



# **ESTUDIO COSECHA DE AGUAS LLUVIAS EN ÁREAS DE SECANO REGIÓN DE COQUIMBO**

## **Tomo II**

**Jorge Romero Navea  
Ingeniero Agrónomo  
Consultor en Proyectos de Riego Agrícola**

**Noviembre, 2015**

**ESTUDIO COSECHA DE AGUAS LLUVIAS EN ÁREAS DE  
SECANO, REGIÓN DE COQUIMBO**

**HIDROLOGÍA**

**Y**

**ESTUDIO GEOELÉCTRICO**

**SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)**

**DE LAS MICROCUENCAS**

**LA ISLA (COMUNIDAD AGRÍCOLA PEÑABLANCA), LA MORALINA  
(COMUNIDAD AGRÍCOLA MANQUEHUA) Y LOS RULOS  
(COMUNIDAD AGRÍCOLA CANELA ALTA)**

## INDICE

A. HIDROLOGIA .....	1
1. antecedentes .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 Objetivos y Alcances .....	2
1.2.1 Objetivo general .....	2
1.2.2 Alcances.....	2
1.3 Estructura del Informe.....	2
2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE .....	4
2.1 Aspectos Generales .....	4
2.2 Antecedentes Cartográficos.....	4
2.3 Información Hidro - Meteorológica.....	4
2.4 Características Geomorfológicas de las Cuenca en Estudio .....	5
3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LAS CUENCAS DE INTERÉS .....	9
3.1 Consideraciones Iniciales .....	9
3.2 Metodología de Análisis.....	9
3.3 Análisis de Precipitaciones.....	10
3.3.1 Relleno de estadística pluviométrica .....	10
3.3.2 Determinación de precipitaciones anuales.....	11
3.4 Análisis de Escorrentía Superficial.....	12
3.4.1 Fórmula de Peñuelas.....	12
3.4.2 Método de la Curva Número.....	15
3.4.3 Escorrentía Superficial Mensual .....	16
3.5 Cálculo de Caudales Medios Mensuales.....	20
3.6 Curvas de Variación Estacional.....	24
4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDAS EN LAS CUENCAS DE INTERÉS .....	27
4.1 Consideraciones Iniciales .....	27
4.2 Metodología.....	27
4.3 Análisis de Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas.....	28
4.3.1 Análisis de frecuencias series de precipitación máximas anuales.....	28
4.3.2 Precipitaciones máximas anuales en las cuencas de interés .....	28
4.4 Análisis de Crecidas en las Cuencas de Interés .....	29
4.4.1 Consideraciones.....	29

4.4.2	Método Hidrograma Unitario Sintético .....	29
4.4.3	Resultados .....	35
B.	ESTUDIO GEOELÉCTRICO .....	36
1.	INTRODUCCIÓN .....	36
2.	METODOLOGÍA.....	38
2.1	Método Geoeléctrico.....	38
2.1.1	Resistividad y Equivalencia Litológica .....	39
3.	INSTRUMENTAL.....	41
4.	TRABAJOS DE TERRENO.....	42
	TABLA N° 1 .....	42
5.	RESULTADOS .....	44
5.1.	Sector Peña Blanca .....	44
5.1.1	Sección Geoeléctrica P1 (Figuras 2 y 5).....	44
5.1.2	Sección Geoeléctrica P2 (Figuras 2 y 6).....	46
5.1.3	Sección Geoeléctrica P3. (Figuras 2 y 7).....	46
5.2	Sector Los Rulos.....	48
5.2.1	Sección Geoeléctrica P1 (Figuras 3 y 8).....	48
5.2.2	Sección Geoeléctrica P2 (Figuras 3 y 9).....	49
5.2.3	Sección Geoeléctrica P3 (Figuras 3 y 10).....	50
5.3	Sector La Moralina.....	52
5.3.1	Sección Geoeléctrica P1 (Figuras 4 y 11).....	52
5.3.2	Sección Geoeléctrica P2 (Figuras 4 y 12).....	53
5.3.3	Sección Geoeléctrica P3 (Figuras 4 y 13).....	54
6.	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	56
7.	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO GEOFÍSICO.....	59

## A. HIDROLOGIA

### 1. ANTECEDENTES

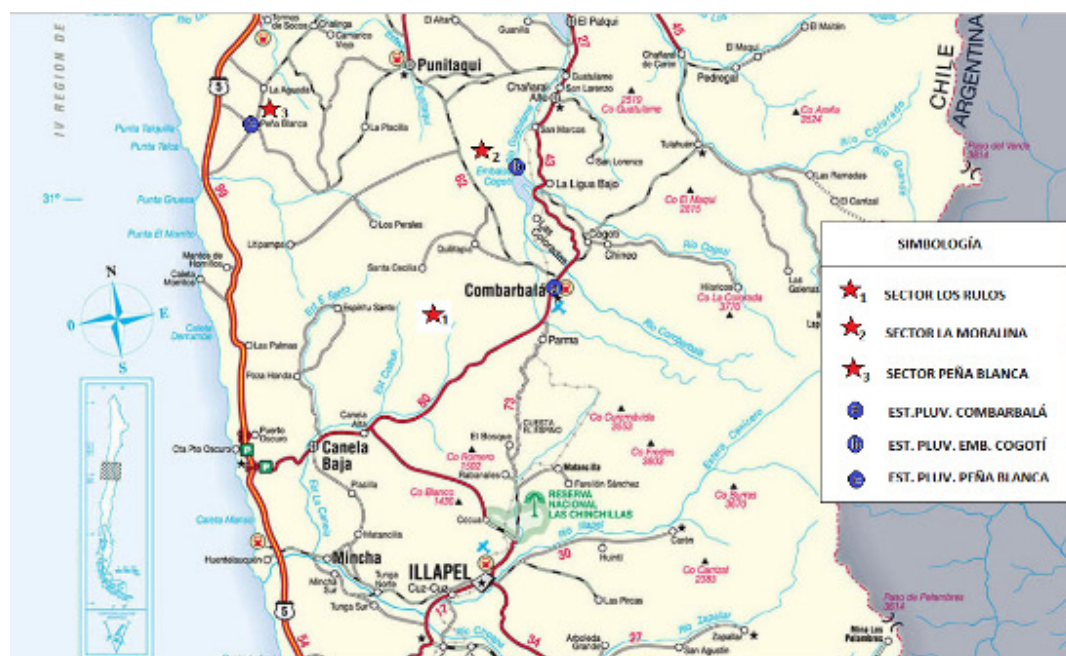
#### 1.1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe se enmarca dentro del proyecto de estudio de cosecha de aguas lluvias en áreas de secano, en la IV Región de Coquimbo, mediante el diseño y construcción de embalses subterráneos, elaborado por Romero e Hijo Ingeniería a petición de la Corporación Regional de Desarrollo Productivo (CRDP). El estudio forma parte del replanteo estratégico que busca enfrentar el escenario hídrico futuro de la región, el cual se encuentra en un momento crítico debido a la escasez del vital elemento, integrando la institucionalidad pública y académica y la comunidad.

El análisis desarrollado se refiere a la estimación de los caudales medios mensuales y caudales máximos instantáneos de crecidas para 3 quebradas menores de régimen de escorrentía intermitente, ubicadas en las comunas de Canela, Combarbalá y Ovalle, en la Región de Coquimbo, y que son denominadas Los Rulos, La Moralina y Peña Blanca, respectivamente.

En la Figura 1.1 se muestra la ubicación general del área de estudio.

**Figura 1.1. Ubicación General del Área de Estudio**



Fuente: Mapa Base Turismo Virtual. Elaboración y Modificación Propia Jorge Romero N

Los caudales medios mensuales serán estimados para un período estadístico de 35 años en su condición natural, mientras que los caudales de crecida se determinarán para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años.

Las cuencas de estudio forman parte de las hoyas hidrográficas de los ríos Choapa (Los Rulos) y Limarí (La Moralina y Peñablanca). Estos sectores presentan un clima semi-árido templado (con estación seca prolongada) con temperaturas elevadas durante el día, aunque éstas descienden bastante durante las noches dada la amplitud térmica diaria de la región (que es del orden de los 18° a 20°). Por su parte, las precipitaciones son de régimen frontal y se presentan mayoritariamente en invierno, donde precipita más del 80% del total anual. Lo anterior permite considerar un régimen de caudales primordialmente pluvial.

## **1.2 Objetivos y Alcances**

### **1.2.1 Objetivo general**

El objetivo principal del presente estudio corresponde a la estimación de los caudales medios mensuales y caudales máximos de crecidas para las 3 quebradas seleccionadas en el estudio de cosecha de aguas lluvia, en los puntos de emplazamiento de los muros de contención para infiltración de los embalses subterráneos propuestos.

### **1.2.2 Alcances**

Los alcances del presente estudio son enumerados a continuación:

- Estimación de las series de caudales medios mensuales de las 3 quebradas de régimen de escorrentía intermitente definidas para el estudio, para un período estadístico de 35 años, en su condición natural.
- Determinación de las curvas de variación estacional de las 3 quebradas de estudio, para probabilidades de excedencia de 10%, 50% y 90%, para caracterización de años húmedos, normales y secos, respectivamente.
- Estimación de las precipitaciones máximas para los sectores de estudio, para una duración de tormenta de 24 horas, y para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años.
- Estimación de los caudales máximos instantáneos de crecidas en las cuencas de estudio, asociados a períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años , para una duración de tormenta de 24 horas

## **1.3 Estructura del Informe**

El presente informe está estructurado en 4 Capítulos, según se detalla a continuación.

El Capítulo 1 corresponde a la presente Introducción.

En el Capítulo 2 se lleva a cabo un análisis de los antecedentes disponibles para el desarrollo de esta consultoría. Incluye información cartográfica e información pluviométrica disponible y de utilidad para los fines del estudio.

El Capítulo 3 corresponde al estudio hidrológico de los caudales de escorrentía mensual de las cuencas aportantes a las quebradas de interés.

Finalmente, en el Capítulo 4 se desarrolla el estudio hidrológico de crecidas en los sectores de interés, para una duración de tormenta de 24 horas y para los distintos períodos de retorno considerados.

## **2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE**

### **2.1 Aspectos Generales**

Para llevar a cabo el estudio hidrológico e hidráulico de las cuencas de interés, se recopiló un conjunto de series estadísticas, correspondientes a información pluviométrica registrada históricamente en las estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio y que son operadas por la Dirección General de Aguas (DGA), información cartográfica y antecedentes geomorfológicos de las cuencas de interés.

Los antecedentes empleados en el desarrollo del presente estudio se detallan a continuación.

### **2.2 Antecedentes Cartográficos**

Se cuenta con un levantamiento topográfico láser, escala 1 : 1.000, con referencia a coordenadas UTM, datum WGS84, con curvas de nivel cada 1 metro de cada una de las zonas de interés, donde se ubicarán las obras de intercepción de escurrimiento de aguas lluvias, desarrollado por el equipo topográfico de la empresa consultora.

Además, se han utilizado imágenes Google Earth de los sectores de interés.

### **2.3 Información Hidro - Meteorológica**

Las cuencas de las 3 quebradas de estudio no cuentan con estaciones fluviométricas que permitan tener registros de los caudales de éstas. Aun cuando se dispone de información de caudales medidos en estaciones fluviométricas que la DGA posee en cuencas vecinas a los sectores de estudio, las áreas de éstas presentan valores muy por sobre el de las cuencas de interés, y, además, estas últimas corresponden a quebradas de escorrentía intermitente de régimen netamente pluvial, por lo que una transposición de caudales desde aquellas estaciones provocaría errores de estimación altos, por lo que no se recomienda su utilización en este estudio.

Por otra parte, se tienen las series de precipitaciones diarias, mensuales y máximas en 24 horas registradas en las estaciones pluviométricas “Combarbalá”, “Embalse Cogotí” y “Peñablanca”, las cuales forman parte de la red hidrometeorológica que controla la DGA. Las estaciones mencionadas son más idóneas para desarrollar un análisis hidrológico de tipo precipitación – escorrentía, dada su cercanía a los sectores de estudio y la longitud de sus registros de precipitaciones diarias y máximas en 24 horas. En la Tabla 2.1, se muestra un resumen con la ubicación y altitud asociadas a las estaciones pluviométricas mencionadas.



**Tabla 2.1. Estaciones Pluviométricas DGA Utilizadas**

NOMBRE ESTACIÓN	COD BNA	COORDENADAS UTM-WGS84		ALTITUD [msnm]	PERÍODO DE REGISTRO
		ESTE [m]	NORTE [m]		
Combarbalá	04532006-5	309,108	6,549,054	870	1977-2014
Embalse Cogotí	04535001-0	300,687	6,567,289	740	1961-2014
Peña Blanca	04610001-8	256,033	6,578,313	360	1989-2014

Fuente: Elaboración Propia Romero e Hijo Ingeniería

En el Anexo I se presentan las estadísticas pluviométricas disponibles.

