



PROVINCIA DE RIO NEGRO

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

APROVECHAMIENTO SALTO ANDERSEN – BAJO DE LOS BAGUALES IDENTIFICACION Y DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE RIEGO Y DRENAJE 2ª ETAPA DEL DESARROLLO INTEGRAL DEL RIO COLORADO



INFORME FINAL

ANEXO III – HIDROGEOLOGÍA

3 de Enero de 2009

Ing. JORGE PEDRO HECK

INDICE

1	ANTECEDENTES DE CALIDAD DE AGUA	12
1.1	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUIMICOS ANTECEDENTES DE	
	MUESTRAS DE AGUA OBTENIDAS POR AGUA Y ENERGIA (Año	
	1962)	12
1.2	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUIMICOS ANTECEDENTES DE	
	MUESTRAS DE AGUA OBTENIDAS POR LA UNIVERSIDAD	
	NACIONAL DEL SUR (Año 2004)	13
2	FIGURAS	14
3	PERFILES DE POZOS	23
3.1	POZO L1-P1	23
3.2	POZO L1-P2	24
3.3	POZO L1-P3	25
3.4	POZO L1-P4	26
3.5	POZO L2-P1	27
3.6	POZO L2-P3	28
3.7	POZO L2-P4	29
3.8	POZO L2-P5	30
4	ENSAYOS DE POZOS	31
4.1	ENSAYO DE BOMBEO Nº 1	31
4.2	ENSAYO DE BOMBEO Nº 2	33
4.3	ENSAYO DE BOMBEO Nº 3	34
5	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA	
	OBTENIDAS DE LAS PERFORACIONES	35

1 ANTECEDENTES DE CALIDAD DE AGUA

1.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUIMICOS ANTECEDENTES DE MUESTRAS DE AGUA OBTENIDAS POR AGUA Y ENERGIA (Año 1962)

	Anélisis de aguns freáticas										
	Nº muestra: Lugar:		L 701 km 832	L 702 "Buena	L 703 Pozo 140	L 704 "Buena					
			km 831	Parada"	"El Gua-	Pareda"					
			F.C.	"Santa	licho"						
1	1			Juliana"							
Deterr	ninaciones:		- Compo	and a star-square							
Materi	ial en suspensión mg	r/1	170,-			A 6					
Residu	10 a 105°C	u	3621,57	1202,12	2944,73	5911,42					
Sílice	si0 ₂		1091,75	54,25	485,-	2450,95					
Hierro	y Aluminio R ₂ 03	н	vestig.	vestig.	vestig.	vestig.					
Calcid	Ca	н	153,45	124,56	. 279,31	305,31					
Magnes	sio Ng	н	14,19	18,56	12,96	11,64					
Scáio	Na	11	486,86	117,32	258,77	478,59					
Potasi	o K	8	age to bag	30,24	12,68						
Clorhi	(drico Cl -	u	913,88	349,21	856,15	968,88					
Salfá	100 50 ₄ =	"	421,68	336,57	520,93	846,86					
Carbór	$100 CO_3 =$	0	0	0	0	0					
Bicarl	pónico HCO3 -	11	26,32	39,64	70,47	66,06					
Reaco	eión pH		8,6	8,1	8,3	8,6					
Baland	ce y relaciones:										
Suma d	le aniones me	/1	37,77	17,50	36,13	46,28					
	' cationes		37,42	15,39	30,93	44,75					
Difere	encia	u	0,35	2,11	5,20	1,53					
11	porcentual		0,93	12,-	14,-	3,2					

1.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUIMICOS ANTECEDENTES DE MUESTRAS DE AGUA OBTENIDAS POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR (Año 2004)

Muestra A.	C.E.uS/cm	pll	Ca+1	Mgii	Nar	Kı	C03=	HCO3-	CI-	SO4=	Calidad
Subterránea					-						riego
		7.70	5.00			0.45		1.10	7.00	4.00	Talasabla
2	975	1,76	5,00	2,60	2,00	0,15		1,10	7,32	1,33	Tolerable
4	10200	6,86			78,70	23,30		5,00	112,00	10,00	Inutil
5	14500	7,03	80,00	42,00	58,80	2,50		7,60	105,00	10,70	Inutil
6	4100	7,09	22,00	16,00	6,80	1,45		3,20	35,00	8,05	Inutil
8	6000	7,59	30,00	12,00	24,00	4,00		5,00	52,00	13,00	Inútil
9	4000	7,72	28,00	6,10	8,30	2,60		4,50	37,00	3,50	Inútil
10	4900	7,60	23,00	16,00	13,50	4,65		3,10	48,00	6,05	Inútil
11	5900	7,53	28,00	16,00	24,00	1,00		4,30	60,00	4,70	Inútil
15	799	7,84	2,60	0,90	4,00	0,49		0,70	5,40	1,89	Buena
16	452	7,03	1,60	0,70	2,10	0,12	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1	0,70	2,80	1,02	Buena
17	4400	7,36	20,00	10,00	16,00	4,00		6,40	36,30	7,30	Inútil
18	5500	7,68	23,00	15,00	22,00	3,70		4,60	54,00	5,10	Inútil
19	4200	7,46	26,00	19,00	2,30	0,20		4,40	35,00	8,10	Inútil
21	2500	7,62	9.00	6,60	8,60	2,80		2,40	20,00	4,60	Peligrosa
22	3600	7,20	24,00	4,90	7,80	3,30	i ministe	6,00	27,00	7,00	Inútil
23	3100	7.06	18,00	7,30	6,30	2,40		4,40	25,00	4,60	Peligrosa
24	3000	7.53	11,00	2,70	17.00	2.07		4,70	13,00	15,07	Peligrosa
25	1181	7,28	4,00	2,90	3,90	1,01		1,20	9,00	1,61	Tolerable
26	seco								1 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 1		
27	seco			10. 10. 14 1. 1			3014 1.1				
28	1333	8,47	3,40	1,20	7,10	1,63	1,60	10000	10,00	1,73	Tolerable
29	3100	7,42	16,00	2,20	12,20	3,60	*	4,00	17,60	12,40	Peligrosa
30	3100	7,61	14,00	9,20	9,30	1,50	-18000100-0	4,10	16,00	13,90	Peligrosa
32	3900	7,46	29,00	3,10	10,30	1,35	101000	3,20	19,00	21,55	Inútil
33	2500	7.64	9.00	6.80	9,90	1.30		3,80	13,70	9,50	Peligrosa
35	4900	7.54	19.00	10 60	25 00	2.55	100	3.60	41.00	12.55	Inútil
36	6900	8.70	32.00	25.00	21.30	2.70	2.70	!	56.00	22.30	Inútil
37	4700	7.05	22.50	11.00	18.60	2.19		3.50	35.00	15.79	Inútil
38	1700	7 21	3.40	2.90	8 20	3 20		2 20	8.60	6.90	Tolerable
109	2800	7 43	12 00	8 50	6 80	3 15) III - R.A.	4 90	22 20	3 35	Peligrosa
			12122	Inna		21.2	1	1. 200	a constration		
	A CONTRACTOR OF CONTRACTOR		1					1.10		Trees Address	

Tabla: Análisis Químicos de Agua Subterrânea Concentración Iones en meq/l.

