



ANEXO V

INFORMES HIDROGEOLOGICOS



INFORME HIDROGEOLOGICO

Índice

MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO, HIDROQUIMICO E HIDRODINAMICO.....	478
1. ESTACIÓN PILETA	479
1.1 PRECIPITACIÓN	479
1.2 TEMPERATURA.....	479
1.3 PRESIÓN ATMOSFÉRICA	480
1.4 LOS VIENTOS	480
1.5 RADIACIÓN SOLAR	481
1.6 HUMEDAD	481
2. ESTACIÓN LIMING	482
2.1 PRECIPITACIÓN	482
2.2 TEMPERATURA.....	482
2.3 PRESIÓN ATMOSFÉRICA	482
2.4 LOS VIENTOS	483
2.5 RADIACIÓN SOLAR	483
2.6 HUMEDAD	484
3. ESTACIÓN CAUCHARI	484
3.1 PRECIPITACIÓN	485
3.2 TEMPERATURA.....	485
3.3 PRESIÓN ATMOSFÉRICA	485
3.4 LOS VIENTOS	486
3.5 RADIACIÓN SOLAR	486
3.6 HUMEDAD	487
4. EVAPORACIÓN	487
4.1 EVAPORACIÓN TANQUE A BIS	488
4.2 EVAPORACIÓN TANQUE A.....	488
5. PIEZÓMETROS SALMUERA	62
5.1 PIEZOMETROS CAMPO DE BOMBEO NORTE	62
5.2 PIEZÓMETROS CAMPO DE BOMBEO SUR	64
6. PIEZÓMETRO AGUA INDUSTRIAL	65
7. MONITOREO HIDROQUIMICO, EN POZOS DE EXTRACCIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL.....	493
7.1 BORO.....	493

7.2 SODIO Y CLORO	494
7.3 CONDUCTIVIDAD	494
8. MONITOREO SUPERFICIAL	496
8.1 AFOROS DE CAUDALES EN ARCHIBARCA, RÍO ROSARIO Y RIO TOCOMAR	496
8.2 ARCHIBARCA	497
8.3 RÍO ROSARIO.....	499
8.4 RÍO TOCOMAR.....	500
8.5 MEDICIÓN DE PARÁMETROS HIDROQUIMICOS	501
8.6 MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN CAMPO.....	501
8.7 MEDICIÓN DE LABORATORIO	503

MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO, HIDROQUIMICO E HIDRODINAMICO.

Sales de Jujuy S.A. instaló estaciones meteorológicas en el sector denominado Pileta y Liming, situadas directamente en el área del proyecto para el registro de la información con una programación temporal de horas, y otra ubicada sobre el salar de Cauchari, (Ver tabla1). Actualmente se está planificando la colocación de otra estación meteorológica en la denominada cuenca de Archibarca, lo cual permitirá brindar información de la distribución de las lluvias dentro de la cuenca de recarga hacia el salar y otros parámetros meteorológicos.

Nuevamente a partir del mes de Octubre 2015, quedo operativa la estación Liming.

Estación	X	Y	Inicio de medición	Estado Actual	Cota m.s.n.m
Liming	3426177	7402921	Diciembre 2012	Funcionando	3904
Pileta	3422504	7396003	Diciembre 2012	Funcionando	3942
Cauchari	3425501	7374878	Diciembre 2012	Funcionando	3918

Tabla 1. Ubicación y estado actual de las estaciones meteorológicas.

Análisis de datos Hidrometeorológicos

Se presenta los datos desde Septiembre a Noviembre.

1. Estación Pileta

En la siguiente tabla 2, se muestra un resumen de los siguientes parámetros climatológicos:

MES	Temperatura (°C)			Precipitación Total (mm)	Presión (mmHg)			Velocidad del Viento (Km/h)		Radiación Solar (KW/m2)		Humedad %	
	Max.	Min.	Med.		Max.	Min.	Med.	Max.	Med.	Max.	Min.	Max.	Min.
sep-15	18.2	-7.67	5.26	6.58	481.2	473	477.1	84.9	18.44	1.31	0.25	91	0.71
oct-15	21.29	-7.04	7.12	0	480.2	472.4	476.3	108.1	20.24	1.39	0.23	69.48	0
nov-15	21.16	-7.69	6.73	0	478.7	473.2	475.95	87.6	17.91	1.39	0.29	45.59	0

Tabla 2. Registro de datos Meteorológicos Estación Piletas.

1.1 Precipitación

Durante el mes de septiembre se produjo una precipitación en forma de nieve /granizo de 6.58 mm, en forma puntual sobre este sector.

1.2 Temperatura

Con respecto al campo térmico, se observa entre los meses de Septiembre a Noviembre (**Fig.1**), que la temperatura mínima absoluta registrada fue muy similar a **-7°C**, mientras que la temperatura máxima absoluta registrada fue de **21.29°C**, observada en el mes de Octubre.

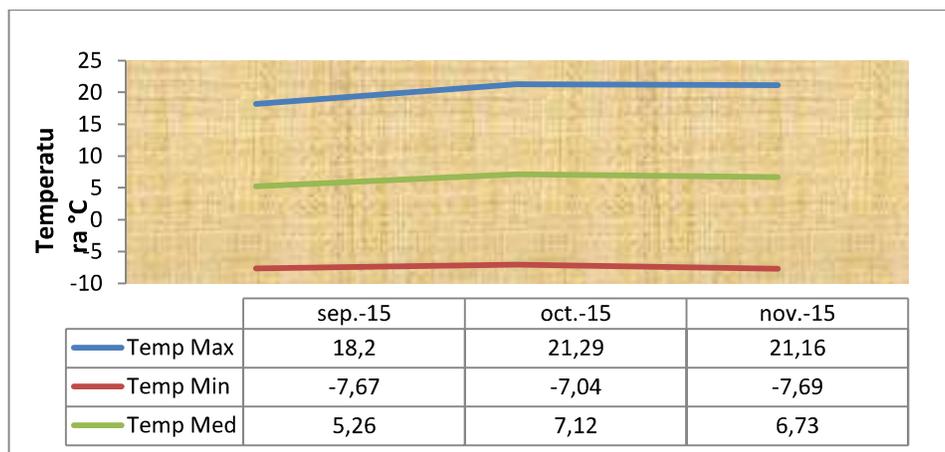


Fig.1. Registro de Temperatura (Septiembre2015-Noviembre 2015).

1.3 Presión Atmosférica

Los datos obtenidos y registrados durante el período Septiembre-Noviembre (Fig.2), presento un mínimo en Octubre de **472.4 mm Hg**, y un máximo de **481.2mm Hg** el mes de septiembre.

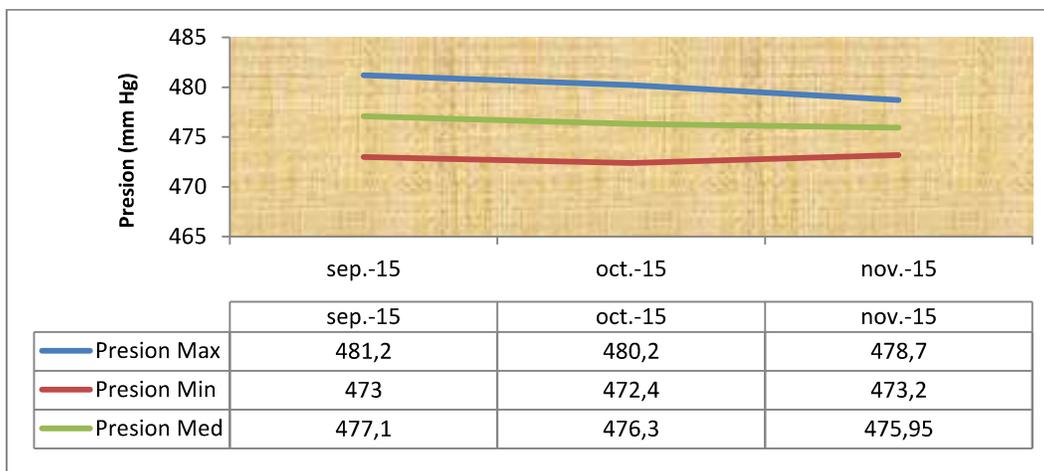


Fig.2. Registro de Presión Atmosférica (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

1.4 Los Vientos

La velocidad durante el mes de Octubre, se registró fuertes ráfagas de viento que alcanzaron los **108.1 km/h**.

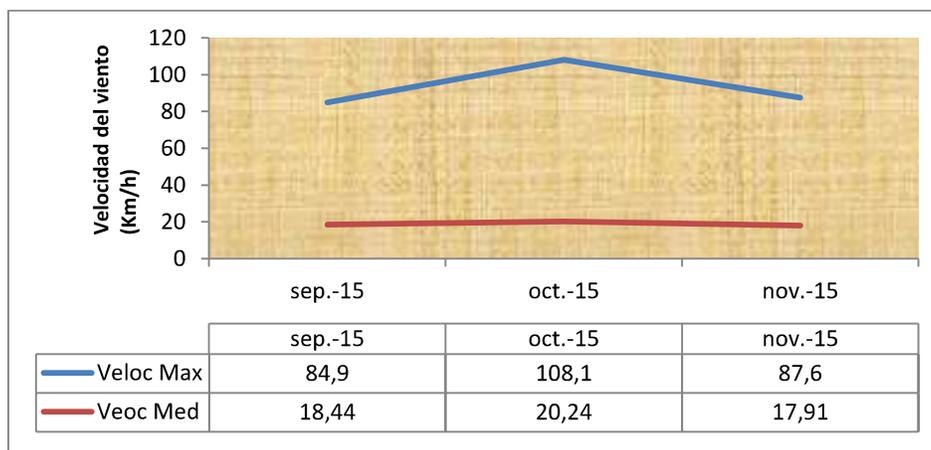


Fig.3. Registro de Velocidad de los Vientos (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

1.5 Radiación Solar

En la (Fig.4), la oscilación de las intensidades máximas registradas alcanzó un máximo relativo de **1.39 KW/m²** en los meses de octubre y noviembre. La radiación mínima se dio en octubre **0.23 KW/m²**

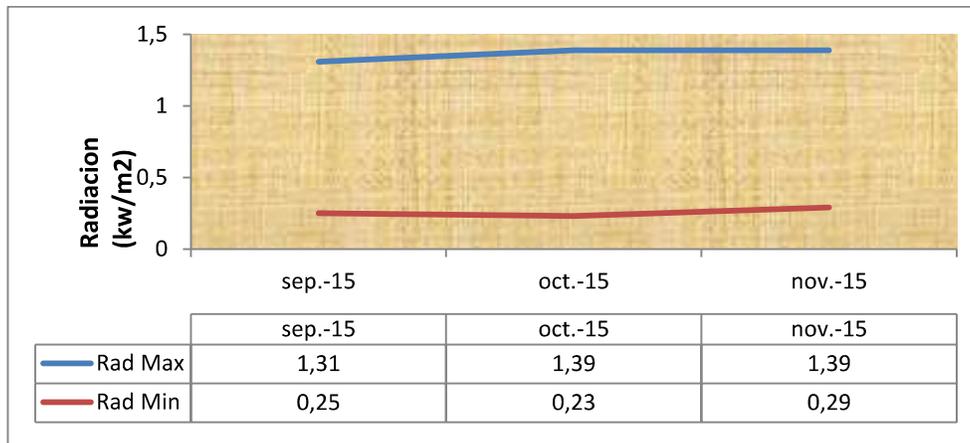


Fig.4. Registro de Radiación Solar (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

1.6 Humedad

Durante el mes de Septiembre se registró el más alto valor de Humedad 91 %, el mes de humedad mínima fue en octubre y noviembre.

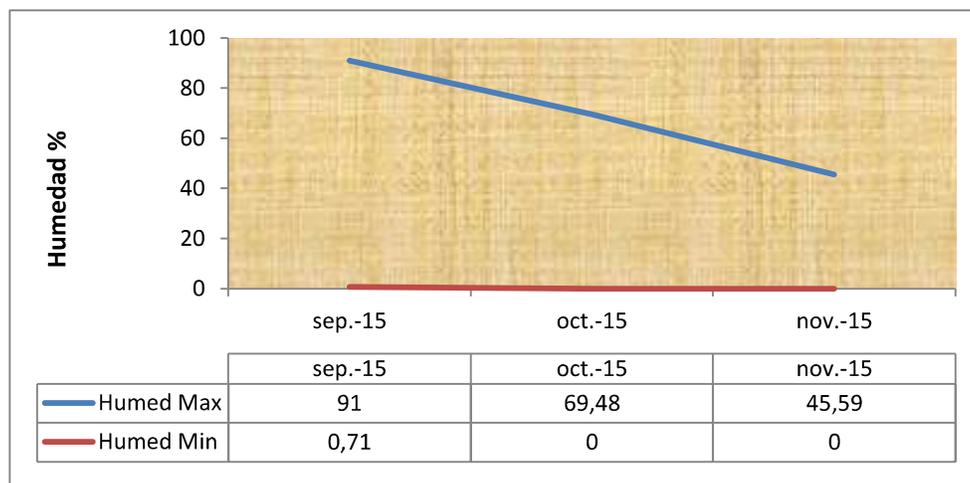


Fig.5. Registro de la Humedad (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

2. Estación Liming

En la siguiente tabla 3, se muestra un resumen de los siguientes parámetros climatológicos, es de recordar que a partir del 10 de octubre se puso operativa la estación:

MES	Temperatura (°C)			Precipitación Total (mm)	Presión (mmHg)			Velocidad del Viento (Km/h)		Radiación Solar (KW/m2)		Humedad %	
	Max.	Min.	Med.		Max.	Min.	Med.	Max.	Med.	Max.	Min.	Max.	Min.
oct-15	19.65	-4.75	7.45	0	450	448	449	110.8	26.47	1.382	0.24	64.73	0
nov-15	20.83	-4.71	8.06	0	450	447	448.5	92.5	22.93	1.382	0.28	39.26	0

Tabla 3. Registro de datos Meteorológicos Estación Liming.

2.1 Precipitación

Durante los estos meses no se registró, precipitación.

2.2 Temperatura

Con respecto al campo térmico, se observa entre los meses de Octubre a Noviembre ([Fig.6](#)), que la temperatura mínima absoluta registrada fue muy similar a **-4.7°C**, mientras que la temperatura máxima absoluta registrada fue de **20.83°C**, observada en el mes de noviembre.