## 2.4 Características Geomorfológicas de las Cuenca en Estudio

En la Tabla 2.1 se muestra un resumen con las principales características geomorfológicas de las cuencas utilizadas en este estudio.

**Tabla 2.1. Características geomorfológicas principales de las cuencas de interés**

SECTOR	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	COORD. UTM-WGS84		Z <sub>MIN</sub> [msnm]	Z <sub>MEDIA</sub> [msnm]	Z <sub>MAX</sub> [msnm]	i <sub>CUENCA</sub> [%]	L <sub>CP</sub> [km]	t <sub>c</sub> [hr]
		ESTE [m]	NORTE [m]						
Los Rulos	11.96	286,395	6,543,228	886	1008	1546	8.69	5.59	0.6
La Moralina	37.27	294,424	6,574,094	635	707	1375	4.43	9.52	1.5
Peña Blanca	0.19	256,924	6,578,903	358	442	640	3.23	4.30	0.8

Fuente: Elaboración Propia Romero e Hijo Ingeniería

Donde:

Z<sub>MIN,MEDIA,MAX</sub>: Valores de cota mínima, media y máxima, respectivamente, de la cuenca de interés.

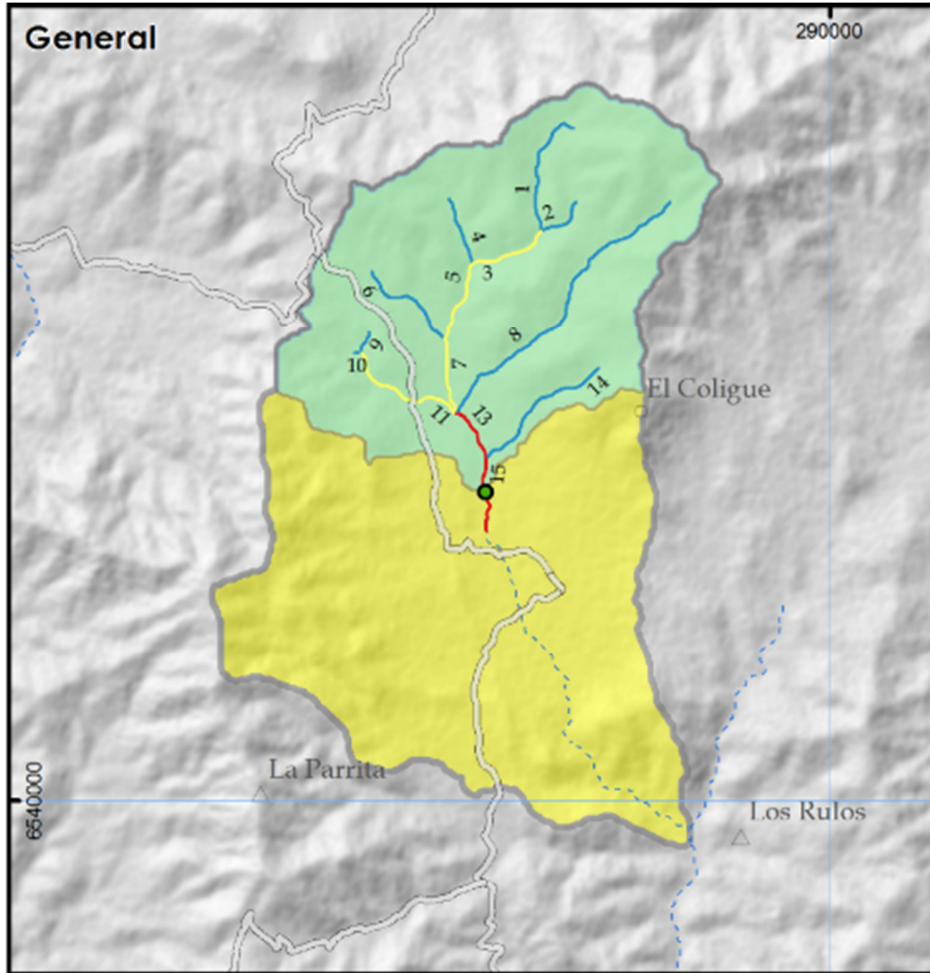
i<sub>CUENCA</sub>: Pendiente media de la cuenca

L<sub>CP</sub>: Longitud del cauce principal

t<sub>c</sub>: Tiempo de concentración de la cuenca

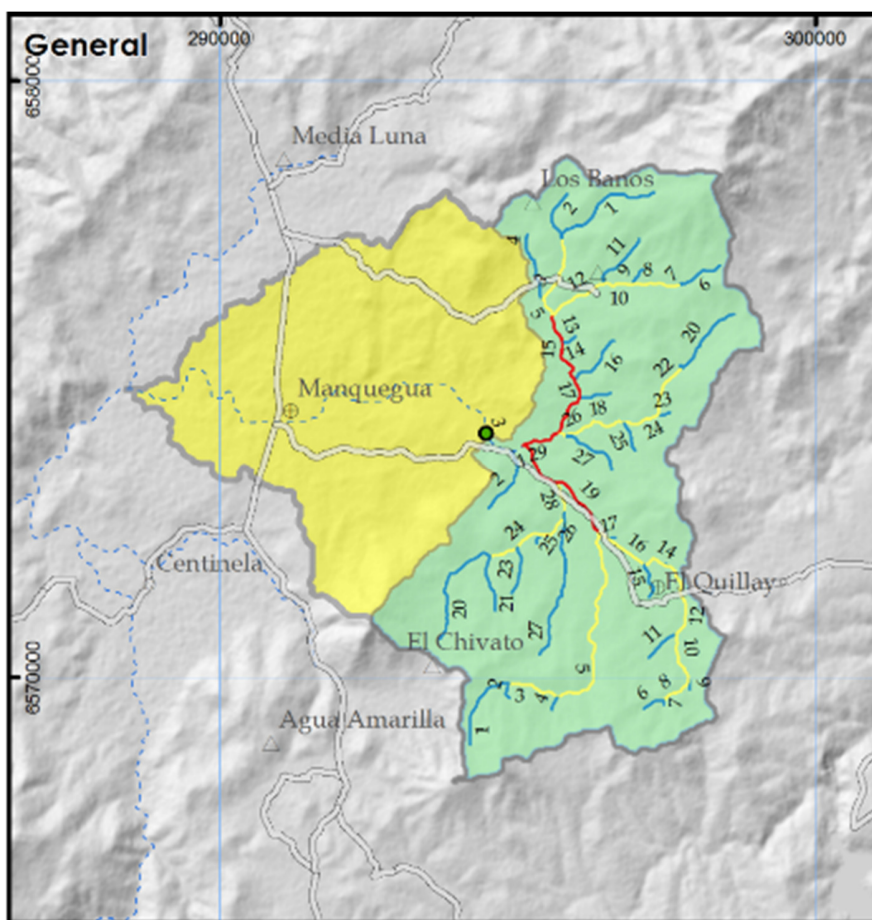
Desde la Figura 2.1 a la Figura 2.3 se presenta el trazado de las cuencas de estudio, obtenidas con el uso del modelo digital de elevación MDE, Shuttle Radar Topography Mission SRTM.

**Figura 2.1. Cuenca Aportante Sector Los Rulos**



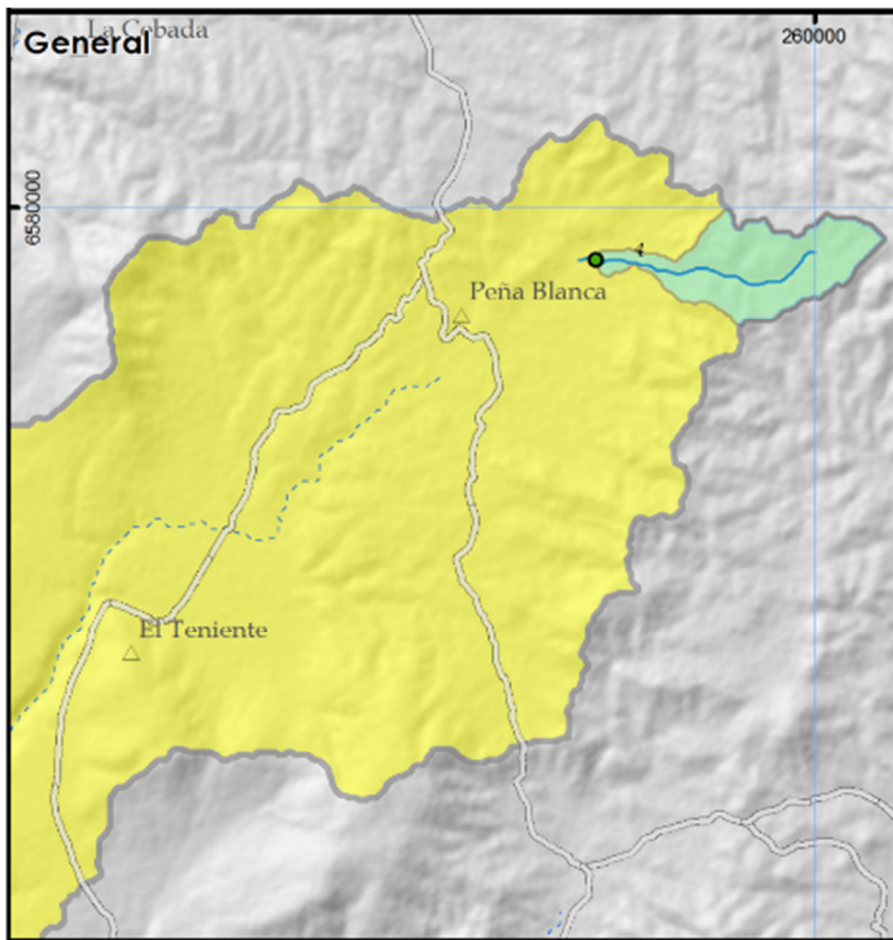
Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

Figura 2.2. Cuenca Aportante Sector La Moralina



Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

Figura 2.3. Cuenca Aportante Sector Peña Blanca



Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

### **3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN LAS CUENCAS DE INTERÉS**

#### **3.1 Consideraciones Iniciales**

Los cauces de interés para el desarrollo de este estudio, corresponden a quebradas menores, pertenecientes a las cuencas de los ríos Choapa (sector Los Rulos, de la Comunidad Agrícola de Canela Alta) y cuencas costeras del río Limarí (sector La Isla, de la Comunidad Agrícola de Peñablanca) y del área media de la cuenca del Río Limarí (sector La Moralina, de la Comunidad Agrícola de Manquehua), que solo presentan escorrentía durante los eventos de precipitación, por lo que sus regímenes de escorrentía son intermitentes y de origen netamente pluvial.

Dado que la zona de estudio no presenta estaciones de registro fluviométrico y ya que no se recomienda transposición de caudales desde estaciones vecinas (según lo explicado en el punto 2.3), se ha definido utilizar métodos indirectos de tipo precipitación – escorrentía para determinar los caudales medios mensuales asociados a las cuencas de interés.

Las series estadísticas de precipitaciones utilizadas corresponden a las estaciones fluviométricas “Combarbalá”, “Embalse Cogotí” y “Peña Blanca”. Para este estudio, se ha considerado que las precipitaciones registradas en las estaciones mencionadas son representativas de los sectores Los Rulos, La Moralina y Peña Blanca, respectivamente, dada la escasa variación altimétrica entre las cuencas de estudio y las estaciones de medición, y ya que las barreras orográficas que podrían afectar a los frentes polares provenientes del suroeste son prácticamente nulas, por lo que no se justifica un análisis de gradiente de precipitación – altura en estos sectores.

Cabe destacar que la quebrada de estudio perteneciente al sector Los Rulos es afluente del estero La Canela, el cual entrega sus aguas al río Choapa. La cuenca del estero La Canela posee una estación de medición meteorológica denominada “La Canela DMC”, sin embargo, la estación mencionada presenta una variación altimétrica importante con respecto a la quebrada de estudio del sector Los Rulos (de 607 m, aproximadamente), por lo que en este caso particular, y en base a los antecedentes de altitud, isolíneas de precipitación media anual definidas en el Balance Hídrico de Chile<sup>1</sup> y la experiencia del Consultor, se han definido los registros de la estación pluviométrica “Combarbalá” como los representativos de la cuenca en cuestión.

#### **3.2 Metodología de Análisis**

La metodología desarrollada para el análisis de escorrentía mensual es la siguiente:

---

<sup>1</sup> DGA-MOP, 1988, “Balance Hídrico de Chile”, láminas y cuencas hidrográficas N°18 La Serena.