2 FIGURAS







Figura 3 – Diagrama de Piper Agua y Energía Eléctrica – Año 1962





Figura 5 – Diagrama de Piper Puntos de muestreo Colonia Julia y Echarren



Figura 6 – Diagrama de Piper Puntos de muestreo Colonia Julia y Echarren



Figura 7 – Diagrama de Schoeller-Berkaloff Puntos de muestreo Colonia Julia y Echarren



Figura 8 – Diagrama de Schoeller-Berkaloff Puntos de muestreo Colonia Julia y Echarren



Figura 9 – Diagrama de Piper Puntos de muestreo Colonia Reig



Figura 10 – Diagrama de Schoeller-Berkaloff Puntos de muestreo Colonia Reig



Figura 11 – Diagrama de Piper Puntos de muestreo Colonia La Margarita



Figura 12 – Diagrama de Schoeller-Berkaloff Puntos de muestreo Colonia La Margarita



Figura 13 – Diagrama de Piper Pozos L1-P2 a L2-P5





Figura 15 – Diagrama Índice RAS – Conductividad Eléctrica

3 PERFILES DE POZOS

3.1 POZO L1-P1

Perfil Pozo L1-P1 Río Colorado



3.2 POZO L1-P2



Perfil Pozo L1-P2 Río Colorado

Prof.	Características Grales. y Entubamiento	Litología
0		Cota de brocal 80,99 m
		Suelo
2		Arenas castañas con limo y niveles poco potentes de gravas
4	Caño tipo pocero diámetro 110 mm	Cota de agua 77,75 m Nivel de agua 3,24 m
6	Perforación de 6'' de diámetro	Arcillas (espesor no mayor a 60 cm)
8		
10		Arenisca cementada
12		
14	Grava silícea	Arenisca cementada con intercalaciones de arcillas compactas
16	Caño tipo pocero ranurado cada 25 cm	
18		
20		

Perfil Pozo L1-P3 Río Colorado



Perfil Pozo L1-P4 Río Colorado



Perfil Pozo L2-P1 Río Colorado



Perfil Pozo L2-P3 Río Colorado

Prof.	Características Grales. y Entubarnie	nto Litología
0		Cota de brocal 75,97 m
		Limo castaño
2		Arena limosa con grava escasa
4	Caño tipo pocero diámetro 110 mm	Cota de agua 72,82 m Nivel de agua 3,15 m
6	Perforación de	Limo castaño con niveles de arcillas
8	Grava silícea — — — — — — — — — — — — — — — — — — —	Arcilla limosa
	ranurado cada 25 cm	castaño 4rcilla limosa
10		plástica
		compacto
12		Arcilla
Observe	nienes es parfará basta las 10	onosióndoso los unidados doss≓-t
UDServa	Der problemen en la beiede de señes es lle	unociendose las unidades descriptas
	roi problemas en la bajada de canos se lle	vo el nitro nasta los o metros

Perfil Pozo L2-P4 <u>Río Colorado</u>



Perfil Pozo L2-P5 Río Colorado

4 ENSAYOS DE POZOS

4.1 ENSAYO DE BOMBEO N° 1



Evaluación de la prueba de bombeo	Bombeo y recuperación, Página 2			
Método de recuperación de THEIS &	Proyecto : Río Colorado			

JAC	COB	~	Evaluado por: Grand	Fecha:				
Acu		2 1		08.04.2008				
Prue	eba de Bombeo N			Fecha de la Prueba: 6	0/4/2008			
L2-]	P3							
Des	carga 5,470 m ³ /h							
Niv	el estático 6,320	Duración de la prue	ho	· 0.36250 d				
m A	bajo del Datum	Duración de la prue	Jua	. 0.30230 u				
	Tiempo desde		Δ	batimiento Residual	Abatimi	ento corregido		
	fin del bombeo	Nivel freático [m]	1	[m]	7 toutini	[m]		
	[d]			[]		[]		
1	0,00017	7,000		0,680		0,657		
2	0,00035	6,550		0,230		0,227		
3	0,00069	6,450		0,130		0,129		
4	0,00139	6,430		0,110		0,109		
5	0,00208	6,415		0,095		0,095		
6	0,00347	6,405		0,085		0,085		
7	0,00486	6,400		0,080		0,080		
8	0,00694	6,395		0,075		0,075		
9	0,01042	6,390		0,070		0,070		
10	0,01389	6,385		0,065		0,065		
11	0,02083	6,380		0,060		0,060		
12	0,03125	6,375		0,055		0,055		
13	0,04167	6,370		0,050		0,050		
14	0,05278	6,365		0,045		0,045		
15	0,06250	6,360		0,040		0,040		
16	0,08333	6,355		0,035		0,035		
17	0,21528	6,345		0,025		0,025		
18	0,58611	6,340		0,020		0,020		

4.2 ENSAYO DE BOMBEO N $^{\circ}$ 2

						Proyect	o: Río Colo	rado	
Cálculo	o del co	eficien	te de Per	meabilio	dad	Pozo: L2-P1 Diámetro: 110			10 <i>mn</i>
						H ₀ : <i>5,43 mbbp</i> b.pozo: <i>0,40 m</i>			
		-				Long. filtr	o: 6 <i>m</i>	Fecha: 06/04	4/2008
vietodo	de Gil	g-Gava	rd de niv	Respons	able: Grandi-I	Eguen			
			Р	lanilla d	e datos y	cálculos			
t	t	Hi	h	h _i	h _m	h/ t.h _m	k	k media	Obs
(min)	(min)	(m)	(m)	(m)	(m)	(min ⁻¹)	(m/día)	(m/día)	
0,25	0	1,80		3,63					
0,5	0,25	2,53	0,730	2,90	3,265	0,8943	11,590567		
1	0,5	3,63	1,100	1,80	2,350	0,9362	12,132766		
2	1	4,54	0,910	0,89	1,345	0,6766	8,768476		
3	1	4,93	0,390	0,50	0,695	0,5612	7,272518		
5	2	5,19	0,260	0,24	0,370	0,3514	4,553514		
7	2	5,27	0,080	0,16	0,200	0,2000	2,592000		
10	3	5,33	0,055	0,11	0,133	0,1384	1,793208		
15	5	5,37	0,040	0,06	0,085	0,0941	1,219765	2.61	
20	5	5,39	0,020	0,04	0,055	0,0727	0,942545	2,01	
30	10	5,41	0,020	0,02	0,035	0,0571	0,740571		
45	15	5,42	0,010	0,01	0,020	0,0333	0,432000		
76	31	5,42	0,005	0,01	0,012	0,0129	0,167226		
120	44	5,43	0,005	0,00	0,007	0,0152	0,196364		
193	73	5.43	0.000	0.00	0.005	0.0000			



4.3 ENSAYO DE BOMBEO N° 3

Proyecto: Río Colorado						rado			
Cálculo	o del co	eficien	te de Per	meabilio	dad	Pozo: L1-P3 Diámetro: 110 H ₀ : 3,26 mbbp b.pozo: 0,50			
		•				Long. filtr	o: 6 <i>m</i>	Fecha: 06/0-	4/2008
vietodo	de Gil	g-Gava	ra ae niv	el varial	ole	Response	able: Grandi-	Eguen	
			Ρ	lanilla d	e datos y	cálculos			
t	t	Hi	h	h _i	h _m	h/ t.h _m	k	k media	Obs.
(min)	(min)	(m)	(m)	(m)	(m)	(min ⁻¹)	(m/día)	(m/día)	
0,25	0	0,45		2,81					
0,5	0,25	0,78	0,330	2,48	2,645	0,4991	6,467750		
1	0,5	1,40	0,620	1,86	2,170	0,5714	7,405714		
2	1	2,24	0,840	1,02	1,440	0,5833	7,560000		
3	1	2,74	0,500	0,52	0,770	0,6494	8,415584		
5	2	3,13	0,385	0,14	0,328	0,5878	7,617710		
7	2	3,18	0,055	0,08	0,108	0,2558	3,315349		
10	3	3,19	0,010	0,07	0,075	0,0444	0,576000		
15	5	3,19	0,000	0,07	0,070	0,0000	0,000000		
20	5	3,20	0,005	0,06	0,067	0,0148	0,192000	1 08	
30	10	3,20	0,000	0,06	0,065	0,0000	0,000000	1,50	
45	15	3,20	0,000	0,06	0,065	0,0000	0,000000		
60	15	3,20	0,000	0,06	0,065	0,0000	0,000000		
270	210	3,21	0,010	0,05	0,060	0,0008	0,010286		
944	674	3,23	0,020	0,03	0,045	0,0007	0,008546		



