCIÓN DEL USO DE SUELO

Uso del Terreno	Intercepción máxima (mm)	Metodología para estimar la intercepción promedio, basado en una lluvia de referencia de 100mm (Dunne y Leopold, 1978, pp 86 - 92)
Bosque	14	Intercepción de 28% de precipitación sobre en el área de bosque, suponiendo 50% cubrimiento
Frutal	7	Intercepción de 14% de precipitación sobre el área frutal, suponiendo 50% cubrimiento
Matorral	21,5	$I (mm) = 0.86HV$, donde H = altura promedio de grama, 100 mm; V = 25% de cubrimiento
Montaña	14	Intercepción de 28% de precipitación sobre el área de bosque, suponiendo 50% cubrimiento
Sin Cultivo	5	5mm - juicio ingenieril
Terreno Cultivo	16,5	Intercepción de 50% de precipitación sobre el area de cultiva, 33% cubrimiento
Viña	10,89	Intercepción de 33% sobre el área de cultiva, 33% cubrimiento

En **Tabla 9-9** se presenta un resumen de cómo se estimó el parámetro de almacenamiento en depresiones de suelo, para cada uso de suelo.

TABLA 9-9 ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE ALMACENAMIENTO EN DEPRESIONES EN EL SUELO EN FUNCIÓN DEL USO DE SUELO

Uso del Terreno	Intercepción máxima (mm)	Referencia para el valor del parámetro utilizado
Bosque	14,3	Ve Richards et al, 2012
Frutal	5,8	Ve Richards et al, 2012
Matorral	11,4	Ve Richards et al, 2012
Montaña	6,35	Ve Chow, 1964, pg. 20-18 "1/4 inch"
Sin Cultivo	2	Zona urbana, valor representativa para suelo arcillosa, Hydrology Handbook, pg. 567
Terreno Cultivo	8	Ve Richards et al, 2012
Viña	8	Ve Richards et al, 2012

La distribución del uso del terreno dentro de la zona del estudio está representada en la **Figura 9-16**

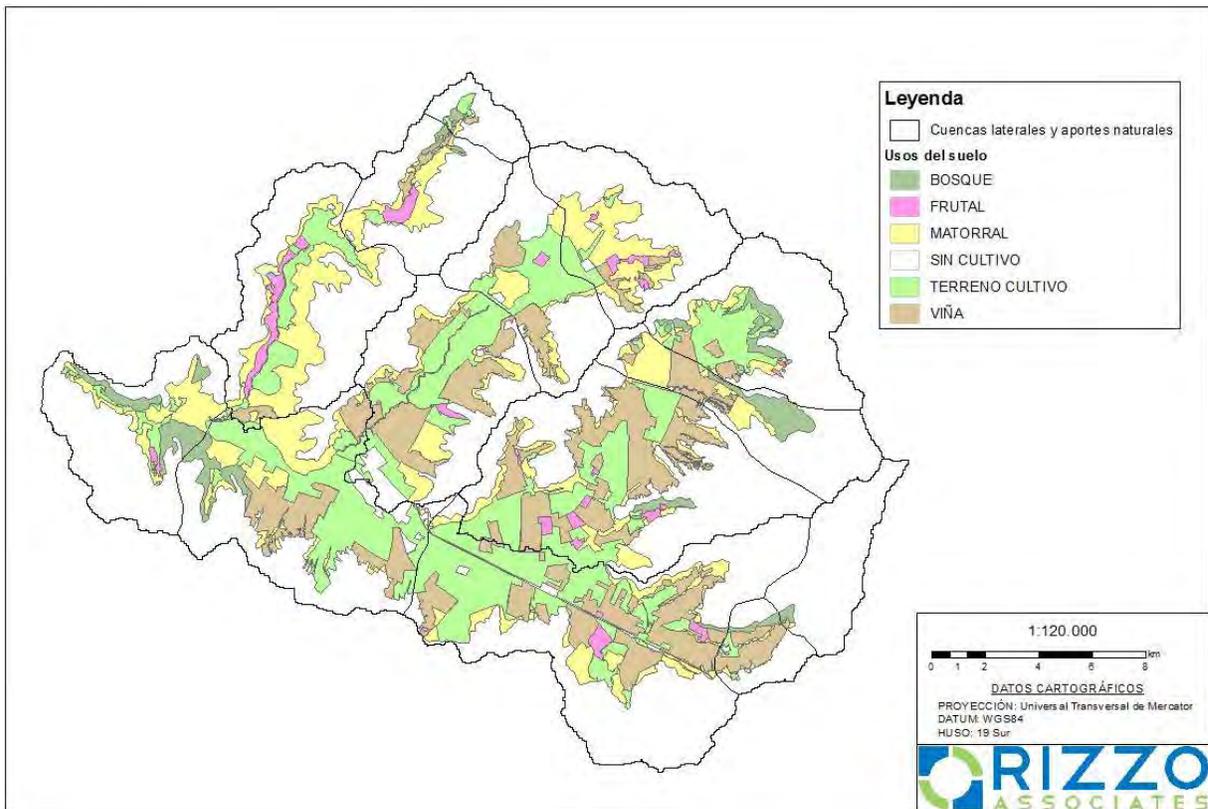


FIGURA 9-16 MAPA DEL USO DEL TERRENO DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se calculó un valor para cada subcuenca de los parámetros de intercepción y almacenamiento en depresiones de suelo en base al tipo de uso del suelo, el valor del parámetro de uso VU, de acuerdo a lo indicado en **Tablas 9-8** y **9-9** y el área del uso, AU, para los n polígonos en cada subcuenca como:

$$\text{Valor}(cada\ subcuenca) = \frac{\sum_{i=1}^n VU_i * AU_i}{\sum_{i=1}^n AU_i}$$

Los resultados del cálculo están resumidos en la **Tabla 9-10**

TABLA 9-10 RESUMEN DEL CÁLCULO DE PARÁMETROS DE PÉRDIDAS

Subcuenca	Area, km ²	Almacenamiento(mm)	
		Intercepción	Depresión
AN1-1	5,95	14,22	6,77
AN2-1	25,49	15,62	7,44
AN3-1	22,96	14,37	7,10
AN4-1	16,48	14,02	6,49
CL01-1	18,93	14,75	7,00
CL02-1	34,27	16,08	7,75
CL03-1	14,88	14,64	6,78
CL04-1	17,96	15,61	7,43
CL05-1	17,36	14,70	7,96
CL06-1	32,91	14,81	7,05
CL07-1	5,23	14,19	7,11
CL08-1	40,48	14,88	6,97
CL09-1	23,50	15,33	7,86
CL10-1	27,66	14,93	7,79

9.5.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se representa la evapotranspiración potencial (ETP) con valores promedios mensuales calculados con la metodología de Hargreaves (*Maidment, Ed., 1993*), la cual toma en cuenta solamente la latitud y temperatura del lugar.

La evaporación potencial, E_{rc} , en mm/día está estimado como (*Maidment, Ed., 1992*, p. 4.31)

$$E_{rc} = 0.0023 * S_0 * \delta T^{0.5} * (T + 17.8)$$

Dónde:

T = es la temperatura en grados centígrados,

δT = es la diferencia entre la temperatura mínima y máxima diaria promedio, y

S_0 = es el equivalente en agua de radiación solar en mm/día para la zona del estudio, dado como,

$$S_0 = 15.392 * d_r(\omega_s \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s)$$

Dónde:

ω_s = es el ángulo de puesta del sol (radianes)

φ = es el latitud,

δ = es la inclinación solar dado como:

$$\delta = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$$

Donde J es el día calendario Juliano entre 1 y 365.

Para este estudio, se calculó el valor de ETP promedio para cada día utilizando una latitud de 31° Sur, y se sumó el ETP diario para cada mes. Se presenta un resumen del cálculo de la ETP mensual en la **Tabla 9-11**, los resultados se presentan en (mm/mes)

TABLA 9-11 RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL ANUAL
1991	164,49	134,18	115,32	85,69	59,86	46,03	47,28	58,71	87,35	108,29	127,11	151,95	1186,25
1992	159,62	128,11	120,47	80,21	51,83	40,78	46,30	65,24	81,32	127,33	135,31	165,57	1202,09
1993	172,60	127,48	129,38	81,93	56,66	45,29	49,27	67,03	86,53	118,65	140,40	153,46	1228,69
1994	155,52	125,86	112,61	89,54	62,80	46,81	50,78	68,24	91,51	114,17	141,22	169,66	1228,74
1995	165,25	125,76	120,55	87,67	71,16	48,61	46,82	63,99	80,72	117,14	126,59	135,69	1189,94
1996	157,98	139,81	122,58	85,88	64,34	46,33	52,97	60,31	82,65	113,77	148,82	164,33	1239,77
1997	186,08	153,76	127,53	93,17	70,57	44,71	54,70	76,41	82,67	109,64	144,98	161,32	1305,56
1998	172,47	129,30	122,73	73,28	67,57	49,08	53,38	71,11	90,94	127,79	142,01	171,76	1271,42
1999	155,84	130,29	123,17	93,49	64,38	47,61	52,62	66,77	75,56	105,96	134,97	163,55	1214,22
2000	158,90	136,46	131,12	85,56	64,93	41,22	58,86	68,60	79,81	112,58	151,57	164,14	1253,73
2001	161,85	137,05	132,59	79,81	59,68	49,86	45,15	59,36	81,00	112,64	139,13	161,25	1219,38
2002	166,96	125,88	135,61	87,14	60,73	44,84	53,58	62,52	90,06	117,97	131,57	157,83	1234,66
2003	169,54	138,22	103,97	81,95	61,97	42,55	48,90	62,55	87,60	127,43	131,79	147,57	1204,04
2004	146,29	124,71	123,15	88,03	55,31	46,81	47,29	61,81	81,68	107,41	119,40	160,37	1162,27
2005	169,01	123,27	126,50	100,39	53,98	38,72	45,69	61,40	73,67	97,48	122,76	134,53	1147,41
2006	148,22	111,07	118,48	79,42	50,00	41,47	43,35	57,51	83,77	106,31	122,37	149,57	1111,53
2007	146,01	114,15	110,21	78,02	55,64	41,49	48,84	61,51	77,62	119,17	145,29	158,05	1156,00
2008	158,49	143,11	129,46	85,21	58,25	48,00	46,63	65,62	89,19	120,47	134,56	149,50	1228,49
2009	163,13	130,33	128,41	95,24	58,37	45,74	41,48	59,92	76,93	130,86	143,00	169,63	1243,03
2010	161,95	129,86	126,88	89,56	64,67	42,67	46,05	62,79	92,33	109,40	141,53	141,25	1208,94
2011	157,43	122,14	120,57	81,71	65,13	47,02	50,70	64,63	92,20	124,46	145,86	139,94	1211,79
2012	186,88	157,68	123,87	84,87	61,06	51,80	51,56	64,05	77,70	97,31	115,55	143,64	1215,96
2013	120,14	127,98	119,63	82,10	54,18	43,00	44,52	66,11	82,83	105,80	134,62	142,63	1123,56

Se usa el ETP promedio del mes en el modelo hidrológico HEC-HMS para calcular la evaporación de agua en los almacenes de intercepción y depresiones superficiales, antes de calcular infiltración hasta la capa de suelo superior (**USACE, 2000**, pp. 41-2)

En la **Figura9-17** se presenta un ejemplo de la distribución mensual de la ETP del uso del terreno dentro de la zona del estudio.

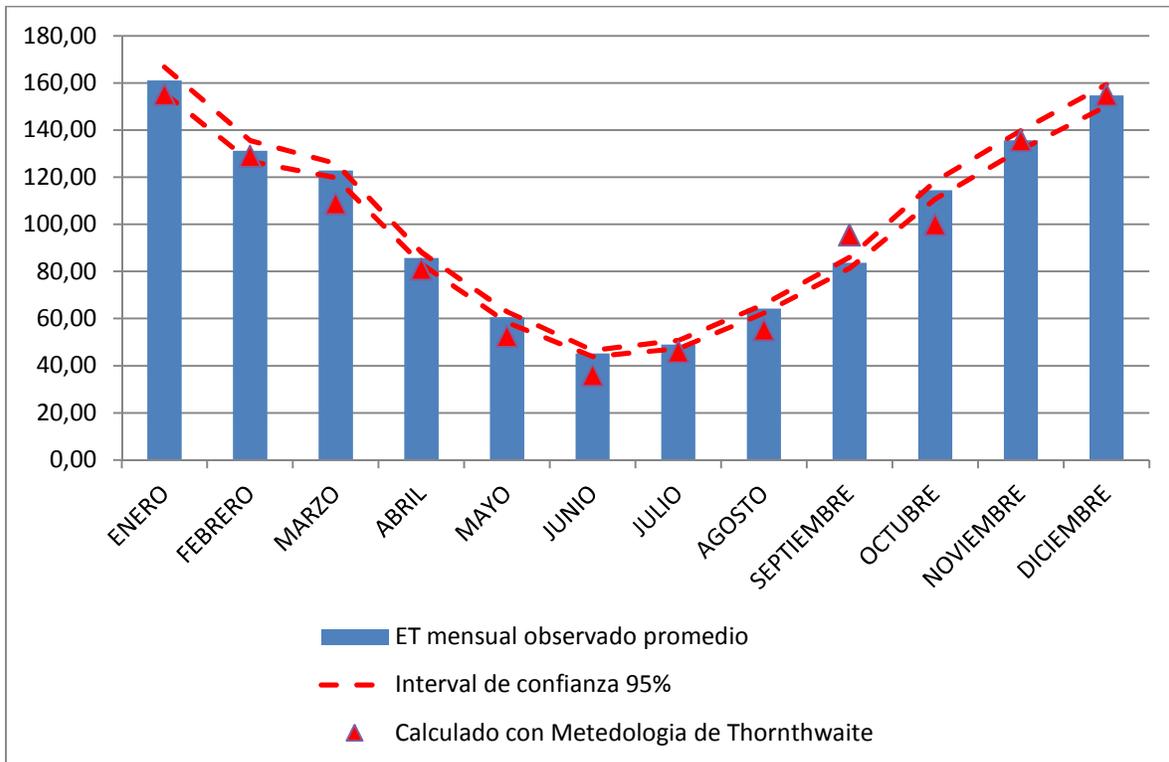


FIGURA 9-17 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE ETP EN EL VALLE DE CASABLANCA

9.5.5 INFILTRACIÓN AL SUELO Y PERCOLACIÓN HASTA EL ACUÍFERO

Para el MAGIC se calculó una serie histórica de evapotranspiración por mes y por año desde el año 1991 al 2013, e la siguiente tabla se presenta un resumen con los valores anuales y una gráfica que muestra la tendencia de la misma a lo largo de los años de estudio.

TABLA 9-12 RESUMEN VALORES EVAPOTRANSPIRACIÓN ANUAL

Año	Erc, mm/año
1991	1186,2
1992	1202,1
1993	1228,7
1994	1228,7
1995	1189,9
1996	1239,8
1997	1305,6
1998	1271,4
1999	1214,2
2000	1094,8
2001	1219,4
2002	1234,7
2003	1204,0
2004	1162,3
2005	1147,4
2006	1111,5
2007	1156,0
2008	1228,5
2009	1243,0
2010	1208,9
2011	1211,8
2012	1164,2
2013	1017,8

A continuación se presenta un gráfico, **Figura 9-18**, que muestra la tendencia de la evapotranspiración a lo largo de los años.

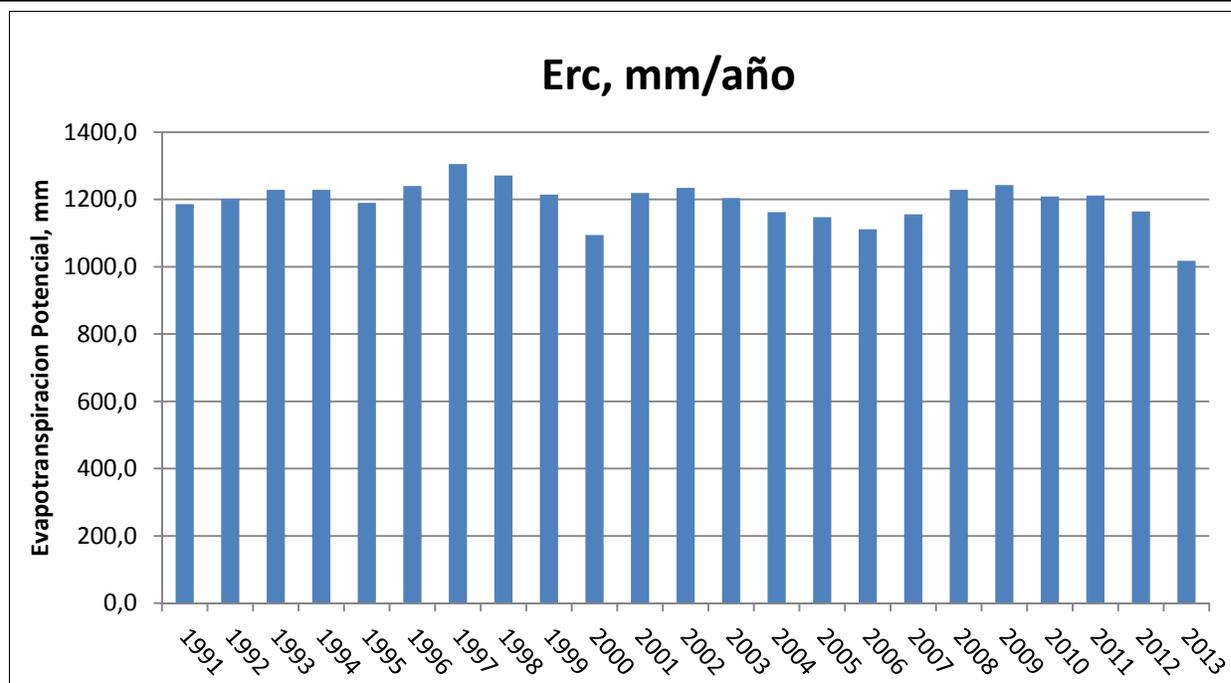


FIGURA 9-18 COMPARACIÓN EVAPOTRANSPIRACIONES ANUALES

Uno de los parámetros claves de la metodología SMA son las tasas de infiltración y de percolación hasta el acuífero. En la realidad estos valores tienen una gran variación dentro de cualquier subcuenca, pero las exigencias de la modelación son importantes y es necesario utilizar valores promedios. Para este estudio, se emplea un rango de valores de infiltración entre 0.1 y 1.0 mm/hora, representativa de suelos arcillosos, de acuerdo con la variación notada por el USDA y de acuerdo a lo resumido en la **Tabla 9-13**

TABLA 9-13 VARIACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN SEGÚN OBSERVACIONES (USDA, 2014)

Tipo de Suelo	Tasa de Infiltración	
	Pulgadas/hora	Milímetros por hora
Arcilla	0.04 - 0.2	0.1 - 5.0
Barro arcilloso ("loam")	0.2 - 0.4	5.0 - 10
Arena	0.8	> 20

Se muestra el efecto del valor de infiltración en el volumen total de percolación y escurrimiento superficial como porcentajes de la precipitación total en la **Figura 9-19**. Basado en los resultados de estudios anteriores, se utilizó un valor de 0.25 mm/hora

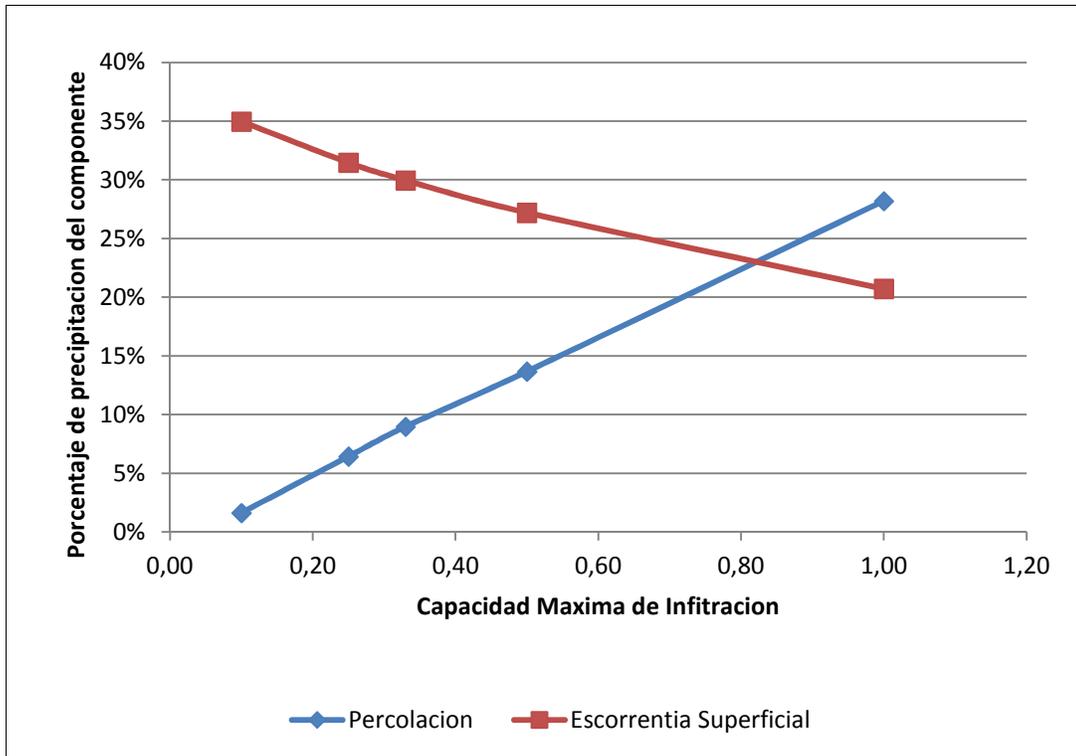


FIGURA 9-19 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN SOBRE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y LA PERCOLACIÓN HASTA EL ACUÍFERO.

Se utiliza un valor de 10 mm/hora para la tasa de percolación hasta el acuífero para todas las simulaciones, por la suposición de que es la infiltración en la superficie del suelo la que gobierna la recarga, y no la percolación hacia la profundidad.

Además de los límites del flujo, el almacenamiento de agua en la columna de suelo es otro parámetro importante para describir el proceso de recarga del acuífero. Se utiliza valores de 150 milímetros para el suelo (que corresponde a una profundidad de 0.5 hasta 1 metro, suponiendo una porosidad de 0.10) y de 350 milímetros para la columna de suelo entre la capa superior y el acuífero (que corresponde a una profundidad de 35 metros para una porosidad de 0.10). Se resume los parámetros de infiltración, almacenamiento, y percolación en la **Tabla 9-14**

TABLA 9-14 RESUMEN DE PARÁMETROS DEL SUELO UTILIZADOS EN EL BALANCE HÍDRICO

Subcuenca	Infiltración (mm/hr)	Porcentaje impermeable	Almacenamiento en suelo (mm)	Almacenamiento en tensión (mm)	Percolación al agua subterránea	Almacenamiento en zona freática (mm)	Percolación al acuífero	Coefficiente de detención (horas)
AN1-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
AN2-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
AN3-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
AN4-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL01-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL02-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL03-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL04-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL05-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL06-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL07-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL08-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL09-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100
CL10-1	0,25	0	150	40	10	350	15	100

9.5.6 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de la modelación del balance de agua en la zona de estudio, descrito en secciones anteriores.

9.5.6.1 BALANCE DETALLADO PARA SUBCUENCAS REPRESENTATIVAS

Se implementó el balance de agua para cada subcuenca sin vincularlas unas con otras, con una red de drenaje, debido al intervalo de simulación de 12 horas, que representa un tiempo más largo que el tiempo de concentración del valle entero. Se observa la existencia de flujo en los cauces superficiales, solamente después de eventos pluviométricos intensos por lo que no se considera una contribución significativa a la recarga del acuífero.

Se muestra la implementación del balance de agua en el programa de modelación hidrológica HEC-HMS en la **Figura 9-20**



FIGURA 9-20 SUBCUENCAS UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN EN HEC-HMS

La distribución de la lluvia entre evapotranspiración, escurrimiento y recarga del acuífero subyacente, depende de los valores de los parámetros utilizados para representar los procesos hidrológicos de la cuenca. En la figura presentada a continuación se observa el impacto de cada una de ellas.

La **Figura 9-21**, representa los valores acumulativos del balance de agua con respecto a la superficie de suelo para la subcuenca CL-08, utilizando una tasa de infiltración de 0.25 mm/hora. Se puede ver que la percolación hasta el acuífero es menos del 10 % de la precipitación total y que la mayoría de la lluvia esta particionada entre evapotranspiración de las plantas interceptoras y de la columna de suelo superior, y escurrimiento superficial (lo cual ocurre solamente una veces cada año.)

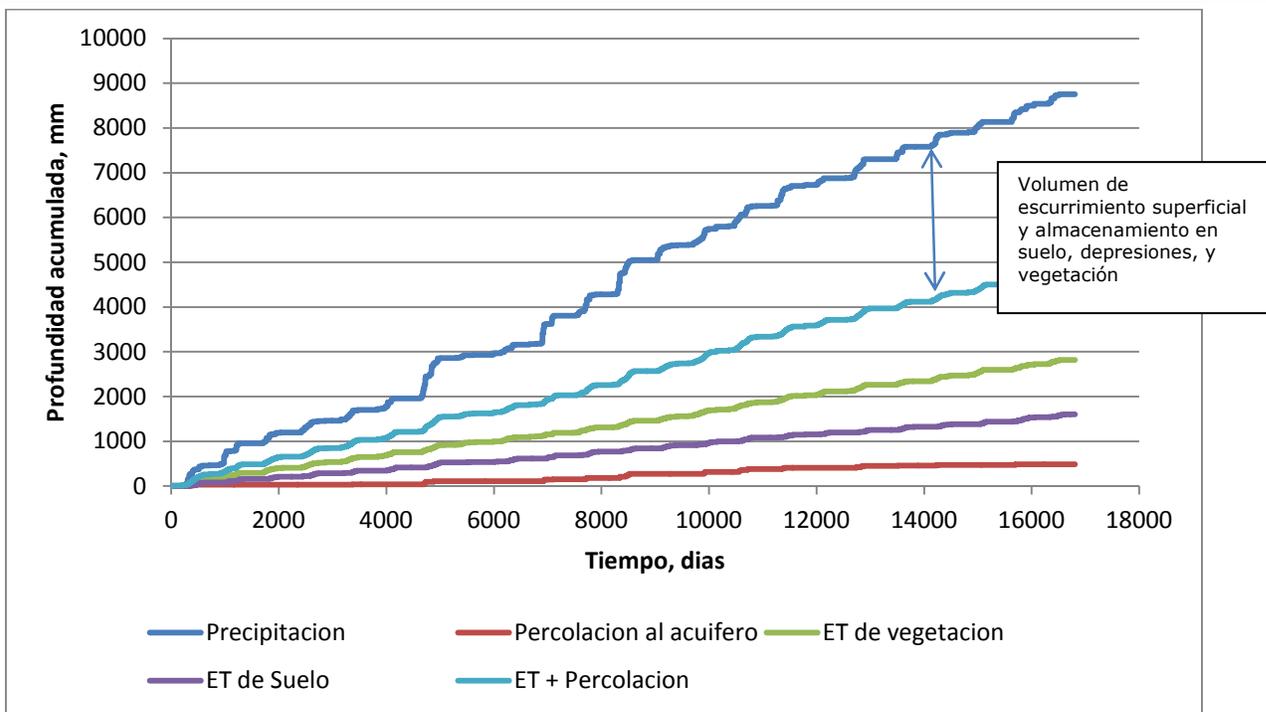


FIGURA 9-21 BALANCE ACUMULATIVO DE AGUA DE LA SUPERFICIE PARA LA SUBCUENCA CL-08

En el **Anexo 5** se muestran los valores de percolación y caudales de esorrentía de las cuencas laterales desde el año 1991 hasta el 2013. Los valores obtenidos se presentan como valores mensuales por cada año.

Los valores de la recarga de las cuencas laterales se expresan en mm/mes. Los valores de esorrentía se presentan en l/s. Se tomaron flujos promedios en intervalos de 12 horas. Los datos obtenidos se convirtieron en volúmenes y los volúmenes de cada intervalo se sumaron para obtener el volumen total.

Para la incorporación de los valores de recarga generados al modelo MAGIC, se transformaron a caudal medio mensual y se generó un pozo de inyección para cada acuífero MAGIC, ingresando el valor negativo de los caudales asociados a la explotación original tanto en las tablas PO_PARAM y PO_Q.