- i. Se determinan las precipitaciones anuales para la zona de estudio con las series estadísticas de precipitación diaria de las estaciones pluviométricas presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- ii. Se utilizan la fórmula de Peñuelas y el Método de la Curva Número para determinar la escorrentía directa y para calibrar el valor de la Curva Número, respectivamente.
- iii. Se determinan las precipitaciones efectivas diarias de escorrentía aplicando el método de la Curva Número a la serie de precipitaciones diarias de la estación pluviométrica utilizada.
- iv. Se distribuye el valor de escorrentía superficial total anual determinado con la fórmula de Peñuelas, según los valores de precipitaciones efectivas diarias, determinando la escorrentía mensual del sector de análisis.
- v. Se determinan los valores de caudales medios mensuales de las cuencas de interés, con las áreas de cada cuenca y con las series de escorrentía mensual.
- vi. Con los caudales medios mensuales se determinaron las Curvas de Variación Estacional de cada cuenca de interés, para probabilidades de excedencia de 10%, 50% y 90%.

### **3.3 Análisis de Precipitaciones**

#### **3.3.1 Relleno de estadística pluviométrica**

La estación pluviométrica “Embalse Cogotí” presenta una serie estadística de precipitaciones diarias muy completa, entre los años 1961 y 2014, presentando vacíos estadísticos sólo en el mes de junio del año 2012.

La estación pluviométrica “Peñablanca” presenta un registro estadístico entre los años 1989 y 2014, con vacíos en los meses de abril, mayo y julio de 1989, junio de 1990, mayo de 1993, julio de 1994 y marzo y mayo de 1999.

Por su parte, la estación “Combarbalá” registra estadísticas de precipitación diaria entre los años 1977 y 2014, con vacíos estadísticos sólo en los meses de noviembre de 1989 y diciembre de 2002.

Estas series fueron rellenas mediante correlación de precipitaciones anuales entre las estaciones utilizadas y posterior prorrateo mensual. La distribución de precipitación de nivel diario en los meses rellenos se realiza usando como base alguna distribución diaria registrada en el mismo mes, para alguna cantidad de precipitación mensual similar.

La estadística rellena y la correlación de precipitaciones anuales entre las estaciones utilizadas se muestran en el Anexo II.

### **3.3.2 Determinación de precipitaciones anuales**

Tal como se fundamentó en el acápite 3.1, se considera que las precipitaciones medias diarias registradas en las estaciones pluviométricas “Combarbalá”, “Embalse Cogotí” y “Peñablanca” son representativas de las cuencas estudiadas en los sectores Los Rulos, La Moralina y Peñablanca, respectivamente.

Las precipitaciones medias anuales representativas de las cuencas de estudio se presentan en la Tabla 3.1. Estas precipitaciones fueron utilizadas en la aplicación de los métodos indirectos para la determinación de los caudales medios anuales.

**Tabla 3.1. Precipitaciones Totales Anuales [mm] Sectores de Interés**

TEMPORADA		LOS RULOS	LA MORALINA	PEÑA BLANCA
1979	- 1980	45.00	34.30	32.28
1980	- 1981	334.50	282.80	266.11
1981	- 1982	176.50	119.30	112.26
1982	- 1983	382.00	186.10	175.12
1983	- 1984	299.50	257.50	242.31
1984	- 1985	382.50	370.80	348.92
1985	- 1986	63.30	53.30	50.16
1986	- 1987	132.00	82.40	77.54
1987	- 1988	608.20	483.00	454.50
1988	- 1989	43.40	28.90	27.19
1989	- 1990	156.80	116.60	109.72
1990	- 1991	65.80	49.50	66.92
1991	- 1992	362.80	275.10	271.10
1992	- 1993	339.50	332.50	211.00
1993	- 1994	118.90	147.00	94.16
1994	- 1995	83.00	54.30	66.54
1995	- 1996	59.50	55.70	73.00
1996	- 1997	116.50	55.70	103.50
1997	- 1998	599.80	537.40	536.50
1998	- 1999	26.70	20.40	19.20
1999	- 2000	152.40	124.50	132.44
2000	- 2001	324.90	259.50	266.00
2001	- 2002	261.80	224.90	288.00
2002	- 2003	436.50	367.10	335.20
2003	- 2004	109.70	119.00	104.00
2004	- 2005	190.20	184.90	164.20
2005	- 2006	111.40	95.00	80.00
2006	- 2007	132.40	119.70	103.60
2007	- 2008	75.40	56.90	30.60
2008	- 2009	202.70	161.20	99.50
2009	- 2010	118.20	116.00	132.80
2010	- 2011	183.60	159.50	85.90
2011	- 2012	252.10	244.10	285.00
2012	- 2013	58.87	49.67	87.50
2013	- 2014	89.00	106.00	97.50

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

### 3.4 Análisis de Escorrentía Superficial

#### 3.4.1 Fórmula de Peñuelas

Esta fórmula establece una relación para el déficit de escorrentía como función de la precipitación y fue establecida para la zona central de Chile por el ingeniero A. Quintana, basándose en las mediciones realizadas en el Lago Peñuelas. La fórmula es presentada a continuación:



$$Es = 0,5 \cdot P^2 \quad [m] \quad (1)$$

Donde:

P: Precipitación media anual [m].

ES: Escorrentía superficial total anual [m]

Luego, con los valores de precipitación media anual presentados en la Tabla 3.1 se obtuvieron los valores de escorrentía superficial total anual para las cuencas en estudio. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Escorrentía Superficial Total Anual [mm] Sectores de Interés**

TEMPORADA		LOS RULOS	LA MORALINA	PEÑA BLANCA
1979	- 1980	1.01	0.59	0.52
1980	- 1981	55.95	39.99	35.41
1981	- 1982	15.58	7.12	6.30
1982	- 1983	72.96	17.32	15.33
1983	- 1984	44.85	33.15	29.36
1984	- 1985	73.15	68.75	60.87
1985	- 1986	2.00	1.42	1.26
1986	- 1987	8.71	3.39	3.01
1987	- 1988	184.95	116.64	103.29
1988	- 1989	0.94	0.42	0.37
1989	- 1990	12.29	6.80	6.02
1990	- 1991	2.16	1.23	2.24
1991	- 1992	65.81	37.84	36.75
1992	- 1993	57.63	55.28	22.26
1993	- 1994	7.07	10.80	4.43
1994	- 1995	3.44	1.47	2.21
1995	- 1996	1.77	1.55	2.66
1996	- 1997	6.79	1.55	5.36
1997	- 1998	179.88	144.40	143.92
1998	- 1999	0.36	0.21	0.18
1999	- 2000	11.61	7.75	8.77

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Tabla 3.2. (Continuación)**

TEMPORADA		LOS RULOS	LA MORALINA	PEÑA BLANCA
2000	- 2001	52.78	33.67	35.38
2001	- 2002	34.27	25.29	41.47
2002	- 2003	95.27	67.38	56.18
2003	- 2004	6.02	7.08	5.41
2004	- 2005	18.09	17.09	13.48
2005	- 2006	6.20	4.51	3.20
2006	- 2007	8.76	7.16	5.37
2007	- 2008	2.84	1.62	0.47
2008	- 2009	20.54	12.99	4.95
2009	- 2010	6.99	6.73	8.82
2010	- 2011	16.85	12.72	3.69
2011	- 2012	31.78	29.79	40.61
2012	- 2013	1.73	1.23	3.83
2013	- 2014	3.96	5.62	4.75

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

### 3.4.2 Método de la Curva Número

Para la determinación de la escorrentía superficial (precipitación efectiva) asociada a eventos de lluvia en las cuencas en estudio, se utilizó el método de la Curva Número, el cual permite estimar las precipitaciones de escorrentía directa como función de las características morfológicas y de uso de suelo de las cuencas.

Las expresiones del método se muestran a continuación:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2)$$

$$I_a = 0,2 S \quad (3)$$

$$P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (4)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

Donde:

- CN: Curva número adoptada.
- S: Retención potencial máxima [mm].
- P: Precipitación total [mm].
- Pe: Precipitación efectiva [mm].
- Ia: Retención inicial [mm].

Luego, considerando los valores de escorrentía superficial total anual determinados mediante la fórmula de Peñuelas, se buscó el valor de Curva Número, mediante sucesivas iteraciones, que permitiera obtener el mismo valor de escorrentía (Tabla 3.2) con el uso de las expresiones de este método.

Realizando este procedimiento se obtuvieron los valores de Curva Número  $CN = 72.4$ ,  $72.5$  y  $71.7$ , para los sectores Los Rulos, La Moralina y Peñablanca, respectivamente, los que fueron utilizados para la determinación de la escorrentía superficial mensual (caudales medios mensuales) en los puntos de interés.

### **3.4.3 Escorrentía Superficial Mensual**

Una vez obtenida la escorrentía superficial total anual de cada cuenca de estudio y calibrado el valor de la Curva Número, se obtiene el valor de la precipitación efectiva mensual que escurre superficialmente en los sectores de interés.

Los valores obtenidos de la escorrentía superficial mensual de las cuencas de estudio son presentados en las Tablas 3.3 a 3.5.

**Tabla 3.3. Escorrentía Total Mensual [mm] Sector Los Rulos**

TEMPORADA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1979 - 1980	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980 - 1981	43.35	0.00	0.00	8.29	0.13	4.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981 - 1982	0.00	15.16	0.00	0.02	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982 - 1983	0.00	4.90	4.05	33.80	30.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983 - 1984	0.00	0.54	0.00	44.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984 - 1985	0.00	0.00	0.00	73.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1985 - 1986	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986 - 1987	0.00	8.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987 - 1988	0.00	0.70	0.63	152.97	30.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1988 - 1989	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989 - 1990	0.00	0.06	0.00	7.54	4.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990 - 1991	0.00	0.00	0.00	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991 - 1992	0.00	5.23	60.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
1992 - 1993	0.00	1.32	13.13	0.00	43.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993 - 1994	6.10	0.00	0.00	0.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994 - 1995	0.00	0.00	1.15	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995 - 1996	0.00	0.00	0.00	1.52	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996 - 1997	0.00	0.00	0.00	6.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997 - 1998	0.00	0.00	69.39	0.00	108.33	0.00	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998 - 1999	0.00	0.01	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999 - 2000	0.00	1.74	0.37	0.00	5.32	3.73	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000 - 2001	0.00	0.00	41.78	0.00	0.00	10.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001 - 2002	0.00	0.00	0.00	34.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002 - 2003	0.00	16.97	54.27	18.82	5.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003 - 2004	0.00	5.96	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004 - 2005	0.00	0.00	0.00	2.91	15.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005 - 2006	0.00	3.37	0.00	0.00	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006 - 2007	0.00	0.00	8.25	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007 - 2008	0.00	0.00	2.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008 - 2009	0.00	0.34	7.62	0.65	11.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009 - 2010	0.00	0.00	4.31	0.00	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010 - 2011	0.00	6.62	8.60	1.17	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00
2011 - 2012	0.00	0.00	31.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012 - 2013	0.00	0.00	0.05	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013 - 2014	0.00	3.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Tabla 3.4. Escorrentía Superficial Mensual [mm] Sector La Moralina**

TEMPORADA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1979 - 1980	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980 - 1981	32.09	0.00	0.00	6.92	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981 - 1982	0.00	7.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982 - 1983	0.00	0.38	0.06	9.11	7.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983 - 1984	0.00	0.00	0.00	33.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984 - 1985	0.00	0.00	0.00	68.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1985 - 1986	0.00	0.00	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986 - 1987	0.00	3.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987 - 1988	0.00	0.00	0.00	111.00	5.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1988 - 1989	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989 - 1990	0.00	0.00	0.00	2.51	4.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990 - 1991	0.00	0.00	0.02	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991 - 1992	0.00	0.00	37.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992 - 1993	0.00	0.27	27.25	0.00	27.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993 - 1994	0.00	10.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994 - 1995	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995 - 1996	0.00	0.00	0.00	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996 - 1997	0.00	0.00	0.00	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997 - 1998	0.00	0.00	41.45	0.00	101.43	0.00	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998 - 1999	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999 - 2000	0.00	0.11	0.17	0.00	1.33	5.69	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000 - 2001	0.00	0.00	24.11	0.00	0.00	9.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001 - 2002	0.00	0.00	0.00	25.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002 - 2003	0.00	8.29	37.74	17.74	3.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003 - 2004	0.00	7.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004 - 2005	0.10	0.00	0.00	1.30	15.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005 - 2006	0.00	3.79	0.00	0.00	0.47	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006 - 2007	0.00	0.00	5.58	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007 - 2008	0.00	0.00	1.57	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008 - 2009	0.00	0.00	8.92	0.51	3.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009 - 2010	0.00	0.00	6.51	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010 - 2011	0.00	0.34	11.69	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011 - 2012	0.00	0.00	29.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012 - 2013	0.00	0.00	0.19	0.00	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013 - 2014	0.00	5.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Tabla 3.5. Escorrentía Total Mensual [mm] Sector Peña Blanca**