Fig.6. Registro de Temperatura (Octubre 2015-Noviembre 2015).

2.3 Presión Atmosférica

Los datos obtenidos y registrados durante el período Octubre-Noviembre ([Fig.7](#)), presento un mínimo en Noviembre de **447.0 mm Hg**, y un máximo de **450.0mm Hg** el mes de octubre y noviembre.

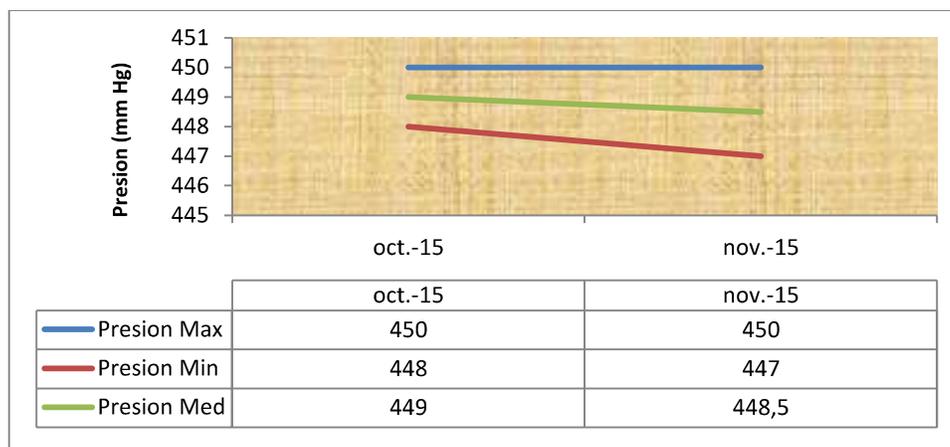


Fig.7. Registro de Presión Atmosférica (Octubre 2015- Noviembre 2015).

2.4 Los Vientos

La velocidad durante el mes de Octubre, se registró fuertes ráfagas de viento que alcanzaron los **110.8 km/h**.

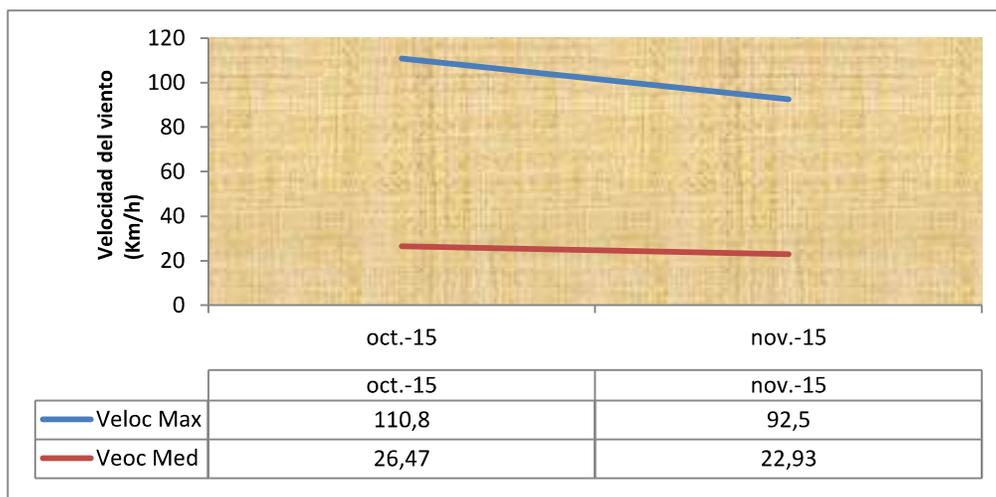


Fig.8. Registro de Velocidad de los Vientos (Octubre 2015- Noviembre 2015).

2.5 Radiación Solar

En la figura 9, la oscilación de las intensidades máximas registradas alcanzó un máximo relativo de **1.382 KW/m²** en los meses de octubre y noviembre. La radiación mínima se dio en octubre **0.24 KW/m²**

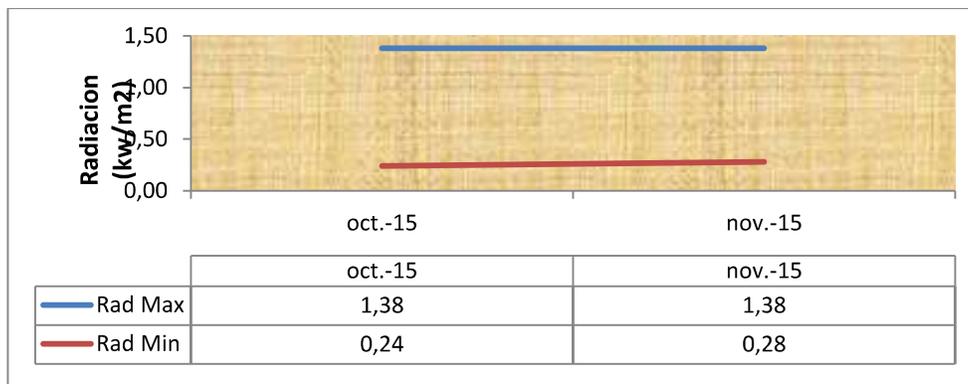


Fig.9. Registro de Radiación Solar (Octubre 2015- Noviembre 2015).

2.6 Humedad

Durante el mes de Octubre se registró el más alto valor de Humedad 64.73 %, el mes de humedad mínima fue en octubre y noviembre.

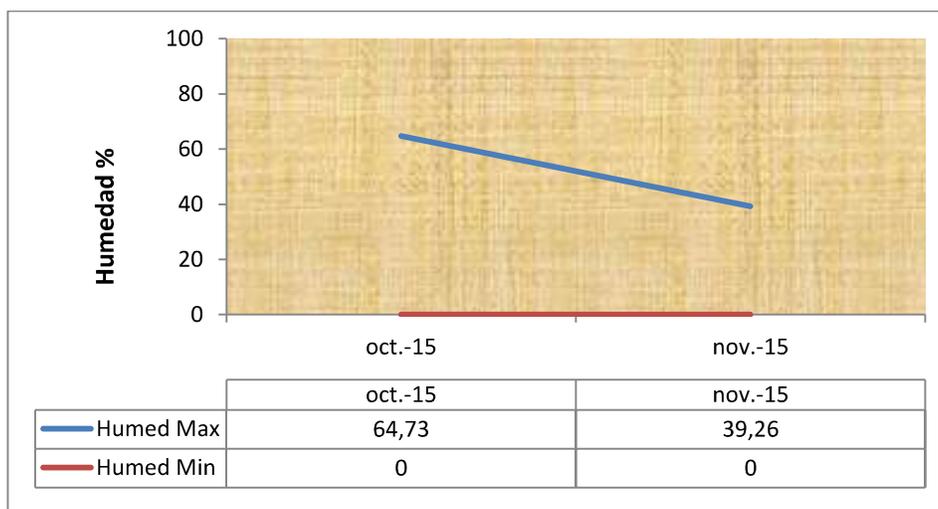


Fig.10. Registro de la Humedad (Octubre 2015- Noviembre 2015).

3. Estación Cauchari

En la siguiente tabla 4, se muestra un resumen de los siguientes parámetros climatológicos:

MES	Temperatura (°C)			Precipitación Total (mm)	Presión (mmHg)			Velocidad del Viento (Km/h)		Radiación Solar (KW/m2)		Humedad %	
	Max.	Min.	Med.		Max.	Min.	Med.	Max.	Med.	Max.	Min.	Max.	Min.
sep-15	18.78	-12.58	3.1	0	774.6	766.2	770.4	111.9	21.09	1.15	0.25	77.49	0
oct-15	21.13	-10.59	5.27	0	773.5	765.1	769.3	113.5	24.64	1.23	0.18	65.08	0
nov-15	21.25	-8.39	6.43	0	772.1	765.9	769	88.7	23.33	1.2	0.28	51.47	0

Tabla 4. Registro de datos Meteorológicos Estación Cauchari.

3.1 Precipitación

Durante los estos meses no se registró, precipitación.

3.2 Temperatura

Con respecto al campo térmico, se observa que el mes de Septiembre ([Fig.11](#)), que la temperatura mínima absoluta registrada fue muy de **-12.58°C**, mientras que la temperatura máxima absoluta registrada fue de **21.25°C**, observada en el mes de Noviembre.

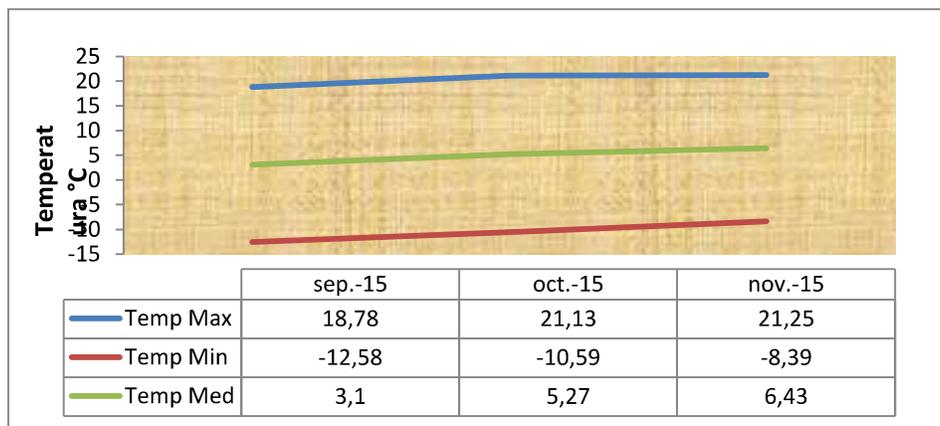


Fig.11. Registro de Temperatura (Septiembre2015-Noviembre 2015).

3.3 Presión Atmosférica

Los datos obtenidos y registrados durante el período Septiembre-Noviembre ([Fig.12](#)), presento un mínimo en octubre de **765.1 mm Hg**, y un máximo de **774.6mm Hg** el mes de septiembre.

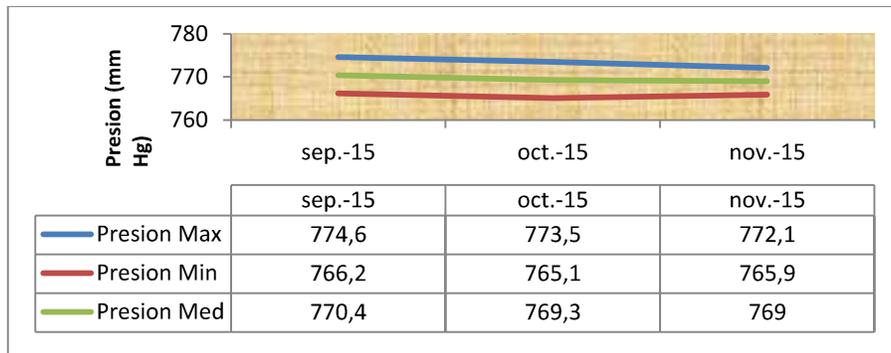


Fig.12. Registro de Presión Atmosférica (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

3.4 Los Vientos

La velocidad durante el mes de Octubre, se registró fuertes ráfagas de viento que alcanzaron los **113.5 km/h**.

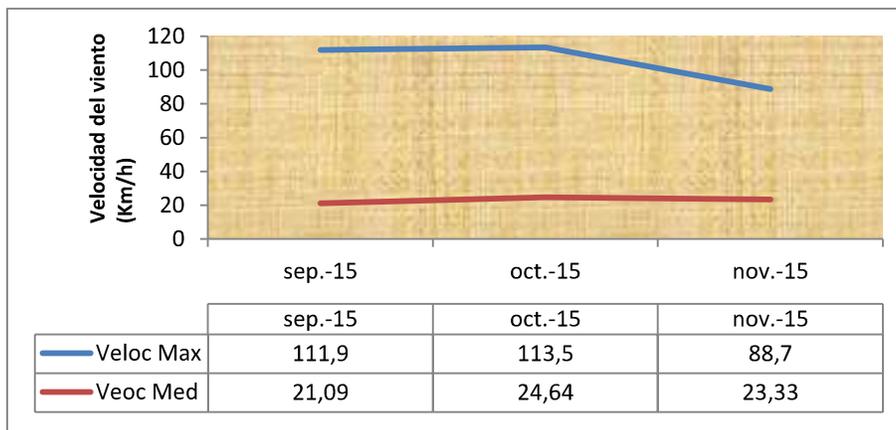


Fig.13. Registro de Velocidad de los Vientos (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

3.5 Radiación Solar

En la figura 14, la oscilación de las intensidades máximas registradas alcanzó un máximo relativo de **1.23 KW/m²** en el mes de octubre. La radiación mínima se dio en octubre **0.18 KW/m²**

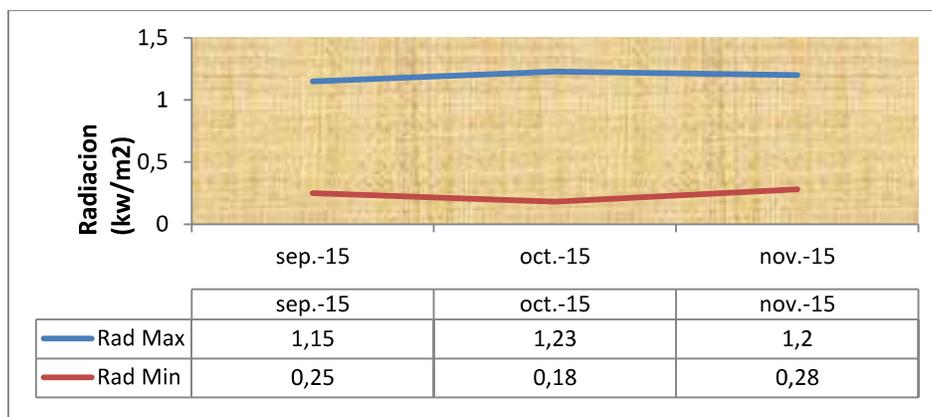


Fig.14. Registro de Radiación Solar (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

3.6 Humedad

Durante el mes de Septiembre se registró el más alto valor de Humedad 77.49 %, el mes de humedad mínima fue en septiembre, octubre y noviembre.