Asimismo, para el ingreso de la esorrentía superficial en MAGIC, se definieron los nodos de recepción de este escurrimiento para cada cuenca lateral, siendo conducida a través de un tramo de río equivalente hacia el cauce principal. Para las cuencas laterales: CL-01, CL-05 y CL-07 el aporte generado mediante el modelo HEC-HMS se distribuyó de forma

proporcional a las áreas aportantes por cada ladera de dicha cuenca hacia el respectivo acuífero, generando una zona de aportante adicional equivalente a una cuenca lateral. Esto se utilizó para la generación de un segundo nodo de recepción del aporte de estas cuencas, y sus consiguientes tramos de río, de manera de representar la infiltración de las diferentes aportes secundarios al atravesar la cuenca sedimentaria en su camino al cauce principal. A continuación **Figura 9-22**

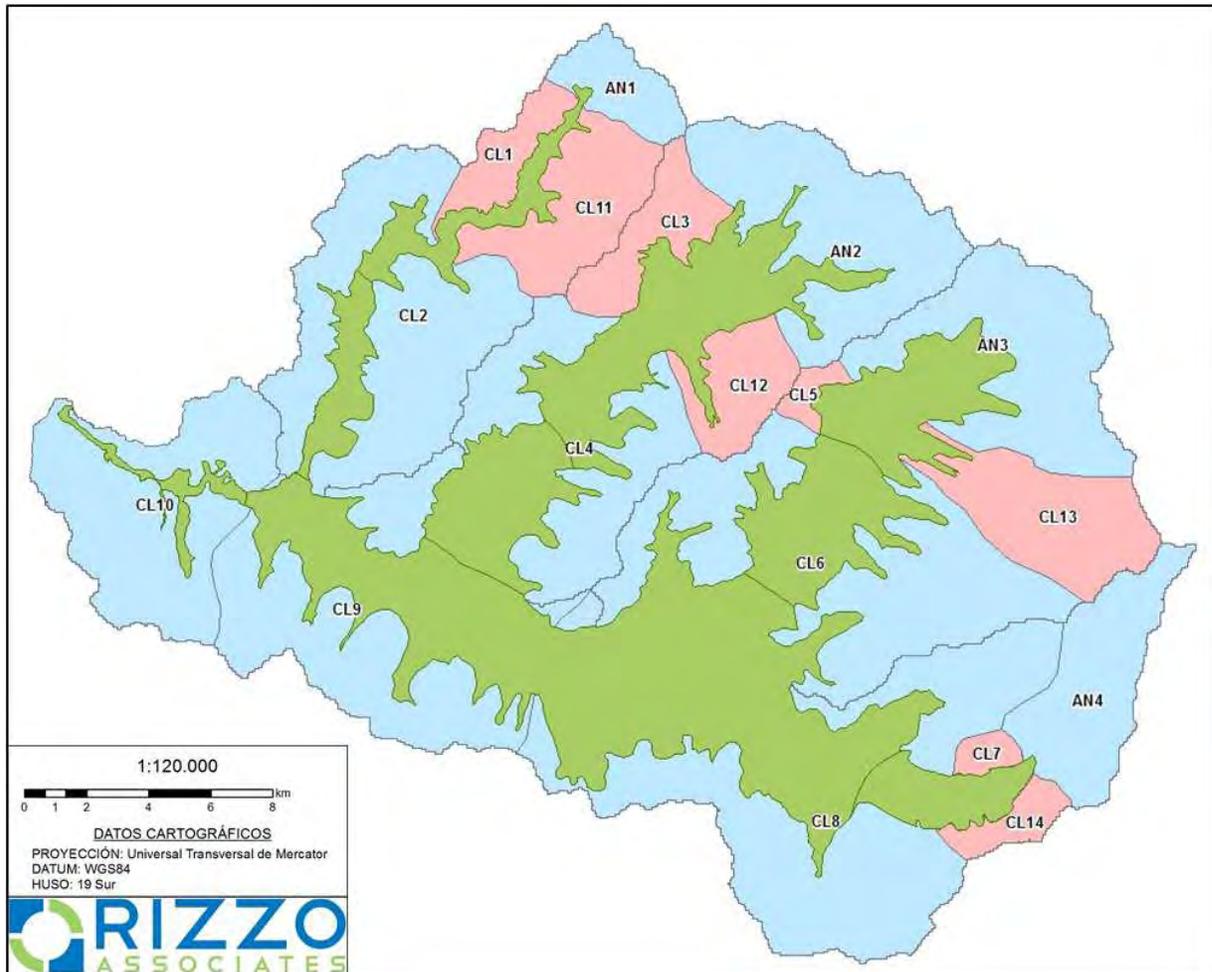


FIGURA 9-22 CUENCAS LATERALES INGRESADAS A MAGIC

Por otro lado, los aportes de las cuencas laterales CL-02, CL-04, CL-06, se dirigieron directamente a los nodos de distribución ubicados aguas abajo del embalse para ser derivadas por los canales que abastecen las zonas de riego que se ubican bajo dichas cuencas laterales.

9.6 DESCARGAS Y RECARGAS

La información que se detalla a continuación se divide en tres etapas: recarga neta, descarga y por último un balance general de caudales de entradas y salidas de aguas superficiales y subterráneas.

9.6.1 RECARGA NETA

La recarga neta se obtiene como resultado del MAGIC, y se utilizara en el modelo hidrogeológico subterráneo como dato de entrada.

El modelo MAGIC, entrega el total de las recargas producto de la percolación del sistema superficial producto de:

- Infiltraciones de los tramos de río y canales definidos.
- Infiltraciones de los embalses y percolaciones de las superficies Urbanas.
- Percolaciones profundas producto del balance de las zonas de riego, en virtud de las necesidades de los cultivos, disponibilidad de aguas en el sistema superficial, eficiencias de riego, derrames de otras zonas de riego aportantes, reuso de derrames.
- Volumen de almacenamiento agua máximo de los acuíferos.
- Infiltración sub superficial de las cuencas laterales aportantes a cada acuífero respectivo. En este caso las cuencas laterales originales utilizadas en el modelo de precipitación HEC-HMS, fueron nuevamente subdivididas para ingresar el valor proporcional al área aportante para cada acuífero, dando origen a un total 32 cuencas laterales, las cuales fueron utilizadas finalmente en MAGIC.

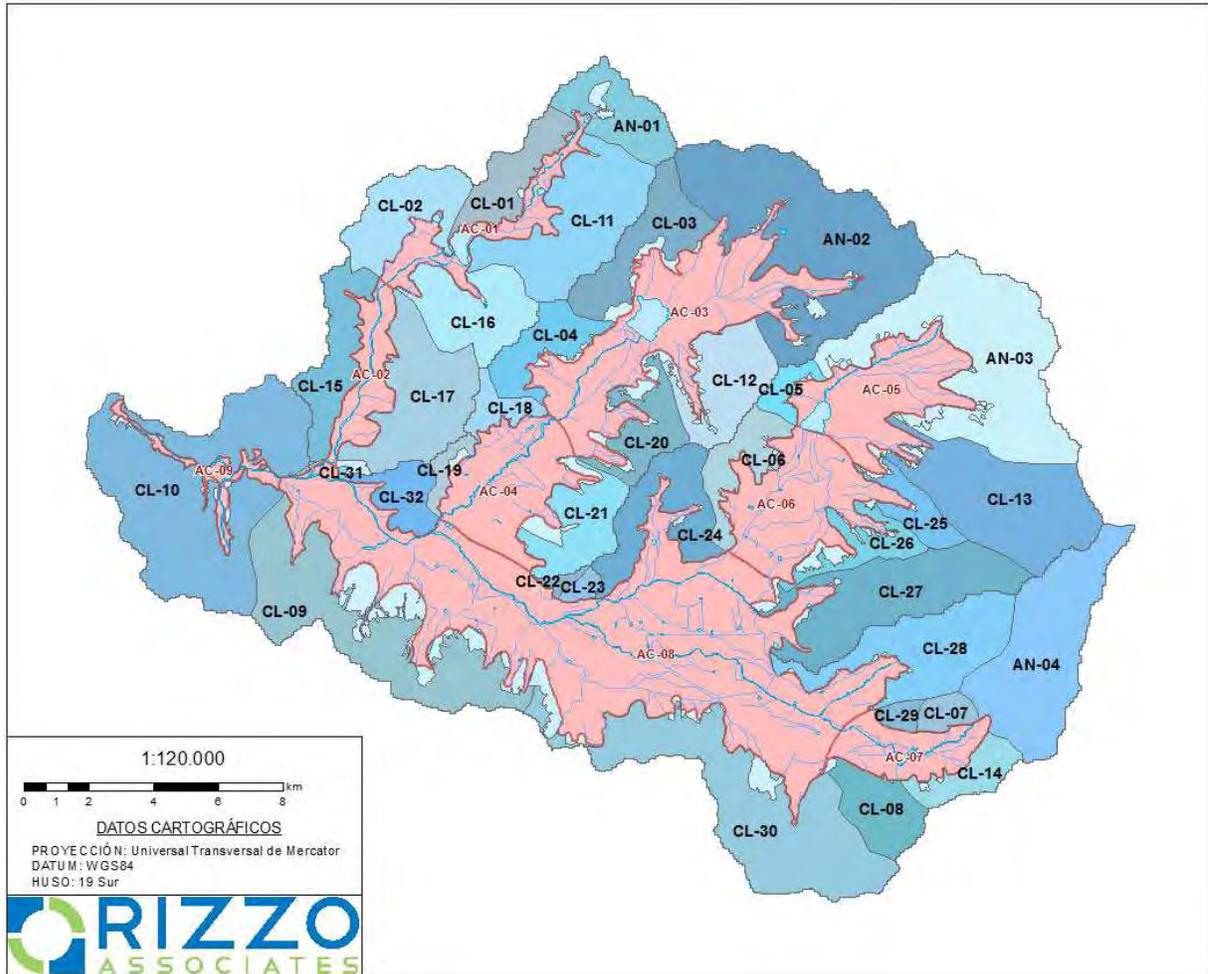


FIGURA 9-23 APOORTE POR INFILTRACIÓN SUBSUPERFICIAL CUENCAS LATERALES INGRESADAS A MAGIC

Los valores se generan como caudales medios mensuales, pudiendo establecerse una serie de recargas en función de las variaciones en las condiciones climáticas.

9.6.2 DESCARGA

El desembalse del acuífero subterráneo se produce en forma natural o artificial. La descarga natural se debe a la evapotranspiración (evaporación y transpiración) y afloramientos. La descarga artificial es producto de la extracción de agua subterránea a través de pozos.

Si bien la evapotranspiración corresponde a descarga desde el sistema acuífero, éstas se encuentran representadas dentro del cálculo de la recarga neta.

9.6.2.1 DESCARGA POR AFLORAMIENTOS (SURGENCIA NATURAL)

LOS afloramientos en el Valle de Casablanca quedan determinados en las zonas del lecho del estero, inmediatamente al oeste de la ciudad de Casablanca y sobre todo en la zona de Las Dichas, donde comienza el sector denominado Desfiladero, que es una especie de vertedero natural de la cuenca subterránea. Los afloramientos son representados como condición de borde en el Modelo.

Desde hace aproximadamente 5 años, según se indicó repetidamente por parte de personas entrevistadas con motivo del Catastro de perforaciones, no se verifica efluencia de agua por Estero de Casablanca a la altura del puente Las Dragas.

Siguiendo el curso del Estero y sobrepasando unos 200 m el puente Las Dichas, se realizó un aforo volumétrico el cual arrojó 0,35 l/seg, es decir unos 0,011 Hm³/año. No obstante cabe señalar, que este flujo no debe considerarse en el balance como "Salida" del sistema Casablanca, puesto que se observó, que representa el drenaje de la subcuenca del arroyo Las Dichas.

Las mediciones topográficas con GPS Diferencial del pelo de agua en ciertos lugares donde el agua subterránea aflora en el lecho del estero, entre los dos puentes antes mencionados, indica que el flujo está invertido respecto de la dirección natural, es decir el agua subterránea captada entre los dos puentes, por aportación lateral, es inducida a circular en dirección hacia el este. Probablemente este fenómeno se deba al intenso bombeo que se produce en el extremo de la cuenca por una alta concentración de perforaciones que abastecen a pivotes de riego.

9.6.2.2 DESCARGA POR BOMBEO

El agua subterránea representa una importante fuente de abastecimiento en la Cuenca del Estero Casablanca, es así, como el agua potable se abastece fundamentalmente de pozos ubicados en la ciudad de Casablanca, y la industria se abastece exclusivamente con aguas subterráneas. Además, y por de más de importante es que el regadío se suministra con aguas subterráneas tanto en épocas de sequía como durante todo el año utilizando diferentes métodos de riego.

Para determinar la descarga por bombeo en la zona de estudio, se dispone de un catastro de derechos de agua. Hasta la fecha se han otorgado un total de 466

aprovechamientos de agua, que hacen un total de 6196 l/s otorgados a lo largo de toda la cuenca.

En la **Figura 9-24** se observa el total de derechos otorgados por año expresado en l/s

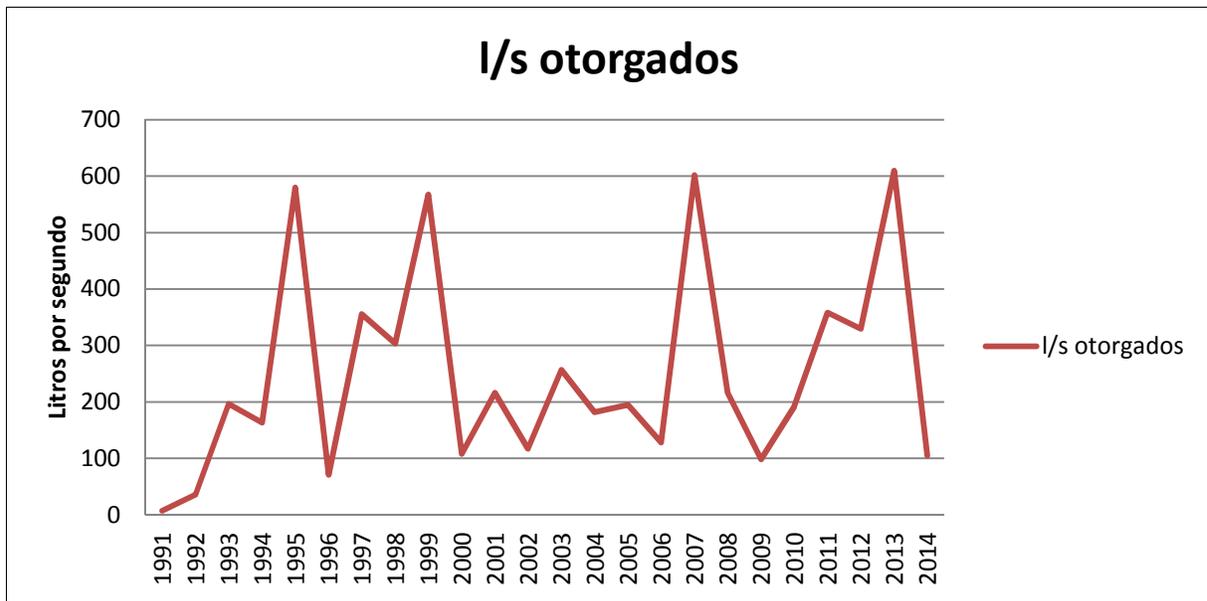


FIGURA 9-24 CAUDALES OTORGADOS POR AÑO

En la **Figura 9.25** se muestran los acumulados de los caudales otorgados expresados en l/s del periodo comprendido entre 1991 hasta la actualidad.

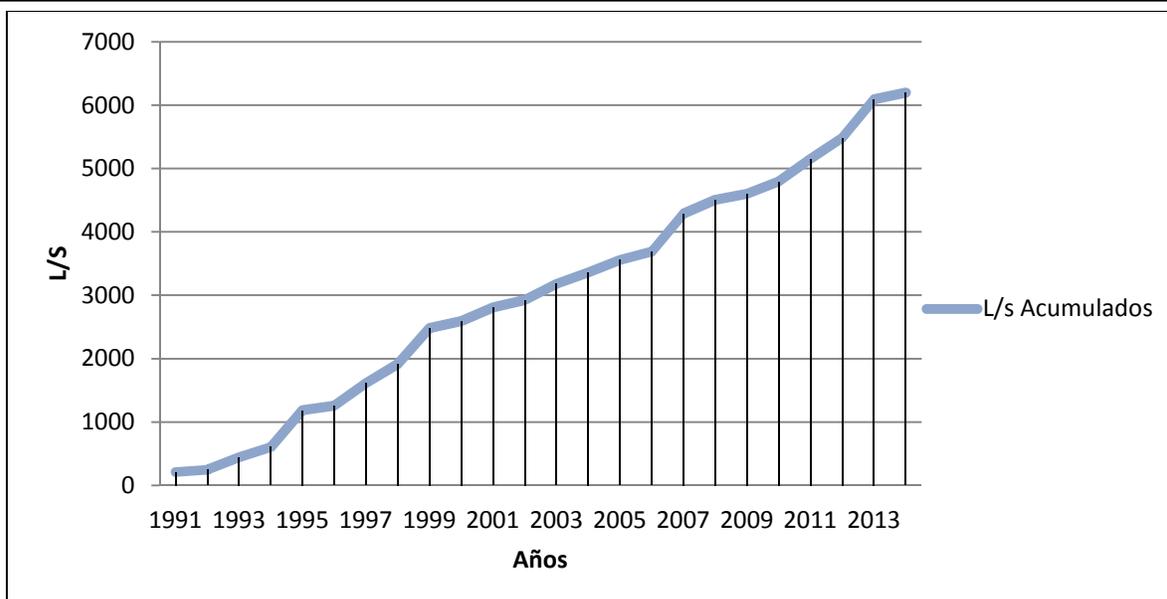


FIGURA 9-25 TOTAL DE CAUDALES OTORGADOS ACUMULADO EN LA CUENCA DE CASABLANCA

Se observa un incremento sustancial de los derechos otorgados desde 1991 hasta la actualidad.

En la **Tabla 9-15** se muestra la distribución del total de litros otorgados en las subcuencas.

TABLA 9-15 TOTAL DE CAUDAL OTORGADO POR SUBCUENCAS

SECTOR	TOTAL LITROS OTORGADOS
La Vinilla-Casablanca	3390
Lo Orozco	230
Lo Ovalle	1492
Los Perales	1084
Total	6196

Se observa que en el sector de La Vinilla-Casablanca es donde mayor demanda de agua subterránea existe, concentrándose el mayor número de litros otorgados, siendo por el contrario la zona de Lo Orozco en la que menor demanda existe. En la siguiente **Figura 9-26** se muestra de forma gráfica esta distribución.

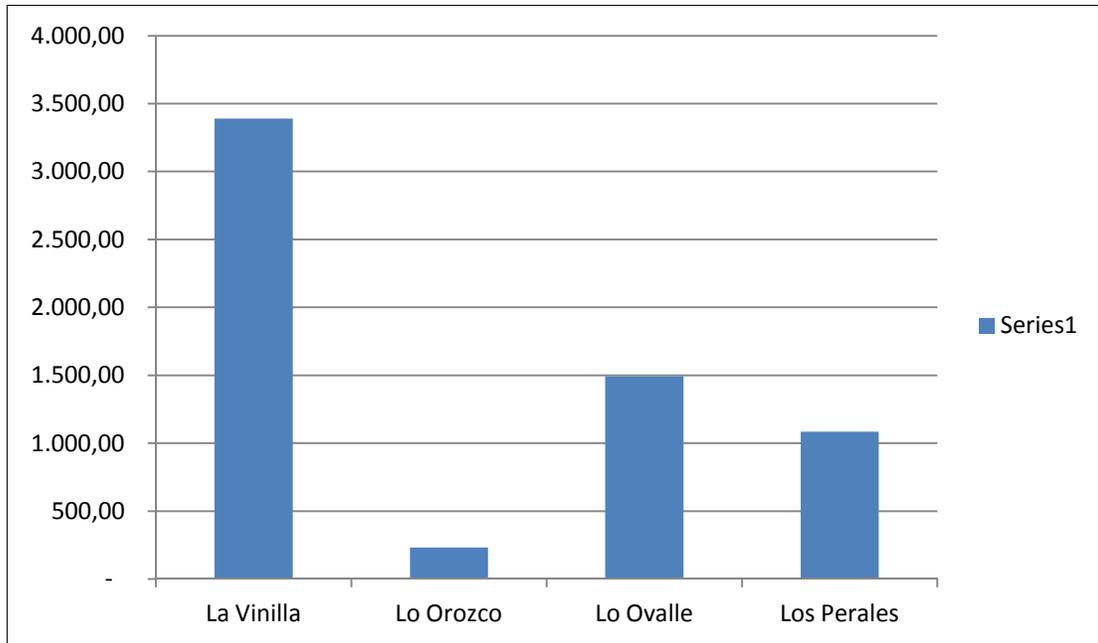


FIGURA 9-26 DISTRIBUCIÓN DE LOS CAUDALES CONCEDIDOS POR SECTORES

Las siguientes **Figuras 9-27 a 9-30** muestran la evolución de los derechos otorgados en las diferentes subcuencas a lo largo de los últimos 23 años.

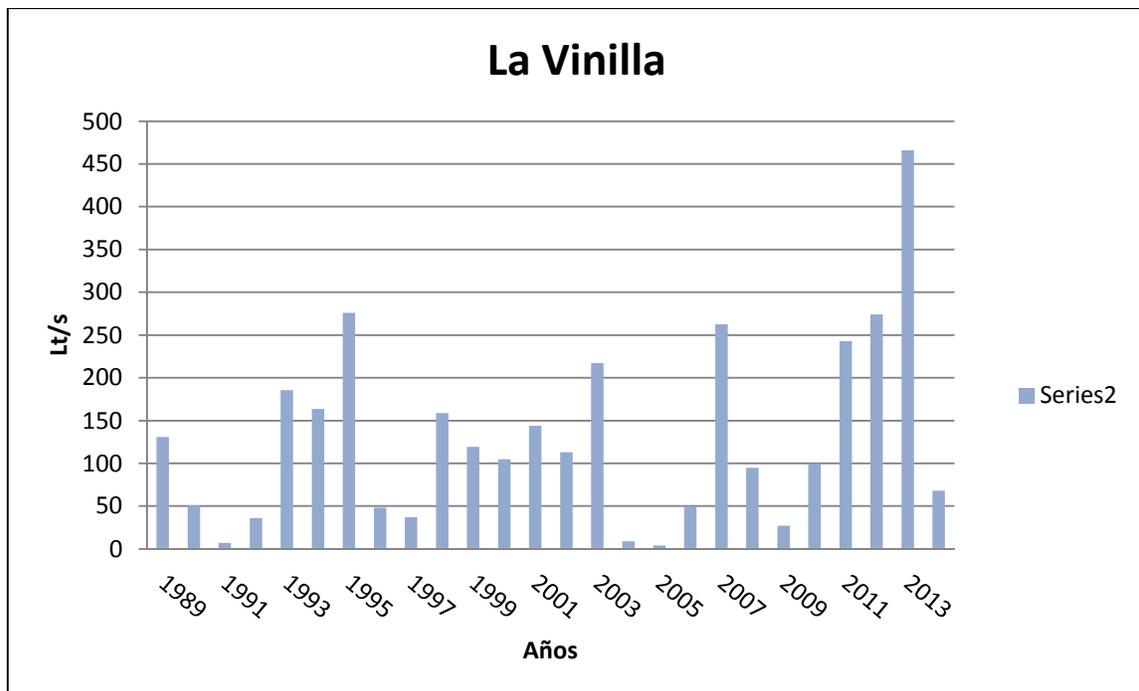


FIGURA 9-27 CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LA VINILLA-CASABLANCA

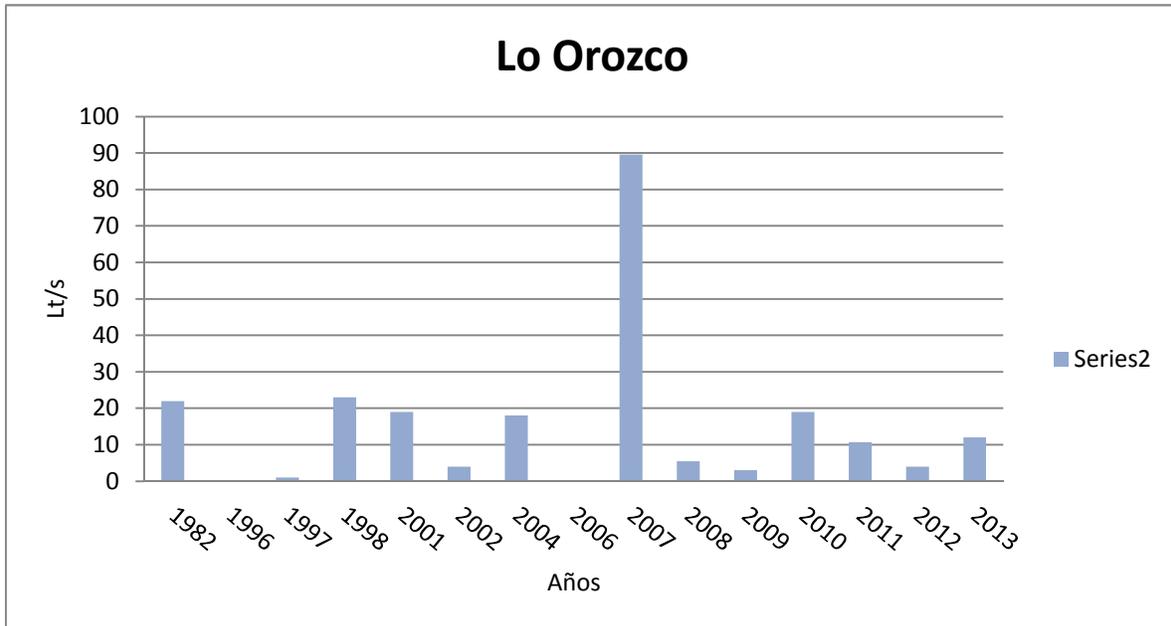


FIGURA 9-28 CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LO OROZCO

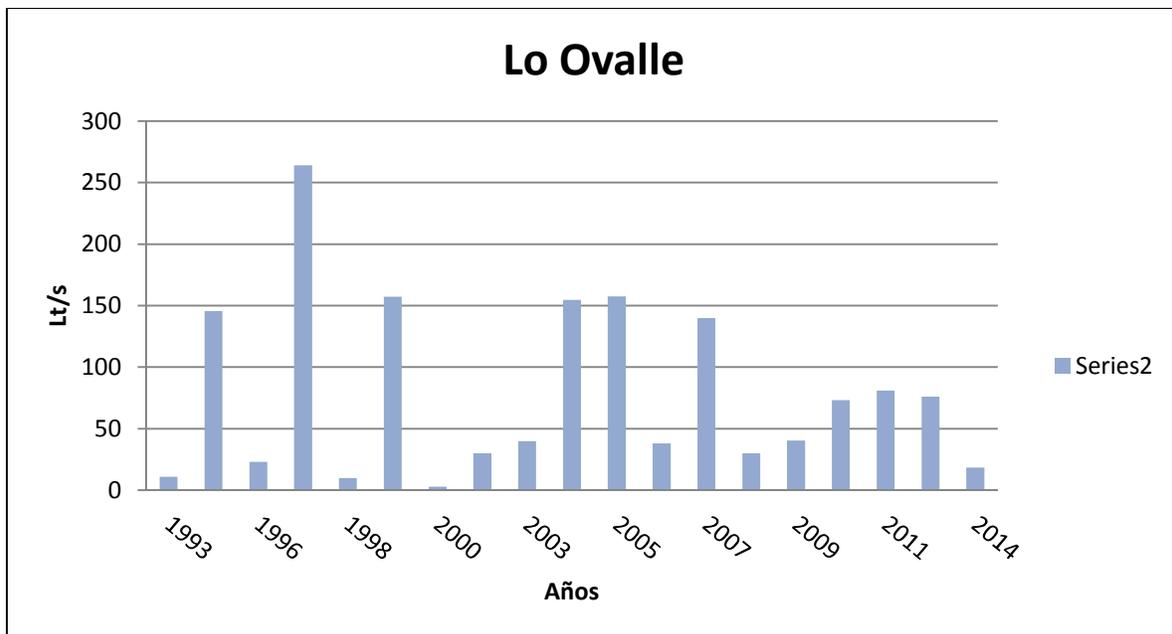


FIGURA 9-29 CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LO OVALLE

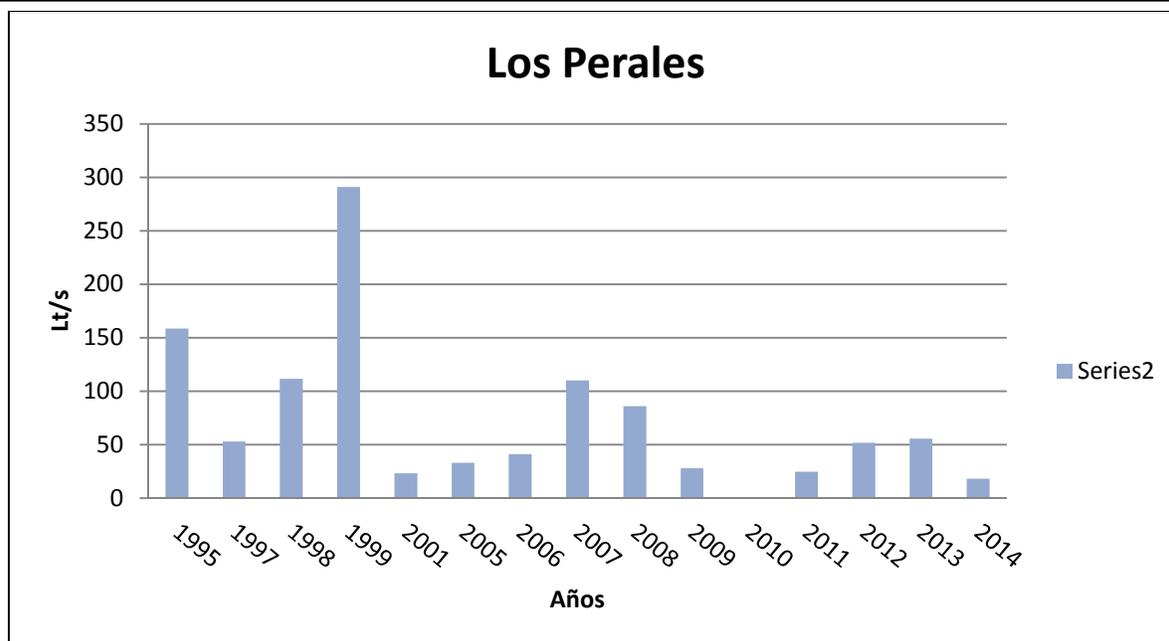


FIGURA 9-30 CAUDALES OTORGADOS EN EL SECTOR LOS PERALES TAPIHUE

Para el ingreso de los datos a MAGIC, se estableció una sectorización de la demanda en función del sector acuífero que explota y de la zona de riego que abastecen. Asimismo, esta demanda se estableció de manera incremental a lo largo del periodo de modelación (1991-2013) en función de la fecha de autorización de los respectivos derechos de aprovechamiento (Resolución DGA u otro).

Asimismo, en general los usos de los derechos se pueden clasificar en: Riego, Agua Potable e Industria. Al no haber mayores antecedentes, en la modelación MAGIC, se utilizarán los factores de uso igual 1, para el caso de agua potable e industria, y en el caso de uso riego, se utilizará el mismo factor, operando el modelo bajo la condición de bombeo de solo el déficit de riego luego de abastecer las necesidades con los recursos superficiales.

9.6.2.3 MECANISMO DE RECARGA

El área correspondiente a la cuenca sedimentaria, en términos generales, tiene una fuerte limitación a la infiltración que afecta negativamente a la recarga del acuífero profundo. Esto se debe a la existencia de una capa subsuperficial de muy baja permeabilidad (no se menciona cuan baja es la permeabilidad), con una potencia variable entre 5 y 10 m, compuesta de limos y arcillas y minoritariamente por mezclas de arcillas y arenas de grano fino. La granulometría dominante corresponde siempre a la fracción arcilla.

Cabe señalar que los valores estadísticos de las permeabilidades verticales de los terrenos señalados anteriormente se presentan en **Tabla 9-16**

TABLA 9-16 VALORES ESTADÍSTICOS DE PERMEABILIDAD

Material	k(cm/seg)	k/m/día)
Arena fina	5.10-3 a 10-3	5 a 1
Arena limosa	2.10-4 a 10-4	2 a 0,1
Limo	5.10-4 a 10-5	0,5 a 0,001
Arcilla	< 10-6	< 0,001

Los valores dados se refieren a la permeabilidad horizontal. La permeabilidad vertical, que es quien controla la infiltración y consecuentemente la recarga, suele ser varias veces menor, entre 2 a 20 veces como valores promedio. En terrenos estratificados la permeabilidad vertical llega a ser una 100 veces menor que la horizontal (*Muskat, 1967; Davis, 1969, págs. 72-74*).