TEMPORADA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1979 - 1980	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1980 - 1981	28.76	0.00	0.00	5.91	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981 - 1982	0.00	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982 - 1983	0.00	0.29	0.03	8.09	6.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983 - 1984	0.00	0.00	0.00	29.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984 - 1985	0.00	0.00	0.00	60.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1985 - 1986	0.00	0.00	0.00	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986 - 1987	0.00	3.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987 - 1988	0.00	0.00	0.00	98.88	4.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1988 - 1989	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989 - 1990	0.00	0.00	0.00	0.67	5.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990 - 1991	0.00	0.00	0.00	2.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991 - 1992	0.00	8.79	26.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
1992 - 1993	0.00	0.00	14.36	0.00	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993 - 1994	0.00	0.00	0.00	0.77	3.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994 - 1995	0.00	0.00	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995 - 1996	0.00	0.00	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996 - 1997	0.00	0.00	0.00	5.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997 - 1998	0.00	0.00	45.65	0.00	98.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998 - 1999	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999 - 2000	0.00	0.24	2.53	0.16	3.35	2.33	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000 - 2001	0.00	0.00	20.48	0.00	0.00	14.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001 - 2002	0.00	3.47	0.00	37.90	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002 - 2003	0.00	4.00	33.02	17.50	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003 - 2004	0.00	5.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004 - 2005	0.00	0.00	0.00	3.34	10.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005 - 2006	0.00	2.06	0.00	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006 - 2007	0.00	0.00	5.04	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007 - 2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008 - 2009	0.00	0.00	0.00	0.00	4.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009 - 2010	0.00	0.00	3.77	0.00	5.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010 - 2011	0.00	2.28	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011 - 2012	0.00	0.00	40.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012 - 2013	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013 - 2014	0.00	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

### **3.5 Cálculo de Caudales Medios Mensuales**

Considerando los valores de escorrentía superficial total mensual determinados en el punto 3.4.3 (obtenidos a partir de los registros de precipitaciones diarias de las estaciones pluviométricas utilizadas y a través de la calibración de los valores de la Curva Número) y las áreas aportantes de cada sector de estudio, se generaron las series de caudales medios mensuales para cada una de las cuencas en estudio, según la metodología descrita en el punto 3.2.

Las series de caudales medios mensuales en régimen natural determinadas para cada una de las cuencas de interés se presentan en las Tablas 3.6 a 3.8.



**Tabla 3.6. Caudales Medios Mensuales [l/s] Sector Los Rulos**

TEMPORADA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979 - 1980	0.00	0.00	0.00	4.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
1980 - 1981	200.00	0.00	0.00	37.02	0.57	19.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.41
1981 - 1982	0.00	67.69	0.00	0.11	0.00	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80
1982 - 1983	0.00	21.86	18.71	150.91	134.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.20
1983 - 1984	0.00	2.41	0.00	197.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.69
1984 - 1985	0.00	0.00	0.00	326.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.22
1985 - 1986	0.00	0.00	0.00	8.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
1986 - 1987	0.00	38.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.24
1987 - 1988	0.00	3.10	2.90	683.01	136.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.83
1988 - 1989	0.00	0.00	4.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
1989 - 1990	0.00	0.27	0.00	33.68	20.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.57
1990 - 1991	0.00	0.00	0.00	9.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
1991 - 1992	0.00	23.36	279.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	25.24
1992 - 1993	0.00	5.90	60.59	0.00	192.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.61
1993 - 1994	28.13	0.00	0.00	4.03	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
1994 - 1995	0.00	0.00	5.30	10.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
1995 - 1996	0.00	0.00	0.00	6.80	1.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66
1996 - 1997	0.00	0.00	0.00	30.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53
1997 - 1998	0.00	0.00	320.14	0.00	483.68	0.00	9.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.79
1998 - 1999	0.00	0.03	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
1999 - 2000	0.00	7.75	1.73	0.00	23.74	17.19	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.37
2000 - 2001	0.00	0.00	192.78	0.00	0.00	50.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.29
2001 - 2002	0.00	0.00	0.00	153.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.75
2002 - 2003	0.00	75.76	250.38	84.02	23.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.12
2003 - 2004	0.00	26.62	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.24
2004 - 2005	0.00	0.00	0.00	12.98	67.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.73
2005 - 2006	0.00	15.04	0.00	0.00	12.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.31
2006 - 2007	0.00	0.00	38.06	2.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.36
2007 - 2008	0.00	0.00	13.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
2008 - 2009	0.00	1.54	35.15	2.90	53.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.74
2009 - 2010	0.00	0.00	19.87	0.00	11.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65
2010 - 2011	0.00	29.56	39.67	5.21	0.00	0.00	0.00	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	6.38
2011 - 2012	0.00	0.00	146.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.22
2012 - 2013	0.00	0.00	0.23	0.00	7.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64
2013 - 2014	0.00	17.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47
<b>PROMEDIO</b>	6.52	9.64	40.88	50.40	33.47	2.54	0.34	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>11.99</b>
<b>MÍNIMO</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
<b>MÁXIMO</b>	200.00	75.76	320.14	683.01	483.68	50.73	9.67	2.16	0.00	0.00	0.00	0.17	68.83
<b>DESV. EST.</b>	34.00	18.66	86.14	130.68	90.45	9.42	1.66	0.36	0.00	0.00	0.00	0.03	17.09

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Tabla 3.7. Caudales Medios Mensuales [l/s] Sector La Moralina**

TEMPORADA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979 - 1980	0.00	0.00	0.00	8.03	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68
1980 - 1981	461.35	0.00	0.00	96.35	0.00	14.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.65
1981 - 1982	0.00	99.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.25
1982 - 1983	0.00	5.34	0.82	126.74	108.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.08
1983 - 1984	0.00	0.00	0.00	461.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.44
1984 - 1985	0.00	0.00	0.00	956.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.72
1985 - 1986	0.00	0.00	0.00	19.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64
1986 - 1987	0.00	47.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.94
1987 - 1988	0.00	0.00	0.00	1544.56	78.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.26
1988 - 1989	0.00	0.00	6.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
1989 - 1990	0.00	0.00	0.00	34.95	59.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.88
1990 - 1991	0.00	0.00	0.32	16.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42
1991 - 1992	0.00	0.00	544.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.35
1992 - 1993	0.00	3.71	391.83	0.00	386.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65.15
1993 - 1994	0.00	150.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.53
1994 - 1995	0.00	0.00	21.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.77
1995 - 1996	0.00	0.00	0.00	21.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80
1996 - 1997	0.00	0.00	0.00	21.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80
1997 - 1998	0.00	0.00	595.96	0.00	1411.35	0.00	21.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	169.04
1998 - 1999	0.00	0.01	2.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
1999 - 2000	0.00	1.59	2.38	0.00	18.50	81.75	6.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.21
2000 - 2001	0.00	0.00	346.71	0.00	0.00	137.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.35
2001 - 2002	0.00	0.00	0.00	351.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.32
2002 - 2003	0.00	115.41	542.68	246.86	50.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.60
2003 - 2004	0.00	98.35	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.21
2004 - 2005	1.44	0.00	0.00	18.06	218.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.83
2005 - 2006	0.00	52.80	0.00	0.00	6.50	3.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.24
2006 - 2007	0.00	0.00	80.25	22.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.52
2007 - 2008	0.00	0.00	22.63	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
2008 - 2009	0.00	0.00	128.22	7.12	49.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.41
2009 - 2010	0.00	0.00	93.57	0.00	3.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.05
2010 - 2011	0.00	4.69	168.13	9.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.21
2011 - 2012	0.00	0.00	428.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.69
2012 - 2013	0.00	0.00	2.79	0.00	14.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43
2013 - 2014	0.00	78.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.51
PROMEDIO	13.22	18.76	96.55	113.25	68.72	6.77	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>26.50</b>
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
MÁXIMO	461.35	150.33	595.96	1544.56	1411.35	137.44	21.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	169.04
DESV. EST.	77.98	39.95	182.92	310.54	245.58	26.67	3.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.63

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Tabla 3.8. Caudales Medios Mensuales [l/s] Sector Peña Blanca**

TEMPORADA	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979 - 1980	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
1980 - 1981	51.27	0.00	0.00	10.20	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.23
1981 - 1982	0.00	10.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91
1982 - 1983	0.00	0.50	0.05	13.95	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20
1983 - 1984	0.00	0.00	0.00	50.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.22
1984 - 1985	0.00	0.00	0.00	105.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.75
1985 - 1986	0.00	0.00	0.00	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
1986 - 1987	0.00	5.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
1987 - 1988	0.00	0.00	0.00	170.55	7.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.85
1988 - 1989	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
1989 - 1990	0.00	0.00	0.00	1.16	9.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87
1990 - 1991	0.00	0.00	0.00	3.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
1991 - 1992	0.00	15.16	47.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	5.41
1992 - 1993	0.00	0.00	25.60	0.00	13.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.27
1993 - 1994	0.00	0.00	0.00	1.33	6.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64
1994 - 1995	0.00	0.00	3.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
1995 - 1996	0.00	0.00	0.00	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
1996 - 1997	0.00	0.00	0.00	9.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77
1997 - 1998	0.00	0.00	81.37	0.00	169.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.91
1998 - 1999	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
1999 - 2000	0.00	0.41	4.51	0.27	5.78	4.16	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
2000 - 2001	0.00	0.00	36.50	0.00	0.00	26.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.26
2001 - 2002	0.00	5.98	0.00	65.38	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.96
2002 - 2003	0.00	6.90	58.86	30.19	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.23
2003 - 2004	0.00	9.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78
2004 - 2005	0.00	0.00	0.00	5.77	17.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94
2005 - 2006	0.00	3.55	0.00	0.00	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46
2006 - 2007	0.00	0.00	8.98	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
2007 - 2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
2008 - 2009	0.00	0.00	0.00	0.00	8.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
2009 - 2010	0.00	0.00	6.72	0.00	8.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29
2010 - 2011	0.00	3.94	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54
2011 - 2012	0.00	0.00	72.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.03
2012 - 2013	0.00	0.00	0.00	0.00	6.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
2013 - 2014	0.00	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68
PROMEDIO	1.46	2.00	10.01	13.59	7.75	0.92	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	<b>2.98</b>
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
MÁXIMO	51.27	15.16	81.37	170.55	169.50	26.56	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	20.91
DESV. EST.	8.67	3.84	21.88	35.09	28.54	4.52	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	4.52

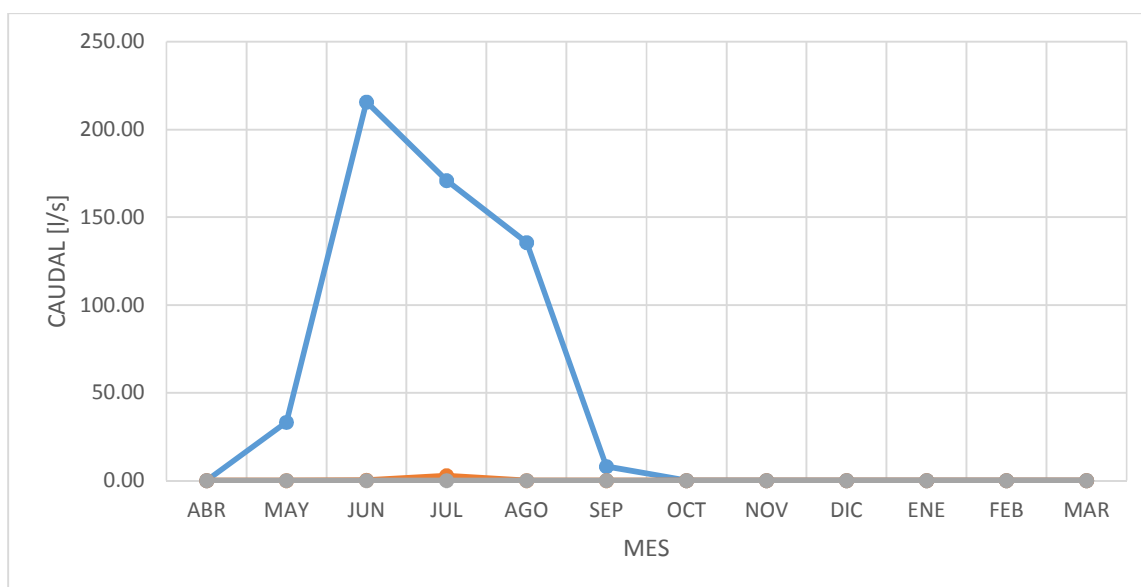
Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

### 3.6 Curvas de Variación Estacional

En las F XX a YY, se presentan las curvas de variación estacional para cada una de las cuencas de estudio. Las curvas de variación estacional se confeccionaron sobre la base de los caudales medios mensuales presentadas en el punto 0, y fueron desarrollados para probabilidades de excedencia de 10%, 50% y 90%.