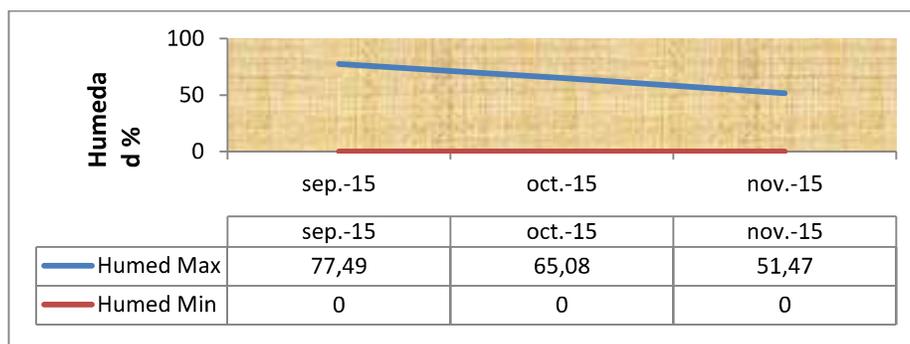


Fig.15. Registro de la Humedad (Septiembre 2015- Noviembre 2015).

4. Evaporación

Sales de Jujuy, decidió nuevamente medir la tasa de evaporación diaria a partir de julio 2015, utilizando la metodología de tanques de evaporación ([Fig.16](#)), los cuales son instrumentos que tienen como principio común la medida del agua perdida por evaporación contenida en el tanque, el que se usa es el denominado tanque tipo A, que se corresponde con el modelo estándar (clase A) utilizado por el Servicio Meteorológico de los Estados Unidos.



Fig.16. Tanques de evaporación A y A Bis.

4.1 Evaporación Tanque A Bis

Desde julio hasta el 26/09/15, se usó la proporción de 70% de salmuera pozo P302 y 30% de agua del pozo de extracción para uso industrial. Desde el 27/09/15, se cambia la proporción hasta la actualidad se usa 70% de agua dulce de los pozos, 30% de salmuera del pozo P302.

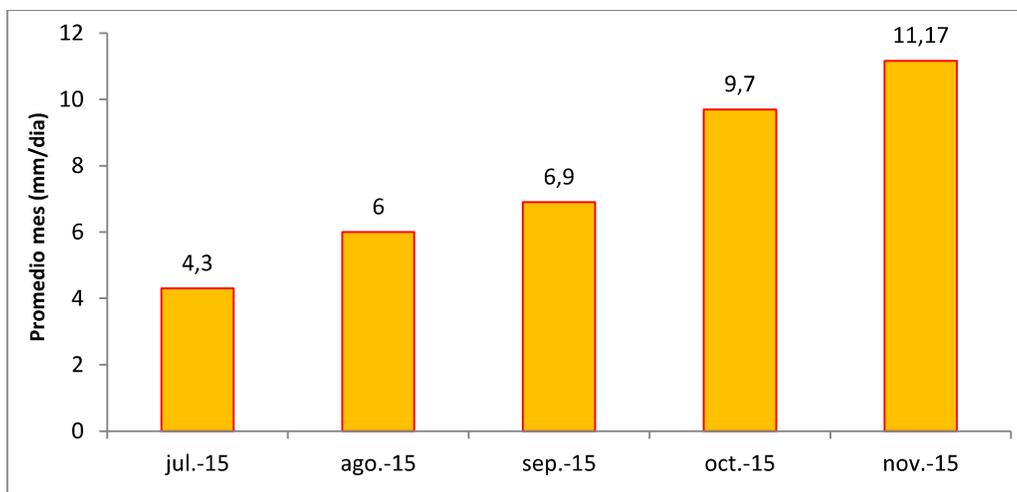


Fig.17. Registro de la evaporación (Julio 2015- Noviembre 2015).

4.2 Evaporación Tanque A

Desde julio hasta el 26/09/15, se usó la proporción de 60% de salmuera pozo P302 y 40%, de agua del pozo de extracción para uso industrial desde el

27/09/15, se cambia la proporción hasta la actualidad se usa 60% de agua dulce de los pozos, 40% de salmuera del pozo P302.

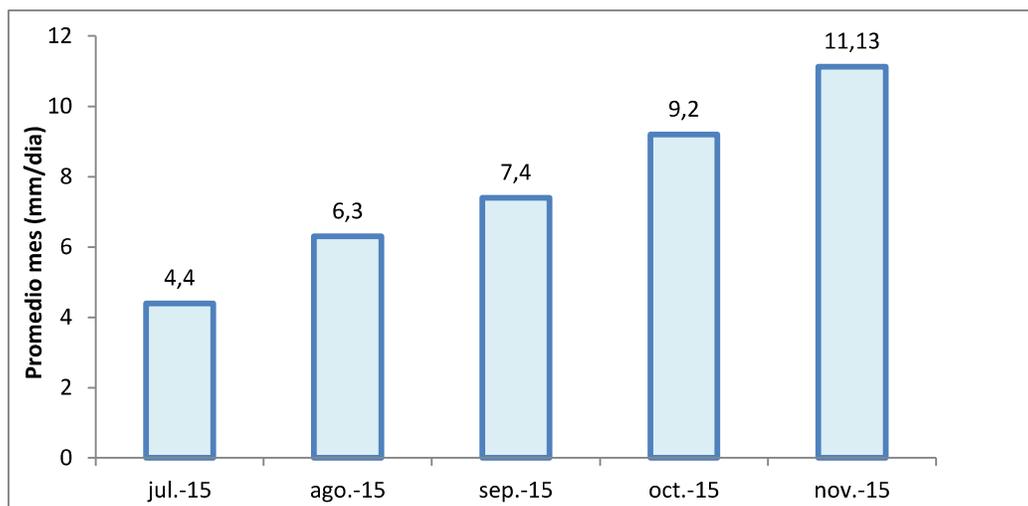


Fig.18. Registro de la evaporación (Julio 2015- Noviembre 2015).

5. Piezómetros Salmuera

5.1 Piezómetros Campo de Bombeo Norte

Para el control de los pozos de producción, se construyeron 4 piezómetros en forma simultánea con la batería de pozos, denominados; ***Piezómetro Este***, ***Piezómetro Oeste***, ***Piezómetro Sur***, ***Piezómetro Centro***, presentan las mismas características constructivas que los pozos de producción. A esto se suman los pozos de producción que se encuentran fuera de servicio por razones operativas (PP13 y PP4 este último de 60 m de profundidad). Los 4 piezómetros son los más representativos del efecto producido por los pozos de producción, ya que reflejan el comportamiento del sistema acuífero de donde extrae la salmuera.

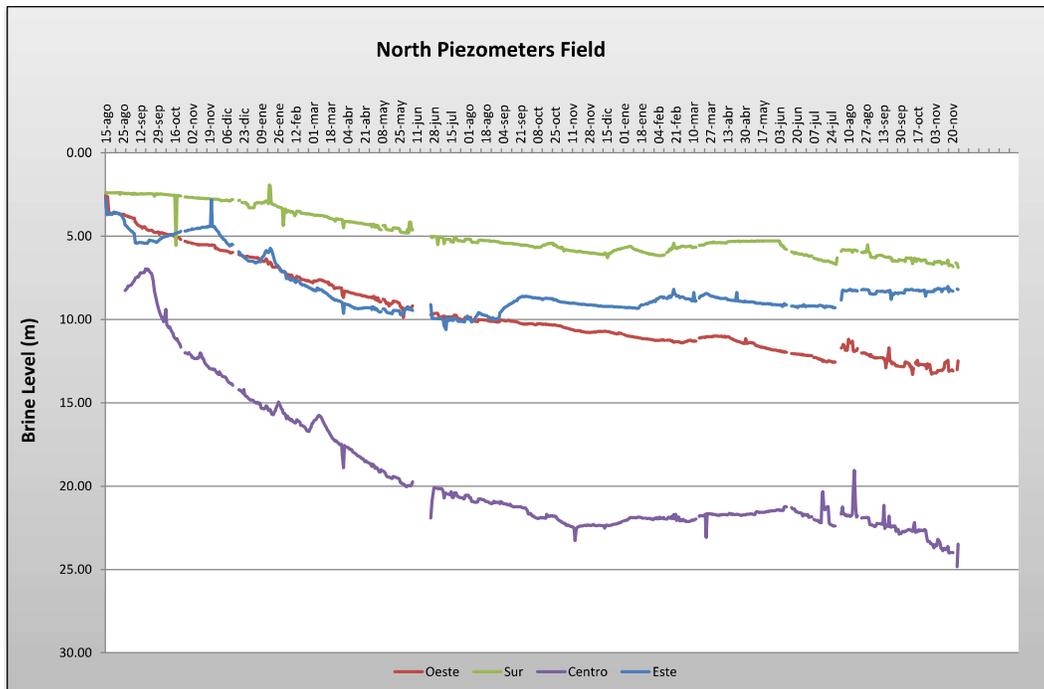


Fig.19. Curvas de Registros Piezométricos en el campo de Bombeo Norte.

A partir del mes de Septiembre se ve un descenso más abrupto en el piezómetro Centro, más suave en el Sur y Oeste. El piezómetro Este tiene un comportamiento de ascenso. A finales de Noviembre, se ve nuevamente un ascenso de los niveles, en el piezómetro Centro y Oeste, todos esos cambios se deben fundamentalmente que salen de servicio algunos pozos de producción, e inmediatamente repercute en el ascenso del nivel de salmuera en el acuífero. En el momento que se alcance la estabilización en los piezómetros, se llegara a un equilibrio del sistema **extracción-descenso** del campo de producción.

5.2 Piezómetros Campo de Bombeo Sur

En este sector actualmente se cuenta con dos piezómetros que se complementan, el piezómetro C17 que monitorea el nivel superior del sistema acuífero y el CD06 que mide los niveles inferiores, También se suma el pozo

PP20 que fue construido con la misión de bombear salmuera, pero debido a motivos operativos se lo usara como un piezómetro, este tiene similar diseño que los pozos productores del sector.

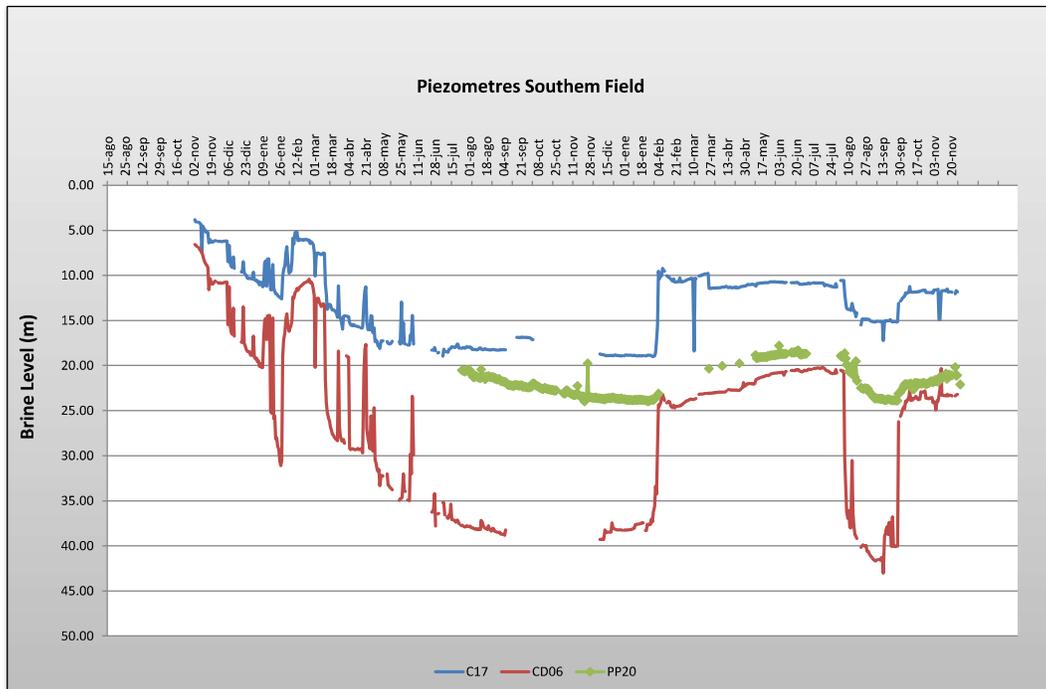


Fig.20. Curvas de Registros Piezométricos en el campo de Bombeo Sur.

A comienzo de Septiembre se ve un descenso de los tres piezómetros debido a que se ponen en funcionamiento pozos de este campo. A finales de septiembre se ve un ascenso en los tres piezómetros lo que marca la salida de operación de un pozo en el campo de bombeo, el pozo PD02 y debido a su cercanía a los piezómetros C17 y CD06, estos responde hidráulicamente con una tendencia al ascenso y una estabilización, debido que hasta fines de noviembre todavía sigue sin operar el pozo PD02. Sin embargo a finales de noviembre se ve un descenso en el piezómetro PP20.

6. Piezómetro Agua industrial

La batería de pozos para la extracción del agua industrial consta de tres pozos de bombeo y un piezómetro construido para ver la evolución de los niveles en el acuífero.

Pozo	X	Y	Utilización	Cota de la embocadura de piezómetro Z(m.s.n.m)	Medida de profundidad nivel (m)	Cota del nivel piezométrico (m.s.n.m)
WSE-02	342199 5	739114 6	Bombeo	3960.6	14.40	3946.2
WSE-03	342207 5	739053 1	Bombeo	3962.39	16.79	3945.6
WSE-04	342165 9	739054 1	Bombeo	3964.66	18.76	3945.9
WSE-05	342184 8	739093 2	Piezómetro	3961.92	15.87	3946.05

Tabla 5. Datos ubicación, de Pozos de Agua Industrial.

Desde Septiembre hasta Noviembre se observa fluctuaciones donde el nivel del piezómetro en algún momento varía entre los 16, 24 a los 16,29 m. Se continúa solo con la operación con dos pozos, el WSE-02 y WSE-04, el WSE-03, se lo usara en caso de alguna eventualidad de que alguno de los pozos operativos tenga algún problema.