Inclusive pequeñas proporciones de arcilla pueden hacer variar enormemente. Basta un 3% de montmorillonita o caolinita para reducir la permeabilidad al agua dulce de una arena de diámetro medio = 0,3 mm de diámetro a la mitad.

En cambio, en rocas consolidadas pueden existir sistemas de grietas (diaclasas) por las cuales el agua puede circular con cierta facilidad. En este caso, aunque la permeabilidad de la roca masiva sea muy baja, puede llegar a presentar una notable permeabilidad global secundaria gracias a esas grietas.

En general las fisuras son más frecuentes y de mayor espesor en la superficie y decrece su frecuencia según una ley exponencial, si el material es más o menos homogéneo en su composición.

No obstante lo dicho, puede existir altos valores de permeabilidad a notables profundidades. Los granitos, en particular alcanzan permeabilidades del orden de los 10-6 a 10-5 m/día, pero en zonas muy fracturadas estos valores pueden alcanzar valores superiores a los 100 m/día.

La observación de las imágenes satelitales, como la inspección directa de campo, realizada a este fin en Octubre 2014, permite decir que, desde el punto de vista de la

evolución geomorfológica, la cuenca sedimentaria de los cuatro valles de Casablanca, se encuentran en estado de colmatación e inactiva en cuanto a la relación remoción-transporte de sedimentos y acumulación.

Existen varios elementos para clasificar a la cuenca sedimentaria de esta manera; entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

Una cuenca activa presenta una movilidad de material meteorizado desde sus laderas y crecimiento transgresivo de sus abanicos aluviales sobre la cuenca.

En los cuatro valles de la zona de trabajo, puede verse que los abanicos aluviales de cada una de las quebradas que existen en casi toda su periferia, están antropizados y la agricultura avanzó sobre ellos hasta prácticamente el punto apical de los abanicos. Esto significa que lo que debería ser una zona sedimentariamente activa, hoy están convertidas en tierras de labranza.

Así mismo, la revisión de varias quebradas efectuada durante la campaña gravimétrica, tratando de asentar la primera y última estación gravimétrica, debido a que estas deben ser instaladas en rocas masivas e inalteradas graníticas llamados puntos de amarre, pudo observarse que el talweg de las quebradas hoy se encuentra cubierto por la forestación y el material detrítico que debería observarse si fuese activa, se encuentra cubierto por una capa de suelo vegetal.

Esta observación es muy relevante porque junto a la anterior confirman que la red de drenaje que se observa en la actualidad corresponde a la de un paisaje fósil, desarrollado, probablemente durante el período post glacial pleistoceno, en condiciones climáticas y meteorológicas completamente distintas a las actuales. Queda demostrado que aún con precipitaciones anuales superiores a los 800 mm, el agua no se transforma en escorrentía superficial y es absorbida e infiltrada en las laderas de los cerros circundantes a la cuenca.

Las quebradas que se observan en el entorno rocoso del valle es muy probable que se hayan desarrollado en coincidencia con zonas de debilidad como producto del intenso fracturamiento tensional a que fue sometida la zona. El agua de lluvia aprovechó estas zonas de debilidad para incidir la roca y generar la actual red de drenaje. Pero para que ocurra una remoción superior a los 3500 Hm³ de sedimentos que hoy rellenan la cuenca,

nunca pudieron haberse producido con las condiciones meteorológicas actuales. Esta explicación contribuye a entender el concepto de Red de Drenaje Fósil”, y de “Cuenca Inactiva”.

La observación de que las quebradas son el resultado de la acción incisiva del agua de lluvia y que a raíz de estar genéticamente relacionadas a fracturas tensionales que imprimen a las rocas de una alta permeabilidad secundaria, encuentran sustento en que, prácticamente en su totalidad, en las cabeceras de las mismas aparecen manantiales de mayor o menor envergadura.

El modelo de recarga el acuífero se ajusta al definido por Wilson, *et al* (1980) como “Cuencas frente a Montañas” (**Figura 9-31**), En dicha figura se muestra lo siguiente: a) vista en planta de los límites de captura de aguas subterráneas y de acuífero regional. b) sección transversal de los límites de captura de aguas subterráneas y de acuífero regional. c) esquema de recarga adaptado para la cuenca del Estero Casablanca.

En este modelo los frentes de montaña producen recarga a lo largo del límite del sistema regional de acuíferos. Un depósito sedimentario, en contacto con un frente montañoso que posee una relativa profundidad del agua en su parte superior, puede recargarse a través de dos componentes:

a) Infiltración directa desde la red de drenaje (**Figura 9-31 B y C**).

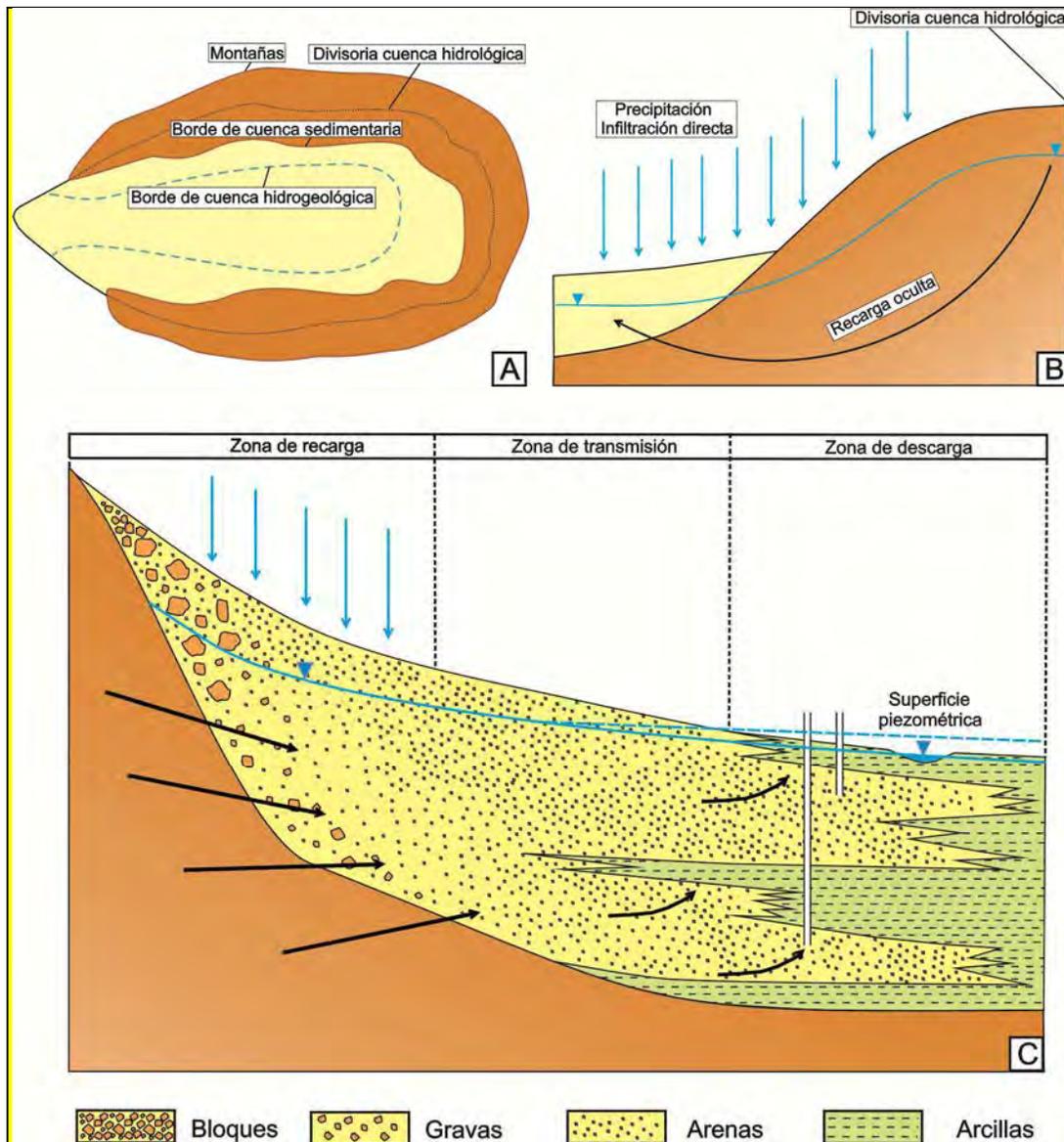


FIGURA 9-31 PRINCIPIOS DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA EN CUENCAS ASOCIADAS A FRENTES MONTAÑOSOS (TOMADOS DE *GROUNDWATER RECHARGE*). MODIFICADO DE DE RIDDER, (1970)

b) infiltración indirecta desde la masa montañosa hacia la base y laterales de los sedimentos adosados a ella, también llamada por *Feth*, (1964) "Recarga oculta" (*hidden recharge*) (**Figura 9-31 B y C**).

Esta recarga oculta es sumamente difícil de calcular pero siempre es regulada por la ecuación general de descarga (Experiencia del Tapón Poroso) (Ver Captaciones de Agua subterráneas de Alberto Benítez 1972 página 92).

La magnitud de la recarga está íntimamente relacionada con la superficie específica de la zona de captura de lluvia (Tamaño de la cuenca hidrográfica) (**Figura 9-31 A**). Esto significa que cuando la superficie montañosa cuenta con fuerte relieve, aumenta la superficie específica la cual puede duplicar y hasta triplicar la superficie plana de la cuenca.

Wright (1980) menciona la existencia de varios factores que concurren a favor de la infiltración desde los frentes montañosos. Si la lluvia es excepcionalmente alta y supera la capacidad de infiltración de la cubierta de suelo, puede generarse una escorrentía superficial que se infiltra directamente en los taludes de los cerros donde se acumularon los sedimentos más gruesos; el agua escurre en forma subhorizontal y terminan recargando lateralmente a los sedimentos acumulados en la cuenca. Este mecanismo, tal como se lo señalara más arriba, parece no suceder frecuentemente en la zona de estudio ya que no se observa un aumento del tamaño de los abanicos aluviales que evidencien un crecimiento activo.

A pesar de que la recarga a lo largo el frente montañoso puede ser de interés primario la visión de que siempre la mayor infiltración ocurre en la parte superior de los abanicos aluviales, puede no ser correcta. Esto es debido a la irregular ocurrencia de depósitos detríticos ya que, como lo menciona Huntley (1969), la zona del frente montañoso puede tener baja permeabilidad debido a la pobre clasificación de los detritos.

El dilema podría resolverse mediante un exhaustivo estudio sedimentológico de los depósitos de ladera y frentes montañosos, pero esto implica un intenso trabajo de campo que queda afuera del alcance del presente trabajo.

Una cuenca activa presenta una movilidad de material meteorizado desde sus laderas y crecimiento transgresivo de sus abanicos aluviales sobre la cuenca.

En los cuatro valles de la zona de trabajo, puede verse que los abanicos aluviales de cada una de las quebradas que existen en casi toda su periferia, están antropizados y la agricultura avanzó sobre ellos hasta prácticamente el punto apical de los abanicos. Esto significa que lo que debería ser una zona sedimentariamente activa, hoy están convertidas en tierras de labranza.

En la zona de estudio se comprueba un caso anómalo de distribución de los sedimentos de acuerdo a su granulometría, tal como lo explica la sedimentología clásica. Es de suponer que los sedimentos más finos (limos-arcillas) alcancen mayores distancias y sean depositados en la zona de salida de la cuenca, puesto que son transportados en forma coloidal o partículas muy finas. Sin embargo la inspección de campo permitió observar que las canteras de áridos se localizan al oeste del puente Las Dragas, sitio donde el agua de escorrentía se encauza para egresar finalmente de la cuenca en dirección al mar.

Lo anterior se interpreta como que el material fino en suspensión, desde su egreso del frente montañoso (principalmente arcillas derivadas de la meteorización de los feldespatos que componen los granitos y granodioritas) han encontrado, históricamente, en su camino hacia la salida de la cuenca del Valle de Vinillas, un nivel de base local que redujo la velocidad de las crecientes al punto de permitir su depósito. Lo cual permitiría inferir un comportamiento endorreico de la cuenca en sus comienzos. Probablemente así se explique la mencionada capa arcillosa que se extiende prácticamente por toda la cuenca y entorpece la infiltración directa desde la superficie de la cuenca sedimentaria y la acumulación de arenas, arcosas y hasta gravas de pequeño tamaño en la zona distal de la cuenca. La misma explicación le cabría al elevado porcentaje de materiales pelíticos observados en los perfiles litológicos de las perforaciones, los cuales alcanzan hasta un 60% de la columna atravesada.

En otro orden, la densa vegetación que cubre el frente montañoso juega un doble papel en relación a la recarga del acuífero sedimentario. Sus aspectos negativos se resumen del siguiente modo:

- a) La interceptación del follaje y el consecuente regreso del agua acumulada en él por evaporación, disminuye la tasa de recarga. Toda lluvia con una magnitud inferior a la tasa de interceptación no recarga al acuífero. Según *Dunne y Leopold, (1978 pág. 75)* la interceptación del agua de lluvia por el follaje de zonas boscosas y zonas de cultivos puede alcanzar hasta el 28% de la lluvia haciendo que toda lluvia inferior a 14 mm quede retenida en el follaje. (Ver capítulo: Generación de Escorrentías en Cuencas Laterales)
- b) El consumo de agua para sostener la demanda de agua del bosque suele acercarse a los valores de evapotranspiración potencial y el consumo es ininterrumpido a lo largo del año puesto que se trata de especies perennifolias.

Los aspectos positivos se enumeran a continuación:

- a) La sombra del follaje retrasa la evaporación directa desde el suelo favoreciendo la retención de agua en la zona radicular.
- b) La densa trama de raíces actúa de sostenimiento del suelo evitando los problemas de remoción en masa. Cabe recordar que no se ha observado ninguna cicatriz en las laderas montañosas que revelen la existencia, en el pasado de efectos de solifluxión, remoción o deslizamientos de ladera.
- c) La existencia del bosque ha dado lugar a la generación de una cubierta de suelo orgánico de alta permeabilidad que favorece el traspaso del agua hacia los horizontes de suelo de origen granítico subyacente. Así mismo juega un rol fundamental en el ciclo hidrogeológico y asegura la estabilidad de las laderas.

10 MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA (MODFLOW)

Se realizó una actualización del modelo numérico en diferencias finitas, realizado en el estudio DGA/DEP 2004. En el mencionado estudio se implementó un modelo numérico con el software Visual Modflow 3.0. La presente actualización se llevó a cabo mediante el software Visual Modflow Interfase Classic.

MODFLOW es un modelo electrónico para la simulación del flujo de agua subterránea desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). La implementación consiste de un código fuente, para resolver las ecuaciones del flujo, por medio de diferencias finitas. El programa es de código libre, escrito principalmente en Fortran, y puede ser compilado y corrido en los sistemas operativos DOS, Windows o Unix. Desde que el modelo original fue desarrollado en los años 80's, el USGS lo considera como un código estándar para simulaciones de acuífero.

El Visual MODFLOW Classic, es una implementación de MODFLOW, con una interface gráfica para facilitar (en algunos casos) el ingreso de datos y la obtención de resultados.

Para esta actualización, se incorporaron las recargas y series de bombeo históricas generadas durante la implementación del modelo integrado (MAGIC), por lo que se tuvo en cuenta la iteración entre el modelo integrado y el MODFLOW.

10.1 GEOMETRÍA DEL MODELO

Se entiende por geometría del acuífero con la que se desarrollará el Modelo, a la determinación del área de la Cuenca superficial, como delimitación del contacto roca-relleno para el acuífero del Estero Casablanca, la cual se calcula mediante digitalización sobre imágenes satelitales. La tercera dimensión para definir el volumen total de la Cuenca, se obtiene a partir de la información directa extraída de perforaciones que hayan alcanzado el techo del Basamento Hidrogeológico (o Base de la Cuenca), y por medios geofísicos indirectos.

Debido a la escasa información de perforaciones que se dispone, se decidió hacer uso de la información proveniente de métodos geofísicos indirectos. El proyecto cuenta con importante información geofísica, y a fin de determinar el espesor de la Cuenca, se utilizaron 2 vías de información. La primera, se desarrolló mediante la reinterpretación de

25 SEV que se ejecutaron por AC Ingenieros y Consultores en el año 1991, distribuido en 11 secciones y abarcando la totalidad de los cuatro Valles. Asimismo, se contó con la información obtenida por la Campaña de Prospección gravimétrica, llevada a cabo en Octubre de 2014 por RIZZO.

10.1.1 DISCRETIZACIÓN EN PLANTA

La discretización en planta del modelo, se refiere a la forma en que éste está subdividido en celdas rectangulares, las que son definidas por filas y columnas. El área ha sido subdividida en grillas, de aproximadamente 150 x 185 metros cada una. En los sectores donde se encuentra una alta densidad de pozos, se realizó un refinamiento de la grilla según la densidad de información.

La zona modelada, se extiende entre los siguientes límites, expresados en coordenadas UTM WGS 84 Zona 19:

- Límite Norte : 6.300.000 Norte
- Límite Sur : 6.330.000 Norte
- Límite Oeste : 260.000 Este
- Este Límite Este : 300.000 Este

Para la representación en planta del modelo, se utilizará el límite de la Cuenca Sedimentaria de la zona en estudio. Los resultados se ingresarán al modelo de simulación Visual Modflow Interfase Classic.

Se muestran las zonas activas e inactivas del modelo para simular el comportamiento de la Cuenca del Estero Casablanca en la **Figura 10-1** en colores blancos y verdes, respectivamente.

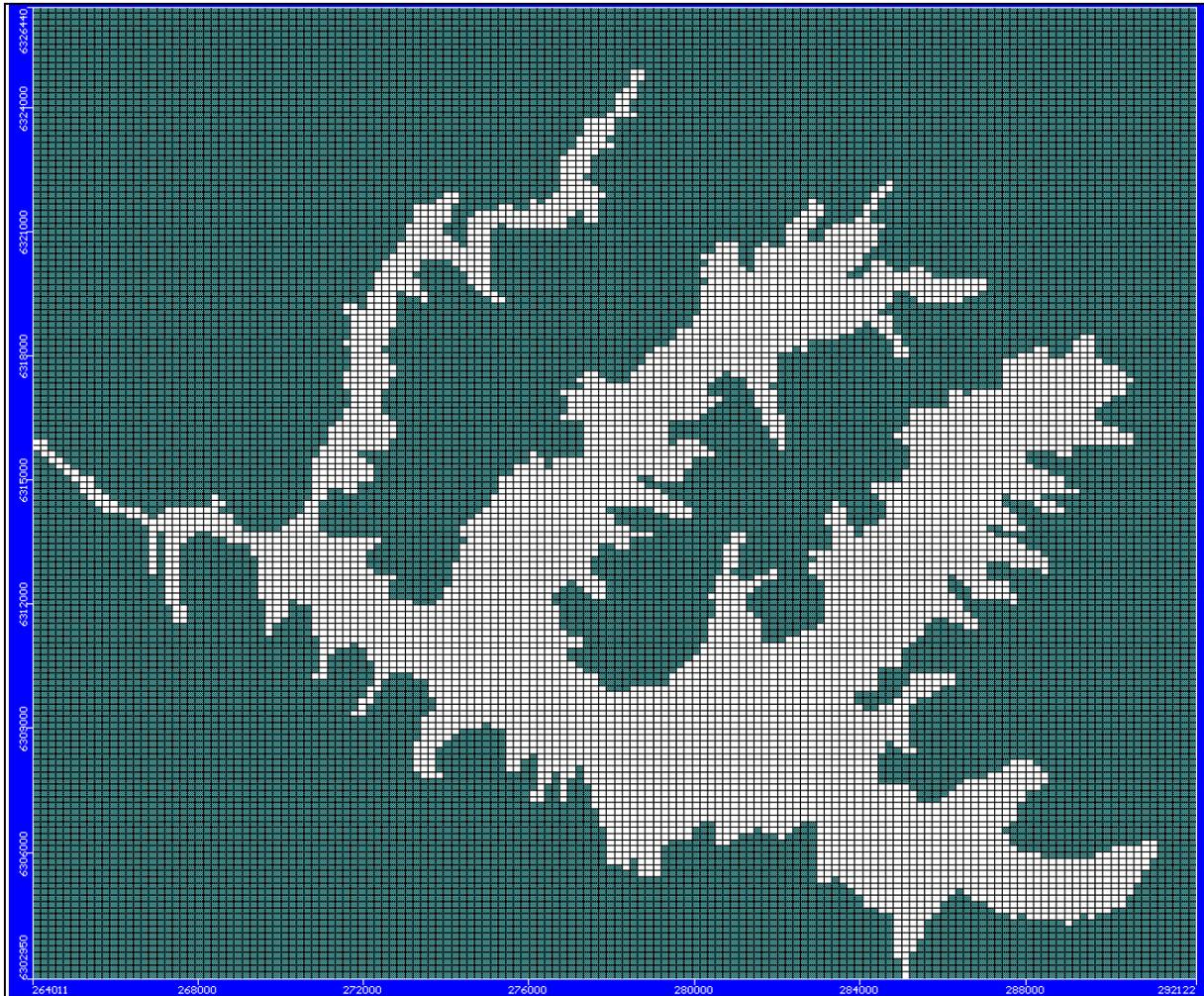


FIGURA 10-1 LAS ZONAS ACTIVAS E INACTIVAS EN EL MODELO MODFLOW

10.1.2 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL VERTICAL

Para representar el área de estudio en sentido vertical, se consideró el relieve superficial del terreno otorgado por la topografía del mismo, con curvas de nivel cada 5 metros, la profundidad del Basamento rocoso (otorgado por el reciente estudio gravimétrico realizado por RIZZO, sumado a la reinterpretación del estudio por el método SEV, llevado a cabo por A.C. Ingenieros Consultores en 1991). El sistema, en profundidad está integrado por un acuífero semiconfinado.

El límite de separación entre la superficie y la roca, está compuesto principalmente por estratos intercalados de carácter grueso a fino. Sin embargo, se define un sólo gran acuífero, pues los estratos finos identificados, no corresponden a la clasificación de

granulometría impermeable o a estructuras impermeables. Es por ello que se define para la modelación un solo gran acuífero monocapa, de características semiconfinadas.

A continuación, en la **Figura 10-2**, se muestra una vista en plano, elaborada en GIS, de la cuenca del Estero Casablanca completa, con la ubicación de cuatro secciones longitudinales, indicadas como:

- A-A' Valle Lo Orozco
- B-B' Valle Lo Ovalle
- C-C' Valle Los Perales-Tapihue
- D-D' Valle Casablanca

En la figura 10-2 se aprecian los perfiles de los acuíferos de Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales-Tapihue del Valle de Casablanca; las secciones transversales de estos, se muestran desde la **Figura 10-3** hasta la **10-6**.

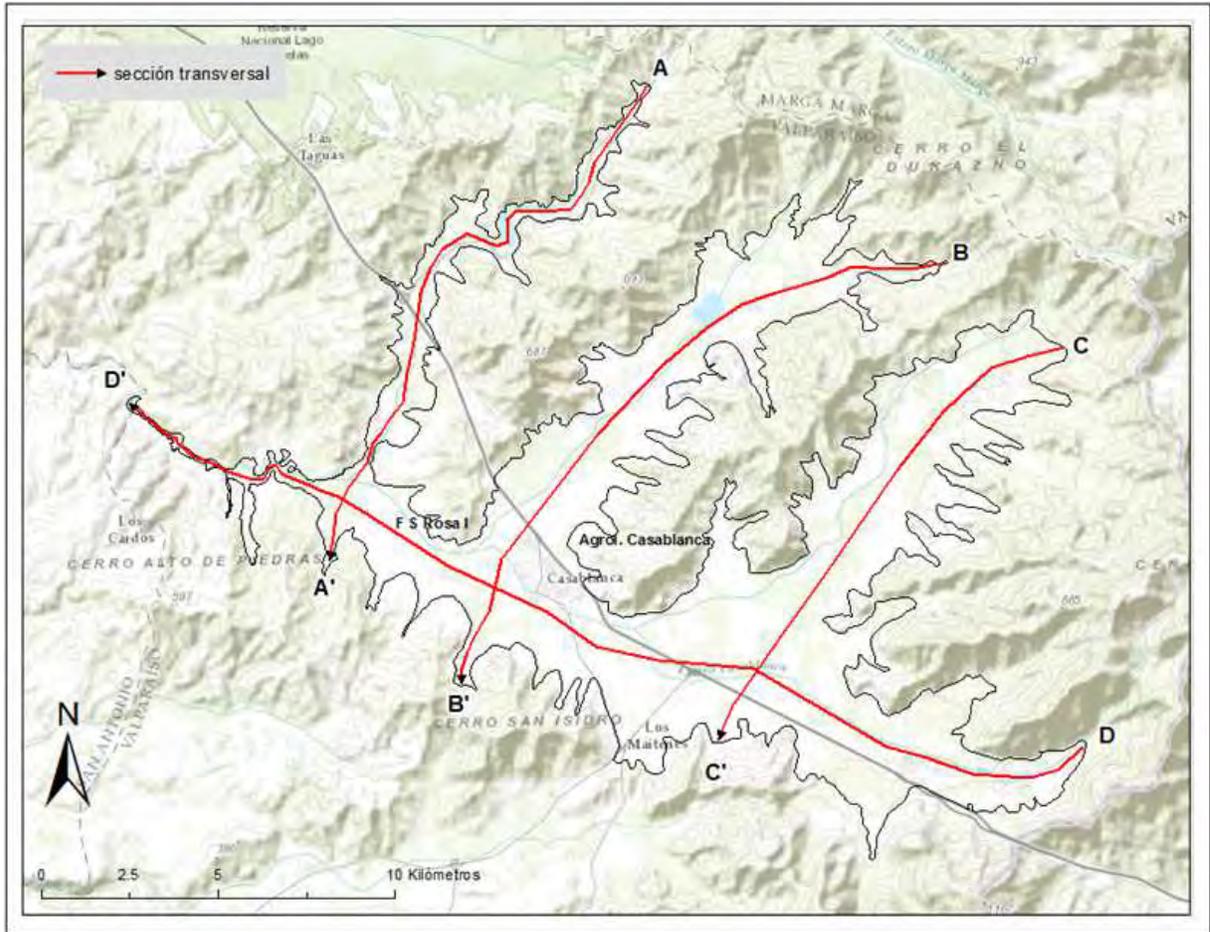


FIGURA 10-2 UBICACIÓN DE LOS SECCIONES LONGITUDINALES DE LOS VALLES DE LA CUENCA ACUÍFERICA

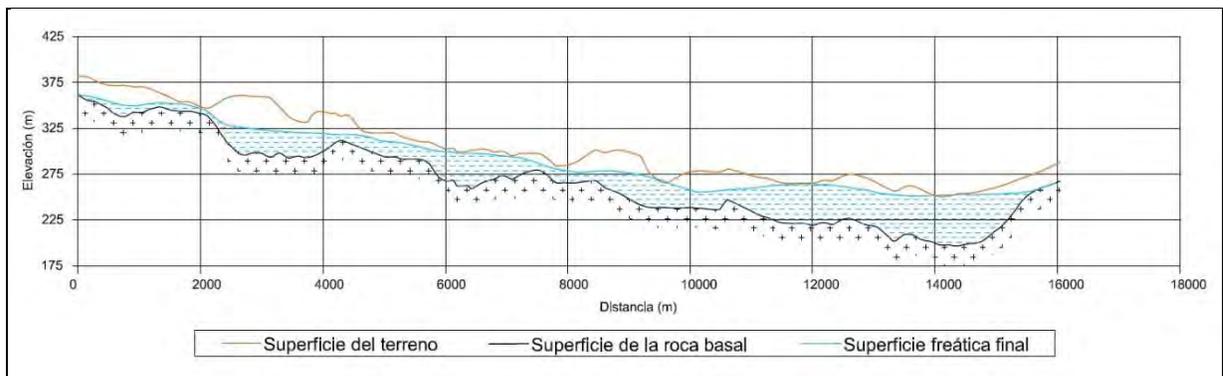


FIGURA 10-3 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VALLE LO OROZCO

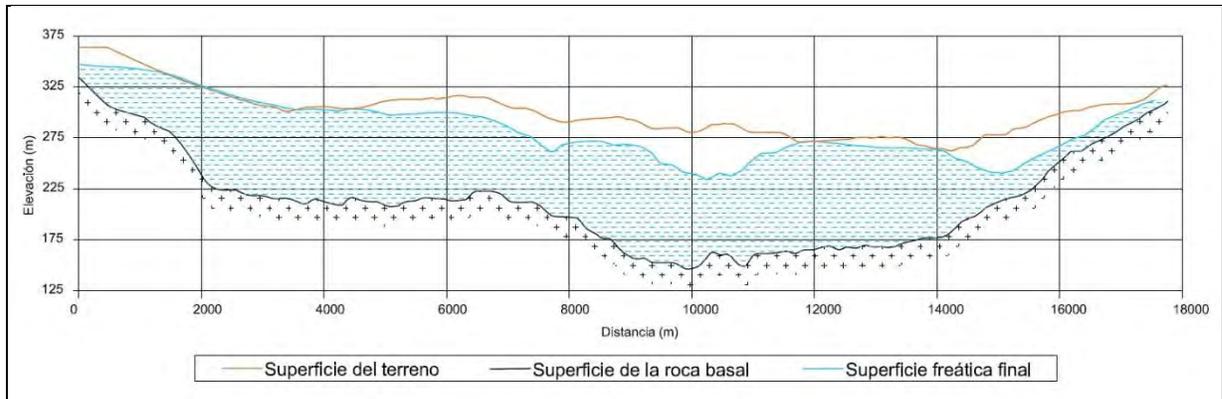


FIGURA 10-4 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VALLE LO OVALLE

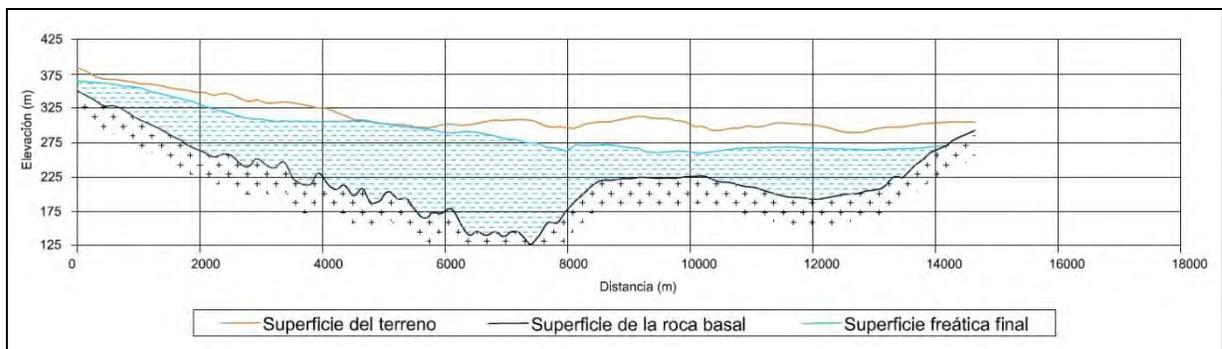


FIGURA 10-5 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VALLE LOS PERALES-TAPIHUE

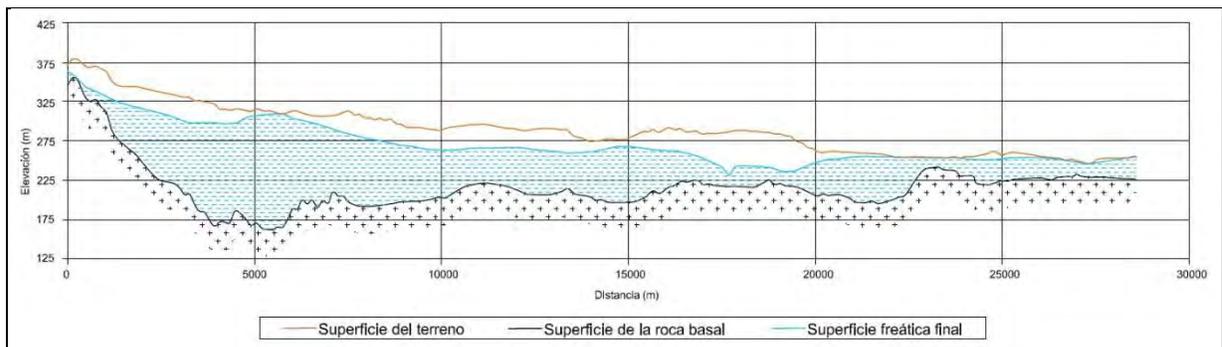


FIGURA 10-6 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ACUÍFERO VALLE CASABLANCA

10.1.3 DISCRETIZACIÓN TEMPORAL

El presente informe y la implementación del modelo, en términos de discretización temporal, sólo corresponde a la calibración del modelo, con el fin de dejarlo apto para ser utilizado en la simulación de cualquier escenario futuro.