5 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA OBTENIDAS DE LAS PERFORACIONES

MAS AGUA

M.A.S. AGUA

INFC	DRME DE RESULTADOS
FECHA: 11/04/2008	PROTOCOLO NRO: 49072008
SOLICITADO POR: Jorge H	leck
DIRECCION: Los Alerces Nº 769 -	- Cipolletti – Río Negro
TIPO DE MUESTRA: AGUA E LUGAR DE EXTRACCION: L2P5	DE POZO
La muestr	a fue tomada por personal de la empresa que solicita el análisis
FECHA DE MUESTREO: 06/04 FECHA DE INICIO DE ANALISIS	/2008 S: 07/04/2008
ANALISIS FISI	COQUIMICOS
pH a 25°C	6,9
CONDUCTIVIDAD a 25° C	6.240 µS/ cm
ALCALINIDAD	250,0 mg / L
CARBONATOS	0,0 mg / L
BICARBONATOS	271,5 mg / L
CLORUROS	811,0 mg / L .
SULFATOS	2530,0 mg / L
SODIO	970,0 mg / L
POTASIO	16,0 mg / L
CALCIO	570,0 mg / L
MAGNESIO	109,4 mg / L
DUREZA TOTAL	1875,0 mg / L
R.A.S.	9,7 mEq / L
(+)	SIM
Stella Maris González	O. Ignacio/Rodriguez
Matrícula Nº 767	Matrícula Nº 768



			INFORM	E DE RES	ULTADO	S	
FEC	HA:	11/04/200	8	PRO	DTOCOLO	NRO:	49062008
SOL	ICITADO	POR:	Jorge Heck				
DIRE	ECCION: L	.os Alerce	s Nº 769 – Cipol	lletti – Río Neg	Iro		
TIPC LUG	DE MUE	STRA: TRACCIO	AGUA DE POZ N: L2P4	zo			
FEC FEC	HA DE M HA DE II	UESTREC	La muestra fue tor : 06/04/2008 ANALISIS:	mada por personal 07/04/2008	de la empresa	que solicita e	el análisis
		ANA	LISIS FISICOQU	IMICOS			
pH a	25°C			7,3			
CON	DUCTIVIDA	D a 25° C		10.220	µS/ cm		
ALCA	LINIDAD			230,0	mg / L		
CAR	BONATOS			0,0	mg / L		
BICA	RBONATO	S		249,7	mg / L		
CLOF	RUROS			1833,5	mg / L		
SULF	ATOS			3240,0	mg / L		
SODI	0			2150,0	mg / L		
POTA	ASIO			12,0	mg / L		
CALC	0			440,0	mg / L		
MAG	NESIO			91,1	mg / L		
DUR	ZA TOTAL			1475,0	mg / L		
R.A.S	5.			24,3	mEq / L		
		•					
(D				5/	·m/	
St	tella Maris (González			O. Ignac	cio Rodrígue	ez
	Lic. en Quín	nica			QL	uímico	
	Matrícula Nº	767			Matrícu	ula Nº 768	





INFC	RIVIE DE RESULTADUS				
FECHA: 11/04/2008	PROTOCOLO NRO: 49042008				
SOLICITADO POR: Jorge H	eck				
DIRECCION: Los Alerces Nº 769 -	Cipolletti – Río Negro				
TIPO DE MUESTRA: AGUA D LUGAR DE EXTRACCION: L2P1	E POZO				
La muestra FECHA DE MUESTREO: 06/04/3 FECHA DE INICIO DE ANALISIS	fue tomada por personal de la empresa que solicita el análisis 2008 : 07/04/2008				
ANALISIS FISIC	OQUIMICOS				
pH a 25°C	7.9				
CONDUCTIVIDAD a 25° C	1.820 µS/ cm				
ALCALINIDAD	300,0 mg / L				
CARBONATOS	0,0 mg / L				
BICARBONATOS	325,7 mg / L				
CLORUROS	112,8 mg / L				
SULFATOS	650,0 mg / L				
SODIO	430,0 mg / L				
POTASIO	0,4 mg / L				
CALCIO	48,0 mg / L				
MAGNESIO	10,9 mg / L				
DUREZA TOTAL	165,0 mg / L				
R.A.S.	14,6 mEq / L				
•					
	5M				
Stella Maris González	O. Ignacio Rodríguez				
Lic. en Química	Químico				
Mateinula NI 707	Matrícula Nº 769				



INFORME	E DE RESULTADOS
FECHA: 11/04/2008	PROTOCOLO NRO: 49032008
SOLICITADO POR: Jorge Heck	
DIRECCION: Los Alerces Nº 769 - Cipol	letti – Río Negro
TIPO DE MUESTRA: AGUA DE POZ LUGAR DE EXTRACCION: L1P4	20
	nada por personal de la empresa que solicita el análisis
FECHA DE INICIO DE ANALISIS:	07/04/2008
ANALISIS FISICOOLI	MICOS
ANALISIS I ISIOGGO	
	7,3
	200 0 mg ()
CARBONATOS	0.0 mg / L
BICARBONATOS	217.2 mg/L
CLOBUROS	387.9 mg / L
SULFATOS	2135.0 mg / L
SODIO	660.0 mg / L
POTASIO	12,0 mg / L
CALCIO	490,0 mg / L
MAGNESIO	66,8 mg / L
DUREZA TOTAL	1500,0 mg / L
R.A.S.	7,4 mEq / L
•	
	TIM
Stella Maris González	U. Ignacio Rodriguez
Matrícula Nº 767	Matrícula Nº 768



INFORME	DE RESULTADOS
FECHA: 11/04/2008	PROTOCOLO NRO: 49022008
SOLICITADO POR: Jorge Heck	
DIRECCION: Los Alerces Nº 769 – Cipolle	utti – Río Negro
·	
TIPO DE MUESTRA: AGUA DE POZO LUGAR DE EXTRACCION: L1P3)
La muestra fue toma FECHA DE MUESTREO: 06/04/2008	da por personal de la empresa que solicita el análisis
FECHA DE INICIO DE ANALISIS:	07/04/2008
ANALISIS FISICOQUIN	licos
pH a 25⁰C	7,5
CONDUCTIVIDAD a 25° C	5.400 µS/ cm
ALCALINIDAD	180,0 mg / L
CARBONATOS	0,0 mg / L
BICARBONATOS	195,4 mg / L
CLORUROS	705,2 mg / L
SULFATOS	1775,0 mg / L
SODIO	819,0 mg / L
POTASIO	16,0 mg / L
MACNESIO	420,0 mg / L
	1200.0 mg / L
BAS	10.3 mEg / l
N.A.O.	10,0 mEq / E
•	
$\sim \bigcirc$	
(H	TIM
Stella Maris González	O. Ignació Rodríguez
Lic. en Química Matrícula Nº 767	Matrícula Nº 768
Matrícula Nº 767	Matrícula Nº 768



INF	ORME DE RESULTADOS
FECHA: 11/04/2008	PROTOCOLO NRO: 49012008
SOLICITADO POR: Jorge H	leck
DIRECCION: Los Alerces Nº 769	– Cipolletti – Río Negro
TIPO DE MUESTRA: AGUA I LUGAR DE EXTRACCION: L1P2	DE POZO
La muest FECHA DE MUESTREO: 06/04 FECHA DE INICIO DE ANALISI	ra fue tomada-por personal de la empresa que solicita el análisis /2008 S: 07/04/2008
ANALISIS FISI	COQUIMICOS
pH a 25℃	7.3
CONDUCTIVIDAD a 25° C	5.420 µS/ cm
ALCALINIDAD	150,0 mg / L
CARBONATOS	0,0 mg / L
BICARBONATOS	162,9 mg / L
CLORUROS	775,7 mg / L
SULFATOS	1650,0 mg / L
SODIO	860,0 mg / L
POTASIO	4,0 mg / L
CALCIO	260,0 mg / L
MAGNESIO	103,3 mg / L
DUREZA TOTAL	1075,0 mg / L
R.A.S.	11,4 mEq / L
•	
	TIM
Stella Maris González	O. Ignacio Rodríguez
Lic. en Química	Químico
Matrícula Nº 767	Matrícula Nº 768

5.5 HIDROGEOLOGÍA

5.5.1 Objetivos

El principal objetivo de los trabajos encomendados, fue el reconocimiento de las características litológicas, de las principales unidades hidrogeológicas e hidrolitológicas en el subsuelo del sector de estudio, complementando los antecedentes del área a través de nueva información generada ex profeso, permitiendo así interpretar la composición y el funcionamiento del sistema hidrogeológico.