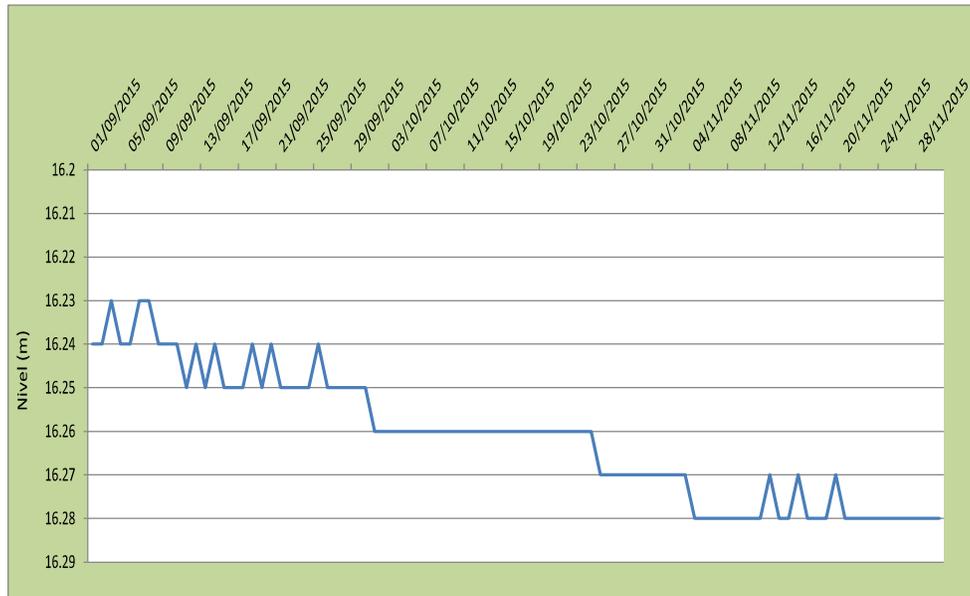


Fig.21. Curvas de Registros de Nivel Freático.

7. Monitoreo Hidroquímico, en pozos de extracción del agua industrial.

Se realiza un monitoreo siguiendo la concentración de boro y la medición de la conductividad, este último parámetro para ver la evolución química, y así evitar el ascenso del cono salino dentro del pozo.

7.1 Boro

Se observa un aumento del boro en el mes de noviembre.

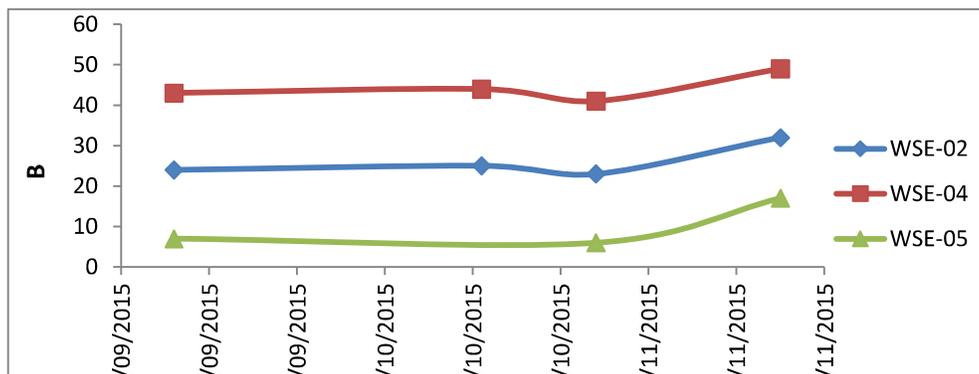


Fig.22.Representación del boro.

7.2 Sodio y Cloro

Se observa que los tres pozos, el valor del cloruro está por arriba de los 400 mg/l.

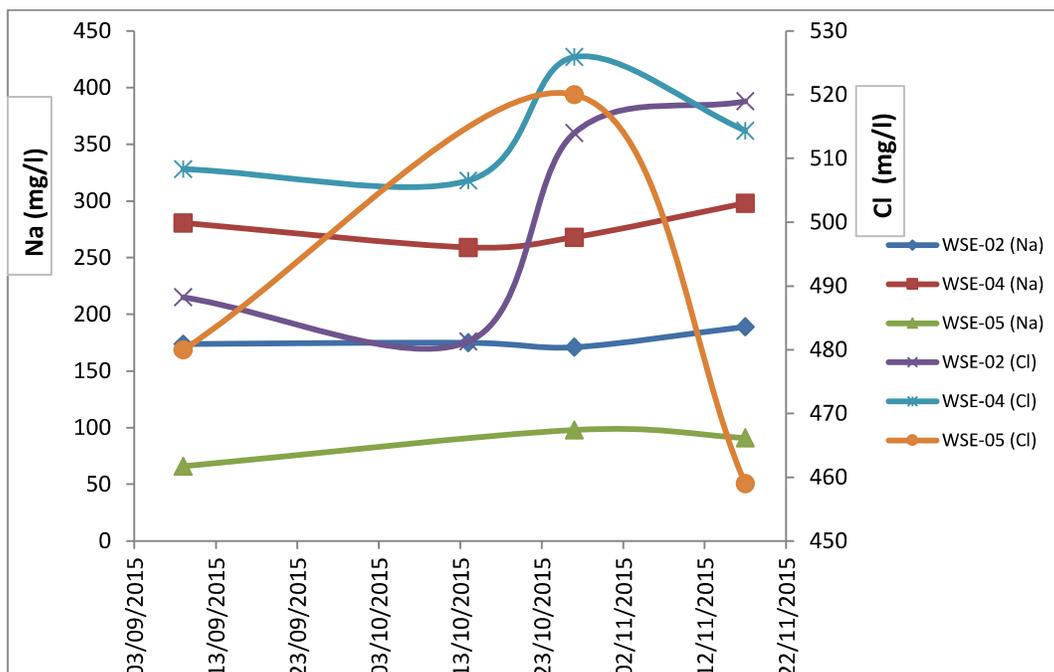


Fig.23.Valores de Cl⁻, Na.

7.3 Conductividad

Se muestran los valores de los pozos WSE-02 y WSE-04, que actualmente se extraen de los mismos, el pozo WSE-03, no se encuentra operativo. En el piezómetro WSE-05 también se toma muestra para ver su evolución. La conductividad se mide en laboratorio ([Fig.24](#)), y en campo ([Fig.25](#)), con un conductímetro portátil marca Hanna. Se observa en los tres pozos que el parámetro no presenta mucha variabilidad, la medición en laboratorio. En tanto la medición en campo hay una leve diferencia con respecto a laboratorio porque se toma en diferentes días, pero en general si se compara ambos son valores muy similares etc.

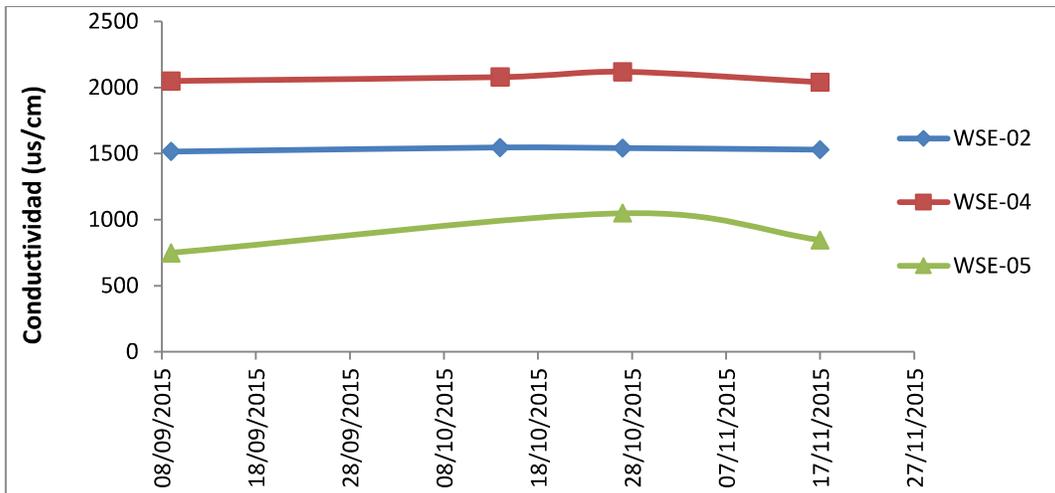


Fig.24. Medición Laboratorio.

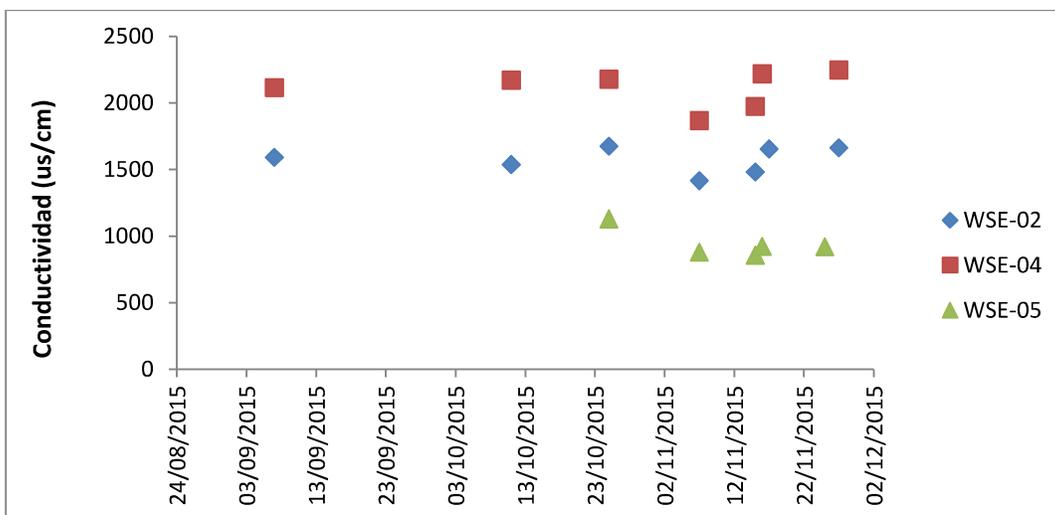


Fig.25. Medición en campo.

8. Monitoreo Superficial

8.1 Aforos de caudales en Archibarca, Río Rosario y Río Tocomar

Se comenzó con la realización de mediciones de caudal de los diferentes lugares de aporte de la cuenca del salar, sumándose el Río Tocomar. Las mediciones se realizan en:

Lugar	X	Y	Técnica
Archibarca	3413612	7387796	Medidor de caudal- Volumétrico
Río Rosario	3432000	7443020	Medidor de caudal
Río Tocomar	3437360	7324571	Medidor de caudal

Tabla6. Datos ubicación, de los ríos.

El objetivo es poder establecer la variabilidad o estacionalidad de los flujos.



Fig.26. Aforo Río Rosario mes de Noviembre.

8.2 Archibarca

Recién se pudo realizar la medición del caudal con el método de Flow Global (Fig.27), previo acuerdo con los dueños del caserío cercano, los días (11/10 y 12/10), se usó el método volumétrico con un recipiente graduado de 60 l (Fig.28), los días 23/10, 09/11/15, 14/11/15 y 21/11/15), mostrándose los resultados en la (Fig.29). Estimándose un flujo promedio base entre los dos meses de casi 6.10 l/s (Fig.30), esto es como recarga proveniente del sector Oeste.

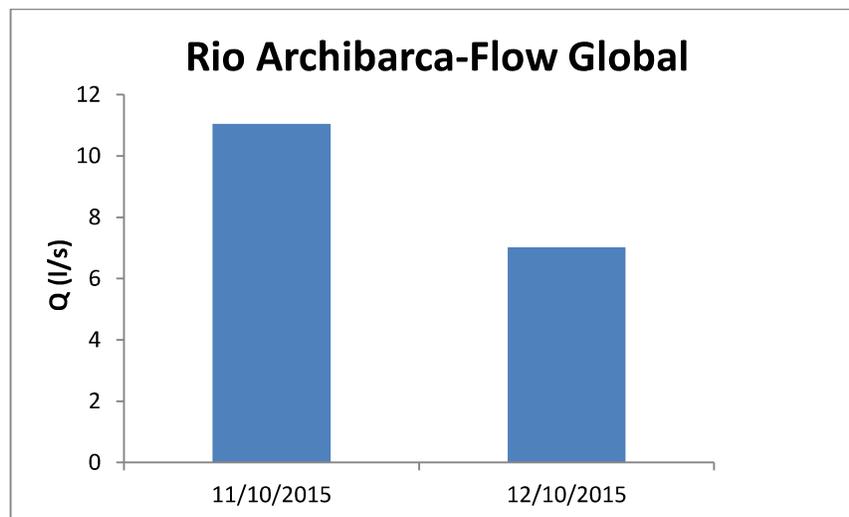


Fig.27. Medición con Flow Global.



Fig.28. Aforo por el Método volumétrico.

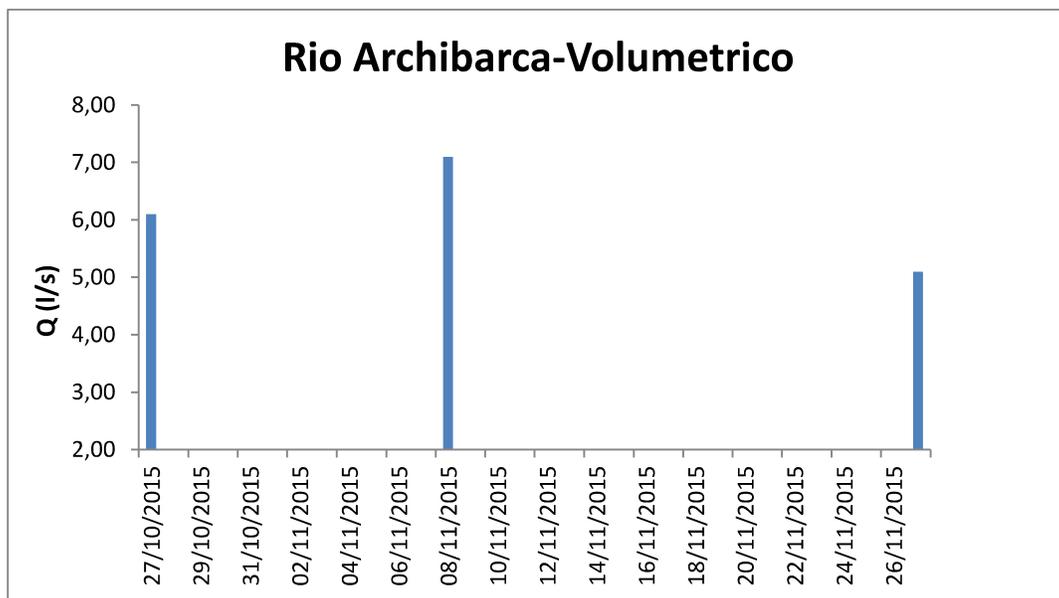


Fig.29. Medición volumétrica.