El periodo seleccionado para efectuar la calibración del modelo, corresponderá al lapso de 276 meses, comprendidos entre el 01 de Abril de 1991 y el 31 de Marzo del 2013, utilizando periodos de "stress" de un mes, en los cuales se consideran los caudales de bombeo e infiltración como constante. Cada uno de estos intervalos de stress, está subdividido a su vez, en 50 pasos de tiempo (aumentando en duración, en forma geométrica entre cada periodo de stress), los cuales corresponden a pasos de cálculos internos del modelo.

10.2 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

Para realizar un modelo realístico del comportamiento hidrogeológico del acuífero, se necesita establecer la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento de los ocho sectores de la zona activa del modelo mostrado en la **Figura 10-7**.

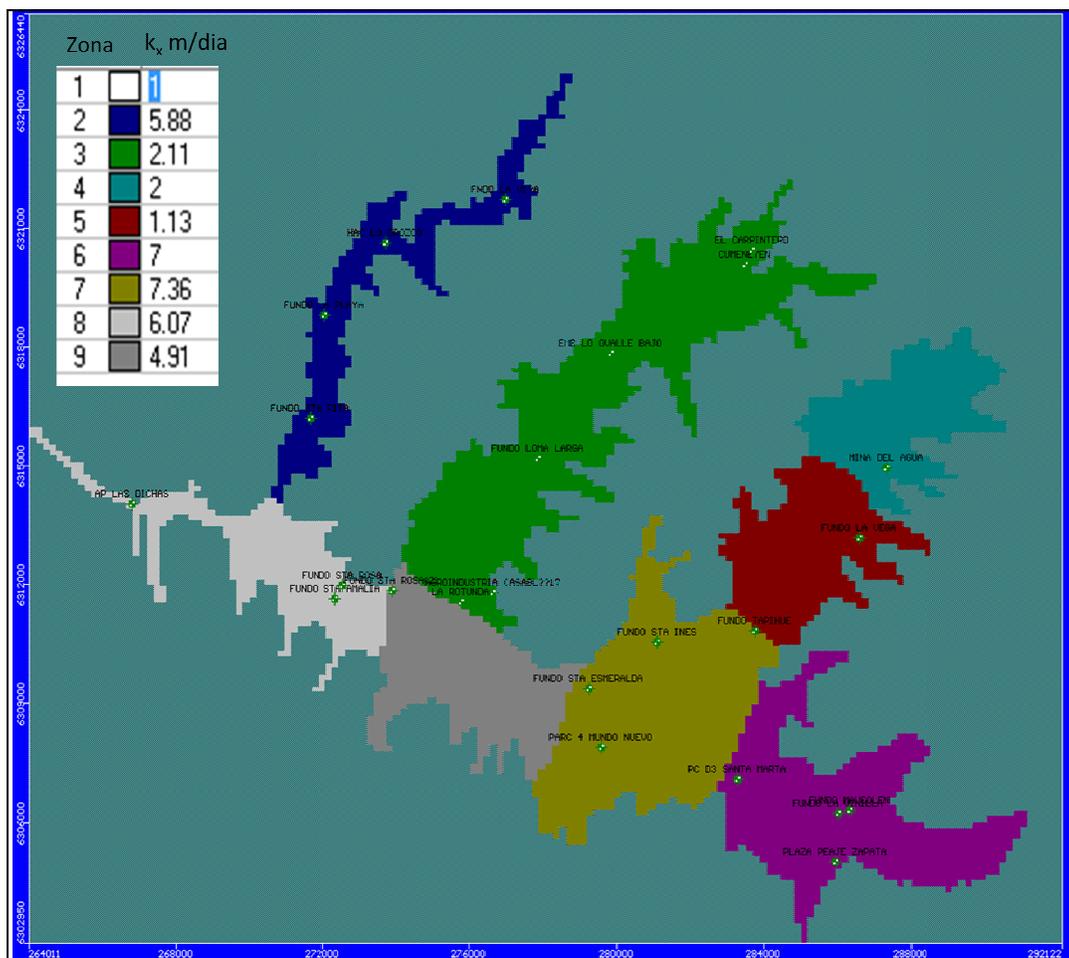


FIGURA 10-7 ZONAS Y VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN EL MODELO DEL VALLE DE CASABLANCA

Para el estudio actual, se utilizan valores uniformes de los parámetros, tomando en cuenta los resultados de siete pruebas de bombeo anteriores elaborados para el *Estudio Básico para la Modelación del Sistema de Aguas Subterráneas el Valle de Casablanca (DGA, 1991)*, ejecutados en la zona del estudio como se indica en la **Figura 10-8**.

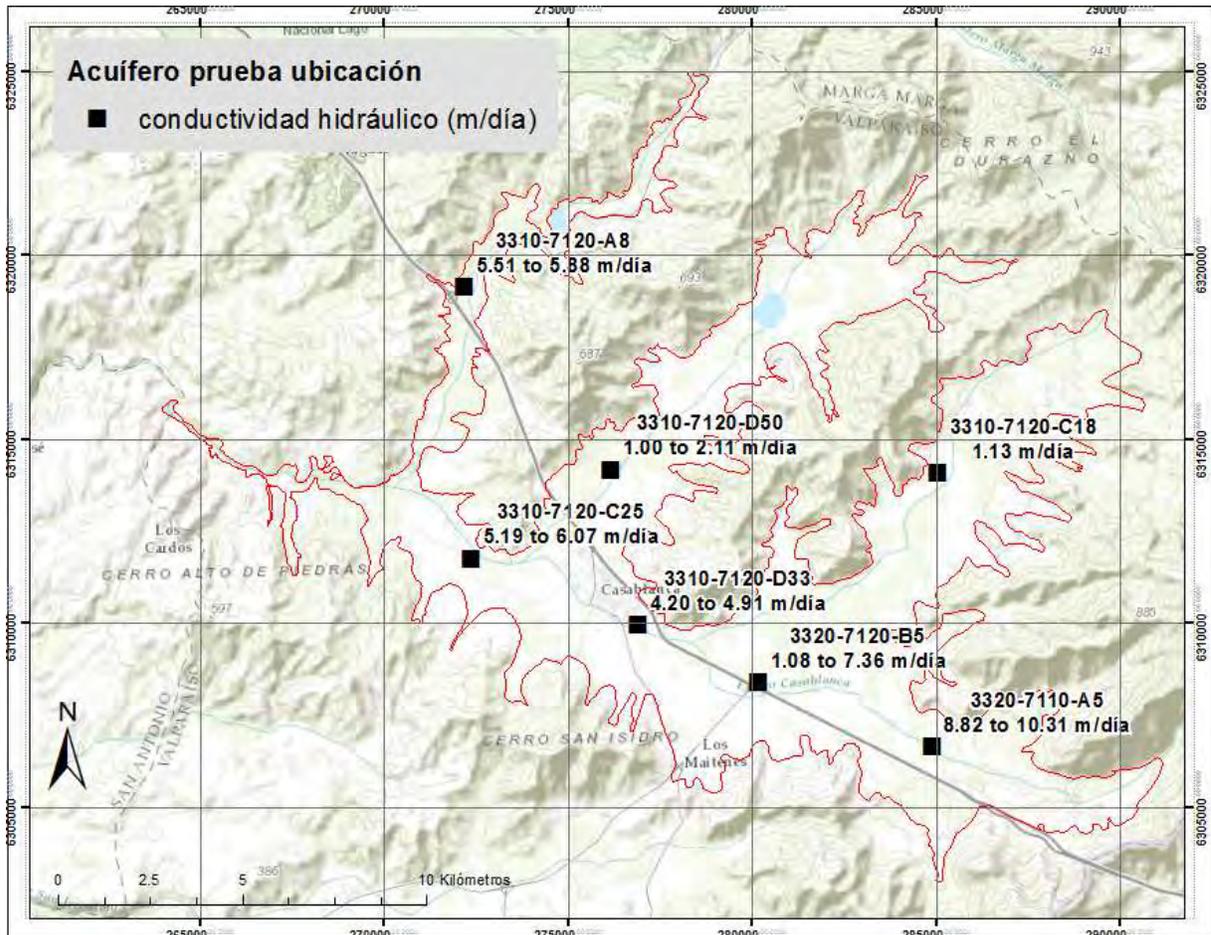


FIGURA 10-8 UBICACIÓN DE PRUEBAS DE BOMBEO DE 1991

Para establecer la conductividad hidráulica (o sea, la permeabilidad del acuífero, medida en m/día), se tomaron los valores de la transmisividad obtenidos de las pruebas de bombeo elaboradas en un estudio anterior (*DGA, 1991*), y reanalizados anteriormente (*DGA, 2004*), se calcularon valores de conductividad hidráulica en base a profundidades del acuífero en la zona de cada prueba, y se ajustaron dichos valores en una serie de corridas del modelo (calibración operacional), de manera tal de obtener una buena reproducción de la piezometría observada.

El coeficiente de almacenamiento (el denominado "storativity (NT)"), representa el porcentaje de agua que se puede recuperar de una caída de nivel freático de un metro.

Se encontró que el mejor comportamiento del modelo, fue realizado al utilizar un valor de 0.15 para este parámetro, en cada zona del acuífero.

Se resume la selección de los parámetros mencionados en la **Tabla 10-1**.

TABLA 10-1 RESUMEN DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS ADOPTADOS

Pozo de Prueba ¹	UTM 84, Zona 19		Transmisividad m/día		Sy %	Kh m/día	Kh Adoptada	Sy Adoptada
	Norte	Este	1991 ¹	2004 ²				
3310-7120-A8	6,319,163.00	272,186.00	144	135	1.79E-01	5.88	5.88	0.15
3310-7120-C25	6,311,773.00	272,370.00	312	365	8.17E-04	6.07	6.07	0.15
3320-7110-A5	6,306,660.00	284,900.00	890	1040	5.87E-06	10.31	7	0.15
3310-7120-D50	6,314,189.00	276,180.00	217	103	5.63E-02	2.11	2.11	0.15
3320-7120-B5	6,308,417.00	280,195.00	76	516	2.00E-04	7.36	7.36	0.15
3310-7120-C18	6,314,104.00	285,067.00		128	3.35E-01	1.13	1.13	0.15
3310-7120-D33	6,309,971.00	276,924.00	387	331	1.69E-03	4.91	4.91	0.15

1) Estudio Básico para la Modelación del Sistema de Aguas Subterráneas el Valle de Casablanca (DGA, 1991)

2) Modelación Hidrogeológico Valle de Casablanca Modelación Hidrogeológico Valle de Casablanca (DGA, 2004)

10.3 CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de contorno del modelo, están condicionadas principalmente por la geometría del acuífero sedimentario y por las estructuras del sector, las cuales condicionan el funcionamiento hidrogeológico del acuífero. El funcionamiento del acuífero se ha explicado anteriormente en el desarrollo del modelo conceptual.

La zona considerada a modelar, corresponde al contacto roca-relleno de la Cuenca del Estero Casablanca (**Figura 10-2**), que comprende los valles de: Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales de Tapihue y La Vinilla, los que se encuentran ubicados en la vertiente occidental de la cordillera de la Costa en la V Región de Chile.

10.4 CONDICIONES DE BORDE

Las condiciones de borde del modelo, corresponden a las condiciones iniciales o de partida de éste, y a las condiciones de frontera del dominio que en su conjunto condicionan el flujo, las que se definen para cada uno de los periodos de estrés para la simulación en régimen transiente.

10.4.1 CONDICIONES INICIALES

Para su operación en régimen transiente, el modelo de simulación requiere la definición de profundidad del nivel freático en todo el dominio del modelo. La **Figura 10-9** muestra la superficie inicial utilizada para el año 1991.

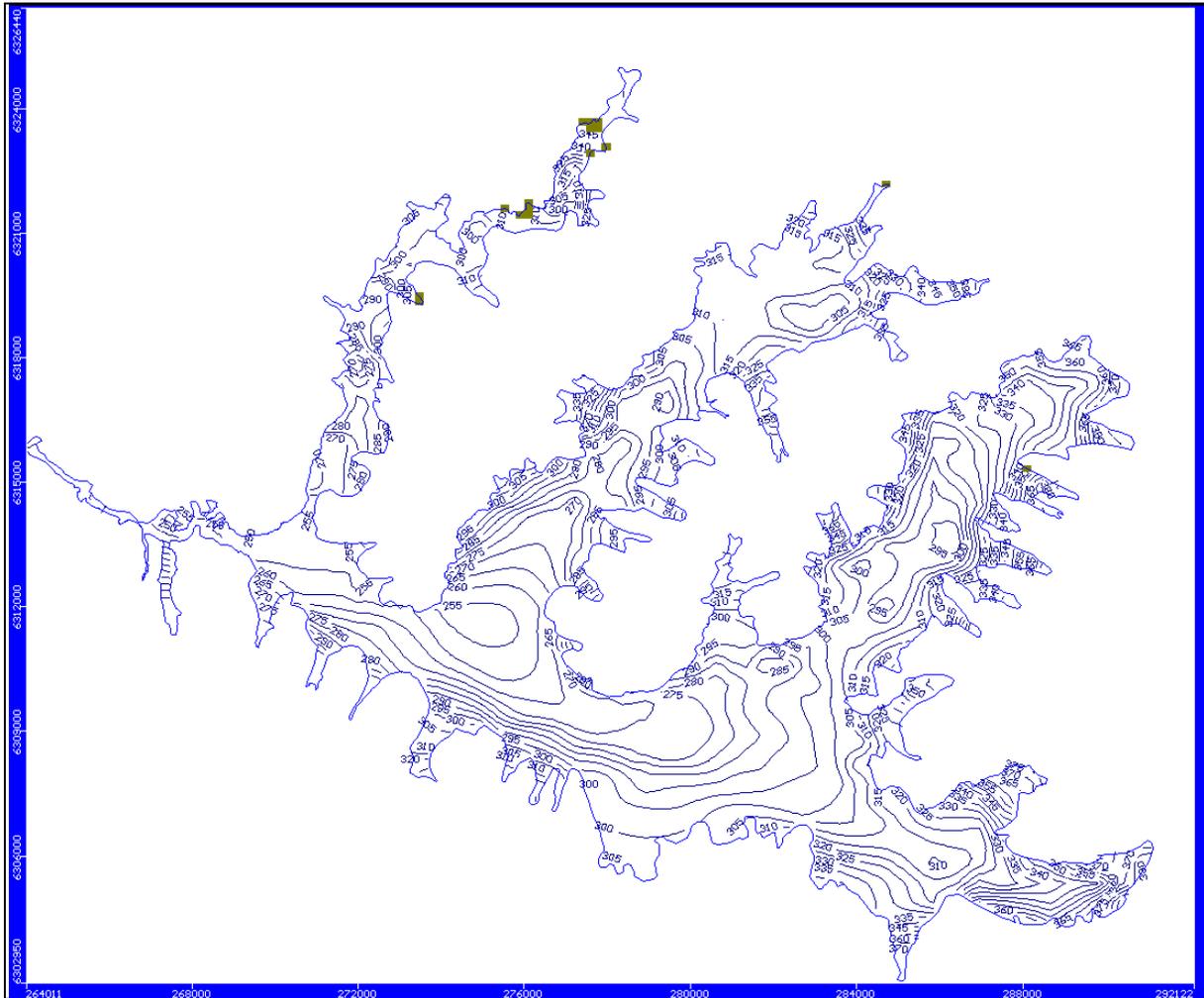


FIGURA 10-9 SUPERFICIE EQUIPOTENCIAL O NIVEL INICIAL AÑO 1991

10.4.2 CONDICIONES DE BORDE DE NIVEL

Con este nombre, MODFLOW se refiere a cualquier relación del modelo con el resto del mundo (excepto los pozos), estos están situados en las periferias del modelo (para que el modelo no quede aislado), en el interior como drenes, ríos, paredes impermeables y en la parte superior del modelo con la infiltración y evapotranspiración.

10.4.3 DREN

Esta condición de borde, se utiliza para representar los afloramientos o todos los flujos que existan desde el acuífero hacia la superficie, incluyendo los cauces naturales y canales. Se trata a los drenes como unas cuadrículas cuando coinciden con las líneas centrales de los canales y cauces naturales más importante del valle, como se muestra con las áreas azules en la **Figura 10-10**.

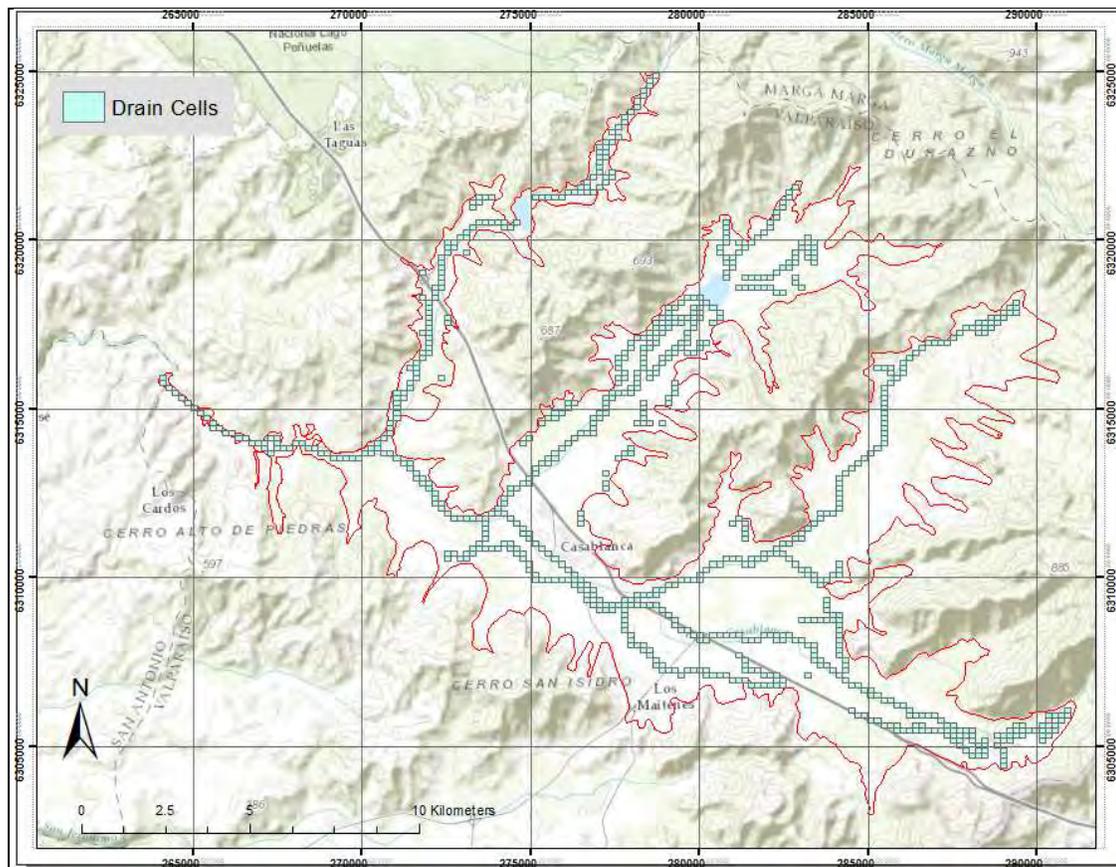


FIGURA 10-10 UBICACIÓN DE LOS DRENES

Una vez que en un dren entra agua, se quita del modelo. Esto permite el control del nivel freático en la modelación, para prevenir una elevación de la superficie de agua más alta que la superficie del terreno, y contribuye a la estabilidad del cálculo numérico.

Aunque la infiltración en la superficie está limitada al ancho del lecho, es necesario seleccionar una celda entera para simular dicha infiltración. Se utiliza un coeficiente de conductancia en $m^3/día$ multiplicado por el gradiente hidráulico, para determinar la

cantidad de agua que se puede sacar. En el modelo actualizado, se utiliza un coeficiente de conductancia de 2.1 multiplicado por el área de una celda.

10.4.4 RECARGA

Una condición de borde muy importante, es la variación en el espacio de la recarga. En el modelo elaborado en el 2005, se utilizó un valor constante en cada una de las nueve zonas como se ha determinado en el modelo MAGIC y como se indica en la **Figura 10-11**.

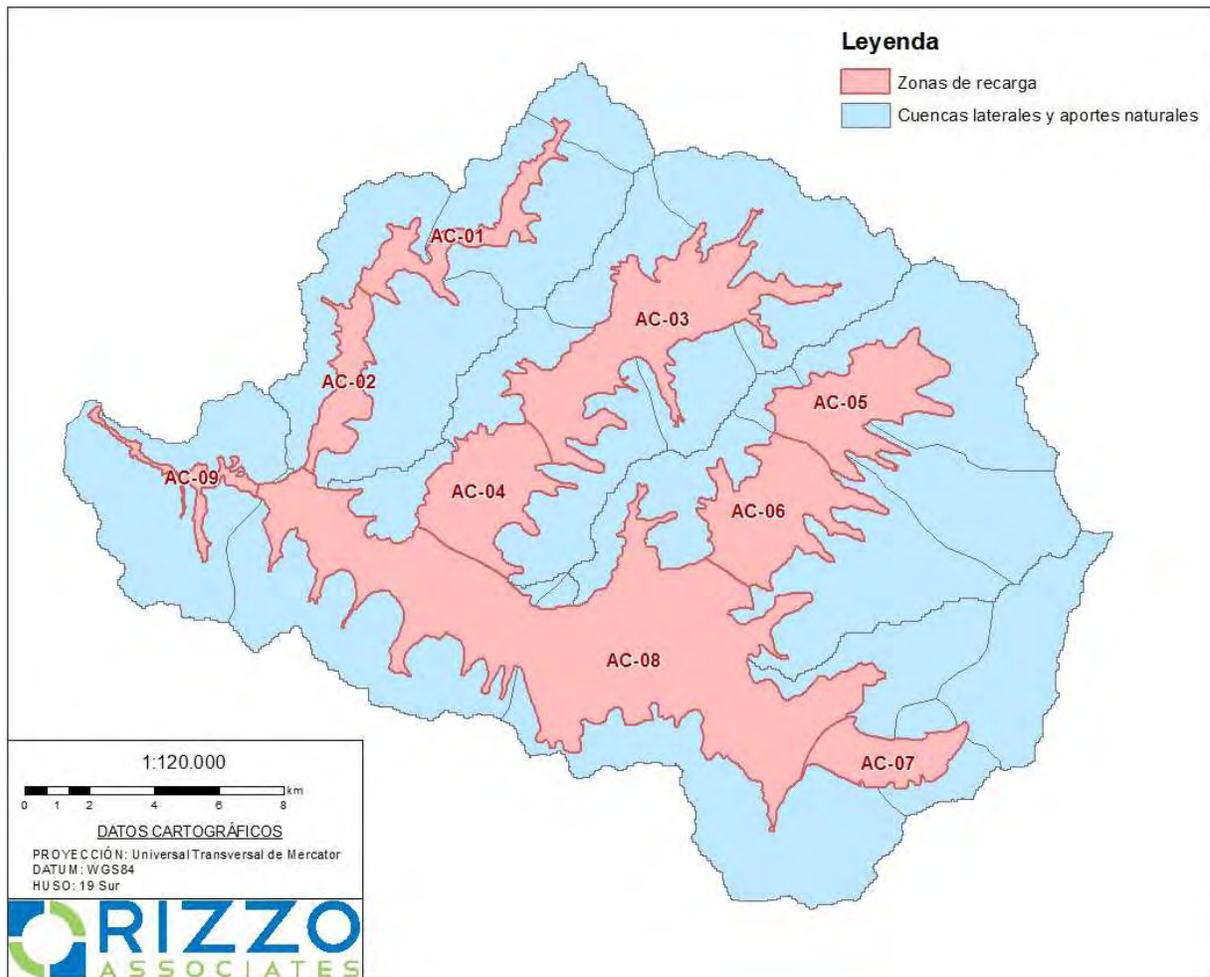


FIGURA 10-11 ZONAS DE RECARGA DE MAGIC Y CUENCAS LATERALES

Cabe señalar, que los volúmenes mensuales de infiltración calculados en MAGIC utilizados en el modelo del 2005, son los totales para cada Acuífero, sin tomar en cuenta la variación espacial del mismo, aunque esta variación, si fue tomada en cuenta en los

cálculos interiores de MAGIC, en la elaboración del balance de agua mensual. En el modelo actualizado, se toma en cuenta la variación espacial de la infiltración, para utilizar las series temporales suministradas en las salidas detalladas de MAGIC, como se describe brevemente a continuación.

Se hace presente que el balance de masa se ha mantenido en MAGIC para los nueve bloques del acuífero . Los flujos relevantes para la simulación de recargas subterráneas en MODFLOW se muestran en la **Figura 10-12** (En donde la composición de la serie de Tiempo ZR no está representada)

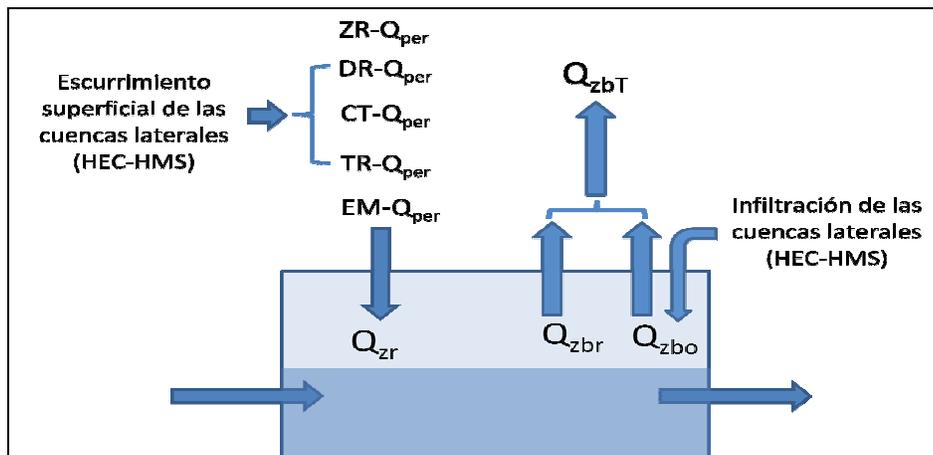


FIGURA 10-12 DIAGRAMA DE FLUJOS CALCULADOS DENTRO DEL PROGRAMA MAGIC PARA CADA ACUÍFERO AC-01 HASTA AC-09.

Como se indica en la **Figura 10-12**, Q_{zr} , la infiltración total en m^3/mes hasta el acuífero (de cada zona AC-01 hasta 9), está compuesta por los volúmenes de percolación desde los lechos de los ríos y canales - DR, CT, y TR (que toman en cuenta el esguerrimiento superficial de las cuencas laterales), la infiltración de los embalses (EM), y la percolación de los campos de riego (ZR), tomando en cuenta el consumo de agua por las cosechas y evaporación (**DGA, 2005**), como se ha descrito brevemente en la **Sección 9**.

En resumen:

$$Q_{zr} = \text{RIEGO} + \text{LECHO} + \text{EMBAL}$$

Donde:

$$\text{LECHO} = \Sigma Q_{per}(\text{TR}) + \Sigma Q_{per}(\text{CT}) + \Sigma Q_{per}(\text{DR})$$

$$\text{EMBAL} = Q_{per}(\text{EM})$$

$$\text{RIEGO} = - Q_{zr} - \Sigma Q_{per}(\text{TR}) - \Sigma Q_{per}(\text{CT}) - \Sigma q_{per}(\text{DR}) - Q_{per}(\text{EM})$$

Entonces se puede diferenciar la recarga hasta cada uno de los nueve acuíferos, entre los volúmenes de RIEGO, LECHO, y a veces EMBAL (cuando existe un embalse en la zona).

En el modelo actual se diferencia entre 31 zonas de Recarga - una Zona RIEGO, LECHO, y BORDE, para cada uno de los acuíferos, AC-01 hasta AC-09, para 27 zonas, y una Zona EMBAL para 4 zonas más en las acuíferos AC-01, AC-03, AC-05, y AC-07.

Además de los volúmenes de recarga calculados en MAGIC, para ingresar en cada zona en MODFLOW, hay que añadir la infiltración de las cuencas laterales en la serie temporal BORDE, que es la infiltración calculada en HEC-HMS en las cuencas laterales, calculadas como se ha descrito en la **Sección 9.5**.

Las series RIEGO, LECHO, EMBAL, y BORDE para cada zona, están convertidas en volúmenes totales, en lugar de usar la serie temporal Q_{zr} para la recarga de cada celda del MODFLOW, incluido en cada zona AC-01 hasta AC-09. La variación entre celdas es significativa en unas de las zonas.