Para ello se ejecutaron ocho perforaciones de distintas profundidades, durante las cuales y como objetivo particular, se hizo hincapié en el reconocimiento de un nivel denominado "hidroapoyo" constituido presuntamente por tosca con un desarrollo areal importante y una ubicación relativamente somera.

La información resultante no solo tiene objeto en la caracterización sino también en el seguimiento de la evolución del recurso subterráneo, tanto desde el punto de vista hidrodinámico como hidroquímico, posterior al cese del riego intensivo sobre las áreas en estudio.

5.5.2 Metodología

5.5.2.1 Construcción Pozos de Monitoreo

En el sector de la colonia La Margarita, se realizaron ocho perforaciones dispuestas según dos secciones transversales al valle distantes 10 kilómetros entre sí.

Las ubicaciones de las mismas, como puede observarse en la Figura Nº 1 mostrada en el Anexo – Hidrogeología, fueron asignadas de modo tal que se asegure la obtención de información primaria de los diferentes niveles aterrazados. Esta ubicación fue propuesta por el Ing. Agr. Carlos Degele y la Lic. En Cs. Geológicas Patricia Rossi, ambos integrantes del plantel profesional del Departamento Provincial de Aguas, a partir del conocimiento detallado que poseen del área desde la situación previa al inicio del riego en la colonia La Margarita, en virtud de lo cual dicha ubicación fue aceptada por los especialistas en Hidrogeología del equipo consultor.

En todos los casos las perforaciones fueron ejecutadas por el sistema Rotary con inyección directa, utilizándose agua limpia, sin aditivos. Se extrajeron muestras de los terrenos atravesados metro a metro, con cuya calificación macroscópica fueron elaborados los correspondientes perfiles litológicos.

El diámetro de perforación fue 6" (seis pulgadas) y se entubaron con cañería de PVC reforzado de diámetro 110 milímetros y espesor de pared de 3,2 milímetros, provista de una zona filtrante ranurada con sierra mecánica (abertura 1 milímetro) y tapón-depósito de fondo. En el espacio anular existente entre la cañería y la pared del pozo, se instaló un prefiltro de grava seleccionada.

Los datos constructivos de cada pozo y su descripción litológica se presentan como Anexo Hidrogeología del presente informe. Las perforaciones quedaron funcionando como "freatímetros", dado que cuentan con el correspondiente tapón y se construyó un cabezal de hormigón para darle estabilidad. En el Anexo Fotográfico puede verse uno de los freatímetros.

5.5.2.2 Censo de Perforaciones

Las tareas en campo incluyeron un censo para medición de los pozos de abastecimiento (molinos) y perforaciones de interés, ubicados en el área y en las inmediaciones de las perforaciones ejecutadas para el presente estudio, abarcando una franja de terreno cuyas dimensiones aproximadas son 3 Kilómetros de ancho y 10 Kilómetros de largo, en una superficie del orden de 3.000 hectáreas.

Escasa fue la información obtenida, ya que los pozos someros utilizados en los monitoreos de profundidad del nivel freático por el DPA se encontraban en su totalidad secos, sin rastros de la presencia de agua en su interior, mientras que se reconocieron solo dos puntos de agua de uso particular (molinos). Ver Tabla N° 5.1 a continuación.

Nº Pozo	Coordenadas Gauss-Kruger		Cota pozo	Profundidad del Nivel Estático	Cota del Nivel Estático	Temperatura	Conductividad Eléctrica	pH
	X	Y	[msnm]	[mbbp]	[msnm]	[°C]	[µS/cm]	
L1-P1	5.682.885	3.658.518	94,569	sin agua	sin agua	sin agua	sin agua	sin agua
L1-P2	5.683.519	3.658.887	86,000	6,875	79,125	21,0	5610	7,55
L1-P3	5.683.991	3.659.145	80,994	3,240	77,754	20,7	5500	7,66
L1-P4	5.685.205	3.659.837	80,134	3,020	77,114	21,5	3075	7,50
L2-P1	5.675.914	3.667.572	89,095	5,445	83,650	20,3	1925	8,20
L2-P3	5.676.593	3.667.575	82,720	6,320	76,400	20,2	10.620	7,45
L2-P4	5.677.338	3.667.663	75,968	3,145	72,823	25,3	10.500	7,54
L2-P5	5.678.282	3.667.516	75,526	2,300	73,226	19,1	6380	7,11
Molino L1 MA	5.683.435	3.658.901		5,84		20	6000	
Molino L2 MA	5.676.078	3667564		5,00		19,5		
Canal Principal						21,7	1060	8,56
Canal Secundario						22,1	1019	8,62

Tabla Nº 5.1 – Datos obtenidos durante el relevamiento de campo

Referencias:

[msnm] : metros sobre el nivel del mar.

[mbbp] : metros bajo boca de pozo.

 $[\mu S/cm]$: micro Siemens por centímetro.

La información adquirida durante el relevamiento de campo, detallada en los párrafos precedentes, incluye la medición de profundidad de los niveles del agua (estáticos), determinaciones "in situ" de conductividad eléctrica, pH y temperatura, encontrándose los resultados de dicho relevamiento en la Tabla N° 5.1.

5.5.2.3 Nivelación y Red de Flujo

Con la finalidad de inferir la red de flujo subterráneo del área de estudio a partir de la información obtenida y de los antecedentes, se procedió a nivelar las bocas de pozo de los freatímetros construidos, mediante la utilización de los puntos auxiliares de campo (mojones acotados) ubicados próximos a cada pozo y que fueran colocados como parte del presente trabajo. Los trabajos se realizaron con la utilización de un nivel TOPCON de 22 aumentos y los resultados de dicha nivelación se anexan en la Tabla N° 5.1 expuesta precedentemente.

5.5.2.4 Ensayos Hidráulicos

Durante las tareas de campo se realizó el bombeo de todos los pozos construidos ex profeso con la doble finalidad de obtener muestras de agua representativas del acuífero y testear la productividad de los mismos para evaluar los métodos de ensayos de campo más aptos a aplicar en cada sitio, considerando principalmente la posibilidad de ejecutar ensayos de bombeo a caudal constante.

Los resultados obtenidos demostraron que la mayoría de los pozos construidos no presentan condiciones hidráulicas para el bombeo permanente durante un lapso prolongado, y por ello se procedió a la selección del pozo L2-P3 para la ejecución de una prueba de bombeo y a los pozos L1-P3 y L2-P1 para la realización de ensayos de recarga.

Si bien los últimos ensayos citados tienen ciertas limitaciones de precisión y representatividad, se consideró oportuna su ejecución a fines de obtener un orden de magnitud de la permeabilidad del subsuelo en el área, a cuenta de la escasa información antecedente de esta variable.