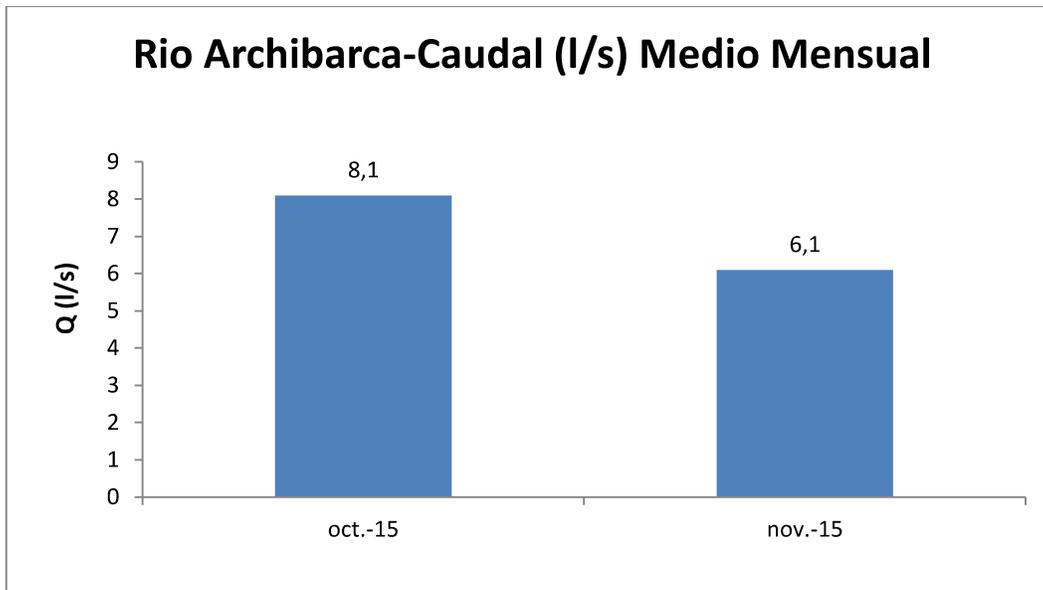


Fig.30. Caudal medio mensual.

8.3 Río Rosario

Se realizó la medición del caudal con el método de Flow Global, los días (23/09, 12/10 y 23/10, 09/11/15, 14/11/15 y 21/11/15), mostrándose los resultados en la (Fig.31). Estimándose un flujo promedio base entre los tres meses (Fig.32), de casi 141.12 l/s, esto es como recarga proveniente del sector norte.

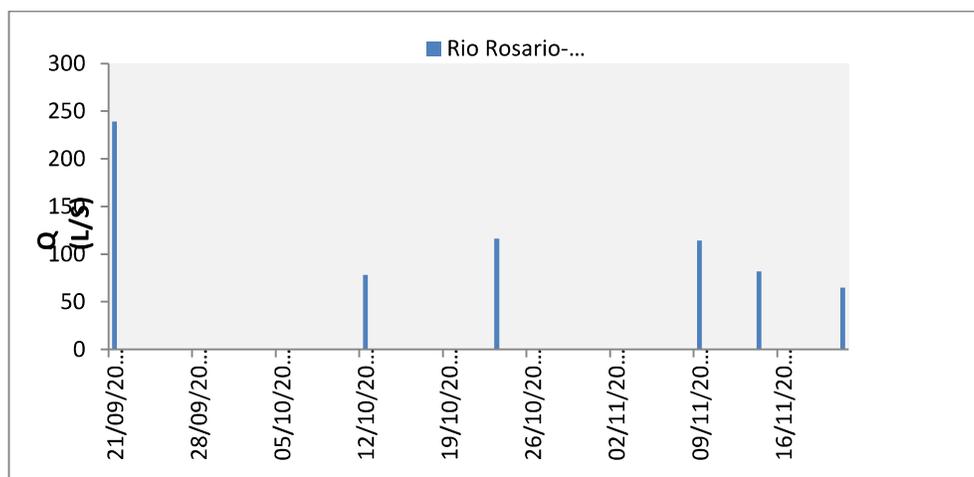


Fig.31. Aforo Río Rosario, por días.

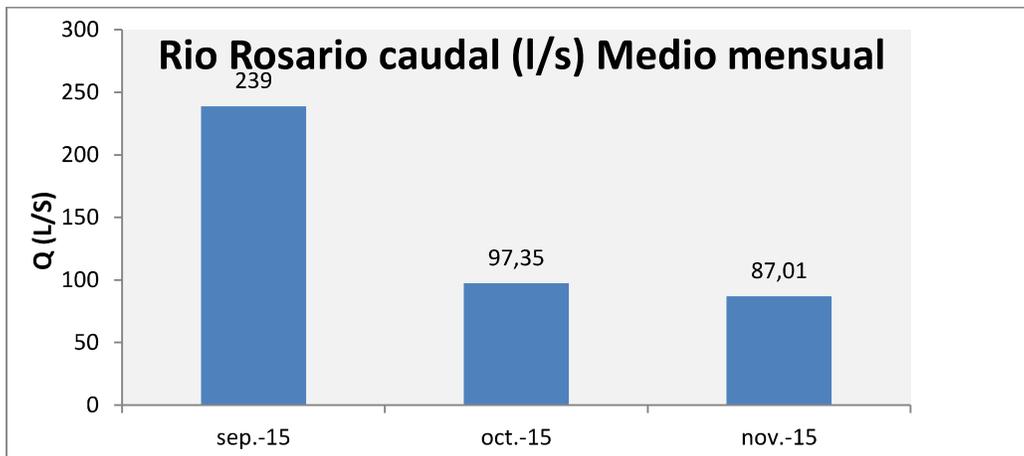


Fig.32. Caudal medio mensual

8.4 Río Tocomar

Se realizó la medición del caudal con el método de Flow Global, los días (23/10 y 23/11) mostrándose los resultados en la (Fig.33). Estimándose un flujo promedio base entre los tres meses de casi 48.9 l/s, esto es como recarga proveniente del sector sur de Cauchari.

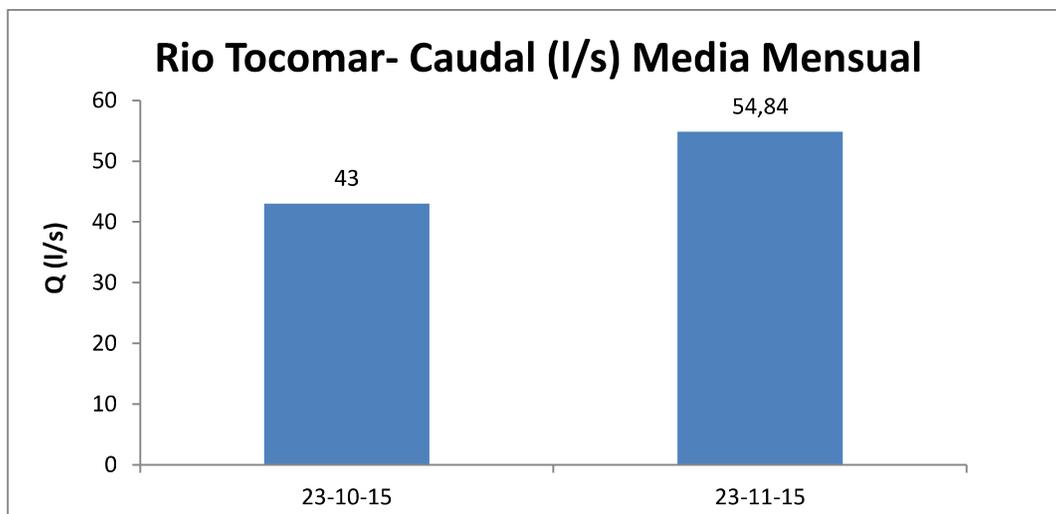


Fig.33. Caudal medio mensual

8.5 Medición de Parámetros Hidroquímico

Se realiza la medición de parámetros Hidroquímico, en la cuenca de influencia(Fig.34) , en distintos puntos de afloramiento de aguas, como así también en otra cuenca, con vinculación a la comunidad de Suques (Vega el Taire y Río Susques), se realiza un monitoreo de medición de campo y también un muestreo químico, que se analiza en nuestro laboratorio



Fig.34. Ubicación, puntos de medición.

8.6 Medición de parámetros en Campo

Todas estas mediciones se realizan en los puntos de monitoreo, el punto que presenta la mayor conductividad(Fig.35), es el Rio Rosario, por arriba de los 4000 a 10800 us/cm, y la de menor valor lo muestra el Rio Olaroz valor menor a los 400 us/cm.

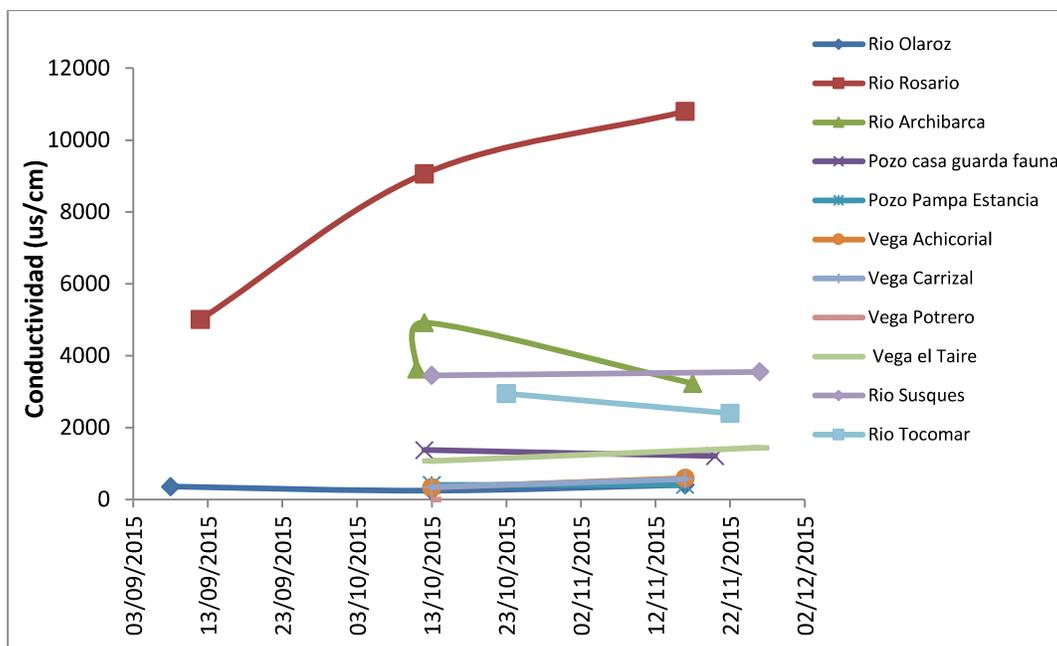


Fig.35.Conductividad

En la (Fig.36), se muestra el Solido total disuelto (STD),se ve claramente las distintas familias de aguas más salobres como ser Rio Susques, Rio Rosario, Rio Archibarca esta última es recarga directa ,por infiltración al acuífero de los pozos de extracción del agua para uso industrial. En oposición se ve aguas más dulces como ser la del Rio Olaroz, Vega Potrero, Pozo Pampa estancia etc.

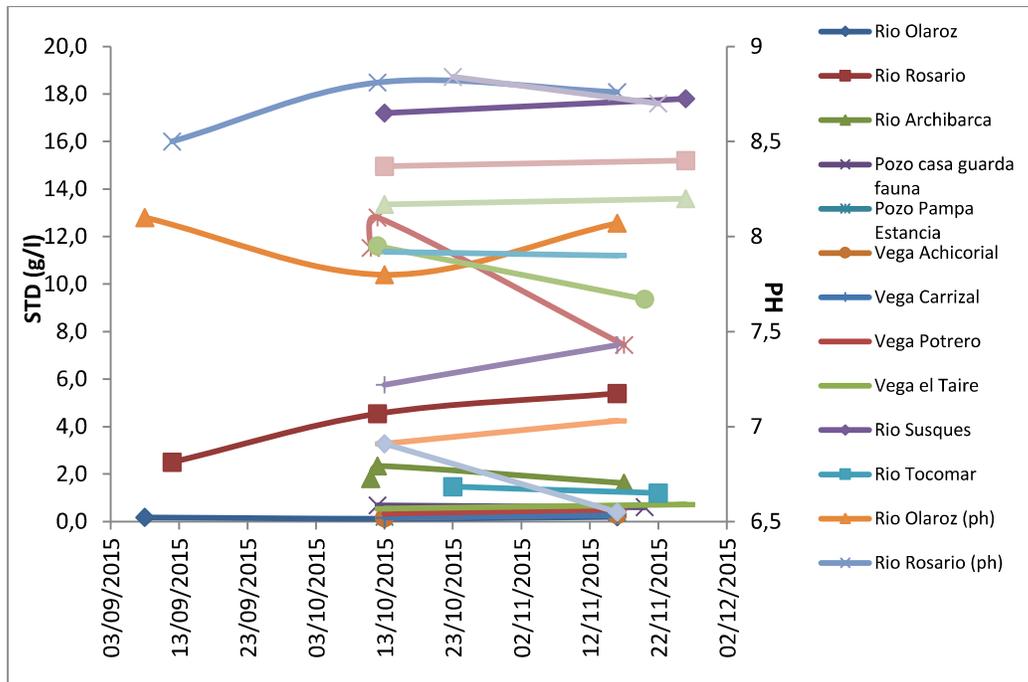


Fig.36.Representacion del STD y Ph.

8.7 Medición de Laboratorio

En el laboratorio que posee Sales de Jujuy, se analizan las muestras de estos puntos de muestreo, como se ve en la (Fig.37), la representación de los elementos Ca, K, B. El sitio que presenta el mayor valor de Ca, es el Rio Archibarca, y el menor el Rio Olaroz. Con respecto al B, el Rio Rosario es el que presenta el valor más alto, y el menor el Rio Olaroz.