**Figura 3.1. Curva de Variación Estacional [l/s] Sector Los Rulos**

PROB [%]	CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL [l/s] - MICROCUENCA LOS RULOS											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
10	0.00	33.29	215.82	170.95	135.70	7.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.24	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

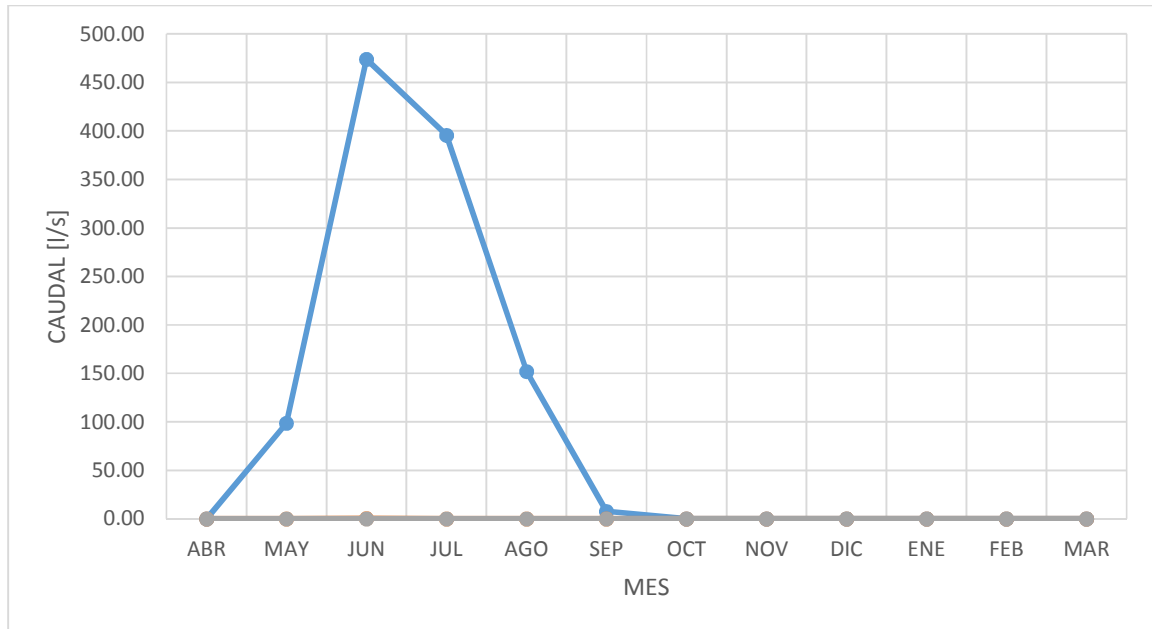


Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Figura 3.2. Curva de Variación Estacional [l/s] Sector La Moralina**

PROB	CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL [l/s] - MICROCUENCA LA MORALINA
------	---

[%]	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
10	0.00	98.61	474.07	395.65	152.21	7.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

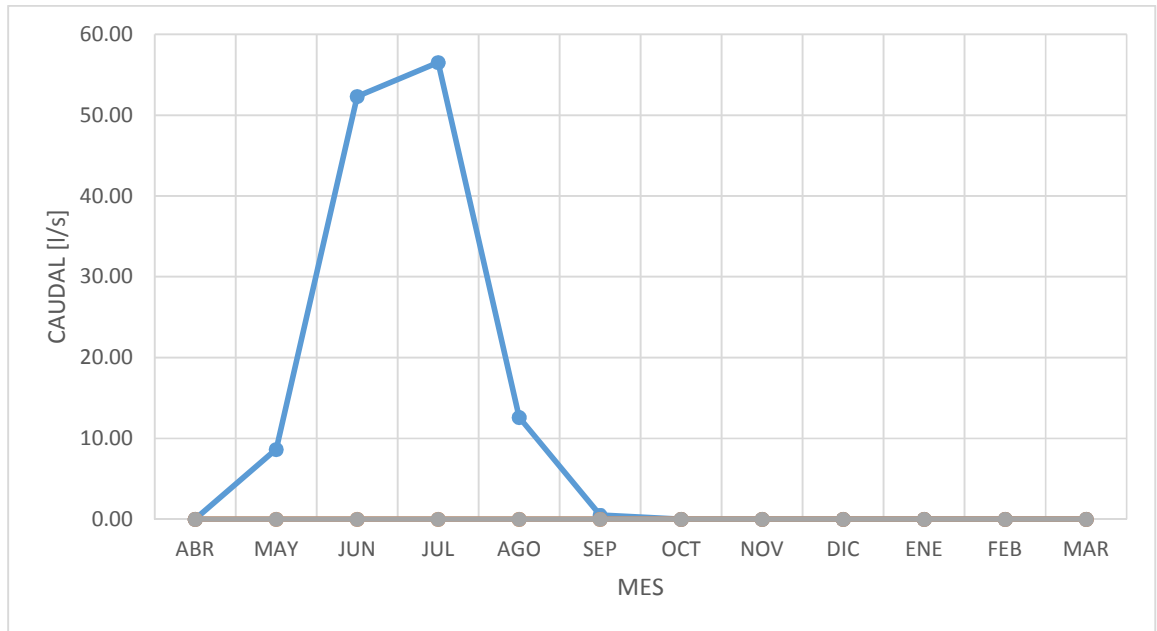


Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

**Figura 3.3. Curva de Variación Estacional [l/s] Sector Peña Blanca**

PROB [%]	CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL [l/s] - MICROCUENCA PEÑABLANCA											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
10	0.00	8.65	52.32	56.54	12.61	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

## **4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDAS EN LAS CUENCAS DE INTERÉS**

### **4.1 Consideraciones Iniciales**

Los cordones montañosos que delimitan las cuencas de estudio tienen cumbres máximas que alcanzan los 1.545 msnm, aproximadamente, en el sector de Los Rulos, los cuales constituyen una barrera orográfica importante para el desplazamiento de los frentes que se originan en el océano Pacífico y que se desplazan al oriente.

Además, como se ha mencionado en los capítulos anteriores, para toda el área de estudio cabría esperar un régimen hidrológico netamente pluvial, ya que la componente nival a base de precipitaciones sólidas se estima que ocurre por sobre los 2.210 msnm<sup>2</sup>, y corresponden a quebradas de escorrentía intermitente que sólo ocurren durante eventos de precipitación.

El análisis comprende una estimación de la precipitación máxima en 24 horas para las cuencas de estudio. Se ha considerado que las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones pluviométricas “Combarbalá”, “Embalse Cogotí” y “Peñablanca”, son representativas para los sectores Los Rulos, La Moralina y Peñablanca, respectivamente, dada la escasa variación altimétrica entre las cuencas de estudio y las estaciones de medición.

### **4.2 Metodología**

Como se mencionó en el acápite 2.3, en el sector de análisis no existen registros estadísticos de caudales que permitan estimar los regímenes de escorrentía superficial en las quebradas de estudio, por lo que se definió utilizar una metodología indirecta de Precipitación – Escorrentía para el análisis.

Luego, el procedimiento para determinar los caudales de crecida para los distintos períodos de retorno considerados, supone los siguientes pasos:

- i. Se establecen las estaciones pluviométricas Combarbalá, Cogotí Embalse y Peñablanca como las más representativas para el análisis de precipitaciones máximas anuales en el sector de estudio. Tales estaciones son operadas por la DGA y presentan buen registro de datos estadísticos.

---

<sup>2</sup> Peña y Vidal, 1993, “Estimación Estadística de la Línea de Nieve durante los Eventos de Precipitación entre las latitudes 28 y 38 grados Sur”, XI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

- ii. Se realiza un análisis de frecuencias a las series estadísticas de las estaciones pluviométricas seleccionadas, obteniendo las precipitaciones máximas anuales para los períodos de retorno  $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$  años, para una duración de tormenta de 24 horas.
- iii. Finalmente, para determinar los caudales máximos de crecidas en los sectores de interés, se utiliza el método del Hidrograma Unitario Sintético tipo Linsley, aplicando las distribuciones de precipitación propuestas por Espíldora y Echavarría y usando el método de la Curva Número explicado en el capítulo 3.4.2. El análisis de las crecidas se lleva a cabo buscando maximizar caudal peak asociado a la duración y períodos de retorno de la tormenta.

### **4.3 Análisis de Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas**

#### **4.3.1 Análisis de frecuencias series de precipitación máximas anuales**

Para desarrollar los análisis de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas para los distintos períodos de retorno considerados, se dispone de las mediciones realizadas en las estaciones pluviométricas “Combarbalá”, “Embalse Cogotí” y “Peña Blanca”.

Se debe hacer notar que, en el caso de la estación pluviométrica “Peña Blanca”, se extendieron los registros de precipitaciones máximas anuales de duración 24 horas entre las temporadas 1979/80 a 1988/89. Estos valores fueron determinados mediante correlación con la estación pluviométrica “Embalse Cogotí” para todos los eventos comunes (precipitaciones máximas que ocurrieron el mismo día). La correlación establecida es presentada en el Anexo II del presente Informe.

A las series estadísticas de precipitaciones máximas anuales de las estaciones pluviométricas antes mencionadas, se les realizó un análisis de frecuencias para distintas funciones de densidad de probabilidad, como Normal, Gumbel, Pearson, Log-Pearson y Log-Normal. Además, se realizó el test chi – cuadrado con un nivel de significancia del 95% para examinar la bondad del ajuste de la serie a cada distribución de probabilidad.

Los resultados del análisis de frecuencias desarrollado, sumado a la inspección gráfica de los mismos, definieron la mejor distribución de ajuste para cada duración de tormenta en estudio. Los análisis de frecuencias desarrollados, se encuentran en el Anexo II del presente Informe.

#### **4.3.2 Precipitaciones máximas anuales en las cuencas de interés**

Del análisis de frecuencias detallado en el punto 4.3.1, se obtiene que el mejor ajuste de las funciones densidad de probabilidad correspondió al modelo Log-Pearson, para todos



los casos estudiados. La Tabla 4.1 muestra los resultados de precipitaciones máximas anuales en 24 hr para los distintos períodos de retorno considerados en el área de interés.

**Tabla 4.1. Precipitaciones Máximas en 24hr [mm] Sectores de Interés**

T [años]	P exc [%]	Pp máx. 24h [mm]		
		LOS RULOS	LA MORALINA	PEÑA BLANCA
2	50	42.6	37.3	40.2
5	20	71.9	65.6	68.3
10	10	92.7	85.9	88.8
20	5	113.3	106.1	109.5
50	2	140.5	132.8	137.6
100	1	161.2	153.0	159.6
200	0.5	182.1	173.4	182.1
<b>MEJOR AJUSTE</b>		LogPearson	LogPearson	LogPearson

Fuente: Elaboración Propia Romero e Hijo Ingeniería

#### **4.4 Análisis de Crecidas en las Cuencas de Interés**

##### **4.4.1 Consideraciones**

Para el cálculo de la crecida pluvial asociada a los sectores de estudio, se utilizó el método del Hidrograma Unitario Sintético tipo Linsley, metodología explicada en el “Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica”, perteneciente a DGA.

En este caso, se utilizaron las distribuciones de precipitación propuestas por Espíldora y Echavarría en su publicación “Criterios para la Caracterización y Selección de Lluvias de Diseño”, presentado en el IV Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica, en 1979.

El análisis desarrollado considera el Método de La Curva Número, explicada y determinada para cada sector de interés en el punto 3.4.2.

##### **4.4.2 Método Hidrograma Unitario Sintético**

La metodología de cálculo utilizada para la aplicación del método del Hidrograma Unitario Sintético corresponde a la establecida por el “Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica” de la Dirección General de Aguas del MOP, la que basándose en el método de Linsley y corrigiendo las relaciones básicas originalmente propuestas por Benítez y Arteaga en 1985, al ampliar la base de datos de dichos autores a un total de 61 estaciones fluviométricas ubicadas entre las Regiones III y

X, determina nuevas relaciones según sea la zona del país de que se trate, para cuencas de superficies entre 10 y 4.500 km<sup>2</sup>.

#### a) Tiempo de concentración

Para estimar los tiempos de concentración de las cuencas de interés, se han utilizado las expresiones empíricas comúnmente adoptadas en hidrología. Se hace notar que, al ser este tipo de expresiones producto de resultados empíricos, obtenidos bajo ciertas condiciones particulares, es necesario juzgar cualitativamente la factibilidad física del resultado entregado antes de su aceptación.