5.5.2.5 Toma de Muestras y Resultados Analíticos

Las características fisicoquímicas del agua del acuífero de interés, fueron obtenidas a través de los análisis químicos provenientes de siete muestras correspondientes a cada uno de los freatímetros construidos para el presente estudio, a excepción de uno que no presentó agua en su interior.

Las mismas fueron colectadas siguiendo los lineamientos de la Norma ASTM D 4448 – 85a (Reapproved 1992) Guía Standard para el muestreo de agua subterránea.

Las muestras fueron conservadas y remitidas al laboratorio M.A.S. AGUA de la localidad de General Roca, Provincia Río Negro, donde se efectuaron análisis de los componentes físico – químicos básicos como pH, conductividad, alcalinidad, dureza, R.A.S. y elementos mayoritarios ($CO_3^=$, HCO_3^- , $SO_4^=$, CI^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}).

Los resultados de los análisis se presentan en los protocolos analíticos que se incluyen en el Anexo Hidrogeología.

La interpretación de los resultados se realizó mediante la utilización de los diagramas específicos de Piper y Schoeller-Berkaloff, donde se volcaron los resultados analíticos obtenidos.

Desde el punto de vista de la calidad de agua se calificó a la misma en su aptitud para riego mediante el uso de la Clasificación de la U.S. Salinity Laboratoy Staff (1954), que conjuga el valor del índice RAS (relación de absorción de sodio) y el coeficiente salino.

5.5.3 Geología - Geomorfología

Existen diferentes aportes, que han sido orientados a estudios diversos o bien son de carácter muy general, que dan un marco importante para llegar a un esbozo de la geología y geomorfología de la región.

Laya et. al. (1975) desarrolla, en el relevamiento semidetallado de suelos de la región, una estratigrafía tentativa en la que se describen los materiales que dan origen a los mismos y señala la existencia de una serie de terrazas fluviales (cinco) reconociendo diferentes "dominios" según la litología dominante en la subsuperficie: el dominio de la arena en las terrazas superiores y del limo en las más recientes. Dichas terrazas se interconectan a través de zonas con pendientes que tienen muy buena expresión topográfica.

Desde el punto de vista geomorfológico el sector bajo estudio se caracteriza por la presencia del río Colorado, de carácter meandroso, recostado sobre la margen norte generando un perfil transversal asimétrico. El ancho del valle no se condice con los agentes que hoy modelan el mismo, poniéndose de relieve el posible control estructural y condiciones paleoclimáticas más rigurosas que han forjado la morfología actual.

Sobre las terrazas fluviales se reconocen geoformas como meandros abandonados, médanos y albardones que alcanzan su mayor expresión en las terrazas inferiores (cuarta y quinta). La acción del viento en los niveles topográficos más elevados ha eliminado probablemente a las mismas y ha generado depósitos que obliteran los relieves negativos.

El estudio de impacto ambiental realizado por la Universidad Nacional del Sur para la Colonia La Margarita en el año 2004 toma como base a Laya 1975. Este estudio describe los perfiles someros de las terrazas asignando edades, pleistocenas a las primeras (terrazas 1 y 2) y holocenas a las restantes.

En el mismo estudio se reconoce como sustrato geológico, donde se labró el valle, a la Formación Río Negro de edad pliocena compuesta por areniscas con intercalaciones de arcillas, citándose como un perfil litológico base un pozo exploratorio de aguas subterráneas realizado a pocos kilómetros del área, pero sobre la margen izquierda del río Colorado en la Provincia de La Pampa.

El relleno del valle según Fidalgo y Rabassa (1984) se compone de depósitos aterrazados fluviales y fluvioglaciales de edad cuaternaria. Al respecto de las terrazas más antiguas hacen mención a niveles de sedimentos cementados con carbonato de calcio especialmente en su parte superior que dan lugar a la formación de una capa de variada continuidad lateral muy compacta y de baja permeabilidad.

En general las terrazas, en especial las más antiguas, se encuentran cubiertas por arenas finas eólicas holocenas que por su composición, se aduce, tienen origen en la erosión de las areniscas de la Formación Río Negro (Fm Río Negro).

5.5.3.1 Descripción de los Perfiles Litológicos

Las descripciones megascópicas del material extraído se realizó en forma continua confeccionándose posteriormente un perfil litológico para cada pozo, los que se presentan en el Anexo Hidrogeología.

5.5.3.1.1 Sección Transversal L1

Perforación L1-P1

El perfil litológico reconoce, desde la superficie hasta el primer metro, arenas finas con niveles de tosca bien definidos a las que les siguen gravas con carbonatos en forma de pátinas.

Por debajo y a partir de los 3,00 metros de profundidad, subyace una arenisca de poco espesor cementada con carbonatos (espesor 1,00 metro). Desde aquí hasta el final del perfil continúa con gravas castaño oscuro y niveles de arena cementada.

Perforación L1-P2

Se trata de una secuencia sencilla que comienza con arenas finas a medianas hasta los 2,00 metros de profundidad, que continúan con areniscas pertenecientes a la Formación Río Negro. La perforación prosiguió hasta los 9,00 metros, observándose la aparición de intercalaciones de arcillitas en los últimos dos metros.

Perforación L1-P3

El perfil se encuentra dominado por arenas de granulometría variable, con intercalación de niveles gravosos sin demasiada potencia. Hacia los 6,00 metros de profundidad se evidenció un nivel de arcillas pardas de mediana plasticidad con espesor cercano a los 60 centímetros.

Por debajo de los 6,00 metros se reconoce una arenisca compacta, de grano mediano a fino de coloración castaña, asimilable al denominado "fondo de valle" (Fm Río Negro) que se extiende en forma homogénea hasta los 12,00 metros. Prosiguen algunas intercalaciones de grava subordinada. Desde la citada profundidad hasta el final de la perforación (20,00 metros) se intercalan arcillitas de espesor reducido.

Perforación L1-P4

El perfil comienza en superficie con sedimentos de granulometrías finas, representados por sedimentos arcillosos y limosos, los que subordinadamente presentan arcillas limo-arenosas que llegan a algo más de 2,00 metros de profundidad, a partir de la cual se reconocen una serie de intercalaciones de arenas y gravas hasta los 15,00 metros de profundidad.

Las arenas poseen coloración castaña oscura y se disponen en forma suelta sin evidenciarse la presencia de matriz fina o cemento intersticial, mientras que los niveles gravosos disminuyen de tamaño en profundidad desde 2-3 centímetros de diámetro en los más someros, llegando a 1 centímetros en los más profundos.

Por debajo de los 15,00 metros comienzan a aparecer niveles de arcillas no muy potentes, intercalados entre las gravas.

A partir de los 18,00 metros se reconoce una arenisca que representa el "fondo de valle" hasta la profundidad final de la perforación (19,80 metros).

5.5.3.1 Sección Transversal L2

Perforación L2-P1

El perfil se inicia con arenas medianas de coloración castaña que continúan hasta los 8,00 metros de profundidad. Entre los 2,00 y 3,00 metros de profundidad se reconoce la presencia de material calcáreo (tosca) en forma de concreciones, mientras que entre los 4,00 y 5,00 metros se observa un nivel de tosca importante asociado a gravas con individuos de hasta 1 centímetro de diámetro.

La secuencia continua con gravas que presentan intercalaciones de arenas hasta los 11,00 metros profundidad y desde allí empiezan a dominar sedimentos finos de fracciones limosas y arcillosas que en profundidad gradan a arenas limosas y arenas (últimos 2,00 metros de la perforación). La profundidad final del pozo fue 15,00 metros.

Perforación L2-P3

El perfil reconocido se compone por arenas castaño claras de grano medio a fino en casi toda su extensión. Hasta los 2,00 metros de profundidad presenta intercalaciones de arcillas de poca importancia (escasos centímetros).