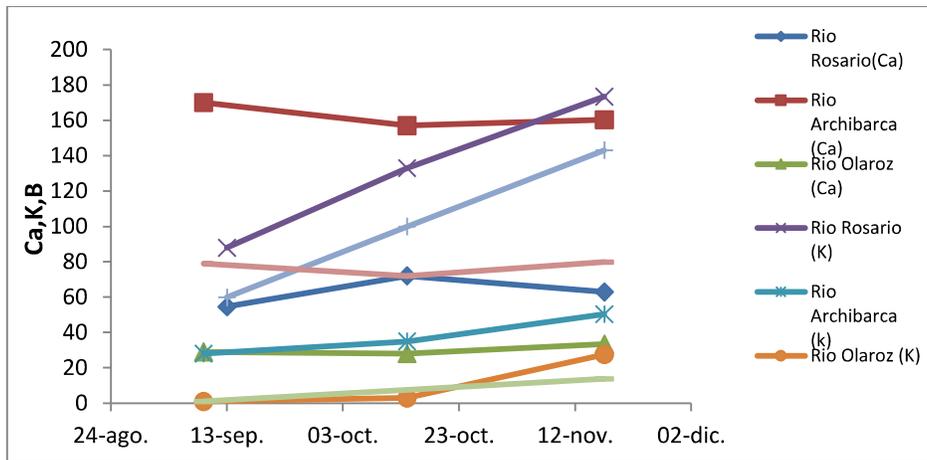


Fig.37.Representacion del Ca, K, B.

En la (Fig.38), se representa también los elementos Ca, K, B, de otros puntos de monitoreo. El sitio que presenta el mayor valor de Ca, es el Rio Susques, y el menor el Rio Tocomar. Con respecto al B, el Rio Susques es el que presenta el valor más alto, y el menor Vega Potrero.

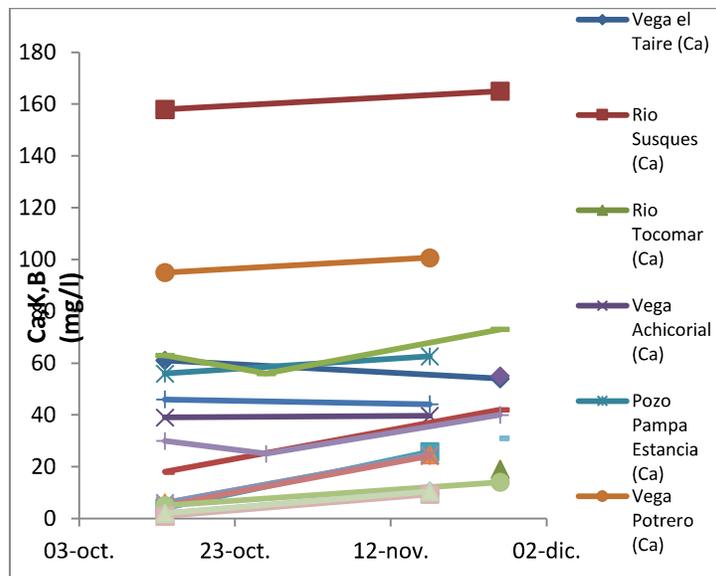


Fig.38. Representación del Ca, K, B

En la (Fig.39), se representa la conductividad medida en el laboratorio el punto que presenta el mayor valor, es el Rio Rosario, por arriba de los 4000 a 10000 us/cm, y la de menor valor lo muestra el Rio Olaroz valor menor a los 400 us/cm. Valores muy similares a los medidos en campo con el equipo portátil. Como se observa el agua del Rio Olaroz es dulce, no así la del Rio Rosario que es muy salobre.

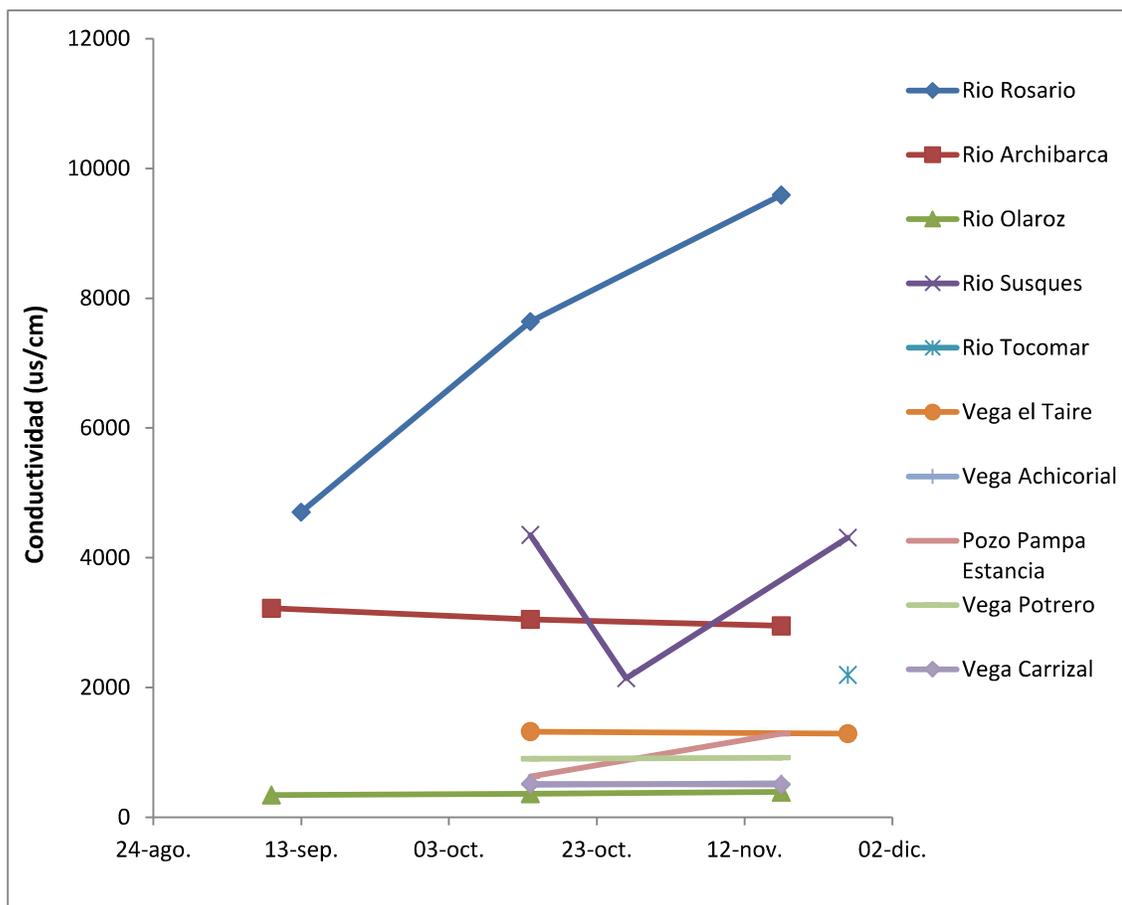


Fig.39.Conductividad.

En la (Fig.40), se representa el Cloruro y el sulfato, también acá se puede ver las distintas tipos de aguas en su mayor o menor contenidos de estos aniones. Se puede observar con respecto al cloruro, que hay varios puntos de muestreos que están por debajo de los 400 mg/l, como ser Vega el Taire, Rio Olaroz, Vega

Carrizal, etc. Lo mismo sucede con el sulfato casi todos están por debajo de este valor, salvo el Rio Archibarca que dependiendo la época presenta valores por arriba de los 400 mg/l.

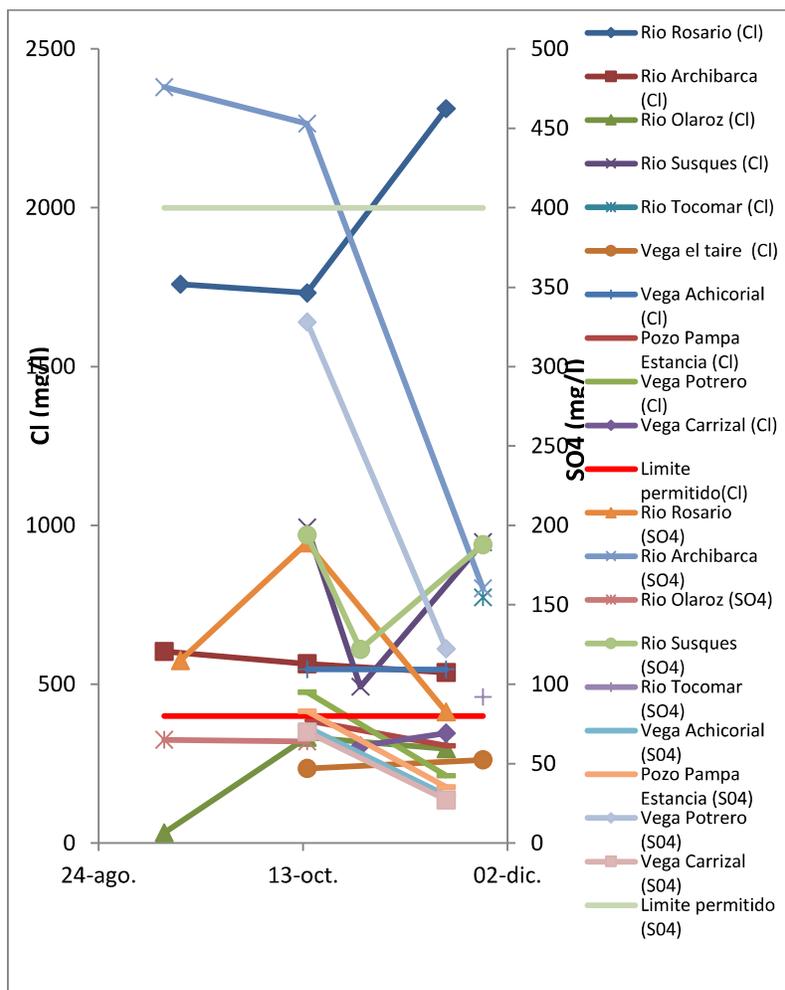


Fig.40.Representacion del Cl, SO₄.

AUMENTO DE LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN EL SECTOR DE ARCHIBARCA

1.1. Introducción

La demanda actual estimada es de 20 l/s, pero hoy se contempla la expansión de la producción de carbonato de litio y derivados de carbonato de potasio, es por eso que se necesitara un permiso de extracción de 55 l/s.

1.2. Objetivo

-Estimar la recarga de la cuenca, para la extracción de 55 l/s.

1.3. Ensayo de Bombeo de los pozos WSE-02-WSE03-WSE04

Durante el año 2011, una vez terminado el pozo se le realizaba un ensayo de tipo constante, en la [FIGURA 1](#), se ve observa la ubicación de los pozos.

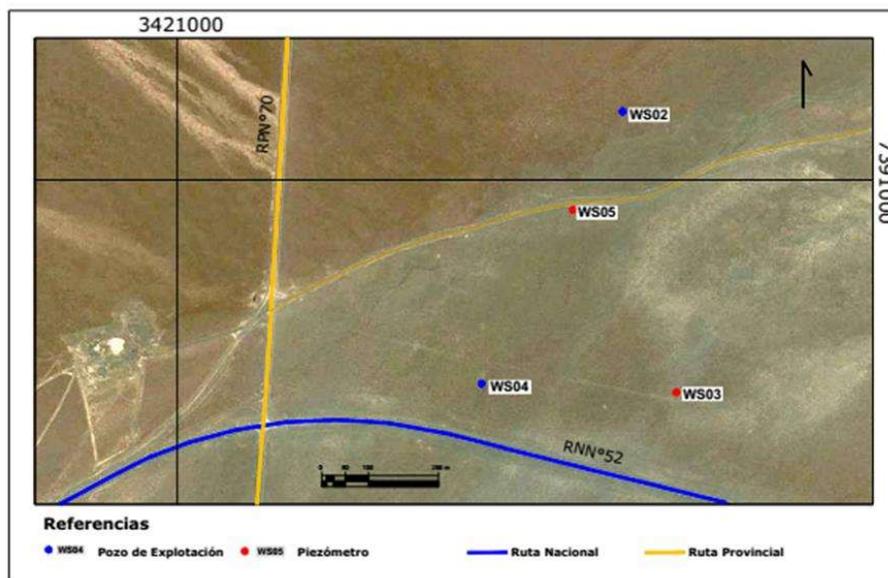


Fig.1. Mapa ubicación Pozos de Archibarca

2. Pozo WSE-02

Se realizó el día 23/05/2011 a fin de determinar las características hidráulicas del pozo y del acuífero y así poder establecer la explotación adecuada con el

equipo de bombeo apropiado. Para la ejecución del ensayo de bombeo se utilizó una electrobomba sumergible de 10 HP.

Del ensayo de bombeo se obtuvieron los siguientes resultados:

- Nivel Estático: 14,40 metros
- Nivel Dinámico: 21,00 metros
- Caudal: 18,00 m³/hora (5 lts/seg.)
- Caudal Específico: 2,72 m³/h x metro.

3. Pozo SE-03

Se realizó el día 06/06/2011 a fin de determinar las características hidráulicas del pozo y del acuífero y así poder establecer la explotación adecuada con el equipo de bombeo apropiado. Para la ejecución del ensayo de bombeo se utilizó una electrobomba sumergible de 10HP.

Del ensayo de bombeo se obtuvieron los siguientes resultados:

- Nivel Estático: 15,00 metros
- Nivel Dinámico: 25,00 metros
- Caudal: 36,00 m³/hora (10 lts/seg.).
- Caudal Específico: 3,6 m³/h x metro.

4. Pozo WSE-04

Se realizó el día 28/06/2011 a fin de determinar las características hidráulicas del pozo y del acuífero y así poder establecer la explotación adecuada con el equipo de bombeo apropiado. Para la ejecución del ensayo de bombeo se utilizó una electrobomba sumergible de 10 HP.

Del ensayo de bombeo se obtuvieron los siguientes resultados:

- Nivel Estático: 18,33 metros
- Nivel Dinámico: 21,70 metros
- Caudal: 57,60 m³/hora (16 lts/seg.)
- Caudal Específico: 17,09 m³/h x metro.

5. Ensayo de bombeo constante simultaneo de la batería

El ensayo de bombeo que se realizó simultáneamente en los 3 pozos. El día 01/11/2011 se colocaron electrobombas sumergibles correspondientes en los pozos WSE-03 y WSE-04, el pozo WSE-02 ya cuenta con una bomba.

Detalle de bombas y profundidades:

WSE-02: Este pozo es el que se utiliza actualmente para abastecer de agua dulce a la planta, cuenta con una bomba de 4 pulgadas y 1,5 HP. Previamente a comenzar el ensayo se constató el nivel estático (Ne) en 14,4 mbbp.

WSE-03: Se colocó la bomba a una profundidad de 38,4 mbbp. La bomba es de 6 pulgadas y 10 HP. Previamente a comenzar el ensayo se constató el nivel estático (Ne) en 16,794 mbbp.