En este análisis se han utilizado las expresiones para tiempos de concentración que se apliquen a cuencas rurales donde el flujo escurre en redes de cauces definidos y pendiente.

Las expresiones utilizadas se muestran a continuación:

##### Giandotti:

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} * 60 \quad (6)$$

Cabe destacar que el tiempo de concentración de Giandotti está sujeto al siguiente rango de valores

$$\frac{L}{5,4} \leq T_C \leq \frac{L}{3,6} \quad (7)$$

Si el tiempo de concentración calculado con la ecuación (6) se escapa del rango de valores establecidos según la ecuación (7), aquel debe ser aproximado al valor extremo más próximo según la ecuación (7).

##### California Highway Division:

$$T_C = 0,95 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} * 60 \quad (8)$$

##### Normas Españolas:

$$T_C = 18 * \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}} \quad (9)$$

Donde: T<sub>C</sub>: Tiempo de concentración [min]  
L: Longitud del cauce principal [km]  
S: Pendiente [m/m]  
A: Área de la cuenca [km<sup>2</sup>]

Hm: diferencia de nivel entre la cota media y cota de salida de la cuenca [m]

H: diferencia de nivel entre las cotas extremas de la cuenca [m]

Finalmente, en la Tabla 4.2 se presentan los tiempos de concentración adoptados para las cuencas de interés.

**Tabla 4.2. Tiempos de concentración adoptados**

SECTOR	$t_{C \text{ adoptado}}$ [hr]
Los Rulos	0.6
La Moralina	1.5
La Isla	0.6

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero Navea

### b) Parámetros HUS

Para la cuenca de interés, ubicada en la IV Región, corresponde utilizar las siguientes expresiones definidas para la denominada Zona I (Regiones III a VI)

$$t_p = 0,323 \times \left( \frac{L \times L_g}{\sqrt{S}} \right)^{0,422} \quad \text{[horas]} \quad (6)$$

$$q_p = 144,141 \times t_p^{-0,796} \quad \text{[l/s/mm/km}^2\text{]} \quad (7)$$

$$t_B = 5,377 \times t_p^{0,805} \quad \text{[horas]} \quad (8)$$

Donde:

$t_p$ : Tiempo al peak, desfase o tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma y el momento en que se produce el caudal máximo en el H.U.S.

$q_p$ : Caudal máximo del hidrograma unitario para una lluvia de 1 mm [l/s/km<sup>2</sup>].

$t_B$ : Tiempo base del hidrograma unitario [hrs].

$t_d$ : Tiempo de duración de la lluvia [hrs].

L: Longitud del cauce principal [km].

$L_g$ : Longitud entre el centro de gravedad de la cuenca y el punto de salida [km].

S: Pendiente media de la cuenca.

El tiempo de duración de la lluvia efectiva, que define la duración del Hidrograma Unitario, se determina con la siguiente expresión:

$$t_d = t_p / 5,5 \text{ [horas]} \quad (9)$$

Para considerar lluvias efectivas mayores que  $t_d$ , el valor del tiempo al peak  $t_p$  se modifica de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t'_p = t_p + 0,25 \times (t'_d - t_d) \text{ [horas]} \quad (10)$$

En que:

$t'_p$ : duración real en horas

La distribución temporal, o forma del Hidrograma Unitario, en este caso se define mediante el Hidrograma Unitario Adimensional propuesto en el Manual de la DGA, que se resume en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Hidrograma unitario adimensional**

$t/t_p$	$q/q_p$
0,00	0,00
0,30	0,20
0,50	0,40
0,60	0,60
0,75	0,80
1,00	1,00
1,30	0,80
1,50	0,60
1,80	0,40
2,30	0,20
2,70	0,10

Fuente: "Manual de Cálculo de Crecidas", Agosto 1995. Dirección General de Aguas, MOP.

#### **b. Precipitación efectiva e infiltración**

Para la determinación de las precipitaciones efectivas asociadas a estos eventos se adopta el método de la Curva Número, el cual permite estimar las precipitaciones de escorrentía directa e infiltraciones como función de las características morfológicas y de uso de suelo de las cuencas.

De acuerdo al método de la Curva Número, el valor de la precipitación efectiva ( $P_e$ ) se determina a través de las siguientes relaciones:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (11)$$

$$I_a = 0,2 S \quad (9) \Rightarrow P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (12)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (13)$$

Donde:

P: Precipitación total de cada tormenta [mm].

S: Retención potencial máxima [mm].

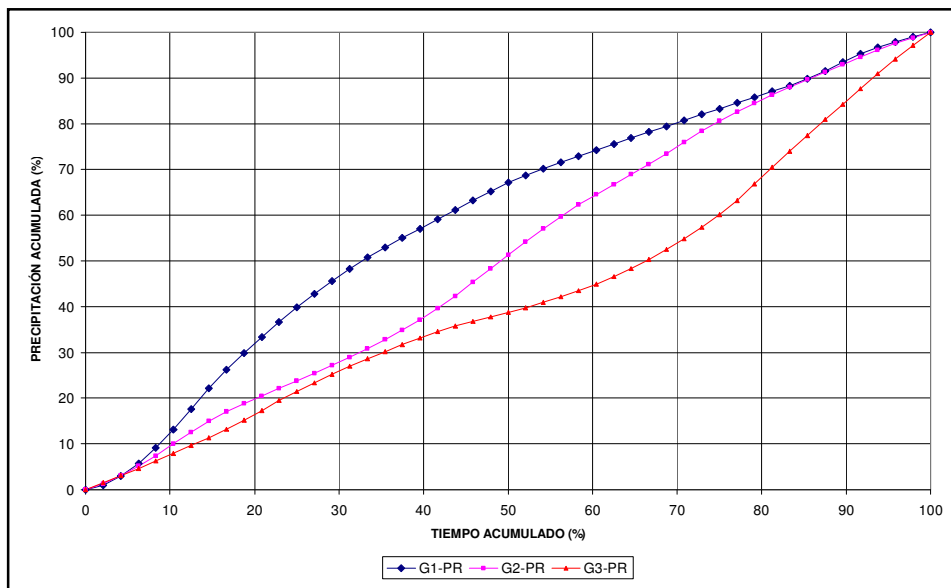
Ia: Abstracción inicial [mm].

CN: Curva Número determinada según lo descrito en el acápite 3.4.2.

### c. Distribuciones temporales de la lluvia

Las distribuciones temporales de lluvia utilizadas en la aplicación del Hidrograma Unitario Sintético son las propuestas por Espíldora y Echavarría, que se clasifican según la posición de la máxima intensidad dentro de la duración total de la tormenta. Estas distribuciones se muestran en la Figura 4.1

**Figura 4.1. Distribución de precipitación de Espíldora y Echavarría**



Fuente: "Criterios para la Caracterización y Selección de Lluvias de Diseño", 1979, Espíldora-Echavarría.

### 4.4.3 Resultados

En la Tabla 4.3 se presentan los resultados del análisis hidrológico de crecidas desarrollado, para una duración de tormenta de 24 horas y para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años.

**Tabla 4.3. Caudales Instantáneos Máximos de Crecidas [m<sup>3</sup>/s] Sectores de Interés**

T [años]	SECTOR		
	LOS RULOS	LA MORALINA	PEÑA BLANCA
2	2.6	4.3	0.8
5	8.1	17.2	2.7
10	12.5	28.2	4.4
20	17.2	39.9	6.1
50	23.6	56.2	8.6
100	28.5	68.6	10.6
200	33.5	81.4	12.7

Fuente: Elaboración Propia Jorge Romero N

Las tablas con los hidrogramas de crecidas determinados para cada período de retorno y duración de tormenta considerada, se entregan como Anexo III del presente Informe, en formato digital (archivo excel).

## **B. ESTUDIO GEOELÉCTRICO**

### **1. INTRODUCCIÓN**

A solicitud del Consultor **JORGE ROMERO NAVEA**, la empresa **INGENIERÍA ESTRUCTURAL S.A., GEOEXPLORACIONES® S.A.** procedió a efectuar un estudio geofísico en tres microcuencas de la IV Región, que formarán parte de los antecedentes técnicos del Estudio Cosecha de Aguas Lluvias en Áreas de Secano, Región de Coquimbo.

Los estudios están enfocados a la obtención de un modelo litoestratigráfico de cada sector hasta una profundidad de investigación de al menos 15 metros y a la identificación de posibles acuíferos, para lo cual se ejecutaron medidas geofísicas de resistividad eléctrica en la modalidad de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), que es la técnica clásica y más precisa para definir la estratificación del terreno en términos de la resistividad eléctrica. Este último parámetro asociado a las distintas formaciones y su saturación con agua.

Se realizaron un total de 61 SEV distribuidos en nueve perfiles geoeléctricos, tres por cada sector. Se ejecutaron en el sector Peña Blanca 21 SEV, en el sector Los Rulos 20 SEV y en el sector La Moralina 20 SEV. Con estos datos se interpretaron los perfiles estableciendo un modelo geoeléctrico de cada sector.

Los resultados de los estudios indican la detección de capas con resistividades eléctricas asociadas a material medianamente saturado en los sectores Peña Blanca y La Moralina, lo que sugiere la presencia de posibles acuíferos en profundidad.

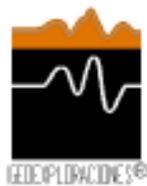




INGENIERÍA ESTRUCTURAL S.A.

ESTUDIO GEOELÉCTRICO  
 SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)  
 IV REGIÓN DE COQUIMBO

UBICACION GENERAL



GEOEXPLORACIONES S.A.

JUNIO 2015

FIG. 1

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Método Geoeléctrico**

El método geoeléctrico empleado durante el estudio, consistió en la realización de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) en modalidad Schlumberger.

Este método tiene como objetivo investigar la distribución vertical de resistividades eléctricas bajo el punto central del dispositivo usado.

La condición ideal para la aplicación del método de Sondajes Eléctricos es que el subsuelo corresponda a una formación de capas homogéneas y además planas y paralelas entre sí y al suelo superficial.

Experimentalmente se demuestra, sin embargo, que la respuesta es adecuada incluso para inclinaciones de hasta 30°.

A fin de medir en terreno los parámetros a interpretar, se usa un sistema doble de electrodos tanto de emisión (A B) como de recepción (M N). Leyendo la corriente entregada en A B y el potencial en M N es posible determinar a través de correcciones geométricas un valor de resistividad aparente para profundidades crecientes.

El sistema electródico usado en esta oportunidad fue el tipo "Schlumberger", que resulta ser más adecuado para este tipo de prospecciones.

Las resistividades aparentes obtenidas durante el desarrollo del estudio se llevan en coordenadas bilogarítmicas a un gráfico contra la apertura de los electrodos transmisores  $AB/2$ . La curva obtenida, constituye el dato de terreno que luego se usa en la interpretación de los S.E.V. (ver Anexo).

Esto último se logra a través de un software computacional especialmente desarrollado para este tipo de trabajo y de sistemas numéricos sofisticados que implica iterar las numerosas soluciones posibles.

### 2.1.1 Resistividad y Equivalencia Litológica

La resistividad de los medios no depende en general de los agregados sólidos que lo componen, ya que normalmente los minerales constitutivos de las rocas (silicatos) son perfectamente aislantes.

La excepción a este caso general la constituyen los minerales conductores tales como algunos sulfuros, metales nativos, grafito y cierta medida las arcillas por fenómenos de polarización de las moléculas de agua adheridas.

Sin embargo, todos los medios geológicos presentan mayor o menor porosidad y/o fracturamiento, que al estar rellenas con electrólitos les dan un carácter conductor. A su vez, el aumento de la concentración de sales disueltas en los fluidos que ocupan los poros, aumenta considerablemente el carácter conductor de las rocas.

Es por ello que en general la resistividad de un medio estará asociada a su porosidad, contenido de electrólitos o arcillas.

La lista siguiente, muestra los rangos normales de resistividades que se encuentran en las formaciones que se señalan:

Suelos	Resistividades en Ohm-m
Margas	$10^0 - 10^2$
Arcillas	$10^0 - 10^2$
Limos	$10^1 - 10^2$
Arenas	$10^1 - 10^3$
Gravas	$10^1 - 10^4$
Agua Dulce	$30 - 10^3$
Agua Salada	$10^{-1} - 10^0$
Rocas Consolidadas	$10^3 - 10^5$

Como se aprecia de la tabla anterior el rango de diferentes suelos se traslapa y la correlación entre litología y resistividad dependerá del conocimiento de la geología y las características propias de cada zona.

### **3. INSTRUMENTAL**

Durante el estudio, se usó el siguiente equipamiento:

- 1 Transmisor Scintrex de 2.5 KW.
- 1 Generador de 1 KW y 400 Hz
- 1 Milivoltímetro digital compensado para potencial espontáneo.
- Equipos de radiocomunicación
- 1 navegador GPS.
- Accesorios de Geofísica (estacas, carretes) y cables especiales.
- 1 Camioneta 4x4.