Se presenta en la **Tabla 10-2**, una lista de las series temporales calculadas en MAGIC, que se ha utilizado para diferenciar entre la recarga entre zonas por riego, por infiltración por los lechos de canales y cauces naturales, por embalses, y por infiltración a lo largo del borde del valle sedimentario.

TABLA 10-2 ARCHIVOS DE MAGIC UTILIZADOS EN CALCULAR LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA RECARGA AL ACUÍFERO PARA UTILIZAR EN MODFLOW

AC-01	AC-02	AC-03	AC-04	AC-05	AC-06	AC-07	AC-08	AC-09
TR-01	TR-05	TR-07	TR-12	TR-14	DR-06	TR-19	TR-06	AC-09
TR-02	DR-02	TR-08	CT-007	TR-15	DR-07	TR-20	TR-13	AC-09
TR-03	CT-003	TR-09	CT-009	TR-16	CT-011	TR-21	TR-18	AC-09
TR-04	CT-005	TR-10	Qzr	TR-17	CT-013	TR-22	TR-24	AC-09
DR-01	Qzr	TR-11		CT-022	Qzr	TR-23	TR-25	Qzr
CT-001		DR-04		CT-026		DR-10	TR-26	
CT-002		DR-05		Qzr		CT-017	TR-27	
CT-004		CT-006				CT-023	TR-28	
CT-020		CT-008				Qzr	TR-29	
Qzr		CT-010					TR-30	
		CT-021					DR-08	
		CT-024					CT-012	
		CT-025					CT-014	
		Qzr					CT-015	
							CT-016	
							CT-018	
							CT-019	
							CT-027	
							CT-028	

El proceso de traslado de datos entre los programas HEC-HMS, MAGIC, y MODFLOW se representa en forma esquemática en la **Figura 10-13**.

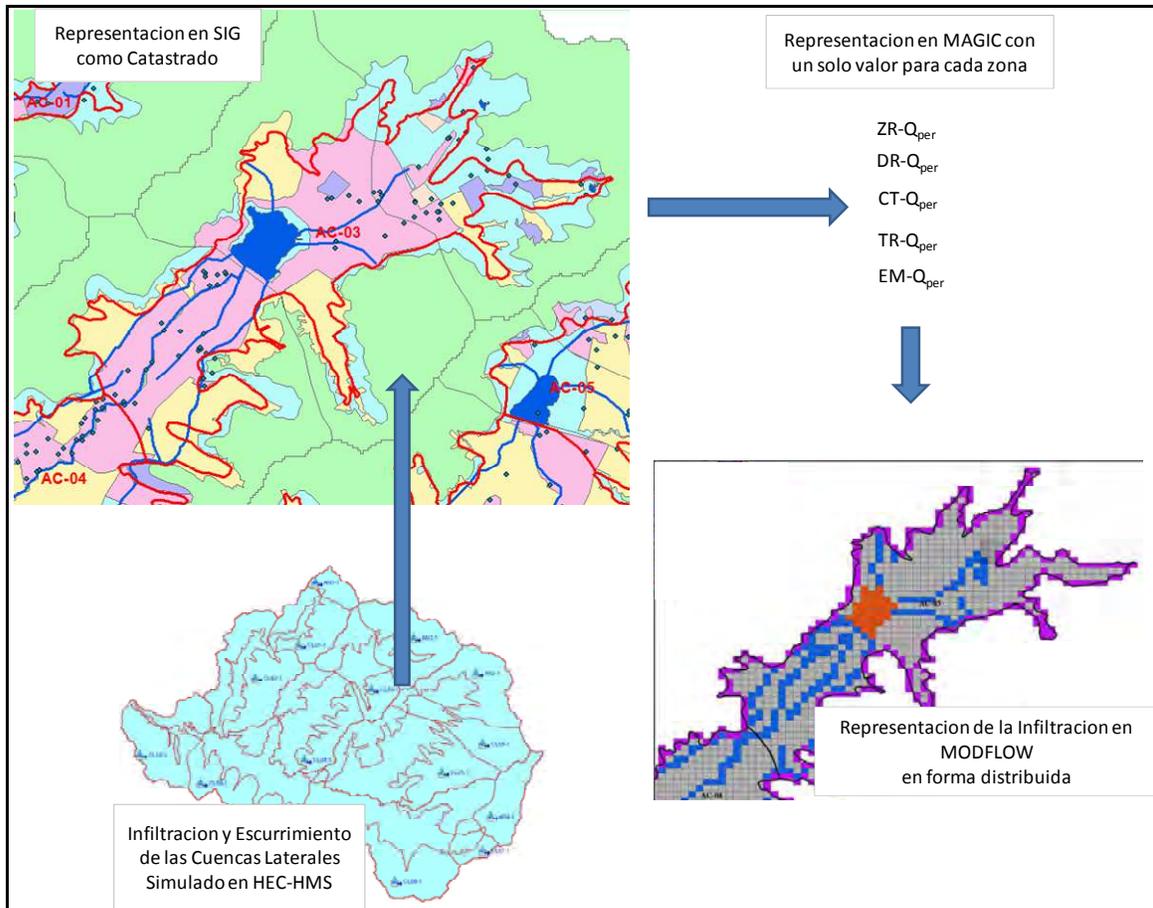


FIGURA 10-13 ESQUEMÁTICA DE LA TRANSFERENCIA DE DATOS DE RECARGA ENTRE LOS MODELOS UTILIZADOS EN EL ESTUDIO ACTUAL

En la **Figura 10-14**, se muestran las 31 zonas de recarga, como se han ingresado en MODFLOW.

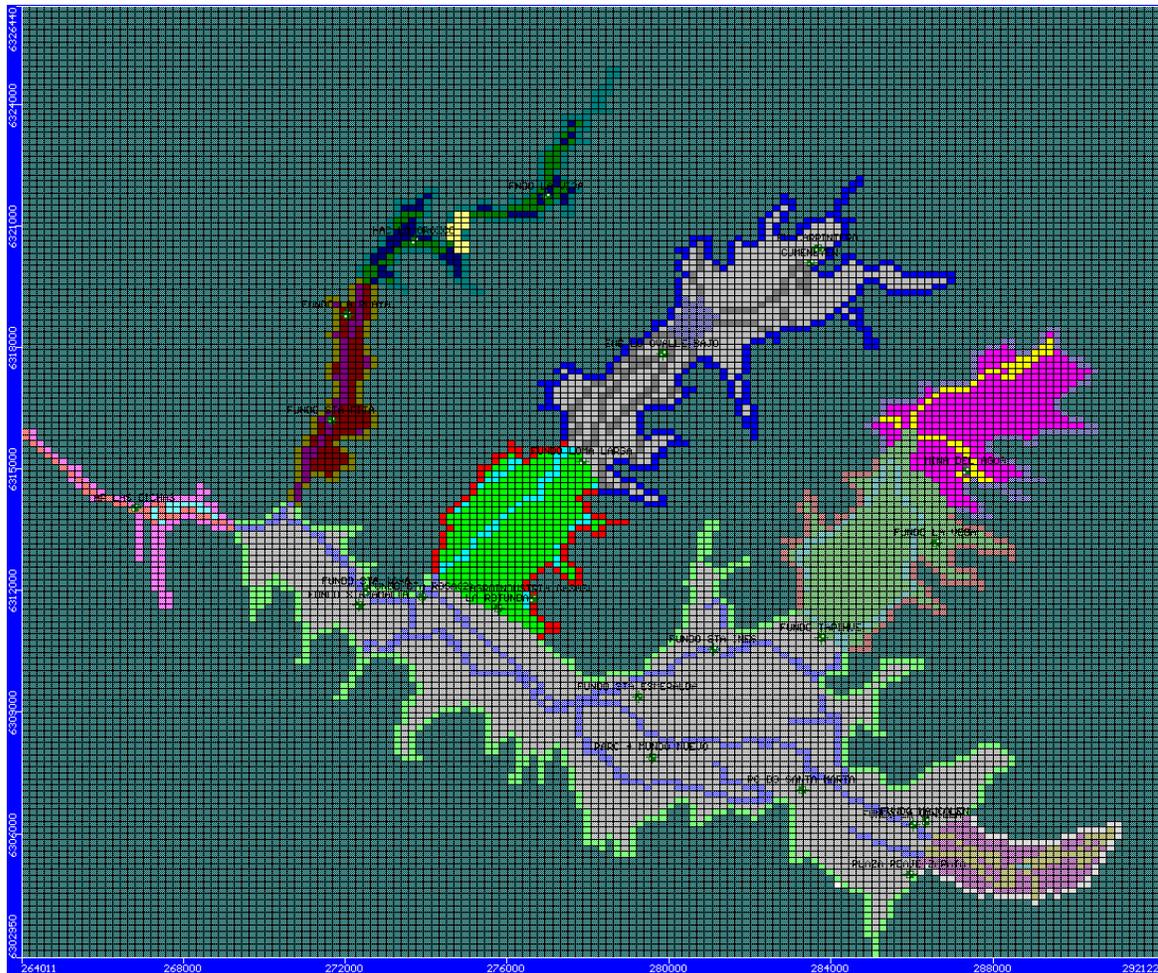


FIGURA 10-14 LAS 31 ZONAS DE RECARGA COMO SE INGRESÓ EN MODFLOW

10.5 POZOS DE EXTRACCIÓN

Se utiliza una serie temporal de bombeo para cada uno de los 466 pozos de extracción identificados por levantamiento catastral, como se resumió en la **Tabla 8-4**. La serie para cada pozo comienza en la fecha de registro indicada, y continúa hasta el fin de la simulación. Se aproxima la variación estacional de bombeo, para utilizar el 100% de los derechos otorgados en los meses de Octubre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, y 50% de los derechos otorgados en los demás meses, suponiendo que la demanda para riego sea menor en la estación invernal.

10.6 POZOS DE OBSERVACIÓN

Para controlar el comportamiento de los niveles de agua del embalse subterráneo que entrega el modelo, se cuenta con los niveles históricos medidos en los 24 pozos de

observación existentes en el dominio del modelo. Utilizando estos niveles como patrón de ajuste, es posible contrastar los niveles.

La **Tabla 10-3**, muestra un resumen de la información de los pozos de observación de la Cuenca con sus respectivas coordenadas. Las coordenadas se midieron durante la campaña de terreno que Rizzo realizó en Octubre de 2014, y están medidas con un GPS diferencial modelo Trimble R-6; todas las cotas están referenciadas al suelo. La localización de los pozos se realizó con personal de la DGA Regional de Quillota.

TABLA 10-3 DATOS DE UBICACIÓN DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN DE LA DGA

POZOS DE OBSERVACIÓN	COORDENADAS UTM		COTA
	NORTE	ESTE	(m.s.n.m)
Fndo. La Viña	6321746,0	276974,0	300,5
Hac. Lo Orozco	6320644,3	273711,3	299,8
Hac. Lo Orozco II	6320365,7	274417,9	305,9
Fndo. La Playa	6318805,1	272054,7	290,7
Fndo. Santa Rita	6316212,3	271674,1	278,3
El Carpintero	6320646	284056	335,1
Cumeneyén	6320082,1	283497,3	323,77
Embalse Lo Ovalle bajo	6317859,6	279855,8	297,9
Fndo. Loma Larga	6315183,1	277877,0	287,4
Fndo. Santa Rosa II	6311974,0	272550,0	248,6
Mina del Agua	6314952,8	287318,8	343,4
A.P. Las Dichas	6314031,4	266819,3	263,9
Fndo. Santa Amalia	6311655,6	272343,2	276,7
Fndo. Santa Ines	6310537,3	281107,5	296,8
Parc. 4 Mundo Nuevo	6307901,3	279586,1	296,0
Fndo Tapihue	6310825,9	283758,3	312,4
Fndo. La Vinilla	6306230,3	286033,9	329,8
Fndo Maucolén	6306299,1	286340,2	332,7
Plaza Peaje Zapata	6304985,9	285945,8	341,1
Fndo. Santa Esmeralda ⁽¹⁾	6309173	279026	267,2
Fndo. Santa Rosa ⁽¹⁾	6311323	274772	255,6
La Rotunda ⁽¹⁾	6314034	275642	249,4
Fndo. El Mirador ⁽¹⁾	6310436	275748	255,7
Fndo. La Vega ⁽¹⁾	6313505	285877	294,8
Agroindustria Casablanca ⁽¹⁾	6319812	276694	277

(1) DATOS DE UBICACIÓN OBTENIDOS DE LA PÁGINA DE LA DGA, YA QUE NO FUE POSIBLE SU UBICACIÓN DURANTE LA CAMPAÑA DE TERRENO (SEGÚN PERSONAL DE LA DGA, EN ESTOS POZOS YA NO SE MIDEN LOS NIVELES).

En la **Figura 10-15** se muestra la distribución de estos pozos.

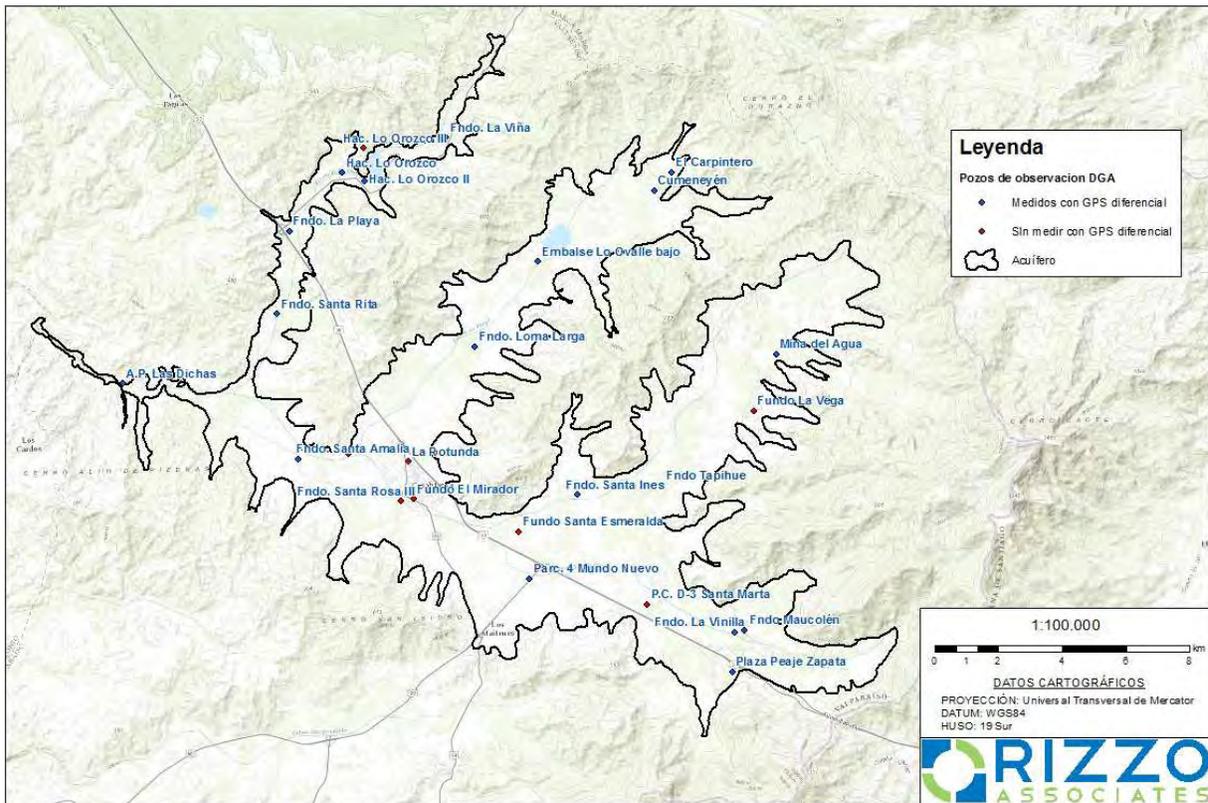


FIGURA 10-15 DISTRIBUCIÓN POZOS DE OBSERVACIÓN

En el **Anexo 6**, se adjuntan las gráficas de evolución de los niveles obtenidas en cada punto de observación.

10.7 EJECUCIÓN DEL MODELO

La zona a modelar se representa como un acuífero semiconfinado, con niveles de agua subterránea obtenidos a partir de los datos de niveles estáticos de la Red de Monitoreo de la DGA desde el año 1991. En cuanto a variaciones estacionales, la variable externa que más condiciona la evolución temporal y espacial del sistema, son los bombeos o extracciones de agua, dada su condición de desequilibrio dinámico.

De acuerdo a la información recopilada, destinada a determinar la condición de explotación del acuífero, se ha definido como periodo de calibración del modelo, el comprendido entre el 01 de Abril de 1991 y el 31 de Marzo del 2013, en total 23 años. Lo anterior, debido a que, a partir de esta fecha se presenta mejor calidad de información en cuanto a cantidad de los datos, y consistencia de los mismos.

10.8 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Para el primer paso de la calibración, se ajustaron los valores de los parámetros elásticos del acuífero (permeabilidad hidráulica "k" y Porosidad efectiva o Specific Yield "Sy"), como se describe en la **Sección 10.2**.

El proceso de calibración del modelo consiste en ajustar dichos parámetros del acuífero y condiciones de borde, para obtener continuidad en el balance de agua y para reproducir - dentro de la razonabilidad - la variación en los niveles del agua subterránea medidos en los pozos de observación durante la simulación (las series temporales del nivel piezométrico).

Se presenta un resumen del balance de agua y una comparación de las hidrográficas piezométricas observadas y simuladas en las siguientes secciones.

10.8.1 BALANCE DE AGUA

Se evalúa el balance de agua cumulativa por la duración de la simulación, para confirmar que el modelo se está comportando bien. Se presenta el balance para los 23 años de la simulación en la **Tabla 10-4**. El término "almacenamiento" en la tabla se refiere al agua en los poros del acuífero. Cuando el nivel freático sube, el volumen de agua en almacenamiento aumenta; cuando el nivel baja, el almacenamiento se reduce. Durante cada paso temporal de la simulación, el nivel freático o baja o sube. Se acumulan los descensos y aumentos en el cálculo.

Además del cambio en el nivel freático, en el acuífero puede entrar agua por recarga y salir del acuífero por bombeo o por drenaje. La diferencia entre el volumen total que entra y 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, lo cual es aproximadamente 0.84% en este caso. Se describe este error en la **Sección 10.9**.

Si se dividen los volúmenes totales de recarga, bombeo, o drenaje que aparecen en la **Tabla 10-4**, por el área total de la cuenca en estudio, y la duración de la simulación en años se obtiene la tasa del flujo anual en m/año, como se indica en la **Tabla 10-5**.

La suma algebraica de los tres flujos es -0.37 m/año, que representa un descenso anual promedio durante los 23 años de 8.3 metros total (el nivel freático ha bajado mucho más en partes del acuífero; eso es un valor promedio del área total incluyendo las áreas poco profundas a largo del borde del valle sedimentario).

TABLA 10-4 BALANCE CUMULATIVA DE AGUA PARA LA SIMULACIÓN DE 23 AÑOS

COMPONENTE DEL BALANCE	VOLUMEN DE ENTRADA (m ³)	VOLUMEN DE SALIDA (m ³)
Almacenamiento	2.937.661.696	1.577.477.376
Recarga	1.947.267.840	-
Pozos	-	1.803.434.752
Drenes	-	1.462.745.984
Sumatoria	4.884.929.536	4.843.658.112
	Diferencia	0,84%

TABLA 10-5 CÁLCULO DE LAS TASAS ANUALES DE LOS FLUJOS HIDROLÓGICOS

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

Se muestra las series temporales de las recargas, drenajes, y bombeo total como se simula en el modelo en la **Figura 10-16** a continuación. Se denota que los flujos cambian con el tiempo de manera razonable:

- El bombeo total está variando entre las estaciones secas e invernales, y aumentando con el tiempo de acuerdo con los registros de derechos otorgados por la DGA.
- La variación en la recarga está paralelando la ocurrencia de estaciones lluviosas (ver **Figura 7-6**)

- El flujo en los drenes (canales y cauces naturales), está disminuyendo con el tiempo como resultado del aumento en el bombeo (el gran caudal en el inicio del modelo es el resultado de la imprecisión en la condición inicial; lo que se normaliza pronto en la simulación).

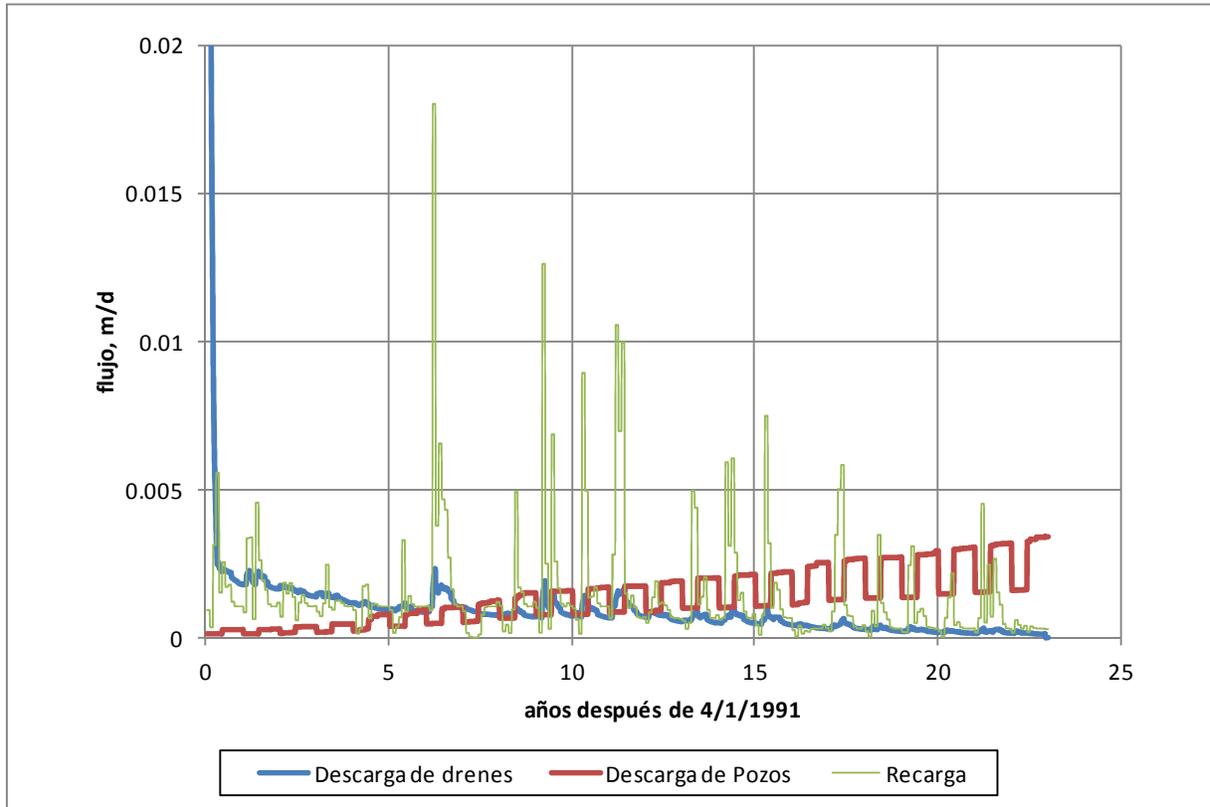


FIGURA 10-16 SIMULACIÓN DE LOS FLUJOS TOTALES DEL ACUÍFERO

10.8.2 VARIACIÓN ENTRE PIEZOMETRÍA SIMULADA Y OBSERVADA

Un buen indicador del éxito del modelo en representar las condiciones del acuífero, es una buena relación entre las series temporales del nivel piezométrico observadas y simuladas. Se comparan las series temporales piezométricas medidas (cuadrículas) y simuladas (líneas delgadas) en unos de los pozos de observación como se grafica por Visual MODFLOW en las **Figuras 10-17** hasta **Figura 10-24**.

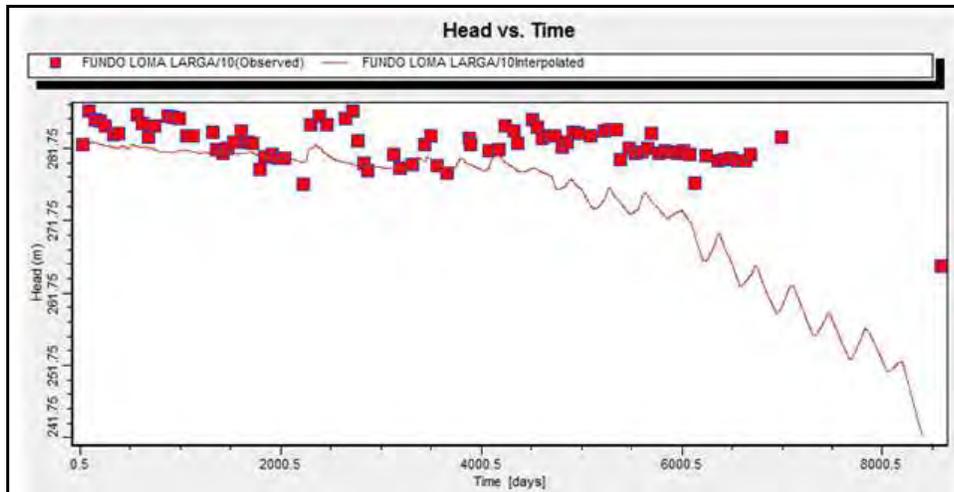


FIGURA 10-17 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO LOMA LARGA

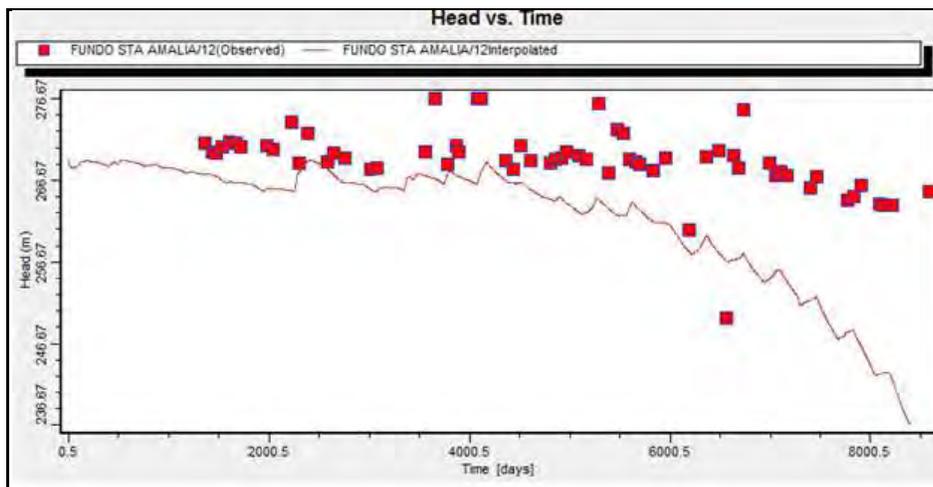


FIGURA 10-18 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO SANTA AMALIA

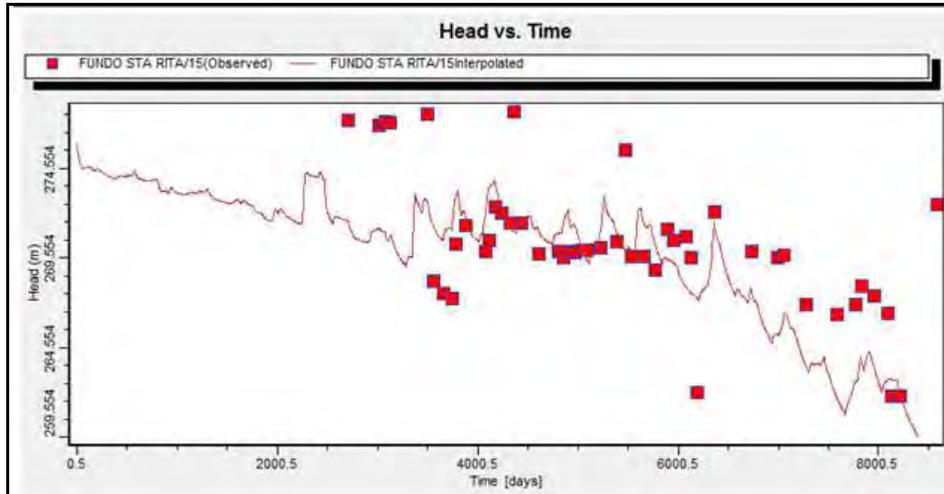


FIGURA 10-19 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO SANTA RITA

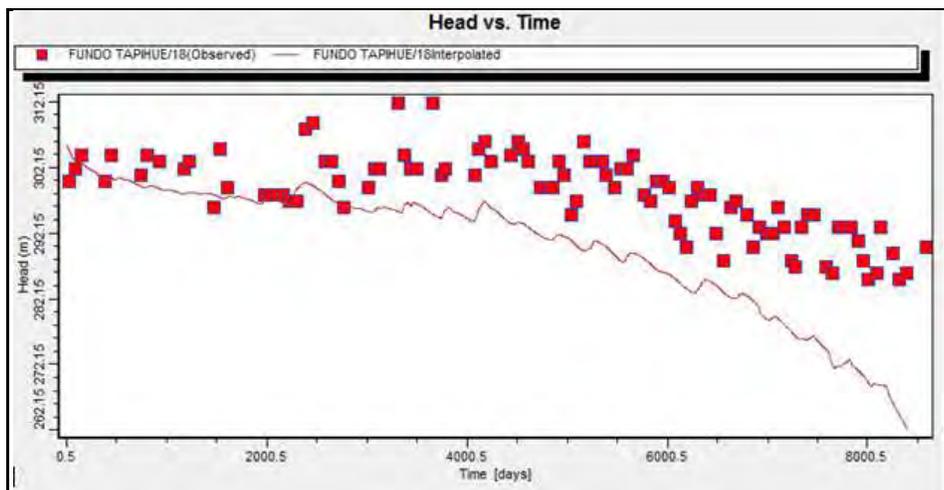


FIGURA 10-20 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO TAPIHUE

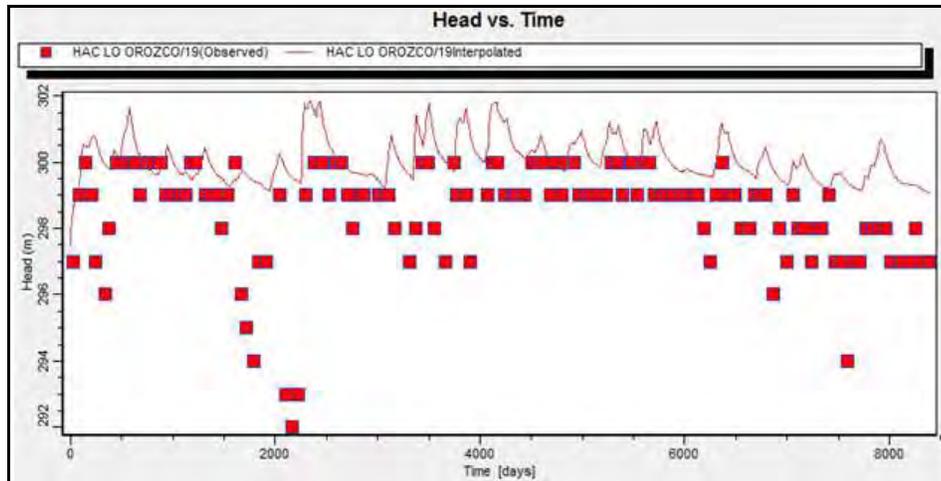


FIGURA 10-21 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – HACIENDA LO OROZCO