En niveles someros (hasta los 4,00 metros) aparece tosca en forma de nódulos y concreciones, que se continúan en el resto del perfil pero en menor proporción.

Entre los 5,00 y 6,00 metros se encuentra una arena bien seleccionada, castaño oscuro de probable origen eólico. Por debajo de estas reaparecen arenas castaño claras con gravas intercaladas (clastos de hasta 3 milímetros de diámetro) llegando a los 15,00 metros. Luego siguen sedimentos finos (limo) con distinta participación de arenas finalizando la perforación en arcillas limosas hasta una profundidad de 19,00 metros.

Perforación L2-P4:

En los niveles someros del perfil dominan los limos castaños claros con alguna participación de arenas y arcillas. Desde el metro y hasta los 3,00 de profundidad se reconocen arenas limosas con grava subordinada que se apoyan en una sucesión de limos con arenas finas y arcillas subordinadas de 4,00 metros de espesor.

A partir de los 7,00 metros de profundidad existe predominio de sedimentos finos en una alternancia de limos y arcillas que llegan hasta los 12,00 metros, continuando un nivel de gravas con clastos de hasta 6 milímetros de diámetro. Es de notar las características plásticas de la arcilla ubicada entre los 9,00 y 10,00 metros.

Perforación L2-P5

Desde superficie hasta los 5,00 metros de profundidad se reconoce una sucesión de arenas castañas con limos en su parte superior y gravas finas. Continua un nivel de grava arenosa de aproximadamente un metro de espesor.

Los sedimentos finos gobiernan el resto del perfil presentando desde los 6,00 y hasta los 13,80 metros, limos arenosos con arcillas intercaladas que se hacen más compactas en profundidad. Continúan arcillas limosas con un espesor mínimo de 1,00 metro.

5.5.4. Caracterización Hidrogeológica

Tomando en base la geología descripta en el punto 5.5.3 y el comportamiento de los sedimentos respecto a su capacidad de recibir, almacenar y transmitir el agua, es posible reconocer un único sistema acuífero de tipo multicapa con características fundamentalmente libres e importante heterogeneidad horizontal y vertical.

Los sedimentos de la Fm Río Negro y sus suprayacentes albergan al acuífero freático, sin encontrarse en los antecedentes ni en las perforaciones realizadas evidencias de sedimentos o rocas que en sentido regional permitan definir la base o hidroapoyo del sistema hidrogeológico reconocido.

La marcada heterogeneidad de los sedimentos que conforman el área de estudio, permite distinguir localmente materiales de escasa permeabilidad, como arcillas o materiales mas gruesos fuertemente cementados, aunque por las evidencias directas e indirectas (prospección geoeléctrica y mediante georradar) no se reconoce una continuidad areal.

La existencia de estos sedimentos, como ya fuera reconocido en el informe del Estudio de Impacto Ambiental de la Universidad Nacional del Sur (año 2004), podría generar la presencia de niveles acuíferos "colgados" vinculados directamente a la magnitud de la recarga por infiltración, que por las evidencias reconocidas durante el presente trabajo tendrían variado desarrollo areal.

La profundidad del agua reconocida en las perforaciones realizadas fluctúa entre valores mayores a 5,00 metros bajo el nivel del terreno en las terrazas superiores (L1-P1, L1-P2, L2-P1 y L2-P3) y entre 1,90 y 3,00 metros en la terraza 3 y valle actual del río Colorado (L1-P3, L1-P4, L2-P4 y L2-P5). Dichos valores pueden observarse en la Tabla N° 5.1 incluida en el punto N° 5.5.2.2

De acuerdo a los antecedentes del área, en los que se destaca el seguimiento del nivel freático realizado por el DPA durante el período 2000 - 2006, pueden reconocerse marcadas diferencias en la evolución de la profundidad del nivel de agua entre ambos sectores de estudio.

En el sector de la línea 1 (aguas arriba) la profundización de los niveles de agua entre el año 2004 y 2008 fluctuó entre 1,00 y 2,00 metros, correspondiendo los valores más bajos a las áreas de menor cota topográfica.

En la línea 2 los cambios han sido más importantes, observándose descensos del nivel de agua en los sectores más altos entre 3,00 y 4,00 metros, mientras que en las posiciones más bajas el comportamiento fue similar al de la línea 1.

5.5.5. Parámetros Hidrogeológicos

5.5.5.1 Ensayos de Bombeo

El ensayo de bombeo en el pozo L2-P3 se realizó mediante la extracción de agua en forma constante durante el lapso de 9 horas, conjuntamente con la medición continua de los descensos del nivel de agua en el propio pozo y luego de finalizado el mismo, se midió la recuperación del nivel de agua hasta su posición original (previa al inicio del bombeo).

Dada la gran distancia entre el pozo de bombeo y los pozos más cercanos, no pudo utilizarse ninguno de ellos como pozo de observación y por ello la interpretación del ensayo se realizó mediante los métodos de descarga constante y no-equilibrio, particularmente la metodología de recuperación de Theis (recuperación residual), basada en el método de Theis que utiliza la siguiente expresión:

$$T = \frac{0,183 * Q * \log\left(\frac{t}{t'}\right)}{\Delta s'}$$

donde:

Q : Caudal de bombeo, constante [m ³ /d]	
<i>t</i> : Tiempo desde el inicio del bombeo [min]	
t' : Tiempo desde el cese del bombeo [min]	
$\Delta s'$: Intervalo de recuperación para un ciclo logarítmico	o de t/t´

En el Anexo Hidrogeología, en el punto referido a ensayos de bombeo se presentan las planillas de medición y la resolución gráfica del método.

Los resultados obtenidos mediante esta metodología demuestran la presencia de un acuífero de alta permeabilidad con valores Trasmisividad (*T*) de 600 m²/día y Permeabilidad (K) de 60 m/día.

5.5.5.2 Ensayos de inyección de agua

Para la evaluación de aquellos sectores donde la escasa entrada de agua a los pozos no permitió desarrollar pruebas de bombeo, se efectuaron ensayos de recarga mediante la adición de agua.

En este sentido, se realizaron 2 pruebas de acuífero en los pozos L1-P3 y L2-P1 mediante la metodología de Gilg-Gavard en la modalidad de carga variable, aplicable a la zona saturada y basado en la expresión:

$$K = \frac{1,308 * d^2 * \Delta h}{A * h_m * \Delta t}$$

donde:

Κ	:	Coeficiente de Permeabilidad [cm/seg].
Α	:	Coeficiente que depende de la longitud filtrante y el diámetro.
∆h	:	Variación del nivel durante el intervalo de ensayo ∆t [m].
h_m	:	Nivel medio durante el intervalo Δt [m].

El método se basa en introducir, a través del pozo de diámetro ϕ y tramo filtrante de longitud λ , un volumen de agua hasta alcanzar un nivel máximo y posteriormente medir los descensos del nivel de agua hasta alcanzar el nivel estático original. Normalmente el valor de permeabilidad resulta algo inferior al que puede obtenerse por los métodos de ensayos de bombeo, cuando estos pueden practicarse.

Los valores de permeabilidad alcanzados, cuya resolución analítica y gráfica se presenta en el Anexo Hidrogeología (en el punto referido a ensayos de bombeo), son bajos respecto a los obtenidos en el ensayo de bombeo del pozo L2-P3 fluctuando entre un máximo de 2,6 m/día en el pozo L2-P1 y un mínimo de 1,98 m/día en el pozo L1-P3.

Para el cálculo de la permeabilidad en cada ensayo se utilizaron los descensos del nivel de agua a partir de la entrada en régimen de los mismos, alcanzada en los primeros minutos. Los descensos descartados corresponden al volumen de agua perdido por relleno de espacios abiertos sin saturar y por consiguiente no son representativos de la permeabilidad del acuífero.