WSE-04: Se colocó la bomba a una profundidad de 38,4 mbbp. La bomba es de 6 pulgadas y 7,5 HP con un cuerpo diseñado para extraer mayor caudal. Previamente a comenzar el ensayo se constató el nivel estático (Ne) en 18,76 mbbp.

El día 03/11/2011 se comenzó con el ensayo de bombeo. El mismo se desarrolló al máximo caudal (constante) y simultáneamente en los 3 pozos, hasta lograr la estabilización de los niveles dinámicos. En el caso particular del pozo WSE-02, se bombeo durante 1 día ya que se requería su utilización para el abastecimiento de la planta. Luego de 7 días de bombeo en los pozos WSE-03 y WSE-04 se obtuvieron los siguientes resultados:

WSE-02:

- Nivel Estático: 14,40 metros
- Nivel Dinámico al cual estabilizó: 15,75 metros
- Caudal: 5,40 m³/hora (1,5 lts/seg.)
- Caudal Específico: 4,0 m³/h x metro.

4.2. WSE-03:

- Nivel Estático: 16,794 metros
- Nivel Dinámico al cual estabilizó: 21,00 metros
- Caudal: 41,40 m³/hora (11,5 lts/seg.)
- Caudal Específico: 9,8 m³/h x metro.

4.3. WSE-04:

- Nivel Estático: 18,76 metros
- Nivel Dinámico al cual estabilizó: 21,50 metros
- Caudal: 55,80 m³/hora (15,5 lts/seg.)
- Caudal Específico: 20,36 m³/h x metro.

5. Niveles y Piezometría

5.1. Monitoreo de Niveles

Se realiza un monitoreo de los niveles en los pozos para establecer las posibles variaciones espaciales y temporales del volumen de agua almacenada en el acuífero. Tabla 3. Es importante mencionar que estos valores son históricos y fueron tomados, en su estado natural del acuífero, antes de una extracción continua como la que tenemos en el presente.

Pozo	X	Y	Tipo de Pozo	Fecha de inicio de Medición	Cota del terreno ,donde se hace la medida Z(m.s.n.m)	Medida de profundidad nivel (m),a partir de la cota del terreno	Cota de nivel freático (msnm)	Observaciones
WSE-02	3421955	7391146	Producción	Diciembre 2011	3959.805	14.39	3945.415	Estas mediciones corresponden al estado natural del acuífero, salvo las fluctuaciones del mismo
WSE-03	3422075	7390531	Producción	Enero 2012	3961.13	15.82	3945.31	
WSE-04	3421659	7390541	Producción	Enero 2012	3963.51	17.86	3945.65	
WSE-05	3421848	7390932	Piezómetro	Enero 2013	3961.13	15.06	3946.07	

Tabla.1

5.2. Mapa Piezométrico

El sentido del flujo del agua fig. 2, es desde líneas de mayor altura piezométrica pozo WSE-05 hacia líneas de menor altura piezométrica pozos WSE-04,03, en dirección de la máxima pendiente, es decir, perpendicularmente a las mismas líneas izopiezas. La línea de flujo en otras palabras nos muestra que trayectoria recorrería una gota de agua subterránea, en este caso lo hace del pozo WSE-05 hacia los otros. También es de aclarar que no se usó el pozo WSE-02, ya que este mide el acuífero hasta los 28 m ósea con penetración parcial, distinto a los otros pozos que miden hasta los 53 m, lo que genera un flujo dentro del acuífero diferente. Actualmente no existe afectación de la dirección del flujo, por inducción de bombeo intensivo o extensivo, que produzcan cambios de dirección de la condición natural que presentan.

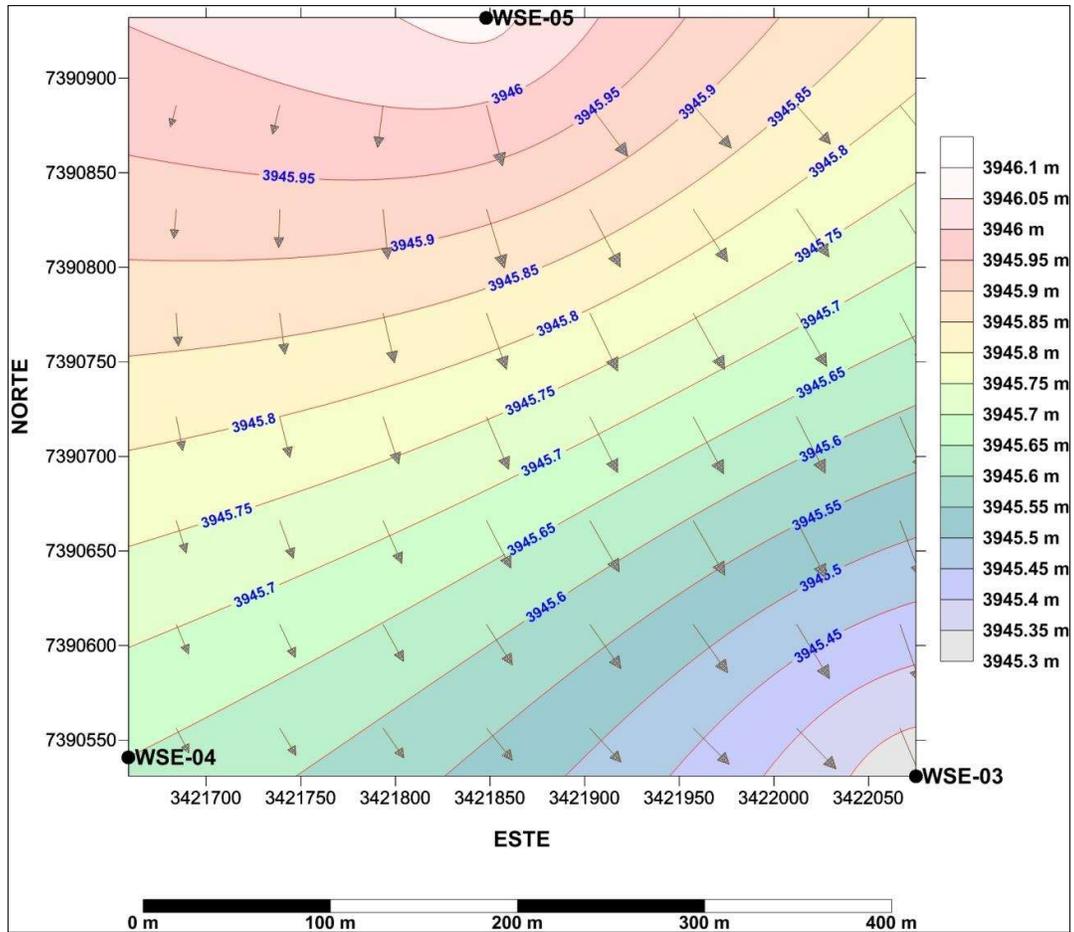


Fig.2

Referencias

➔ Dirección de Flujo



Curva isopieza y cota de la superficie piezométrica.

- Pozos

1.

5.3. Gradientes Hidráulicos

En las siguientes tablas 2 y 3, se muestra las distancias y los valores de los gradientes.

Distancias en metros				
Pozo	WSE-02	WSE-03	WSE-04	WSE-05
WSE-02		613.49	658.99	236.93
WSE-03	613.49		414.15	450.14
WSE-04	658.99	414.15		421.36
WSE-05	236.93	450.14	421.36	

Tabla.2

Gradiente Hidráulico				
Pozo	WSE-02	WSE-03	WSE-04	WSE-05
WSE-02		0.002	0.005	0.003
WSE-03	0.002		0.005	0.002
WSE-04	0.005	0.005		0.007
WSE-05	0.003	0.002	0.007	

Tabla.3

2. El gradiente de flujo es del norte y oeste hacia el salar.

6. Simulación de un Solo Pozo Extrayendo 55 l/s.

En base a los parámetros del acuífero $T=200 \text{ m}^2/\text{día}$, si proyectamos que un solo pozo extraiga los 55 l/s, el descenso que se puede obtener es de casi 42 m, al cabo de 10 años, en la Fig. 3.

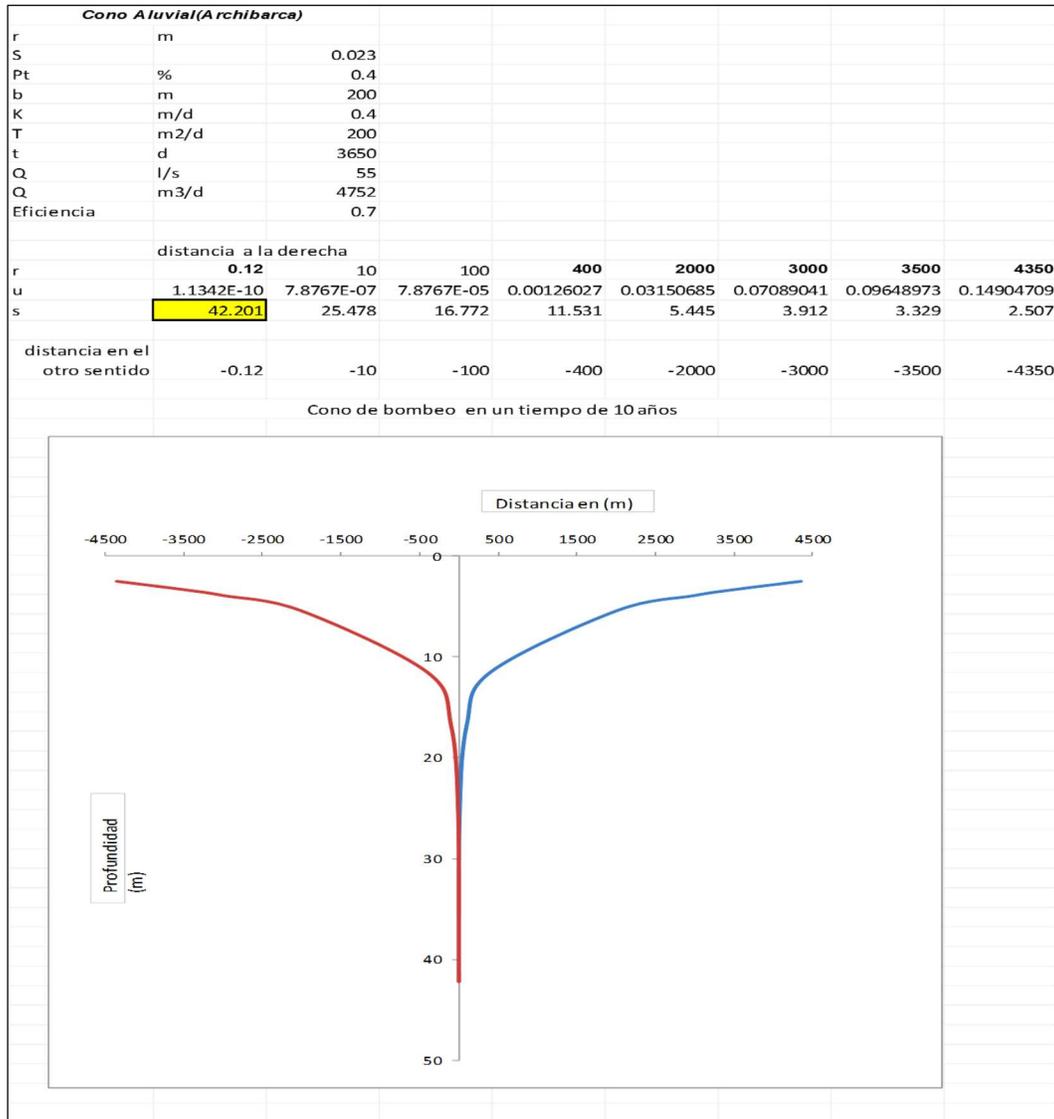


Fig.3.

Si ahora consideramos una $T = 300 \text{ m}^2/\text{día}$, y proyectamos que un solo pozo extraiga los 55 l/s, el descenso que se puede obtener es de casi 29 m, al cabo de 10 años, en la Fig.4.

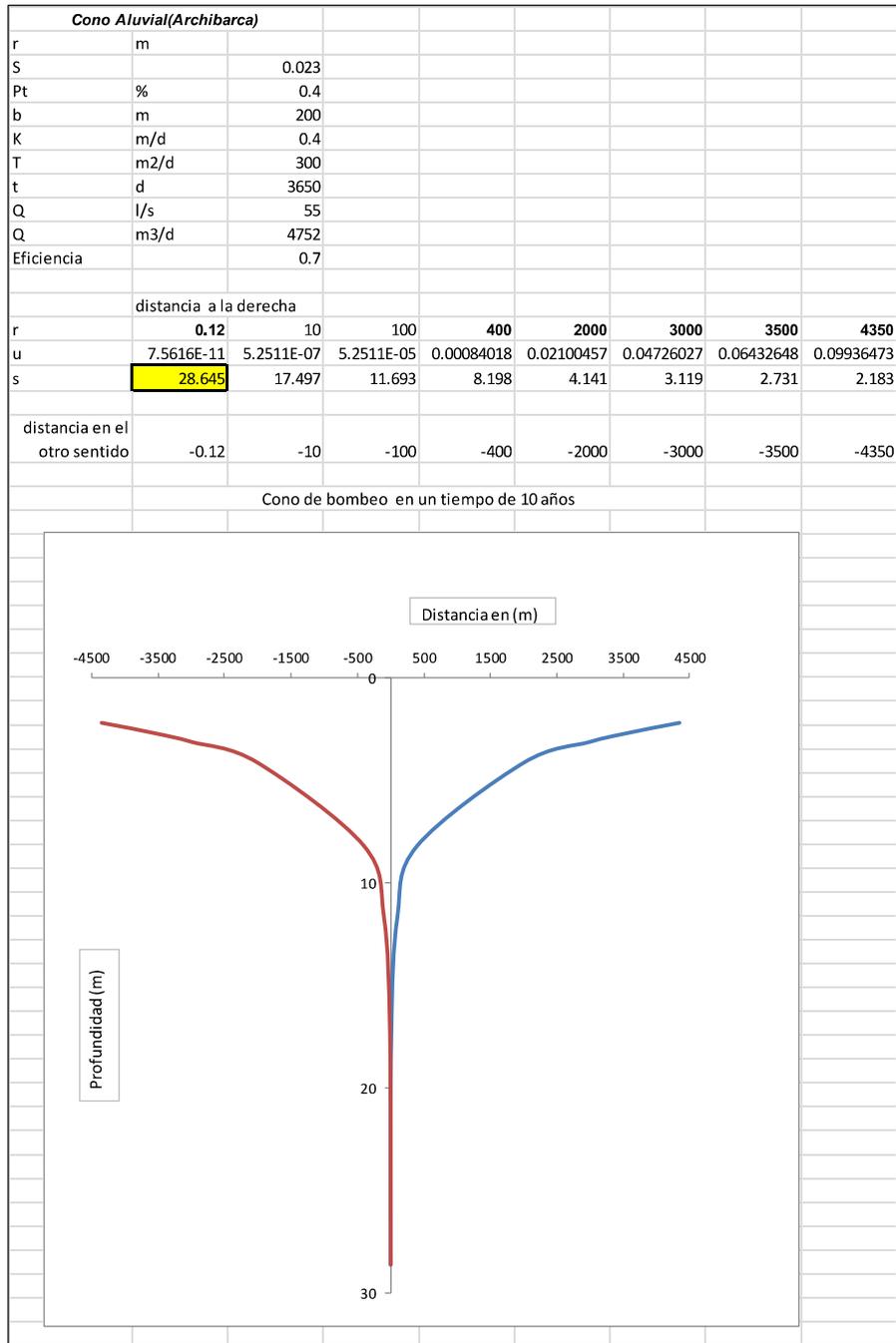


Fig.4.