#### 4. TRABAJOS DE TERRENO

Los trabajos en terreno se efectuaron entre los días 1 y 18 de Junio del 2015, lo cual consideró el traslado del personal técnico especializado y de los equipos geofísicos a la zona de los trabajos, el reconocimiento de los sectores a estudiar, ubicación de los 61 SEV programados, así como la ejecución de los mismos. Se ejecutaron en el sector Peña Blanca 21 SEV, en el sector Los Rulos 20 SEV y en el sector La Moralina 20 SEV.

La Tabla N° 1 detalla la ubicación de los SEV, con sus coordenadas UTM medidas con un navegador GPS, en sistema Sirgas WGS84-J19.

**TABLA N° 1**  
**COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LOS SEV**  
**(Sistema Sirgas WGS84-J19)**

SECTOR PEÑA BLANCA			
Perfil-SEV	ESTE	NORTE	COTA
P1-1	257.640	6.579.371	380
P1-2	257.641	6.579.385	388
P1-3	257.639	6.579.409	385
P1-4	257.639	6.579.425	390
P1-5	257.638	6.579.437	385
P1-6	257.639	6.579.457	389
P1-7	257.641	6.579.480	387
P2-1	257.716	6.579.404	385
P2-2	257.709	6.579.428	382
P2-3	257.703	6.579.445	387
P2-4	257.696	6.579.463	388
P2-5	257.689	6.579.482	396
P2-6	257.681	6.579.505	389
P2-7	257.676	6.579.528	381
P3-1	257.750	6.579.380	392
P3-2	257.756	6.579.399	396
P3-3	257.763	6.579.416	390
P3-4	257.769	6.579.439	377
P3-5	257.774	6.579.455	382
P3-6	257.778	6.579.471	390
P3-7	257.783	6.579.495	386

SECTOR LOS RULOS			
Perfil-SEV	ESTE	NORTE	COTA
P1-1	286.332	6.543.117	887
P1-2	286.357	6.543.117	894
P1-3	286.369	6.543.116	895
P1-4	286.381	6.543.117	892
P1-5	286.398	6.543.118	882
P1-6	286.414	6.543.117	885
P1-7	286.447	6.543.115	903
P2-1	286.361	6.543.219	899
P2-2	286.373	6.543.218	898
P2-3	286.395	6.543.213	893
P2-4	286.412	6.543.213	900
P2-5	286.425	6.543.211	910
P2-6	286.439	6.543.208	912
P3-1	286.335	6.543.254	892
P3-2	286.345	6.543.255	896
P3-3	286.357	6.543.257	896
P3-4	286.396	6.543.264	892
P3-5	286.414	6.543.265	899
P3-6	286.433	6.543.268	891
P3-7	286.449	6.543.269	894

SECTOR LA MORALINA			
Perfil-SEV	ESTE	NORTE	COTA
P1-1	294.681	6.573.827	659
P1-2	294.687	6.573.848	649
P1-3	294.699	6.573.863	646
P1-4	294.701	6.573.868	644
P1-5	294.704	6.573.882	653
P1-6	294.714	6.573.905	651
P1-7	294.705	6.573.926	665
P2-1	294.591	6.573.971	653
P2-2	294.575	6.573.963	647
P2-3	294.567	6.573.951	641
P2-4	294.565	6.573.942	647
P2-5	294.548	6.573.932	644
P2-6	294.541	6.573.916	652
P2-7	294.529	6.573.900	652
P3-1	294.491	6.574.047	650
P3-2	294.469	6.574.048	644
P3-3	294.448	6.574.053	643
P3-4	294.426	6.574.037	658
P3-5	294.409	6.574.025	653
P3-6	294.384	6.574.010	668

## **5. RESULTADOS**

La interpretación de cada uno de los SEV, cuyas curvas se encuentran en el anexo de este informe, se efectúa en forma computacional utilizando un software especialmente desarrollado para tal efecto.

La descripción cualitativa de los estratos geoelectricos detectados se realizó a partir del supuesto de que por estar todo los perfiles geoelectricos localizados de forma transversal a las cuencas de quebradas, los sedimentos allí acumulados son de origen aluvial y/o fluvial.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran en planta cada sector con la ubicación de los SEV a escala 1:1.000, en las Figuras 5 a la 13 se muestran las secciones obtenidas en los perfiles geoelectricos a partir de los resultados de los SEV ejecutados, a escala 1: 500.

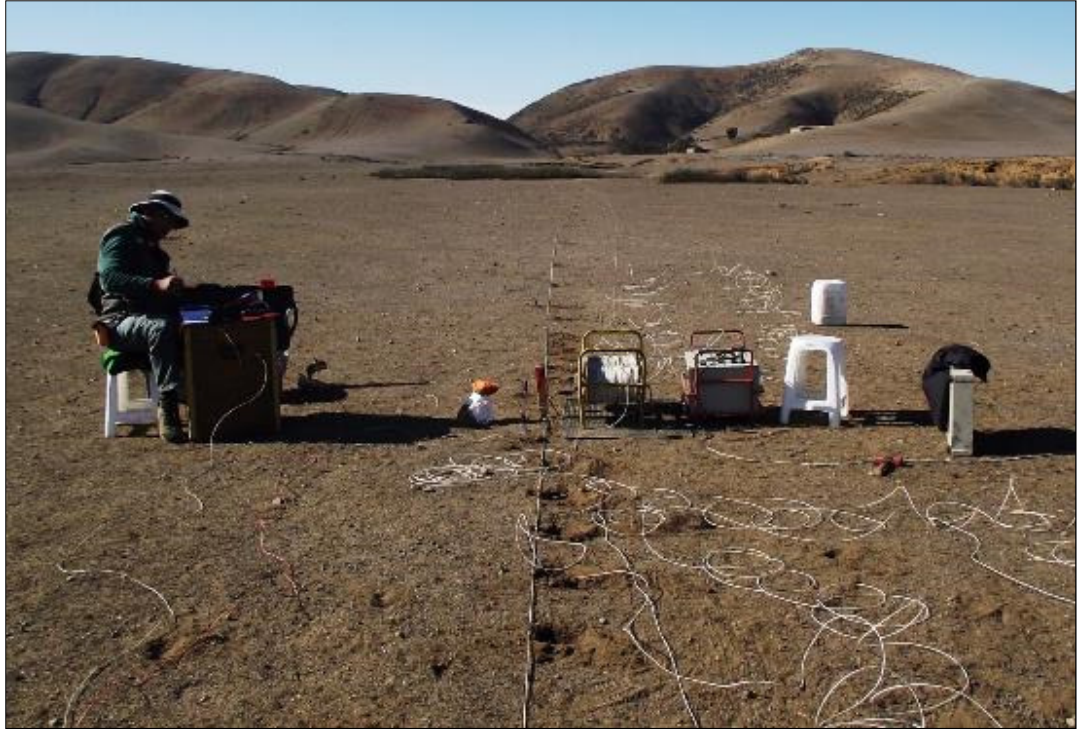
### **5.1. Sector Peña Blanca.**

Sector ubicado más al Oeste, a 27 Kms al suroeste de la localidad de Punitaqui. Aquí se ejecutaron 21 SEV distribuidos en tres perfiles geoelectricos de siete SEV cada uno y separados unos 70 metros como promedio.

#### **5.1.1 Sección Geoelectrica P1 (Figuras 2 y 5)**

Perfil ubicado más al Oeste, tiene una extensión de 109 metros y rumbo Sur Norte, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 12 y 24 metros.





**Foto 1: Equipamiento básico de un Sondaje Eléctrico Vertical (receptor, transmisor de corriente, electrodos y cables eléctricos). SEV 4 en el Sector Peña Blanca.**

Se identifican los siguientes estratos geoelectrónicos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 11 y 210 Ohm-m y espesor de entre 1 y 8 metros, su mayor espesor fue detectado en el SEV 6 hacia el Norte, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y arcillas. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 25 y 54 Ohm-m, con espesores de entre 28 y 38 metros que probablemente esté asociado a arenas arcillosas saturadas.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 170 y 390 Ohm-m. Probablemente esté asociado a rocas descompuestas.

### **5.1.2 Sección Geoeléctrica P2 (Figuras 2 y 6)**

Perfil ubicado entre los perfiles P1 y P3, tiene una extensión de 130 metros y rumbo Sureste Noroeste, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 18 y 25 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 5 y 1.150 Ohm-m y espesor de entre 3 y 9 metros, su mayor espesor fue detectado en el SEV 6 hacia el Noroeste, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas, arcillas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 30 y 50 Ohm-m, con espesores de entre 10 y 20 metros que probablemente esté asociado a arenas arcillosas saturadas.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 130 y 400 Ohm-m. Probablemente esté asociado a rocas descompuestas.

### **5.1.3 Sección Geoeléctrica P3. (Figuras 2 y 7)**

Perfil ubicado más al Este, tiene una extensión de 120 metros y rumbo Suroeste Noreste, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 16 y 25 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoelectricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 7 y 900 Ohm-m y espesor de entre 1 y 4 metros, su mayor espesor fue detectado en el SEV 5 hacia el Noreste, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas, arcillas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 30 y 54 Ohm-m, con espesores de entre 20 y 28 metros que probablemente esté asociado a arenas arcillosas saturadas.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 110 y 220 Ohm-m. Probablemente esté asociado a rocas descompuestas.

## 5.2 Sector Los Rulos.

Sector ubicado más al Sur, a 23 Kms al suroeste de la ciudad de Combarbalá. Aquí se ejecutaron 20 SEV distribuidos en tres perfiles geoelectricos, dos de siete SEV y uno de seis, separados unos 70 metros como promedio.

### 5.2.1 Sección Geoelectrica P1 (Figuras 3 y 8)

Perfil ubicado más al Sur, tiene una extensión de 115 metros y rumbo Oeste Este, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 12 y 33 metros. El SEV 4 se optó por no incluirlo en el presente informe por no presentar la calidad técnica requerida.



**Foto 2: Preparación de un SEV en el Sector Los Rulos.**

Se identifican los siguientes estratos geoelectricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 50 y 400 Ohm-m y espesor de entre 3 y 11 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas y gravas dispersas. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 1.300 y 3.500 Ohm-m, con espesores de entre 10 y 30 metros, no presente en los SEV 1 y 2, hacia el Oeste, y que probablemente esté asociado a bolones secos.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 400 y 700 Ohm-m, con espesores de entre 25 y 50 metros. Probablemente esté asociado a sedimentos fluviales y/o aluviales del tipo gravas y bolones secos.
- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 1.000 Ohm-m. Probablemente esté asociado al basamento rocoso.

### **5.2.2 Sección Geoeléctrica P2 (Figuras 3 y 9)**

Perfil ubicado entre los perfiles P1 y P3, tiene una extensión de 79 metros y rumbo Oeste Este, los seis SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 12 y 23 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 110 y 1.800 Ohm-m y espesor de entre 1 y 7 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 550 y 1.000 Ohm-m, con espesores de entre 9 y 20 metros, no presente en los SEV 6 hacia el Este, y que probablemente esté asociado a gravas y bolones secos.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 1.350 y 4.000 Ohm-m, con espesores de más de 10 metros. Probablemente esté asociado a rocas.
- Estrato con resistividad eléctrica de 900 Ohm-m solo detectados por los SEV 1 y 2 hacia el Oeste. Probablemente esté asociado a basamento rocoso fracturado.

### 5.2.3 Sección Geoeléctrica P3 (Figuras 3 y 10)

Perfil ubicado entre los perfiles P1 y P3, tiene una extensión de 99 metros y rumbo Suroeste Noreste, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 9 y 20 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 67 y 1.000 Ohm-m y espesor de entre 1 y 7 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 1.500 y 9.000 Ohm-m, con espesores de entre 1 y 7 metros y que probablemente esté asociado a bolones secos, no presentes en los SEV 5 ni en el SEV 7, en este último la resistividad detectada en este nivel disminuye a 220 Ohm-m que probablemente corresponda a gravas.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 400 y 750 Ohm-m, con espesores detectados solo en los SEV 5, 6 y 7 hacia el Noreste, de entre 40 y 50 metros. Probablemente esté asociado a gravas y bolones secos.

- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 1.000 Ohm-m solo detectado por los SEV 5, 6 y 7 hacia el Noreste. Probablemente esté asociado al basamento rocoso.

### **5.3 Sector La Moralina.**

Sector ubicado más al Este, a 17 Kms al sureste de la localidad de Punitaqui. Aquí se ejecutaron 20 SEV distribuidos en tres perfiles geoelectricos, dos de siete SEV y uno de seis, separados unos 160 metros como promedio.