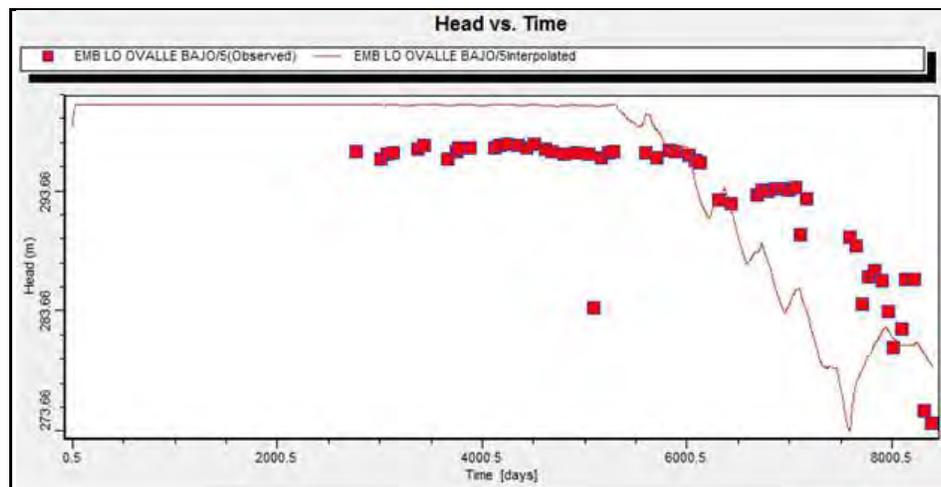


FIGURA 10-22 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – EMBALSE LO OVALLE BAJO

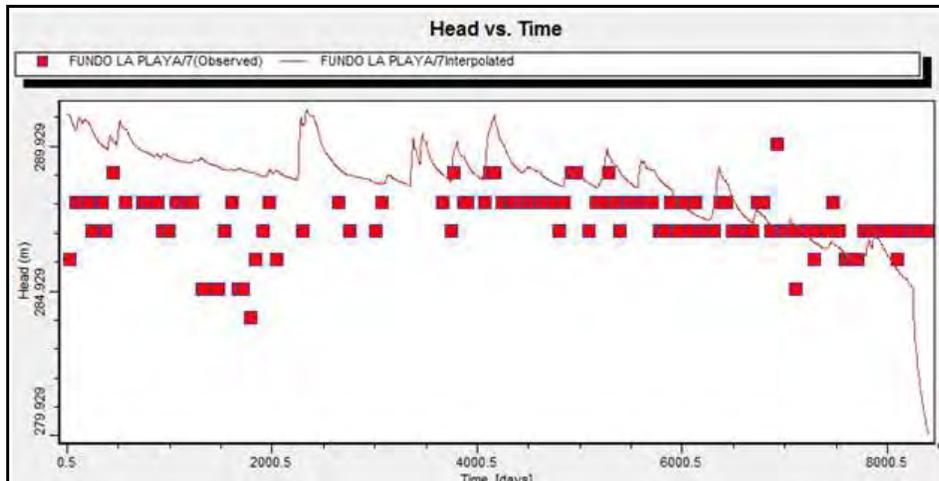


FIGURA 10-23 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – FUNDO LA PLAYA

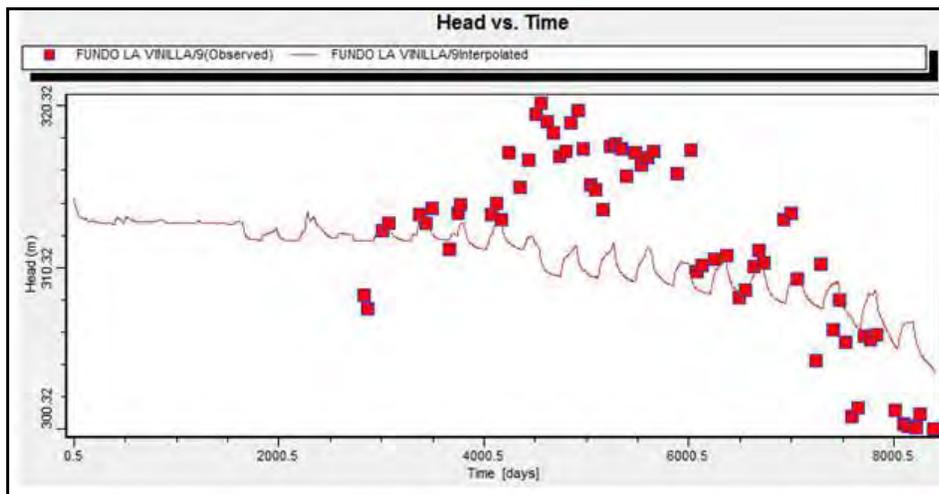


FIGURA 10-24 SERIES TEMPORALES OBSERVADAS Y SIMULADAS – EMBALSE FUNDO LA VINILLA

10.9 OBSERVACIONES CON RESPETO A LA MODELACIÓN

Como observación general, se hace notar que las cuencas montañosas que rodean el valle sedimentario representado por la zona activa del modelo, tienen un área aproximadamente dos veces mayor a ella, y es por esto que estas cuencas laterales contribuyen una cantidad significativa de escurrimiento superficial, resultando en la recarga del acuífero.

Las tasas anuales de lluvia son bajas (± 350 mm/año), y existen limitaciones en la disponibilidad del agua subterránea para bombear. Como resultado, las mediciones en algunos pozos de observación han mostrado una caída repentina en los niveles freáticos, en los últimos tres años, lo que es consistente con el comportamiento esperado de una cuenca cerrada. Esta caída está duplicada en la simulación para algunos de los pozos, como se puede ver en las figuras anteriores para Fundo Santa Rita, Embalse Lo Ovalle Bajo, El Carpintero, El Cumeneyen, Mundo Nuevo, Fundo Maucolen, y el Fundo La Vinilla.

Los resultados del modelo pueden ser influenciados por la sobreestimación del almacenamiento, recarga, y bombeo de agua subterránea, y de los cauces y canales que drenen afloramientos de agua subterránea. Los errores en la estimación del almacenamiento del agua subterránea pueden ser provocados por falta de precisión en la representación de las superficies de la roca basal y del terreno.

Este impacto está magnificado cerca de los bordes de la zona activa del modelo, en donde el acuífero es poco profundo y recibe un aporte significativo de las cuencas laterales descritos más arriba. En general, una mala estimación de la recarga está relacionada con la falta de precisión en el estimado de precipitación, evapotranspiración, e infiltración superficial.

Se presentan unas observaciones con respecto a los resultados del modelo a continuación, para cada uno de las cuatro valles, incluyendo una evaluación de la simulación en cada pozo de observación.

10.9.1 VALLE LO OROZCO

En general, se puede decir que con el modelo se logra una simulación exitosa, del comportamiento hidrológico de este valle, aunque es visible que el volumen de agua disponible en la zona norteña esta sobreestimado, como es representado por el pozo de monitoreo Fundo La Viña.

Fundo La Viña

Los niveles freáticos simulados son uniformemente 20 metros más altos que los observados. Puede ser que una condición de borde (como un canal o cauce natural), no representada en el modelo esté controlando el nivel freático en este zona como también

puede ser que el volumen de bombeo está subestimado y/o el volumen de recarga está sobreestimado.

Hacienda Lo Orozco

Los niveles freáticos observados y simulados están en concordancia. Los niveles observados muestran más fluctuación que los simulados, lo que puede resultar por el impacto de bombeo local, u otra condición de borde no representada en el modelo.

Fundo La Playa

Los niveles freáticos observados y simulados están en concordancia. Se muestra en la simulación un abatimiento repentino en los últimos años de la simulación que no fue observado. Este puede ser el resultado de subestimar el volumen del acuífero y/o la recarga en esta localidad, o de sobrestimar el volumen de bombeo.

Fundo Santa Rita

La variación temporal en el nivel freático simulado en MODFLOW, es consistente con la observada.

10.9.2 VALLE LO OVALLE

En general, se puede decir que el modelo logra una simulación del comportamiento hidrológico de este valle con éxito, aunque se observa que el volumen de agua disponible en la zona norteña está subestimado, como los representados por los pozos de monitoreo El Carpintero y Cumeneyen. Esta subestimación puede ser resultado de conductividades hidráulicas reales menores que las modeladas y una reducción en el drenaje a canales y cauces naturales.

El Carpintero

Los niveles freáticos simulados son uniformemente más bajos que los observados. Puede ser resultado de la influencia de drenes o un error en la representación de elevaciones topográficas con curvas de nivel de 5 metros.

Cumeneyen

Los niveles freáticos simulados son uniformemente más bajos que los observados hasta el fin del periodo de observación. Puede ser resultado de la influencia de drenes o un error en la representación de elevaciones topográficas con curvas de nivel de 5 metros.

Embalse Lo Ovalle Bajo

Los niveles freáticos observados y simulados están en concordancia. Las observaciones muestran una caída repentina en los últimos tres años, la que se reproduce en la simulación.

Fundo Loma Larga

Los niveles freáticos observados y simulados están en concordancia en los años iniciales. La caída en los últimos tres años es más pronunciada en la simulación que la observada lo que puede resultar de una sobreestimación del volumen de bombeo o una subestimación de la recarga de agua subterránea durante este periodo.

10.9.3 VALLE PERALES-TAPIHUE

El comparar los niveles freáticos observados y simulados indica la importancia de tomar en cuenta las características de almacenamiento en los acuíferos cerca de los bordes del valle sedimentario como se ha representado en el modelo. En la zona de los pozos Mina de Agua y Fundo la Vega, el acuífero es poco profundo y las diferencias están magnificadas. En la zona representada por el pozo Fundo Tapihue, puede ser que los niveles freáticos estén correctamente simulados en el modelo.

Mina del Agua

Los niveles freáticos simulados son uniformemente 10 metros más bajos que los observados. Probablemente este es el resultado de una condición del borde, que no es una representación adecuada de la geometría real en la localidad.

Fundo Lo Vega

Niveles freáticos simulados son uniformemente 20 metros más altos que los observados. Esto puede ser causado por un borde, como un canal o cauce natural, no representado en

el modelo que estaría manteniendo niveles así. También puede ser el resultado de subestimar el volumen de bombeo local o de sobreestimar recarga del riego.

Fundo Tapihue

Los niveles freáticos simulados corresponden a los observados previamente en la simulación. En los últimos años de la simulación, los niveles freáticos caen un poco más rápidamente en la simulación que el observado. Esto puede ser el resultado de subestimar el volumen de almacenamiento y/o recarga o sobreestimar bombeo en los últimos años de la simulación.

10.9.4 VALLE VINILLA-CASABLANCA

En el lado oriente del valle, el modelo proviene de una buena simulación del comportamiento hidrogeológico como es representado por los pozos de monitoreo Plaza Peaje Zapata, Fundo La Vinilla, Fundo Maucolen, y Parc Mundo Nuevo. La diferencia entre niveles freáticos simulados y observados en los pozos Fundo Santa Inés y Fundo Santa Esmeralda puede resultar por una representación imprecisa de los drenes.

Plaza Peaje Zapata

Los niveles freáticos observados y simulados son semejantes en el inicio y el fin del periodo simulado. La modelación entre los días 4.000 y 6.000 dentro del periodo de simulación, subestima el nivel freático. Esto puede indicar una subestimación de recarga, sobreestimación del volumen de bombeo o una sobre influencia de los drenes como se representa en el modelo en esta localidad.

Fundo Maucolen

Los niveles freáticos observados y simulados son semejantes en el inicio y el fin del periodo simulado. Hay un periodo de aumento en el nivel freático observado entre los días 4.000 y 5.000 que no aparece en la simulación de esta localidad. Este puede resultar por imprecisión en la medida de lluvia o una sobreestimación de bombeo en este intervalo.

Fundo La Vinilla

Los niveles freáticos observados y simulados son semejantes en el inicio y el fin del periodo simulado. La modelación resulta en una subestimación del nivel freático entre los días 4.000 y 6.000 del periodo de simulación. Este puede ser resultado de una subestimación de recarga, sobreestimación del volumen de bombeo, o una influencia de los drenes no realista para esta localidad.

PC D-3 Santa Marta

Niveles freáticos observados se elevan durante la simulación y las observaciones terminan después de aproximadamente 6.500 días. Los niveles freáticos simulados se mantienen relativamente planos hasta 6.500 días y caen de manera repentina después de este tiempo. Es posible que las observaciones sean erróneas siendo que ningún otro pozo muestra un aumento en el nivel freático.

Parc 4 Mundo Nuevo

Los niveles freáticos simulados están de acuerdo con los observados en el inicio del periodo simulado, pero los niveles en la simulación caen en los últimos años más rápido que el observado. Esto puede deberse a la subestimación de la recarga o de sobreestimar el volumen de bombeo.

Fundo Santa Esmeralda

Los niveles freáticos simulados son sistemáticamente 15 metros más altos que los observados. Esto puede indicar que una condición de borde (como un canal o cauce natural), que no está representado en el modelo está manteniendo los niveles. También puede ser el resultado de una subestimación del volumen de bombeo o una sobreestimación de recarga. Tampoco se puede descartar la posibilidad de un error en la estimación de la elevación del terreno en esta localidad.

Fundo Santa Inés

Los niveles freáticos simulados quedan unos 15 metros debajo de los observados. Esto puede ser el resultado de una subestimación del almacenamiento en el acuífero o de la tasa de recarga o una sobreestimación del volumen de bombeo.

En el lado occidental del valle, los niveles freáticos están de acuerdo con los observados cerca de los pozos de observación, Fundo Santa Amalia y Agroindustria Casablanca. El modelo no logra tener tanto éxito en la simulación de los niveles freáticos en el área de los pozos Fundo Santa Rosa I, La Rotunda, y Fundo Santa Rosa II. Es probable que esto sea el resultado de una imprecisión en la representación de los drenes en el área.

La Rotunda

Los niveles freáticos simulados son sistemáticamente 13 metros más altos que los observados. Esto puede indicar que una condición de borde (como un canal o cauce natural), que no está representado en el modelo está manteniendo los niveles como están.

Agroindustria Casablanca

Los niveles freáticos simulados están generalmente de acuerdo con los observados pero aproximadamente un metro más alto por lo promedio. Las mayores diferencias entre los niveles observados y simulados ocurren entre días 4.000 y 5.500 de la simulación. Puede ser que las tazas de recarga son sobreestimados o que los volúmenes de agua bombeados son subestimados. Fundo

Fundo Santa Rosa II

Los niveles freáticos simulados son sistemáticamente 30 metros más altos que los observados. Esto puede indicar que una condición de borde (como un canal o cauce natural), que no está representado en el modelo está manteniendo niveles como están.

Fundo Santa Rosa I

Los niveles freáticos simulados son sistemáticamente 10 metros más altos que los observados. Este puede indicar que una condición de borde (como un canal o cauce natural), que no está representado en el modelo está manteniendo niveles como están.

Fundo Santa Amalia

Los niveles freáticos simulados están generalmente de acuerdo con los observados tempranamente en el periodo de la simulación. El nivel freático simulado cae más repentinamente que los observados al fin del periodo de simulación. Puede ser el

resultado de la subestimación de almacenamiento de agua en el acuífero y/o recarga o una sobrestimación del volumen de agua bombeada de los pozos.

AP Las Dichas

Los niveles freáticos simulados están generalmente de acuerdo con los observados, pero aproximadamente 3 metros más bajos en promedio. Esto puede ser el resultado de sobreestimar el flujo hasta los drenes cercanos o la posibilidad de subestimar elevaciones topográficas en esta localidad.

10.10 RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DEL MODELO

Los problemas con la estabilidad numérica pueden estar limitando la representación del sistema del acuífero debido a las siguientes probabilidades:

- La existencia de una o más zonas de acuífero confinado.
- Algunos pozos pueden estar diseñados para extraer agua de una zona inferior al confinado.
- Algunos pozos pueden estar extrayendo agua de más de un acuífero.
- La profundidad de algunos pozos y el abatimiento del nivel freático en ellos debido a sobreexplotación del recurso, puede desactivarlos durante tiempos de sequía.
- Puede ser que el bombeo de los pozos sea más irregular y estacional que el representado actualmente en el acuífero.
- Las estimaciones de recarga desarrolladas por MAGIC pueden sobreestimar el volumen de agua que entra en el acuífero.

También, se denota que el acuífero está ubicado en valles más bien estrechos y eso puede dar como resultado una reflexión compleja de abatimiento por los muros del mismo – siendo otro factor que puede contribuir a la inestabilidad numérica. Se puede clasificar la incertidumbre aproximada como:

- 50% para la recarga

- 50% para el bombeo
- 20% para la profundidad del acuífero

Basados en las consideraciones mencionadas anteriormente, se pueden hacer las siguientes sugerencias para el mejoramiento del modelo:

- Ejecutar una investigación hidrogeológica para evaluar la necesidad de considerar uno o más acuíferos confinados.
- Seguir compilando datos para el catastro de pozos incluyendo sus coordenadas UTM, profundidades, e intervalos de rejillas.
- Medir la tasa real de bombeo en los pozos mas significantes.
- Desarrollar una medida estadística del impacto de los pozos desconocidos.

11 DISEÑO POZOS DE MONITOREO

Como parte del alcance de los trabajos propuestos en este estudio, y al no disponer en la cuenca de Casablanca de ninguna estación de control fluviométrico, se planteaba el diseño de una, en el sector Las dichas que permitiera determinar la escorrentía total pasante en este sector, asumiendo que ese sector constituye la salida de la cuenca, por lo que se tendría un control de los caudales totales procedentes de todos los sectores acuíferos estudiados.

El lugar planteado para colocar una estación de control, como se mencionó anteriormente, es el sector de Las dichas. Este lugar se escogió en base a los estudios anteriores en los que se menciona que en esta zona de la cuenca se producían afloramientos debido a un estrechamiento y levantamiento del Basamento rocoso. En la **Figura 11-1**, se muestra la ubicación de dicha zona.

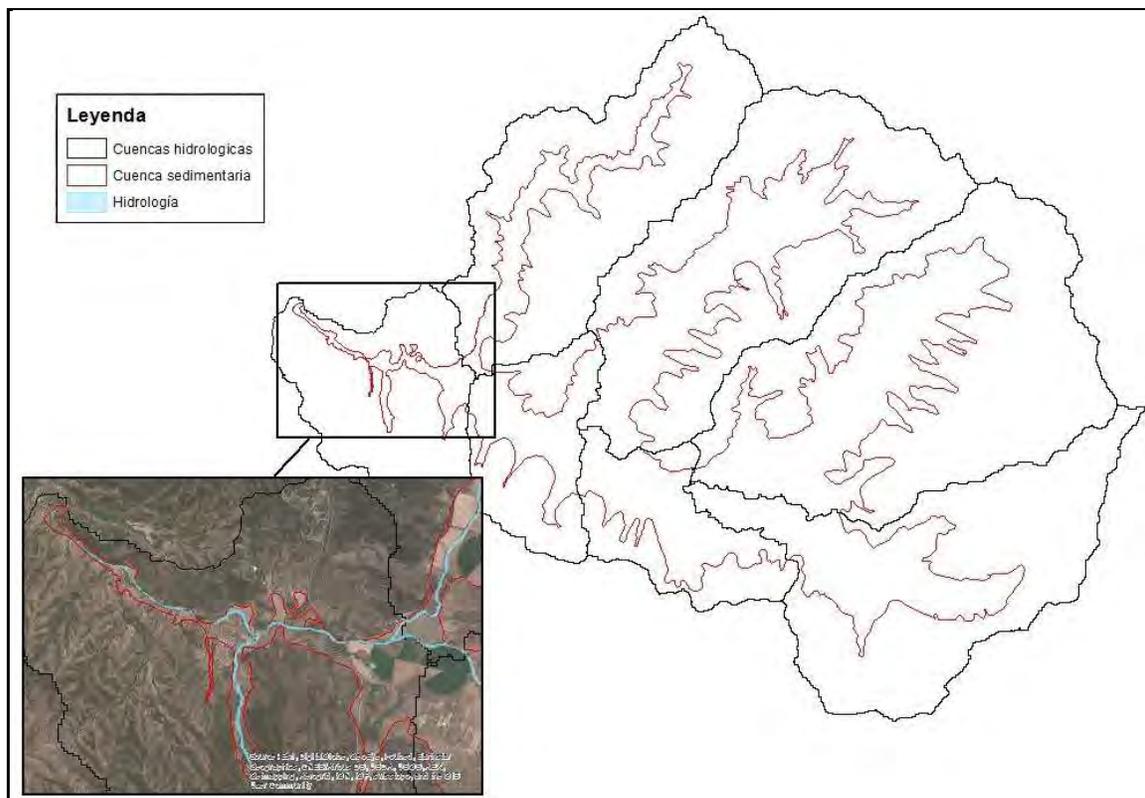


FIGURA 11-1 UBICACIÓN ZONA DE LAS DICHAS

Se realizó una visita previa a la zona, con el objetivo de determinar la mejor ubicación de dicha estación. Durante dicha visita, realizada entre los días 22 y 23 de Agosto, se comprobó que en la actualidad no existe flujo de agua superficial en toda la cuenca de

Casablanca. Tras un recorrido exhaustivo por el cauce principal de la cuenca, se observa que el agua que aparece en el curso del estero es agua estancada y eutrofizada, observándose algas y flora acuática, no existiendo flujo, **Figura 11-2**. Esta agua representa el nivel estático (**Figura 11-3**), por lo que se comprueba que efectivamente en esta zona se produce un afloramiento de agua del acuífero que indica que el estero en esa zona es un río ganador, es decir recibe agua del acuífero, y resulta evidente que en la actualidad la aportación de agua superficial es nula y no hay escurrimiento.



FIGURA 11-2 CAUCE PRINCIPAL DE LA CUENCA A LA ALTURA DE LAS DICHAS



FIGURA 11-3 MUESTRA DEL NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA

Se pudo constatar que la Cuenca es deficitaria desde hace varios años, quizás 5 o más años, a juzgar por lo avanzado de la vegetación sobre el lecho del río (**Figura 11-4**).



FIGURA 11-4 DETALLE MARCAS DE CORRIENTE EN EL CAUCE

Apenas se observan indicios de circulación de agua superficial recientemente, a excepción de alguna marca de resaca arrastrada por un episodio de lluvia reciente atrapada en los matorrales, que alcanza unos 50 cm respecto del nivel del agua.

Para estimar el tiempo que hace que se está produciendo esta situación, se ha estudiado la evolución de las aguas superficiales a través de imágenes del google earth, que muestran los embalses localizados en la cabecera de cada subcuenca y que actúan como reguladores del drenaje superficial. La **Figura 11-5** muestra la ubicación de los embalses estudiados.

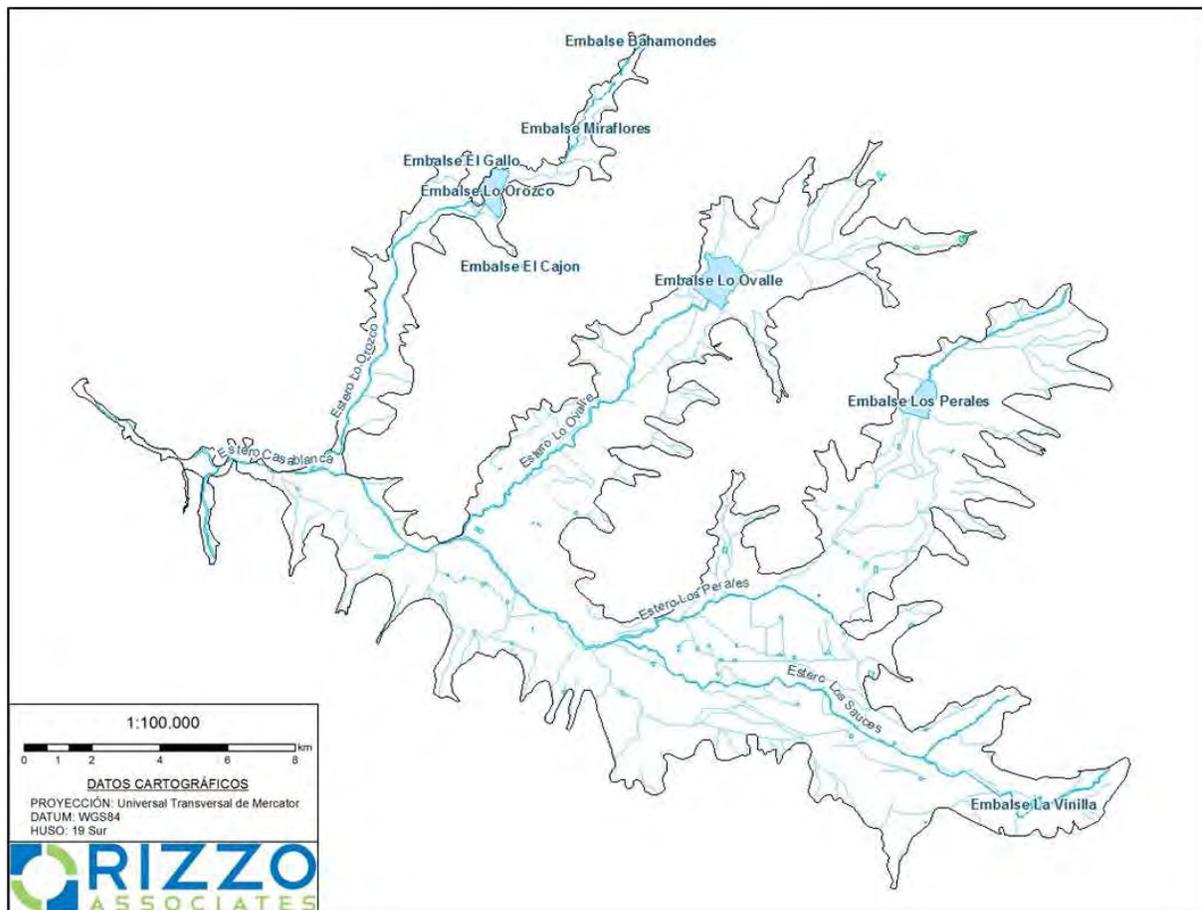


FIGURA 11-5 UBICACIÓN PRINCIPALES EMBALSES DE LA CUENCA

En las **Figuras 11-6 a 11-8** se muestra la evolución de los embalses desde 2005 hasta la actualidad..