5.5.6. Hidrodinámica subterránea

La escasa cantidad de puntos de observación del nivel de agua en el área de estudio, el distanciamiento entre ellos y la complejidad de canales y drenes superficiales (relación agua superficial – subterránea), no permiten la elaboración de un mapa equipotencial capaz de establecer el comportamiento del acuífero freático y su vinculación con las aguas superficiales.

Igualmente es posible delinear ciertos comportamientos basados no solo en la interpretación de las cotas de agua obtenidas en los pozos, sino también en los antecedentes del área y en las relaciones hidroquímicas obtenidas de las muestras de agua de los pozos.

En la Figura N° 5.1 del Anexo Hidrogeología se representan las cotas del nivel de agua en situación estática de cada uno de los pozos y puede observarse que, en ambas líneas de investigación existe una disminución de los potenciales hidráulicos desde el sector del canal principal hacia los sectores más bajos, exceptuándose el pozo L2-P5 que si bien tiene una posición topográfica más baja, desde el punto de vista de la cota del agua tiene mayor potencial hidráulico que el pozo L2-P4.

Este comportamiento coincide con un aumento de la conductividad eléctrica del agua y de la relación Cl⁻/HCO₃⁻ (ver detalle ítem Hidroquímica), hecho que refuerza la hipótesis del comportamiento influente de los canales superficiales y del Río Colorado, fuentes principales de recarga actual del acuífero freático. Esta situación se presenta en la Figura N° 2 del Anexo Hidrogeología.

A partir de estos datos, sumados a los antecedentes hidrodinámicos del área, puede definirse un sentido regional de escurrimiento subterráneo NW – SE, con direcciones localmente variables relacionadas a la influencia de los cursos superficiales sobre el régimen subterráneo.

Es imprescindible destacar que para alcanzar un conocimiento detallado de la dinámica subterránea y su relación con el sistema superficial (río, canales y colectores) deberá ampliarse la red de monitoreo subterráneo mediante la construcción de freatímetros o pozos de monitoreo en el área comprendida entre las dos líneas de investigación como así también en los sectores intermedios entre cursos de agua superficial.

5.5.7. Hidroquímica

Con la información antecedente proveniente de análisis químicos de agua efectuados en el área de estudio (Agua y Energía Eléctrica - DPA, específicamente los muestreos de pozos particulares, agua superficial y subsuperficial realizados en Julio/Agosto de 2003) y la resultante de los análisis químicos realizados ad-hoc en las muestras colectadas sobre los pozos de monitoreo construidos durante la campaña del año 2008, se interpretan en este ítem las características hidroquímicas para el área de estudio.

5.5.7.1. Comportamiento iónico

De los antecedente químicos del agua subterránea (previo al inicio de la irrigación intensiva en el área de estudio) lograron interpretarse los datos contenidos en el informe "Proyecto de la red de riego para la zona de Río Colorado y Eugenio del Busto", Agua y Energía Eléctrica, año 1962, correspondientes a muestras de cuatro pozos que captan agua subterránea dentro del área de influencia del proyecto.

Los resultados analíticos antecedentes, presentados en los diagramas de Piper y Schoeller-Berkaloff (ver las Figuras N° 3 y 4 y protocolo analítico correspondiente en el Anexo Hidrogeología) denotan la presencia de aguas cloruradas sódicas y cálcicas con el anión sulfato como secundario y valores de conductividad eléctrica entre 1.700 y 8.000 μ S/cm.

Por su parte, de los antecedentes hidroquímicos facilitados por el DPA, representativos de las características químicas del agua subterránea y superficial afectadas por el proceso de riego intensivo desarrollado en el área, se destacan las muestras extraídas en el año 2003 en los pozos particulares de las Colonias Julia y Echarren, Reig y La Margarita.

Dichos análisis muestran aguas de elevada conductividad eléctrica (CE) que fluctúa entre 2.500 y 14.500 μ S/cm, con valores predominantes entre 3.000 y 4.000 μ S/cm. De un total de 28 muestras seleccionadas, solo 6 presentan valores de CE por debajo de 2.000 μ S/cm y de acuerdo a los planos de ubicación de los sitios muestreados, todas corresponden a pozos cercanos al Canal Sud (muestras 2, 15, 16 y 38) y Canal Secundario I-d (muestras 25 y 28). Durante la misma campaña de monitoreo, se extrajeron muestras sobre el agua superficial y subsuperficial, seleccionándose para el presente análisis las correspondientes al Río (agua de riego), agua superficial (S4) y agua subsuperficial (muestra: Drenaje). En estos puntos la CE mostró valores por debajo de 1.000 μ S/cm en el agua de riego, mientras que el agua superficial y subsuperficial proveniente de drenajes alcanzaron valores de 20.000 y 13.500 μ S/cm respectivamente. Con los datos analíticos correspondientes a la información antecedente (se anexa cuadro resumen en Anexo Hidrogeología), se elaboraron los diagramas hidroquímicos por los sistemas de representación de Piper y Schoeller-Berkaloff (Figuras N° 5 a 12 del Anexo Hidrogeología).

En las Figuras N° 5 y 6 se presentan los diagramas de Piper para los puntos de muestreo de la colonia Julia y Echarren, que indican la presencia de aguas Cloruradas Cálcicas con algunas diferencias respecto a los aniones y cationes secundarios, mostrando predominio del sulfato y calcio respectivamente.

Difieren de este comportamiento general, las muestras de agua de menor conductividad (15, 16 y 38) con predominio del catión sodio sobre el calcio, que se clasifican como del tipo Cloruradas Sódicas.

Las muestras de agua de los pozos de la colonia Reig presentan comportamientos más dispares, reconociéndose aguas con dominio del anión cloruro del tipo cálcico (29 y 30), sódico (28) y sódicocálcico (25 y 33) y otras con dominio del anión sulfato (cloruro como secundario) del tipo cálcica (32) y sódica (24).

La diferenciación de contenidos iónicos en el agua subterránea de este sector, queda claramente evidenciada en el diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura N° 10), en el que se demuestra la ausencia de un comportamiento homogéneo vinculado a un mismo origen y enriquecimiento de sales.

El muestreo de pozos de la colonia La Margarita, se realizó en conjunto con los muestreos de agua superficial y subsuperficial, y los mismos se incluyeron en los diagramas elaborados.

Como puede observarse en la Figura Nº 11 el comportamiento general en las muestras de agua subterránea para los pozos relevados M5, M6 y M9, mantiene las características evidenciadas en los pozos de la colonia Julia y Echarren, según un tipo clorurado cálcico con conductividad eléctrica media a alta, coincidente desde ese punto de vista con el agua del río que aunque de menor contenido iónico (Figura Nº 12) se encuadra dentro del mismo tipo de familia composicional.

Las muestras de agua superficial y subsuperficial denominadas S4 y Drenaje, se diferencian claramente del tipo iónico anterior, denotando un enriquecimiento en el catión Na⁺ por sobre el Ca⁺⁺, siendo cloruradas sódicas con el sulfato y bicarbonato como aniones secundarios respectivamente.

Surge entonces como corolario de lo hasta aquí analizado, que las aguas subterráneas halladas en el sitio de estudio en el año 2003, bajo condiciones de riego permanente en el ámbito de las tres colonias, se caracterizan por presentar media a alta conductividad y pertenecer al tipo **Cloruradas Cálcicas**, pudiendo variar localmente en la predominancia de los aniones y cationes como el sulfato y el sodio.

En contraste con las características anteriormente descriptas, tanto en los antecedentes de Agua y Energía Eléctrica y DPA, los resultados obtenidos en los análisis químicos de las muestras de agua de los pozos de monitoreo realizados ad-hoc para el presente estudio, demuestran una evolución significativa desde el punto de vista químico en el agua subterránea de las tres colonias.