#### **5.3.1 Sección Geoelectrica P1 (Figuras 4 y 11)**

Perfil ubicado más al Sureste, tiene una extensión de 109 metros y rumbo Sur Norte, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 5 y 25 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoelectricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 63 y 1.500 Ohm-m y espesor de entre 1 y 21 metros, detectando los mayores espesores en los extremos del perfil, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 650 y 2.000 Ohm-m, con espesores de entre 14 y 38 metros, no presente en el SEV 7 y que probablemente esté asociado a gravas y bolones secos.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 65 y 100 Ohm-m, con espesores de entre 21 y 45 metros no presente en el SEV 7. Probablemente esté asociado a arenas saturadas.
- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 750 Ohm-m y que hacia el Norte tiende a aflorar. Probablemente esté asociado al basamento rocoso.



### 5.3.2 Sección Geoeléctrica P2 (Figuras 4 y 12)

Perfil ubicado entre los perfiles P1 y P3, tiene una extensión de 99 metros y rumbo Suroeste Noreste, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 9 y 20 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 70 y 600 Ohm-m y espesor de entre 1 y 13 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas y gravas dispersas. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 480 y 1.800 Ohm-m, con espesores de entre 19 y 45 metros y que probablemente esté asociado a gravas y bolones secos.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 70 y 100 Ohm-m, con espesores de entre 8 y 35 metros aumentando hacia el suroeste. Probablemente esté asociado a arenas saturadas.
- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 1.400 Ohm-m y que hacia el Noreste tiende a aflorar. Probablemente esté asociado al basamento rocoso.

### 5.3.3 Sección Geoeléctrica P3 (Figuras 4 y 13)

Perfil ubicado más al Noroeste, tiene una extensión de 181 metros y rumbo Suroeste Noreste, los siete SEV que lo componen se encuentran separados entre sí entre 9 y 20 metros.

Se identifican los siguientes estratos geoeléctricos principales:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 65 y 900 Ohm-m y espesor de entre 1 y 11 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 340 y 490 Ohm-m, con espesores de entre 20 y 40 metros y que probablemente esté asociado a gravas secas.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 190 y 230 Ohm-m, con espesores de entre 5 y 10 metros no detectado en los SEV 1 y 2, hacia el Noreste. Probablemente esté asociado a arenas.
- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 400 Ohm-m. Probablemente esté asociado al basamento rocoso.



**Foto 2: Preparación de un SEV en el Sector La Moralina.**

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

A solicitud del consultor **JORGE ROMERO NAVEA**, la empresa **INGENIERÍA ESTRUCTURAL S.A., GEOEXPLORACIONES® S.A.** procedió a efectuar un estudio geofísico en tres sectores caracterizados por microcuencuencas cercanas de la IV Región (Figura 1).

Los estudios están enfocados a la obtención de un modelo litoestratigráfico de cada sector hasta una profundidad de investigación de al menos 15 metros y a la identificación de posibles acuíferos, para lo cual se ejecutaron medidas geofísicas de resistividad eléctrica. Se ejecutaron 61 Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) distribuidos en nueve perfiles geoelectricos, tres por cada sector. En el sector Peña Blanca se ejecutaron 21 SEV, en el sector Los Rulos 20 SEV y en el sector La Moralina 20 SEV. Con estos datos se interpretaron los perfiles estableciendo un modelo geoelectrico de cada sector.

Los modelos de los perfiles geoelectricos obtenidos de la interpretación de los SEV en los tres sectores presentan características diferentes.

En el sector **Peña Blanca** básicamente se comprobó un modelo geoelectrico de tres capas:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 5 y 1.150 Ohm-m y espesor de entre 1 y 9 metros, probablemente asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas, arcillas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato con resistividades eléctricas de entre 25 y 54 Ohm-m, con espesores de entre 10 y 38 metros que probablemente esté asociado a arenas arcillosas saturadas.

- Estrato con resistividad eléctrica de entre 110 y 400 Ohm-m. Probablemente esté asociado a rocas descompuestas.

En el sector **Los Rulos** se comprobó un modelo geoelectrico más complejo, heterogéneo y seco:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 50 y 1.800 Ohm-m y espesor de entre 1 y 11 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos. Estos estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.
- Estrato presente sobre todo al Este del perfil P1, con resistividades eléctricas de entre 1.300 y 3.500 Ohm-m, con espesores de entre 10 y 30 metros, y que probablemente esté asociado a bolones secos. En los perfiles P2 y P3 este estrato aparece disperso y con espesores menores que 7 metros, integrado parcialmente al primer estrato.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 400 y 1.000 Ohm-m, con espesores de entre 9 y 50 metros. Probablemente esté asociado a sedimentos fluviales y/o aluviales del tipo gravas y bolones secos.
- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 1.000 Ohm-m. Probablemente esté asociado al basamento rocoso.
- Estrato con resistividad eléctrica de 900 Ohm-m solo detectados por los SEV 1 y 2 hacia el Noroeste del perfil P2. Probablemente esté asociado al basamento rocoso fracturado.

En el sector **La Moralina** básicamente se comprobó un modelo geoelectrico de cuatro capas:

- Estrato superficial de resistividad eléctrica muy variable de entre 63 y 1.500 Ohm-m y espesor de entre 1 y 21 metros, probablemente esté asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos. Estos

estratos no poseen una continuidad horizontal ni una potencia significativa y pueden acumular agua de forma estacional.

- Estrato con resistividades eléctricas de entre 340 y 2.000 Ohm-m, con espesores de entre 14 y 45 metros y que probablemente esté asociado a gravas y bolones secos.
- Estrato con resistividad eléctrica de entre 65 y 230 Ohm-m, con espesores de entre 5 y 45 metros. Probablemente esté asociado a arenas saturadas, con menor humedad hacia el Oeste.
- Estrato con resistividad eléctrica mayor que 400 Ohm-m probablemente esté asociado al basamento rocoso.

Es importante destacar que no se contó con ningún tipo de información geológica o geotécnica de los sectores, por lo que la interpretación cualitativa de los estratos geoeléctricos se basa en nuestra experiencia previa. De obtener mayor y mejor información geológica de los sectores estos Sondajes Eléctricos Verticales pueden y deben ser reinterpretados.

Se recomienda la realización de sondajes y/o calicatas profundas para confirmar los resultados obtenidos.

**Javier Bahamondes H.  
Juan Cristóbal López M.  
GEOEXPLORACIONES® S.A.**

## **7. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO GEOFÍSICO**

Es importante señalar que las características geológicas de Chile son muy heterogéneas, produciéndose cambios en su constitución geológica en cortos tramos de longitud, sean estos en el sentido longitudinal como transversal del país.

Debido a esta condición, la descripción geológica de una determinada zona, tendrá variaciones importantes de sus estratos en cortos tramos y los resultados del estudio geofísico demuestran esta característica geológica del país.

**MICROCUEENCA LA ISLA - COMUNIDAD AGRICOLA PEÑABLANCA**

ESTRATO (m)	TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS
0 - 9	Rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas, arcillas y bolones dispersos	Estos estratos no poseen una continuidad horizontal y pueden acumular agua en forma estacional
10 - 35 a 40	Arenas arcillosas saturadas	
bajo 35	Probablemente, rocas descompuestas	

La descripción cualitativa de los estudios geofísicos indican que se pueden identificar tres estratos geoelectrónicos en el suelo de la microcuenca La Isla de la Comunidad Agrícola de Peñablanca.

El primer estrato (0 a 9 m de profundidad), es el que presenta condiciones adecuadas para la acumulación de aguas subterráneas y que tendría mejores conductividades hidráulicas.

El segundo estrato (10 a 38 m de profundidad), si bien no es impermeable, presenta arenas arcillosas saturadas, por lo tanto, es posible deducir que la conductividad hidráulica de este estrato es baja, comportándose como un estrato impermeable.

El tercer estrato, ubicado en promedio bajo los 38 metros de profundidad, corresponde probablemente a rocas descompuestas.

El estudio geofísico se ha realizado después de varios años de bajas precipitaciones en el sector y al detectar bajo los 9 metros de profundidad arcillas saturadas, significa que la conductividad hidráulica de este estrato es muy baja. Presentando estas características este estrato, es recomendable poner una lámina impermeable desde la superficie del suelo hasta 5 metros de profundidad, con ello tendríamos 4 metros de suelo bajo la lámina, que se comportarían como un estrato semipermeable, de baja conductividad hidráulica que permitiría generar una recarga de agua que puede escurrir subterráneamente bajo los 5 metros de profundidad.

Es importante señalar que tomar la determinación de impermeabilizar hasta 5 metros de profundidad, se debe a dos consideraciones, una técnica, que es la anteriormente señalada y otra económica, que es el alto costo de movimiento de tierra que se tendría al excavar un terreno arcilloso saturado.



**MICROCUECNA LOS RULOS - COMUNIDAD AGRICOLA CANELA ALTA**

ESTRATO (m)	TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS
0 - 10	Probablemente asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos	Estos estratos no poseen una continuidad horizontal y pueden acumular agua en forma estacional
10 - 30	Asociados a gravas muy secas con presencia de bolones	Este estrato aparece disperso y con espesores menores que 7 metros, integrado parcialmente al primer estrato.
Espesor variable (25 a 50)	Aluviales secos del tipo gravas con presencia de bolones	Este estrato puede acumular agua temporalmente.
50 y mas	Probablemente este asociado al basamento rocoso	Si corresponde al basamento rocoso, presentaría características impermeables

Los estudios geofísicos indican que se pueden identificar cuatro estratos geoelectricos en el suelo de la microcuenca Los Rulos de la Comunidad Agrícola de Canela Alta.

El primer estrato (0 a 10 m de profundidad), es el que presenta condiciones adecuadas para la acumulación de aguas subterráneas y que tendría mejores conductividades hidráulicas, está compuesto de rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos.

El segundo estrato (10 a 30 m de profundidad), probablemente asociado a bolones secos, es decir, que al momento de realizar los sondajes eléctricos verticales no se detectó humedad en esta estrato.

El tercer estrato, ubicado en promedio entre 25 a 50 metros de profundidad, corresponde probablemente a sedimentos fluviales y/o aluviales del tipo gravas y bolones secos.

El cuarto estrato, ubicado en promedio bajo 50 metros de profundidad, correspondería al basamento rocoso.

De acuerdo a la interpretación geofísica realizada, no sería recomendable poner una lámina impermeable hasta el basamento rocoso, ya que a partir del segundo estrato hasta el basamento rocoso, se han detectado la presencia de bolones dispersos que elevarían los costos de movimiento de tierra y tal vez sería preferible que la impermeabilización sea adecuada realizarla solo en los 5 primeros metros de profundidad y crear una condición de recarga forzada de la napa a partir de los 5 metros de profundidad.

**MICROCUECNA LA MORALINA - COMUNIDAD AGRICOLA MANQUEHUA**

ESTRATO (m)	TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS
0 - 5 (en eje quebrada)	Probablemente asociado a rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos	Estos estratos no poseen una continuidad horizontal y pueden acumular agua en forma estacional
5 - 30	Asociados a gravas muy secas con presencia de bolones	Este estrato puede acumular agua en forma estacional, pero en menor cantidad por la presencia de bolones
30 - 50	Asociado a arenas saturadas, con menor humedad hacia el Oeste	El espesor del estrato es variable y tendría actualmente agua acumulada
50 y mas	Probablemente este asociado al basamento rocoso	

La descripción cualitativa de los estratos geoelectricos señala que se pueden identificar cuatro estratos en el suelo de la microcuenca La Moralina de la Comunidad Agrícola de Manquehua. Para efectos del estudio, se han considerado las profundidades del estrato en el eje de la quebrada.

El primer estrato (0 a 5 m de profundidad), es el que presenta condiciones adecuadas para la acumulación de aguas subterráneas y que tendría mejores conductividades hidráulicas, está compuesto de rellenos fluviales y/o aluviales del tipo arenas, gravas y bolones dispersos.

El segundo estrato (5 a 30 m de profundidad), probablemente asociado a bolones secos, es decir, que al momento de realizar los sondajes eléctricos verticales no se detectó humedad en esta estrato.

El tercer estrato, ubicado en promedio entre 30 a 50 metros de profundidad, corresponde probablemente a sedimentos asociados a arenas saturadas. Es probable que esta presencia de agua se deba a un solevantamiento del basamento rocoso entre el perfil 2 al 3, ya que en el perfil 3, solo se detectaron arenas no saturadas.

El cuarto estrato, ubicado en promedio bajo 50 metros de profundidad, correspondería al basamento rocoso.

De acuerdo a la interpretación geofísica realizada, sería recomendable poner una lámina impermeable hasta unos 5 metros de profundidad, a pesar de la presencia de bolones dispersos, considerando que la profundidad del primer estrato es bajo y que en el tercer estrato tendríamos arenas saturadas.