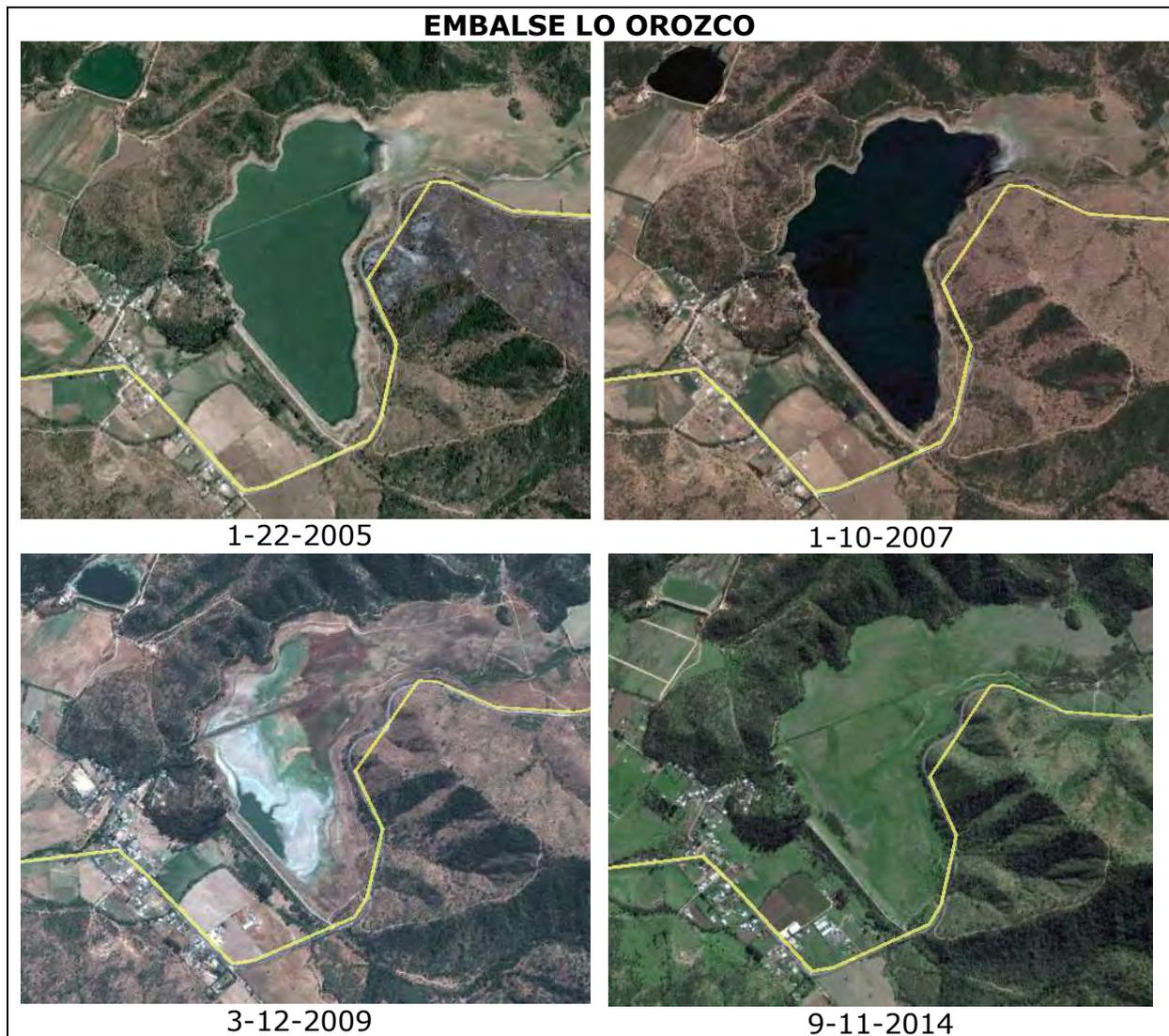


FIGURA 11-6 EVOLUCIÓN AGUA EMBALSADA EN EMBALSE LO OROZCO

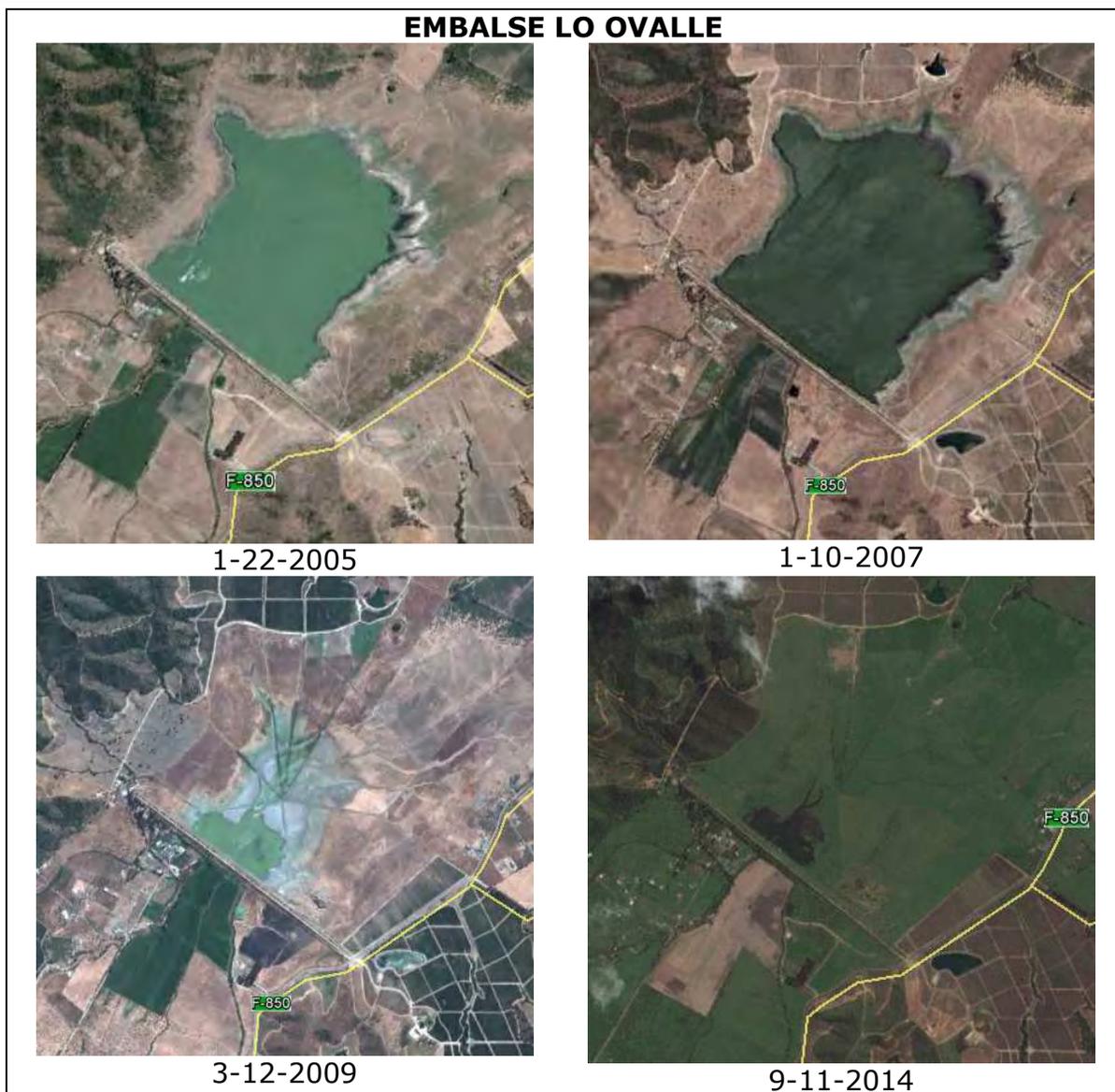


FIGURA 11-7 EVOLUCIÓN AGUA EMBALSADA EN EMBALSE LO OVALLE

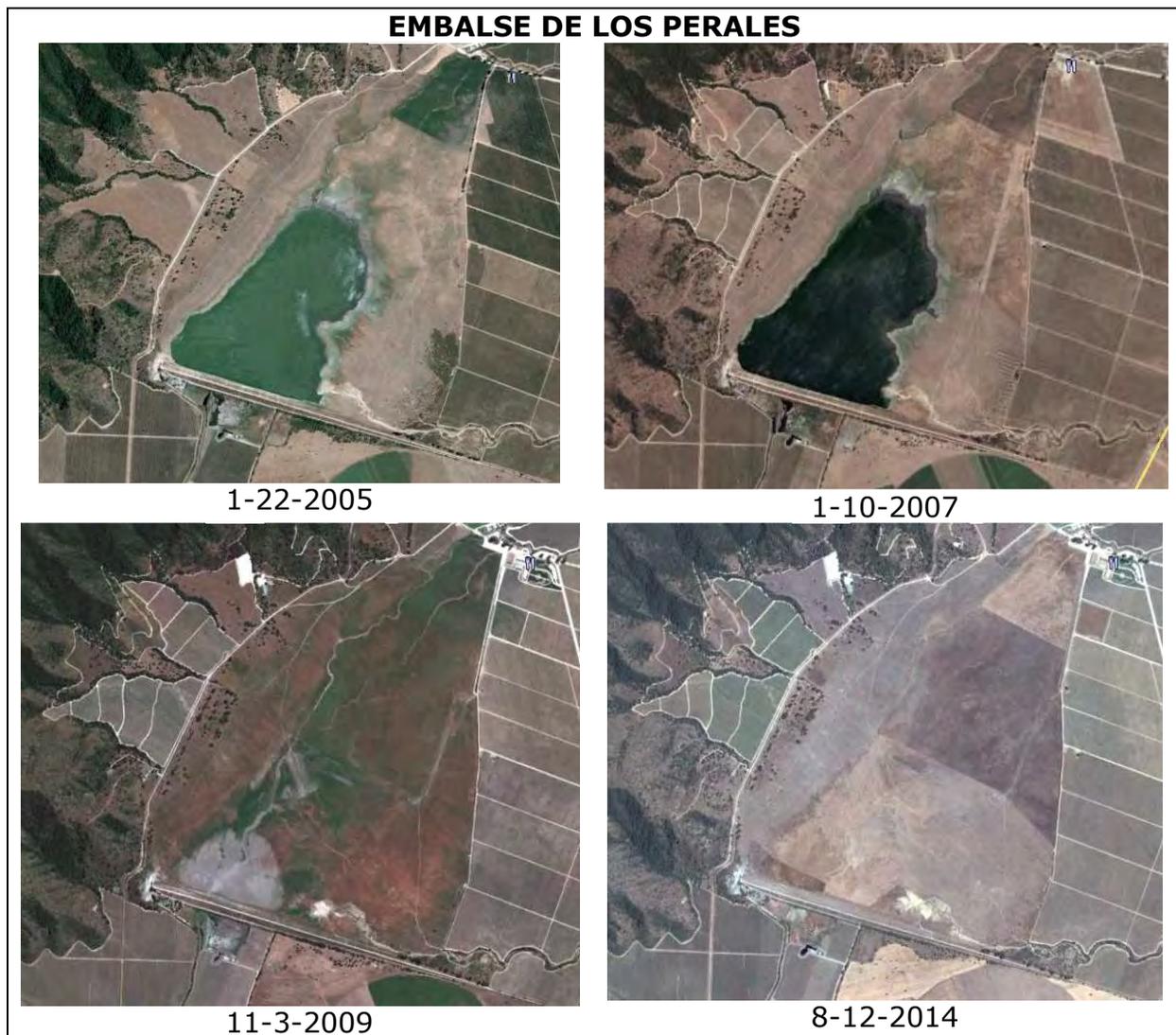


FIGURA 11-8 EVOLUCIÓN AGUA EMBALSADA EN EMBALSE LOS PERALES

Se observa entre 2007 y 2009 los embalses se empiezan a secar. En el intervalo de tiempo, desde 2009 a la actualidad, se muestran completamente secos. Esto indica que la situación descrita anteriormente, y observada durante la visita preliminar se viene repitiendo en el tiempo desde hace al menos 5 años.

Por otro lado, se ha comprobado que las características del cauce han cambiado notablemente respecto a las conclusiones de estudios anteriores. En la actualidad el cauce se encuentra en ese sector con bastante sedimento, lo que podría ser consecuencia de la planta de áridos situada pocos metros aguas arriba **Figura 11-9**. Es posible que en épocas de crecidas, estos sedimentos se arrastren y acumulen en la zona de Las Dichas,

habiéndose producido un relleno de arenas y finos en los últimos años. En las **Figuras 11-10 a 11-11** se muestran fotos de la planta.

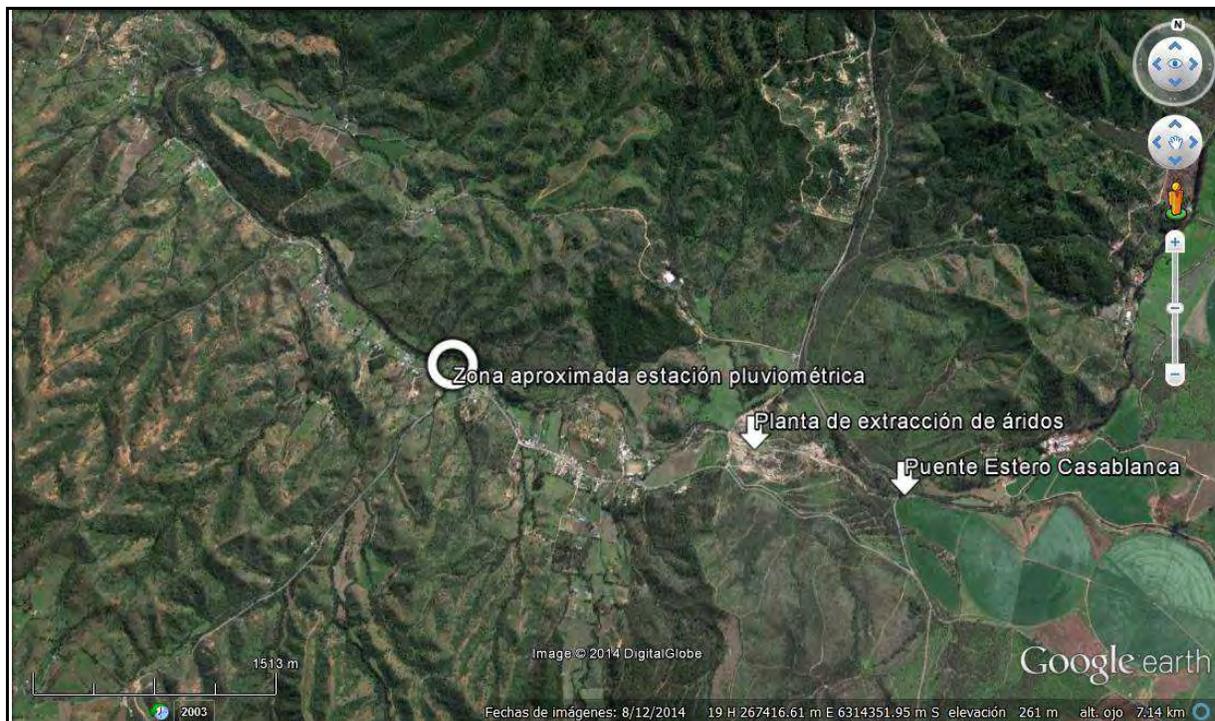


FIGURA 11-9 UBICACIÓN PLANTA DE ÁRIDOS



FIGURA 11-10 PLANTA EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS



FIGURA 11-11 TRAMO DEL CAUCE SITUADO EN LA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS

Para la instalación de una estación de aforos a la salida de la Cuenca, que permita conocer los caudales en función del tiempo, se debe contar con un limnógrafo. Actualmente se utilizan transductores de presión, para lo cual, una vez instalado, necesita de la ecuación que vincula las alturas del tirante de agua con sus correspondientes caudales.

Las condiciones que se requieren por tanto para instalar una estación Fluviométrica de este tipo son al menos las siguientes:

- 1.- Debe tener una sección constante
- 2.- No debe ser una zona de régimen turbulento.
- 3.- Que no exista relleno aluvional (que no circule agua subterránea)

Del estudio hidrológico y del modelo de escorrentía de cuencas laterales descritas en apartados anteriores se puede obtener una estimación cruda del porcentaje del tiempo en el cual se puede esperar caudal en el cauce principal de la cuenca. En la siguiente gráfica (**Figura 11-12**), se muestra la forma esporádica del escurrimiento superficial debido a la escasez de lluvia y las pérdidas de agua por infiltración y evaporación.

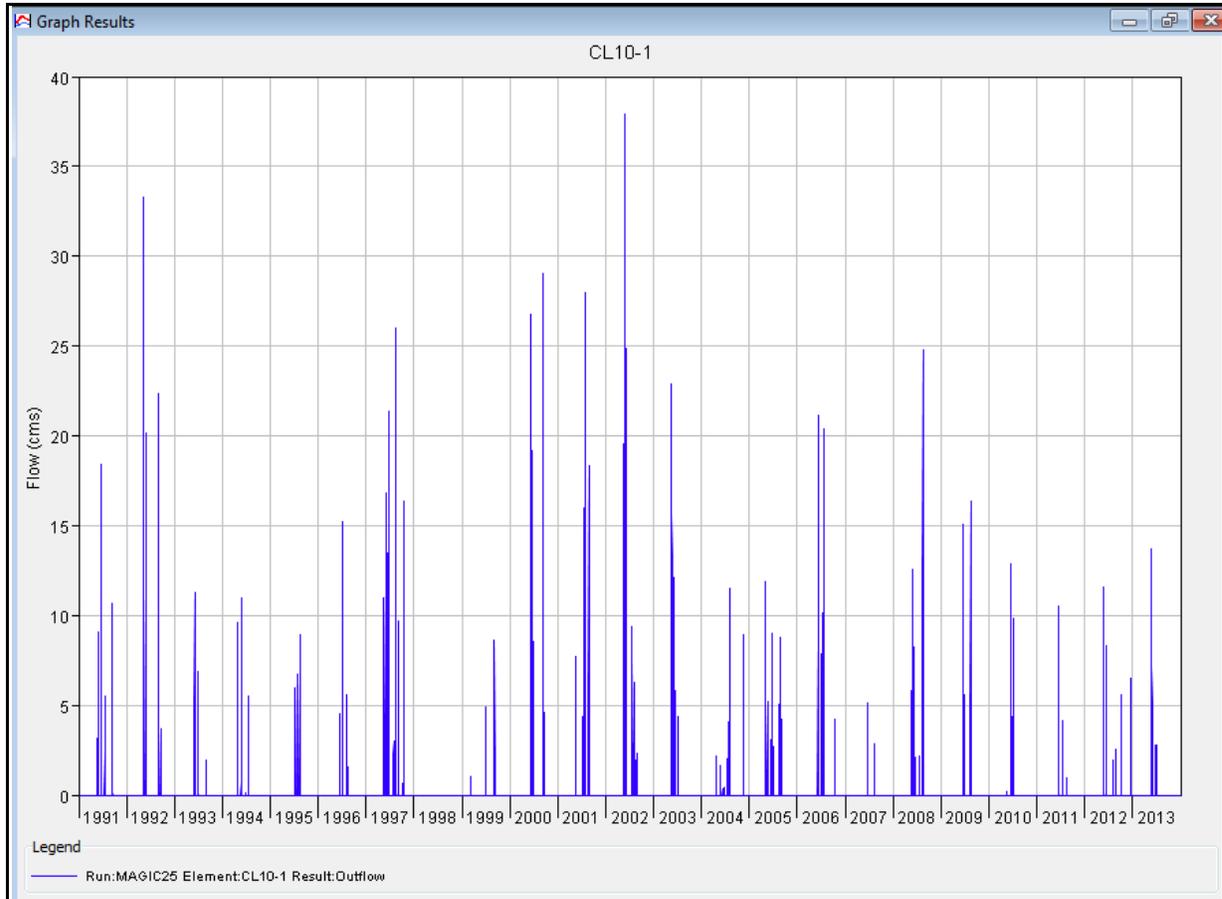


FIGURA 11-12 SERIE HISTÓRICA DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL SIMULADO CON HEC-HMS

Cabe señalar, que con respecto al escurrimiento modelado para 23 años de datos, desde el año 1991 al 2014, hay unos 765 días con escurrimiento superficial, agrupados en 129 periodos de flujo continuo. Del modelo se deduce que la estancia del flujo en el cauce sería del orden entre 1 y 4,5 % del tiempo. Dada esta frecuencia tan pequeña del flujo en el cauce, el mantenimiento de una estación fluviométrica sería muy problemática.

Tras la visita de reconocimiento y una vez analizados los resultados de los estudios y los modelos realizados, se concluyó poco viable la construcción de una estación fluviométrica, dado que a menos que sobreviniera un ciclo muy lluvioso capaz de rellenar el acuífero, (hoy tiene descensos acumulados, en algunos pozos de hasta 25 m respecto del año 2004), es muy poco probable que se mida el superávit del flujo subterráneo o a lo sumo el levellogger registrará alguna punta de creciente.

El resultado sería un hidrograma plano, con algunas alzas esporádicas correspondientes a lluvias, pero no un hidrograma que represente la curva de agotamiento de la Cuenca.

Por otro lado, en base al estado actual del cauce, y al acumulamiento de sedimento en el mismo en la zona escogida para la ubicación de la estación, sería necesario hacer un dragado del cauce cada año.

Además del costo elevado de mantenimiento, se visualiza un alto costo de construcción, por la necesidad de mejorar una longitud del cauce significativa.

Por todo lo anterior se acordó con la inspección fiscal de la DGA, cambiar el diseño de la estación fluviométrica por el diseño de una red de monitoreo, consistente en la construcción de al menos dos pozos de monitoreo en los que se colocarán los piezómetros correspondientes.

Se propone la construcción de al menos dos pozos de monitoreo, ubicados en el lecho del cauce principal de la Cuenca de Casablanca a la salida de la cuenca, donde se produce un estrechamiento de la misma que hace que funcione como un embudo. En la **Figura 11-13** se muestra la zona propuesta para la ubicación de los mismos. La ubicación de estos responde a la necesidad de contar con un tramo de estero lo mas rectilíneo posible y distanciados a unos 340 m

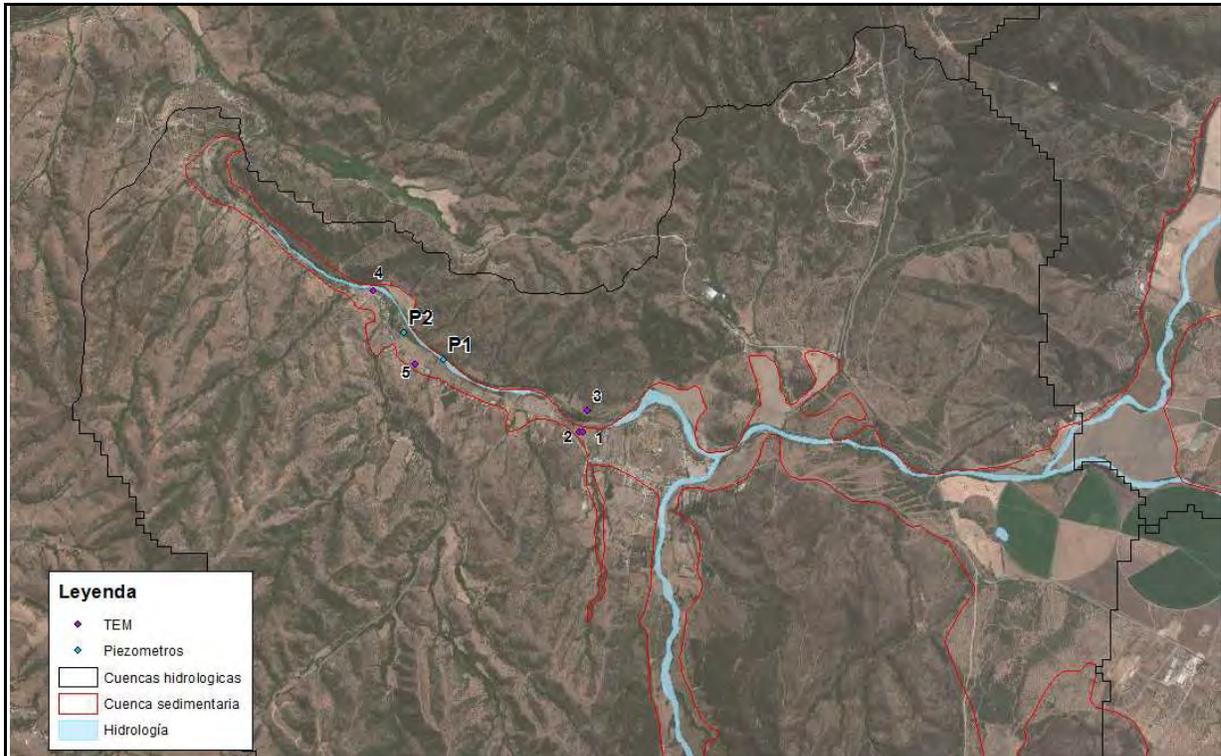


FIGURA 11-13 UBICACIÓN DE LA RED DE MONITOREO

Para los piezómetros a instalar dentro de los pozos de monitoreo, se propone el diseño de piezómetros utilizando caños de filtros con ranura continua, que tiene por objeto duplicar la prestación de los mismos, ya que pueden funcionar como pozos de monitoreo de niveles estáticos y como limnógrafos.

La función de limnógrafo, se consigue construyendo el pozo de tal manera, que el caño del filtro sobresalga de la superficie del terreno unos 1,5m, de modo de poder registrar con el transductor de presión ubicado dentro del piezómetro, el paso de una creciente, lo cual permitiría conocer su hidrograma.

Con la colocación de al menos dos piezómetros, se puede conocer el gradiente hidráulico y la variación temporal del nivel estático.

11.1 DISEÑO DEL POZO DE MONITOREO

Se plantea la construcción de al menos dos perforaciones de unos 24m de profundidad o hasta alcanzar el techo del Basamento rocoso, donde colocar los piezómetros. De acuerdo al Nanotem NT-05, realizado por GEODATOS, en Octubre de 2014, aproximadamente a mitad de la distancia que separa a ambos piezómetros, y ubicado sobre la primera terraza

fluvial del estero, se detectó el Basamento a unos 14m de profundidad, y el NT 04 ubicado a unos 500m aguas abajo del primero, se determinó el contacto del relleno sedimentario con la roca basal a 29m, por consiguiente, es razonable estimar una profundidad media para ambos piezómetros de 24m. En la **Figura 11-14** se muestra un esquema de construcción.

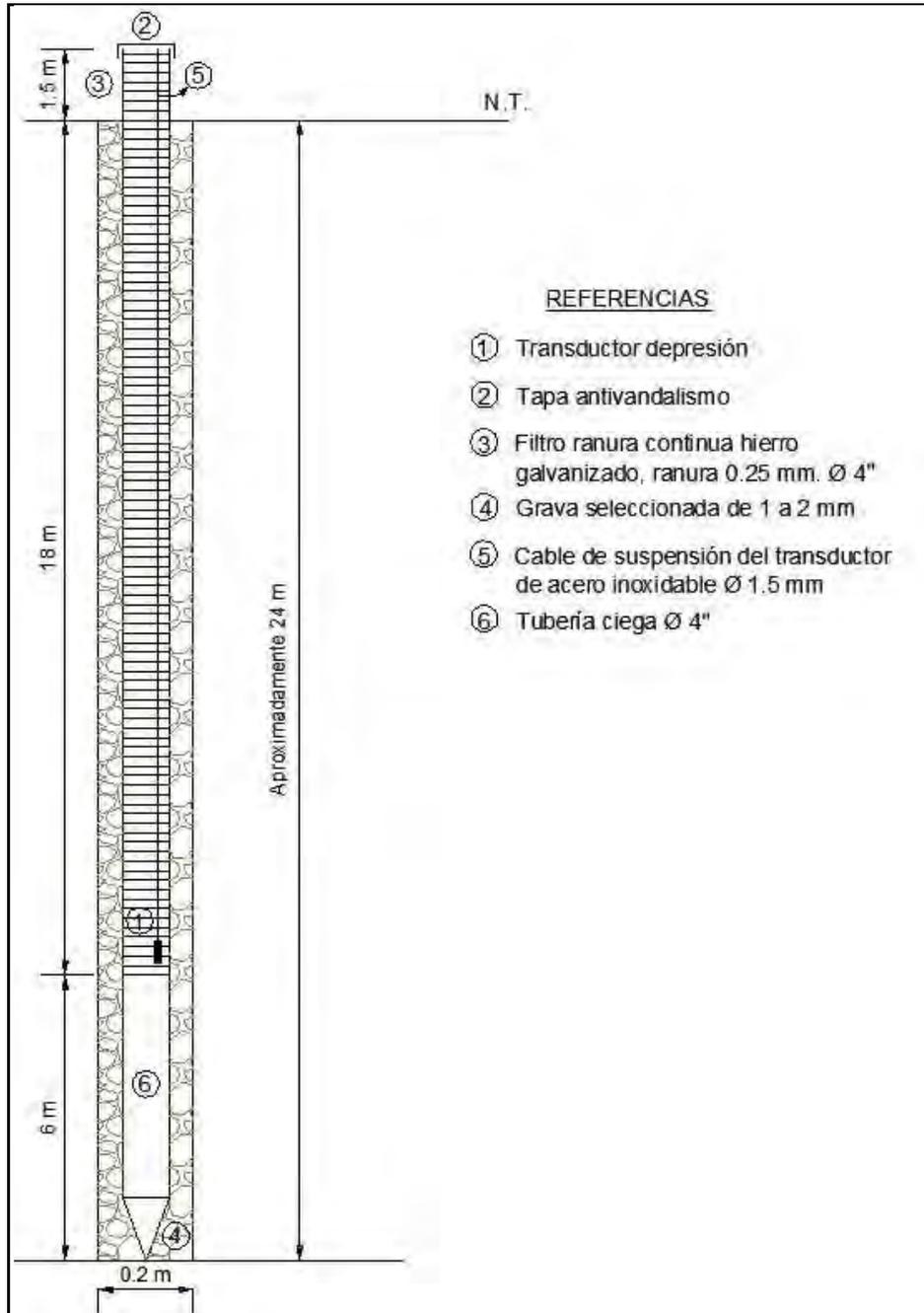


FIGURA 11-14 ESQUEMA DE CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE MONITOREO. (ELABORACIÓN PROPIA)

Las perforaciones deberán realizarse con trépano de 8" e instalar los piezómetros de 4" de diámetro. El espacio anular se rellenará, en su totalidad, con grava seleccionada de 1 a 2 mm de diámetro.

Se recomienda utilizar un caño filtro de acero galvanizado, de ranura continua, de 0,25m. de espesor de ranura, para evitar el ingreso al pozo de partículas mayores a 0,25 mm., desde: + 1,50 m hasta -18 m. respecto del NT. El caño filtro deberá sobresalir del terreno 1,5 m, de manera de poder registrar el paso de las eventuales crecidas. A continuación se colocará 6 m de caño ciego, en el fondo del pozo para que actúe como receptor de embanque.

Se instalará un transductor de presión, el cual deberá mantenerse suspendido mediante un cable de acero inoxidable de 1,5 m de diámetro, a una profundidad de 18 m medidos desde la superficie del terreno.

Los transductores, por lo general, tienen una capacidad de almacenamiento de 40.00 lecturas, por lo cual puede programarse para realizar una lectura cada 10 minutos, lo que arroja un total de 36.560 lecturas, cada 8 meses continuos de registros de datos.

11.2 DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ALTURA DE CAUDALES

Se deberá estimar, a nivel hidrodinámico y matemático, la curva de caudales y tirantes, mediante la simulación de la ecuación de Chezy adoptando la expresión de Manning, en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la sección del Piezómetro 1.

Para lograr el objetivo, se debería relevar topográficamente un tramo de río en una longitud de aproximadamente 100 veces el tirante máximo estimado, tanto hacia aguas arriba y aguas abajo del Piezómetro 1. También se debería efectuar la determinación de curvas granulométricas representativas del material del lecho para estimar mediante fórmulas adecuadas la rugosidad de Manning del cauce. Con todos estos datos se correría un modelo hidrodinámico de flujo, para obtener para distintos caudales los tirantes correspondientes y poder finalmente graficar la curva H-Q (teórica), de la sección de aforo elegida.

11.3 COEFICIENTE DE MANNING

La ecuación de Manning en principio fue dada en una forma complicada y luego simplificada a $V = C \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$, donde V es la velocidad media, C el factor de resistencia al flujo, R el radio hidráulico y S la pendiente. Esta fue modificada posteriormente por otros y expresada en unidades métricas como $V = (1/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ (siendo n el coeficiente de rugosidad Manning). Más tarde, fue convertida otra vez en unidades inglesas, resultando en $V = (1.486/n) \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$.

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma, y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más utilizada de todas las fórmulas de flujo uniforme, para cálculos de escurrimiento en canal abierto.

El valor de n , es muy variable y depende de una gran cantidad de factores. Al seleccionar un valor adecuado de n , para diferentes condiciones de diseño, un conocimiento básico de estos factores debe ser considerado de gran utilidad:

RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE

Se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado, y que producen un efecto retardante sobre el flujo. En general, los granos finos resultan en un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valor alto de n .

VEGETACIÓN

Se refiere a las variaciones en las secciones transversales de los canales, su forma y su perímetro mojado, a lo largo de su eje longitudinal. En general, un cambio gradual y uniforme en la sección transversal o en su tamaño y forma no produce efectos apreciables en el valor de n , pero cambios abruptos o alteraciones de secciones pequeñas y grandes requieren el uso de un valor grande de n .

ALINEAMIENTO DEL CANAL

Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos, incrementarán el n .

SEDIMENTACIÓN Y EROSIÓN

En general, la sedimentación y erosión activa, dan variaciones al canal que ocasionan un incremento en el valor de n . Urquhart (1975), señaló que es importante considerar si estos dos procesos están activos, y si es probable que permanezcan activos en el futuro.

OBSTRUCCIÓN

La presencia de obstrucciones tales como troncos de árbol, desechos de flujos, atascamientos, pueden tener un impacto significativo sobre el valor de n . El grado de los efectos de las obstrucciones, depende del número y tamaño de ellas.

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD MANNING

Aplicando la fórmula Manning, la mayor dificultad reside en la determinación del coeficiente de rugosidad n pues no hay un método exacto de seleccionar un valor n . Para calcular entonces el coeficiente de rugosidad n se dispone de tablas (como la publicada por el U.S Department of Agriculture en 1955; Chow, 1959).