Las muestras extraídas en el año 2008 presentan valores de CE entre 4.300 y 5.400 μ S/cm en la línea de pozos L1 (Colonias Reig y La Margarita) mientras que el área representada por la línea de pozos L2 (Colonias Julia y Echarren y La Margarita) denotan valores más disímiles que fluctúan entre 1.850 y 10.400 μ S/cm, como se representa en la Figura N° 15 (Mapa de CE y Relaciones Iónicas).

En relación al contenido iónico, todas las aguas analizadas tienen predominancia de los iones sulfato y sodio, encuadrándose dentro de un mismo grupo composicional de tipo **Sulfatado Sódico** con el cloruro y el calcio como iones secundarios.

La única excepción, correspondiente a la muestra del pozo L2-P1 en la cual el bicarbonato se presenta como anión secundario. Dicho comportamiento se presenta claramente en los diagramas de Piper y Schoeller-Berkaloff representados en las Figuras N° 13 y 14.

Es importante destacar la clara evolución química que han sufrido las aguas subterráneas, en relación a la diferencia composicional observada en los antecedentes del área (previa y durante el proceso de riego intensivo) y la obtenida en los muestreos actuales.

Dicho cambio queda confirmado al observar la variación del índice de cambio de bases (icb) que con valores positivos entre 0,18 y 0,52 en las muestras anteriores al inicio del riego y entre 0,05 y 0,94 en las muestras pertenecientes al DPA varían a valores negativos de - 0,29 a -4,89 en las muestras obtenidas en los pozos de monitoreo del presente estudio, representando una tendencia actual del agua a los procesos de ablandamiento, que explica en parte los contenidos en sodio reconocidos, producto del intercambio con el terreno.

Si bien el análisis e interpretación de las características químicas del agua ha sido exhaustivo, no es posible con los datos existentes encontrar las causas potenciales de la evolución hidroquímica observada, requiriendo para ello un muestreo más intenso de los sistemas subterráneo y superficial, de modo que sea posible caracterizar representativamente la situación actual, avanzando en un análisis sistemático a futuro.

Igualmente, se señala que la aplicación del riego en forma intensiva sobre el área, ha generado una serie de intercambios agua - suelo, que condicionaron y generaron parte de las variaciones químicas actualmente reconocidas, una vez cesada el empleo de los mismos.

5.5.7.2. Representaciones hidroquímicas en planta

La distancia existente entre las líneas de ejecución de pozos de monitoreo (10 kilómetros) y la ausencia de puntos de apoyo intermedios (pozos particulares, molinos, etc.) no han permitido la elaboración de mapas hidroquímicos del área de estudio.

En su defecto y con la finalidad de observar variaciones en dos dimensiones, se utilizó la representación en planta de los datos químicos más significativos, seleccionando por su claridad y valor diagnóstico, a la conductividad eléctrica y la relación iónica Cl⁻/HCO₃⁻, tal como se presenta en la Figura N° 2 Anexo Hidrogeología.

Como puede observarse, el primero de los parámetros (CE) en los pozos de la línea 1 presenta valores arealmente homogéneos, que decrecen levemente en el sector del actual valle del Río Colorado (L1-P4). Los pozos de la línea 2 tienen comportamientos más disímiles con valores por debajo de 2.000 μ S/cm en el pozo L2-P1 que aumentan hacia los sectores más bajos hasta superar los 10.000 μ S/cm en los pozos L2-P3 y L2-P4. Al igual que en la línea 1, el pozo ubicado en la terraza actual de río, L2-P5, presenta un valor alto pero considerablemente mas bajo que los de los pozos medios.

En cuanto a la conductividad eléctrica de ambas líneas de pozos se destaca un aumento en dirección aguas abajo, aunque es probable que los valores obtenidos reflejen mayormente condiciones locales que de tipo regional, como son la influencia del río Colorado y del sistema de conducción de agua superficial (canales y colectores) sobre el régimen subterráneo, observable claramente en la línea 2 donde la CE aumenta considerablemente desde el pozo L2-P1, ubicado al lado del canal principal, hacia los sectores más bajos de las terrazas medias.

Acompaña esta interpretación el comportamiento de los valores de <u>isorelación rCl⁻/CO₃H⁻</u>, que muestran una evolución desde los sectores de cotas hidráulicas mas altas hacia las más bajas (claro ejemplo en la línea 2), con valores que fluctúan entre 0,60 y 12,64, que reafirman las condiciones normales de aumento de la relación en el sentido del flujo subterráneo.

Es importante destacar que si bien la densidad de datos no permite establecer con certeza los comportamientos hasta aquí descriptos, la hidroquímica refleja como hipótesis principal un comportamiento claramente influente del canal principal sobre el acuífero, al igual que el resto de canales secundarios y del propio río Colorado, limitándose el sector de conducción subterránea al área media del valle.

5.5.7.3. Calidad del agua

Desde el punto de vista de la calidad del agua se interpretó su aptitud para fines de riego mediante la utilización del índice de capacidad de absorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica, como se refleja en la Figura Nº 15 – Anexo Hidrogeología, en el punto referido a Hidroquímica.

Como puede observarse, todas las muestras quedan dentro de los campos C3 y C4 que caracterizan a aguas altamente a muy altamente salinas y en los campos S3 y S4 que se corresponden a aguas altamente sódicas.

Por consiguiente es clara la inaptitud de todas las aguas subterráneas analizadas para fines de riego, por lo efectos de alcalinización y salinización que producirían en cualquier tipo de suelo.

5.5.8. CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista litológico no se ha reconocido en las perforaciones ejecutadas la existencia de un nivel calcáreo bien definido y de extensión areal que actúe como "hidroapoyo" en los niveles sedimentarios más someros.
- Los niveles de "tosca" reconocidos en los antecedentes del área, bajo ciertas condiciones de recarga de agua, podrían propiciar la generación de niveles

acuíferos colgados pero el alcance de este estudio impide establecer la representatividad areal.

- Los perfiles litoestratigráficos reconocen la existencia de un paquete sedimentario de gran heterogeneidad vertical y horizontal, que desde el punto de vista hidrogeológico conforman un único acuífero de tipo multicapa, con alternancia de niveles de variable permeabilidad.
- La profundidad del nivel de agua fluctúa desde máximos de 5,00 a 7,00 metros en coincidencia con las terrazas más antiguas, a 2,00 y 3,00 metros en las terrazas más recientes.
- La evolución de la profundidad del nivel de agua respecto a los datos relevados en los monitoreos del DPA (año 2004 - 2006) es marcadamente descendente con valores variables entre 1,00 y 4,00 metros.
- El comportamiento influente de los canales de riego quedó evidenciado en los potenciales hidráulicos obtenidos en los pozos de monitoreo, aunque la definición de las relaciones agua subterránea – superficial deberá profundizarse mediante la ampliación de la red de monitoreo subterráneo.
- Desde el punto de vista hidroquímico todas las aguas analizadas se encuadran dentro de un mismo grupo composicional de tipo Sulfatado Sódico con el cloruro y el calcio como iones secundarios y valores medios a altos de conductividad eléctrica desde 1.850 y 10.400 μS/cm.
- La conductividad eléctrica del agua y la relación iónica Cl/HCO3 aportan evidencias congruentes respecto al comportamiento influente de los canales y el movimiento del agua subterránea.
- Composicionalmente se reconoce una evolución temporal importante, desde aguas fundamentalmente Cloruradas Cálcicas (muestreos DPA – año 2003) hasta las actuales Sulfatadas Sódicas, cuyo proceso evolutivo deberá estudiarse con mayor profundidad tanto temporal como espacialmente.
- De la evaluación de la calidad del agua con fines de riego se desprende que ninguna de las aguas analizadas es apta para ese uso, independientemente de las características del terreno y de la escasa disponibilidad de las mismas.