Aparte de estas ayudas, se encuentra en la literatura numerosas fórmulas para expresar el coeficiente de rugosidad de Manning, en función del diámetro de las partículas, las cuales tienen la forma $n = m D^{1/6}$, donde m es un factor de escala y D es un diámetro característico del material del lecho (D_{50} , D_{75} , D_{84} , D_{90}) que son, respectivamente, los diámetros correspondientes al 50, 75, 84 y 90% de la curva granulométrica del material del lecho.

Otros modelos tienen forma logarítmica, y expresan n en función del diámetro de las partículas (D_{50} ó D_{84}), y de las características del flujo (radio hidráulico, profundidad media del flujo).

La siguiente **Tabla 11-1**, muestra valores del coeficiente de rugosidad de Manning teniendo en cuenta las características del cauce:

TABLA 11-1 VALORES DEL COEFICIENTE DE MANNING

COEFICIENTE DE MANNING	
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200 ¹
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200 ¹

Tabla tomada de S.M. Woodward and C. J Posey "Hydraulics of steady flow in open channels".

El procedimiento que sugiere Wolman(1975) para obtener una granulometría representativa del lecho es el siguiente:

1. Seleccionada la sección en el cauce, se determina el ancho.
2. Se toman secciones igualmente espaciadas aguas arriba y aguas abajo de la sección, tantas veces como sean necesarias para tomar al menos cien muestras. Cada sección se divide a su vez en partes iguales.
3. En los puntos de intersección de la cuadrícula se toma el sedimento que allí se encuentre.
4. Se mide la granulometría del sedimento hallado por la ribera más larga. del cauce

5. Se agrupan por valores los diferentes sedimentos hallados. Esta ubicación por rangos puede realizarse de la siguiente manera: sedimentos menores de 2 mm, entre 2 mm y 4 mm a 8 mm a 16 mm a 32 mm, de 32 mm a 64 mm, de 64 mm a 128 mm, etc. Adicionalmente se debe tomar una muestra de finos del fondo del cauce para realizar la curva granulométrica completa.
6. Se calculan los diferentes porcentajes de sedimentos. Estos valores se hallan a partir de curva granulométrica (D_{90} , D_{84} , D_{75} , D_{65} , D_{50} , etc.)

12 CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio se ha recopilado la información necesaria para caracterizar hidrogeológicamente la cuenca del Valle del Estero de Casablanca.

Además se han recopilado datos de estudios anteriores y se han configurado series históricas a partir de esos datos que han permitido tener una visión de la evolución de la cuenca desde el año 1991 hasta la actualidad.

Tras la recopilación de datos, los estudios en terreno y el análisis de toda la información 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, puesto que los caudales otorgados acumulados para extraer agua subterránea se han incrementado desde 211 l/s hasta 6196 l/s otorgados a la actualidad. En la **Figura 12-1**, se observa la evolución en los derechos otorgados en la cuenca, mientras que en la gráfica se observan los litros acumulados a la actualidad, que muestran el sumatorio total de los litros otorgados para extraer en la cuenca del estero Casablanca.

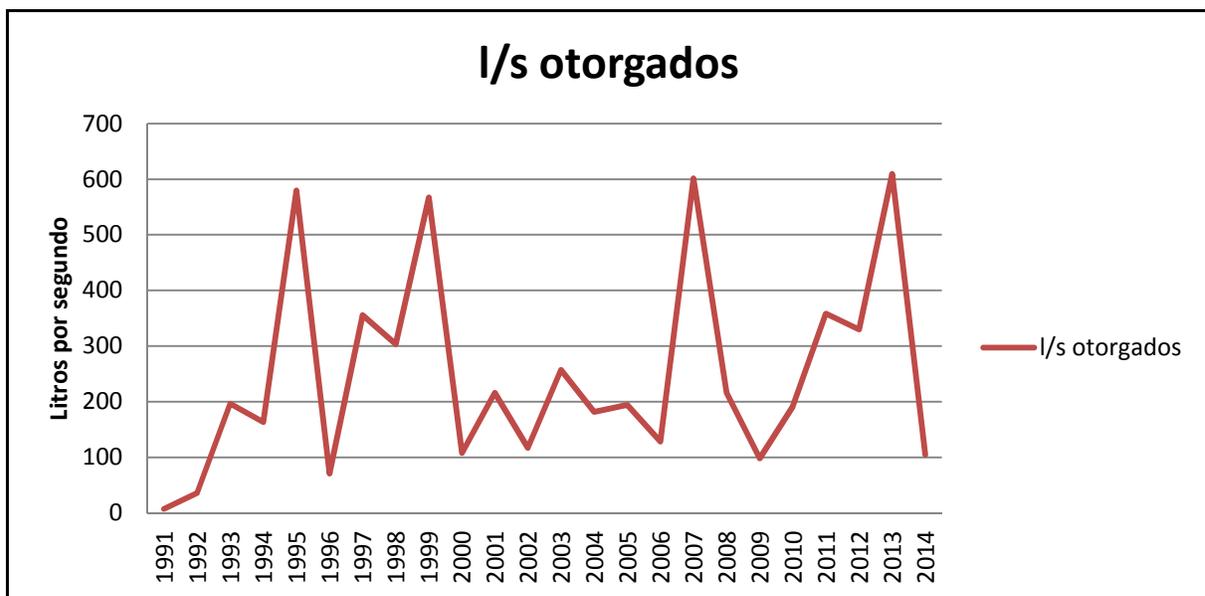


FIGURA 12-1 DERECHOS OTORGADOS POR AÑO EN LA CUENCA DE CASABLANCA

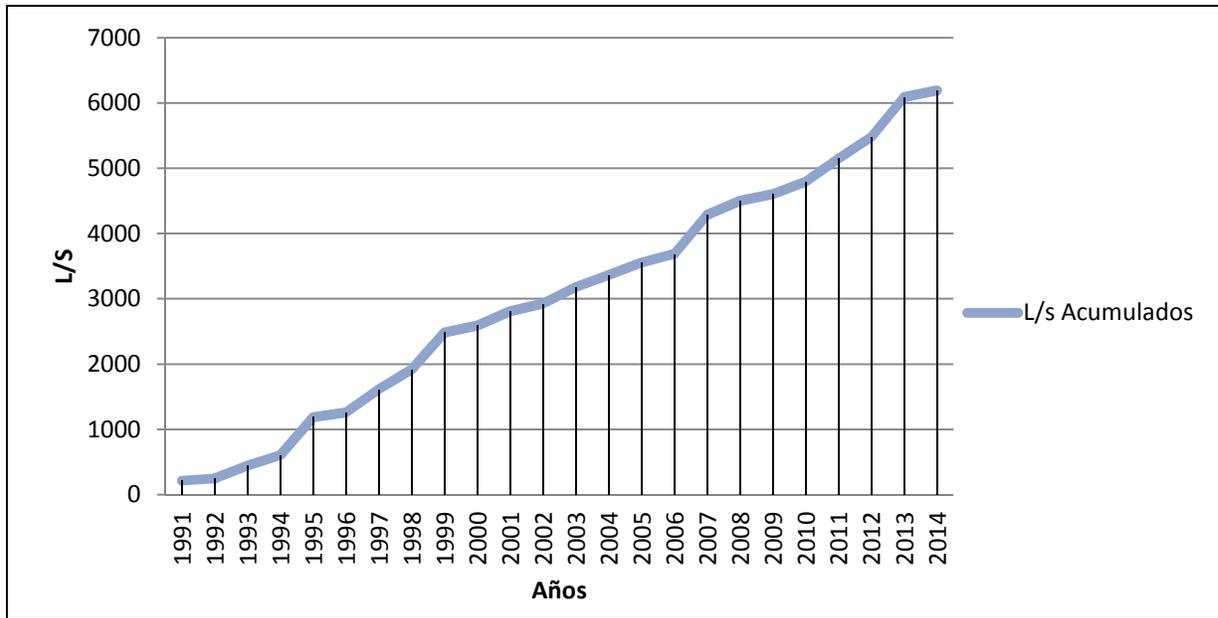


FIGURA 12-2 TOTAL CAUDALES OTORGADOS ACUMULADOS EN LA CUENCA DE CASABLANCA

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 del límite superior de la zona saturada de hasta 25-28 metros respecto a valores, sobre todo en las zonas de mayor explotación. En la **Figura 12-3** se observa la distribución de estos descensos. Las gráficas de la variación de niveles históricos presentadas en el **Anexo 6** muestran esta tendencia.

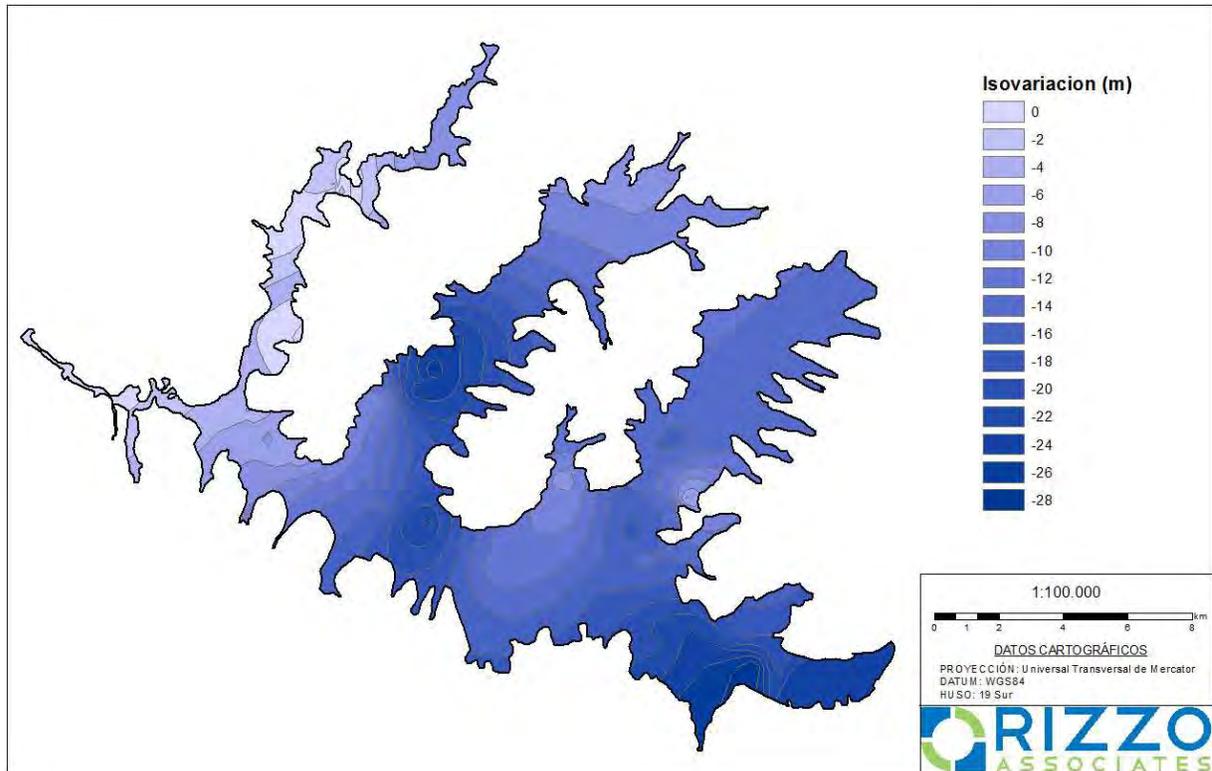


FIGURA 12-3 DISTRIBUCIÓN DE LOS DESCENSOS DEL NIVEL DE AGUA EN LA CUENCA DE CASABLANCA

Estos descensos de los niveles tienen influencia en el flujo de agua subterráneo, el cual originalmente en el año 1991 tenía un 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 la unidad hidrogeológicas, como se observa en la **Figura 12-4** que muestra la evolución de los niveles:

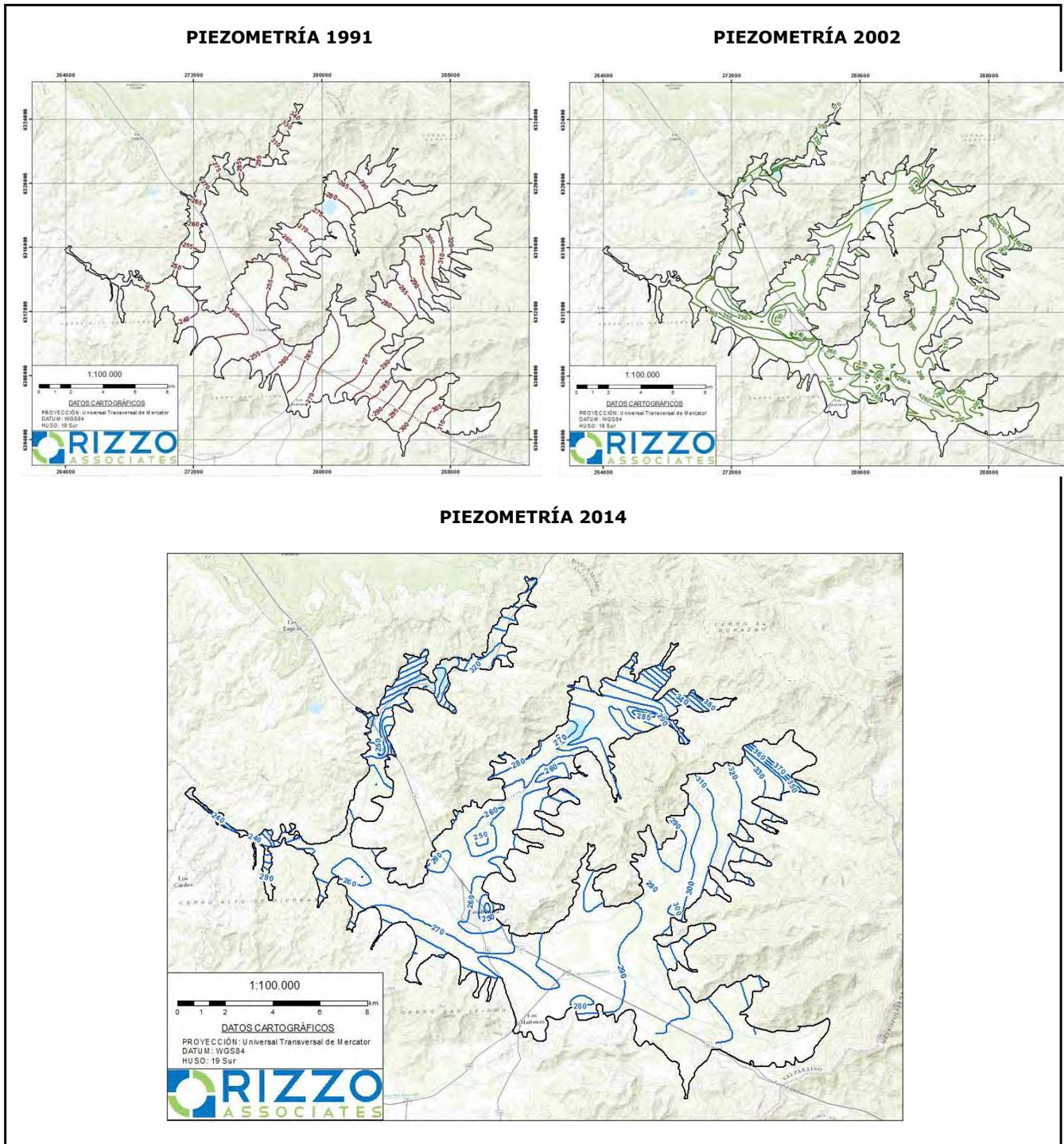


FIGURA 12-4 EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN LA CUENCA DE CASABLANCA

Por otro lado, desde el punto de vista hidrológico, se observa un descenso paulatino del caudal en la red de drenaje hasta llegar a ser nulo durante los últimos 5 años.

Los embalses que actuaban como reguladores de los caudales se encuentran secos desde al menos el año 2009, como se desprende de las imágenes del google earth de las **Figuras 11-6 a 11-8**.

Este fenómeno no se debe solo a la distribución de las precipitaciones en la cuenca, ya que si observamos el hidrograma de las precipitaciones en los últimos 27 años (**Figura 12-5**), no se puede concluir un periodo de sequía continuado desde el año 2009 hasta la actualidad, más si tenemos en cuenta que 2014 fue un año de comportamiento pluviométrico normal en la comuna de Casablanca (*sección 7.1*).

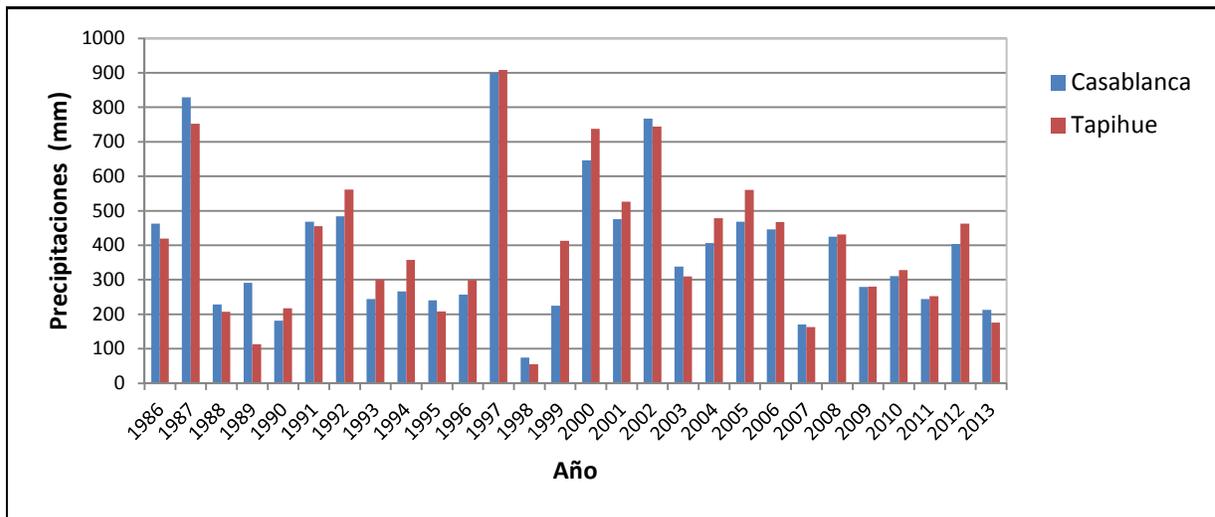


FIGURA 12-5 PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES (PERIODO 1986-2013)

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992), en su Vocabulario Meteorológico Internacional, define la sequía como: "Un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico". Aunque existen otras acepciones del concepto de sequía, todas hacen alusión a una "escasez de precipitación" con respecto a un comportamiento "normal" de la misma, considerando "comportamiento normal" a valores promedio de una serie de tiempo histórica. La magnitud de la desviación y del tiempo no son fijos, dependen de cómo y en qué región está siendo evaluado el fenómeno.

Wilhite y Glantz (1985) definen cuatro tipos de sequía incluyendo la sequía en sentido estricto o también llamada sequía meteorológica definida anteriormente. Por tanto, también se habla de sequía agrícola, hidrológica y socioeconómica. La sequía hidrológica hace referencia a los efectos de periodos de precipitación relativamente cortos, es decir a

los escurrimientos a nivel de superficie y subsuelo aunque su impacto se ve reflejado en la recarga de acuíferos, lagos, presas y su impacto es de largo plazo, es decir, en tanto la sequía agrícola presenta un efecto inmediato en los cultivos.

Se habla de sequía socioeconómica cuando los efectos de estos tipos de sequía definidos anteriormente afectan al suministro y demanda propia de actividades humanas. De este modo, una combinación de factores comprobados en el Valle del Estero Casablanca consistentes tales como: modo, una combinación de factores comprobados en el Valle del Estero Casablanca tales como: crecimiento de la demanda (por aumento de población y actividades ligadas), crecimiento de extracciones de agua por medio de pozos junto a disminuciones, no necesariamente relevantes como en este caso, de las precipitaciones anuales, desembocan en este tipo de sequía materializada principalmente en el descenso de los niveles piezométricos y la consiguiente desaparición de cursos permanentes de agua superficial.

Como decíamos, en el Valle del Estero Casablanca se ha ido produciendo un progresivo descenso del nivel freático que ha desconectado los Esteros del valle de la zona saturada, por lo que se explicaría la ausencia de caudal en los mismos. Los descensos de nivel freático además de modificar el flujo subterráneo, producirían un efecto en los cauces. La sobreexplotación o el aumento del bombeo de aguas subterráneas en acuíferos, en los que el balance hídrico es negativo, (como ha ocurrido en esta Cuenca al menos en los últimos años), siendo superior la descarga a la recarga, producen un efecto en la red hídrica, que en este caso explicaría la ausencia de aguas superficiales, a pesar de que los descensos de las precipitaciones no están en niveles llamativamente por debajo de otras épocas.

Como es de conocimiento, la retención de agua depende fundamentalmente de las propiedades percolantes del lecho y de la profundidad del nivel estático debajo del mismo. La infiltración en un determinado instante es directamente proporcional al gradiente hidráulico que existe entre la superficie libre del agua en el tranque y el agua subterránea.

Lo anterior conduce a que los sistemas agrícolas basados en ambas fuentes de agua son complementarios cuando existe un valor importante de precipitaciones, pero cuando las precipitaciones decaen, se vuelven antagónicos.

Descontando los valores Hidrometeorológicos que son:

- El decremento de las precipitaciones no alcanza a justificar el desecamiento de los Tranques
- La evapotranspiración no ha aumentado o variado de manera importante, ya que la misma sigue un patrón meteorológico que es la radiación y que es prácticamente inalterable.
- Los estudios de velocidad e intensidad del viento realizado en 2010, no sugieren cambios de importancia en los últimos años.
- No existen indicios de uso del agua almacenada de manera subrepticia.

Al producirse importantes descensos del nivel en el acuífero por bombeos, tanto en magnitud como intensidad (velocidad), pudo haber generado un elevado gradiente debajo de los tranques, con el consecuente aumento de la tasa de infiltración.

El descenso de nivel del acuífero no solo ha afectado a la red hídrica, también a los pozos de explotación, que ha generado que se queden muchos pozos colgados y por tanto se sequen. En muchos casos se ha producido una re profundización de los mismos, pero no siempre es posible debido a las características de la construcción de los mismos. Otra consecuencia directa es un aumento de los costes de explotación de los mismos, aumentando el gasto de energía, ya que se aumenta la altura de elevación del agua para su utilización.

Por otro lado, un descenso del nivel en el acuífero genera un aumento de la zona no saturada importante, en la que los poros contienen agua y aire, en vez de agua únicamente como en las zonas saturadas, lo que aumenta los procesos de lavado, oxidación y aportes de solutos al acuífero, que con el tiempo puede provocar una contaminación del mismo.

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 de pendiente elevada, 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.

13 RECOMENDACIONES

Luego de haber realizado el presente estudio, nos permitimos realizar algunas recomendaciones que a criterio de este consultor, podrían beneficiar la presente situación de la Cuenca del Estero Casablanca:

- Realizar o planificar 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 o calculados de forma real y no abarcan todos los sectores acuíferos. Estos datos tanto en estudios anteriores como en el presente se han obtenido por extrapolación a partir de los ya existentes.
- Estudios de infiltración, tanto en los cauces de los esteros como en la cuenca sedimentaria para obtener valores reales de percolación.
- 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 aspersión de agua por otros métodos alternativos, ya que ante la crisis hídrica que afecta a la zona, esta práctica profundiza aún más el problema.
- Incentivar el uso eficiente de agua para riego mediante nuevas tecnologías de riego, así también como impermeabilización de estanques de agua en, es decir premiar aquellas instalaciones cuyos propietarios invirtieron y tecnificaron el riego generando mayor riqueza con el menor consumo de 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. Este es un punto importante, ya que permitirá determinar con mayor precisión el volumen real de sedimentos, y precisar la batimetría del Basamento cristalino. Los mapas obtenidos hasta el momento surgieron de una planificación que no estaba dirigida en este sentido, sino que se orientaba a determinar secciones de flujo subterráneo.

- Se necesita hacer determinaciones in-situ de los índices de infiltración del sistema de drenaje y una topografía detallada de las pendientes de los mismos.
- 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, especialmente en los grandes consumidores, a efecto de conocer con mayor certeza el volumen total extraído en el año de la cuenca.
- Diseñar una red de monitoreo en el ámbito de todas las subcuencas, de uso exclusivo para observar los descensos del nivel en el acuífero, ya que los pozos utilizados en la actualidad por la DGA son de uso privado y están en explotación, no siendo posible en muchas ocasiones obtener medidas de niveles estáticos que sean fiables. Dicha red de monitoreo debería ser elevada a unos 40 pozos e instrumentarlos 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 tales como: Ciudad de Casablanca, las Viñas que se encuentran al Este de este Valle, zona central y norte del Valle de Ovalle y extremo occidental del Valle de Casablanca.
- Desde la red de monitoreo antes mencionada, sería conveniente obtener lecturas de transductores que permitan la realización de mapas de Isovariación de Almacenamiento, los cuales permitirían conocer, en tiempo cuasi real, con certeza los sectores más afectados, pudiéndose tomar medidas correctivas mediante un documento objetivo y que no pueda ser sujeto a ningún tipo de controversia, ya que estos mapas utilizarían datos reales obtenidos con instrumental de precisión.
- Sería recomendable instalar 2 estaciones meteorológicas nuevas en el Valle de Ovalle y otras 2 en el de Tapihue, una en cada flanco de los cerros, con el objeto de determinar la variación de la magnitud de las precipitaciones en ambos flancos ya que se evidencia en los mapas de Isopiezas que la recarga más importante proviene desde las serranías que se encuentran al Este de cada valle. Asimilar los mismos valores de precipitación a ambos flancos de los Valles induciría a errores que se traducen en sobreestimación de la recarga.

- 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 **dobles 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. Esta recomendación se sustenta en que el cruce de datos topográficos de diferentes fuentes, muestra la existencia de errores.
- Se recomienda tratar la legalidad de la construcción de tranques privados 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. Por otro lado esa cantidad de agua retenida en los pequeños tranques es muy difícil de contabilizar e introducen un error en el cálculo de la escurrimiento. 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 obras de endicamiento, se está alterando el mecanismo natural de recarga y debe pensarse que en la actualidad, prácticamente, la economía general de la zona depende en exclusividad de la extracción de agua subterránea.
- A los fines de conocer con precisión el consumo real, se debería complementar el catastro realizado por Rizzo y presentado en el presente trabajo, haciendo énfasis en los grandes productores que no permitieron el ingreso del personal que catastraba, o haciéndolo parcialmente. Entendemos que allí pudieran existir respuestas una parte importante de las incógnitas que hoy se presentan.
- Finalmente se recomienda realizar un estudio a detalle sobre las causas de la desaparición de los cauces superficiales, que a posteriori sirva como herramienta

de gestión del recurso y la toma de medidas a fin de mejorar la situación de los cauces superficiales.

14 REFERENCIAS

Para el estudio se han utilizado las siguientes referencias:

AC Consultores (1991) Araneda M., Avendaño M., Merlo C. (2000). *Modelo Gravimétrico de la Cuenca de Santiago, Etapa III Final*. Congreso Geológico Chileno, No. 9, Actas 2: 404-408. Puerto Varas.

ASCE, 1996, American Society of Civil Engineers, Hydrology Handbook, Manual of Engineering Practice No. 28

Charrier R. y Munizaga F. (1979). *Edades K-Ar de volcánicas Cenozoicas del Sector Cordillerano del Río Cachapoal (34° 15' Lat. Sur)*. Revista Geológica de Chile 7: 41-51.

Chow et al, 1988, Applied Hydrology, por Ven T. Chow, Maidment, y Mays, McGraw-Hill, 1988

DGA, 1991, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile, "Estudio Básico para la Modelación del Sistema de Aguas Subterráneas el Valle de Casablanca," Departamento de Estudios, SIT No. 2, Junio de 1991

DGA, 1993, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile, "Modelación del Sistema de Aguas Subterráneas el Valle de Casablanca," Departamento de Estudios, SIT No. 13, Julio de 1993

DGA, 2004, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile, Modelación Hidrogeológica Valle de Casablanca, Departamento de Estudios, SIT No. 97, Diciembre 2004

DGA, 2014, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, República de Chile, Archivos Electrónicos de la Estación Meteorológica Lago Pañuelas, Código BNA 05510002-0, Cuenca Costeras Aconcagua-Maipo, Evaporación Diaria.

Dirección General de Agua (2004). Informe Técnico. Modelación Hidrogeológica Valle del Estero Casablanca. Departamento de Estudios y Planificación.

Dirección General de Agua (2004). Informe Técnico. Modelación Hidrogeológica Valle del Estero Casablanca. Departamento de Estudios y Planificación.

Dunne y Leopold, 1978, Dunne, Thomas y Luna B. Leopold, Water in Environmental Planning, W.H. Freeman and Company, 1978

Farías, M. (2007). Tectónica y erosión en la evolución del relieve de los Andes de Chile Central durante el Neógeno. Tesis (Doctor en Ciencias, Mención Geología) Departamento de Geología, Universidad de Chile.191p.

Fock, A. (2005). Cronología y Tectónica de la exhumación en el Neógeno de Los Andes de Chile Central entre los 33° y 34° S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Gana, P; Vall, R.; Gutiérrez, A. (1996). Mapa Geológico del Área de Valparaíso-Curacaví, Región de Valparaíso y Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). Mapas Geológicos, Nº 1, escala 1: 100000, 1 mapa, 1 anexo.

Luebert F., Pliscoff P. (2012). Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile. *Investig. Geogr. Chile*, 44: 41-56.

Maidment Ed., 1993, David L. Maidment, Editor, Handbook of Hidrología, Capitulo No. 4, Evaporation, W. James Shuttlework, McGraw-Hill Book Company, 1993

Ortega, R. (2011). Manejo de Cuencas Hidrográficas en Climas Mediterráneos. Universidad Técnica Federico Santa María

Richards et al, 2012, Richards, Paul L., Mark D. Norris, and Brenda B. Li, "The Hydrologic Implications of Old Field Succession: Depression Storage and Leaf Litter," Ecohydrology, 2012

Sabaj, A. (2008). Identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la cordillera de la costa entre los 33° y 33°45's. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

USACE, 2000, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual, March, 2000

USACE, 2010, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual, August, 2010USDA, 2014, http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053289.pdf

Flores, C.D. (2012). Rescate y análisis de datos históricos de la precipitación de Chile central a partir de Anuarios Meteorológicos. Memoria para optar al Título de Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile

DGAC, 2015, Monitoreo de Sequía Meteorológica, Boletín N° 21 Enero 2015