Considerando una $T=400$ m²/día, y proyectamos que un solo pozo extraiga los 55 l/s, el descenso que se puede obtener es de casi 20 m, al cabo de 10 años, en la Fig. 5.

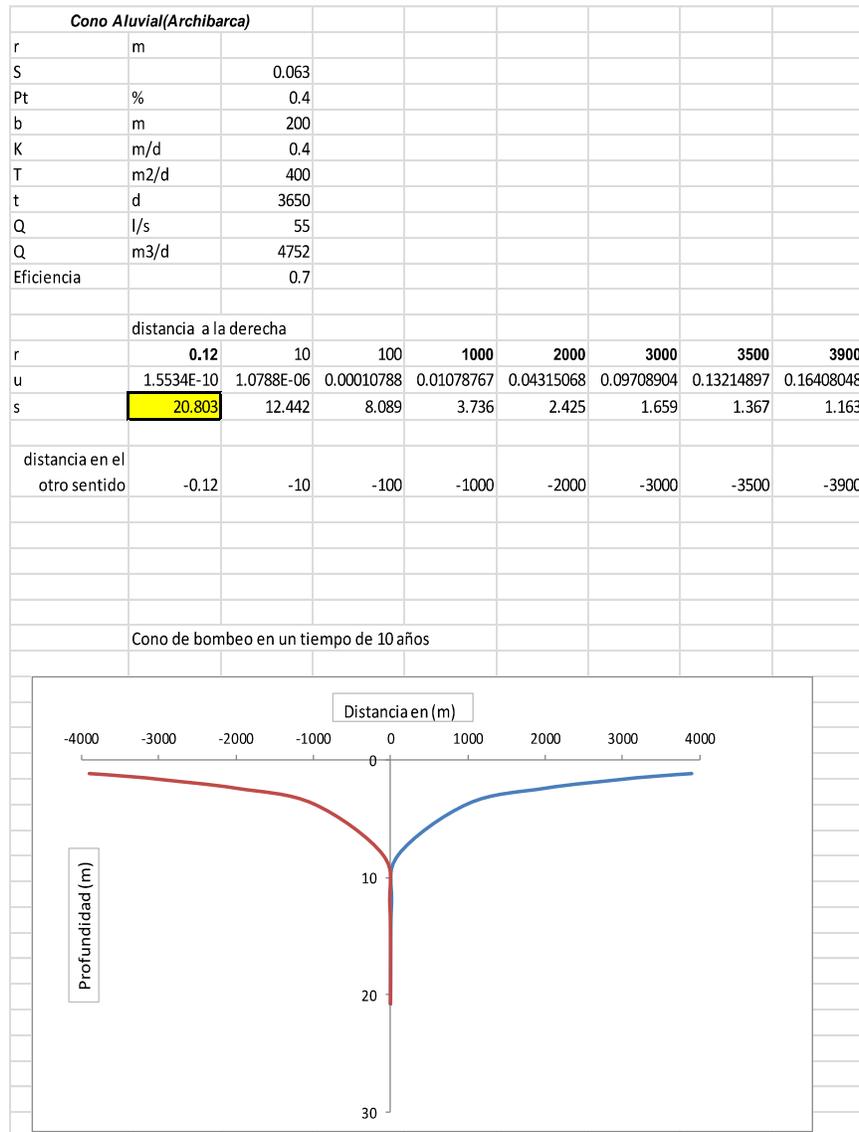


Fig.5.

7. Análisis de Simulación Hidrogeológica

En forma simultánea se simula la extracción de cuatros pozos al mismo tiempo, cada uno con sus caudales variables para tratar de llegar a la realidad física, con

55 l/s, por el campo de pozos. Para obtener los valores hidrogeológicos del sector o región del acuífero donde están ubicados los cuatro pozos, se usa el piezómetro (WSE-05) para obtener dichos parámetros, tabla 4 y 5.

Pozo	Caudal (l/s)	Observaciones
WSE-02	5	
WSE-03	12	
WSE-04	16	
WSE-06	22	Pozo no existente.

Tabla.4

Piezómetro	T(m ² /d)	K (m/d)	S
WSE-05	400	10	0.063
WSE-05	200	5	0.023
Promedio	300	7.5	0.043

Tabla.5.

El valor del almacenamiento (s), representa a un acuífero libre es entre 0.023 a 0.063, lo cual se condice con el tipo de ambiente del acuífero de tipo libre y de la litología.

Simulación-Bombeo 10 años con Transmisividad de 200 m²/día

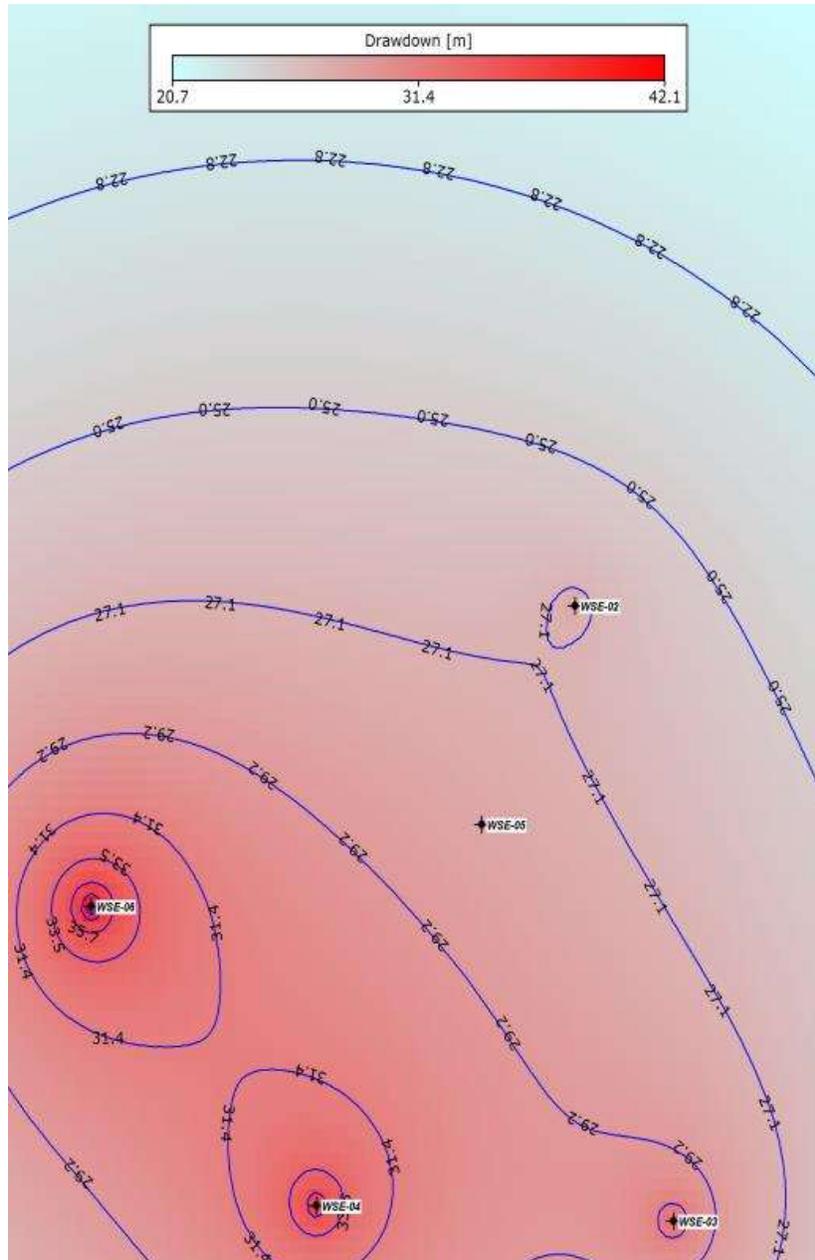


Fig.6

Simulación-Bombeo 10 años con Transmisividad de 300 m²/día.

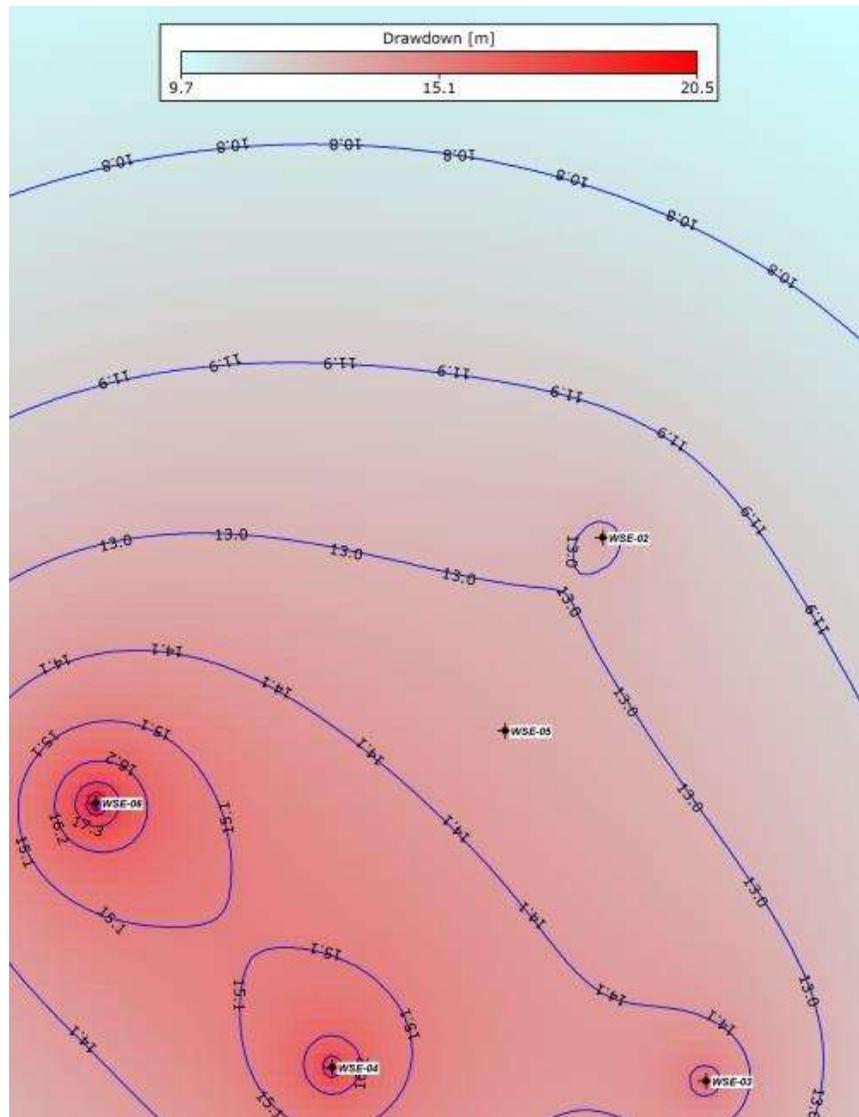


Fig.8.

Según lo que se observa, en respuesta de la simulación de los tres escenarios planteados al cabo de los años y usando un flujo de 55 l/s, se lo ajusto con la realidad actual del campo de pozos, es una base para poder proyectar y poder predecir el aumento del nuevo flujo deseado de 55 l/s. Es de aclarar que esta suposiciones tratan de representar las variables conocidas y también las pocos

conocidas, es por eso que se supone un acuífero de condiciones isotropas, de extensión infinita, que la reducción del espesor saturado del acuífero libre no supera un 15 %. Que los pozos tienen una penetración total en el acuífero. Como siempre es una posibilidad en la naturaleza y más en este ambiente hidrogeológico, muchos de estas condiciones generalmente no se cumplen por eso las variaciones posibles de las Transividades y almacenamiento, etc. Pero en general el ajuste de los distintos escenarios resulta aceptable y muy conservador.

8. Estimación de la Recarga Mediante la Ecuación de Darcy

La Ley de Darcy se utiliza para estimar el flujo a través de una sección transversal de un acuífero no confinado o libre. El método asume la existencia de un flujo constante y sin extracción de agua. El flujo de agua o caudal (**Q**) subterráneo se calcula multiplicando la conductividad hidráulica o permeabilidad darciana (**Kd**) por el gradiente hidráulico (**i**) (que puede ser determinado estableciendo la trayectoria del flujo de agua en un ángulo recto respecto a dos líneas equipotenciales) y por la sección o área drenante saturada.

$$Q = K. i. A \quad \text{o} \quad Q = T. i. L$$

Dónde:

K = Permeabilidad m/d

I = gradiente hidráulico

A = área (m²)

T = Transmisividad (m²/día)

L = longitud (m).

El caudal (**Q**) es comparable con la tasa de recarga (**R**) del área en cuestión.

El método de Darcy ha sido utilizado por Theis (1937) y Belan y Matlock (1973).

El método es relativamente fácil de aplicar si se conoce aproximadamente bien los parámetros que solicita la expresión matemática. Si bien las estimaciones de Recarga basadas en la Ley de Darcy pueden ser inciertas, principalmente debido

a la variabilidad de la conductividad hidráulica, también es cierto que es una técnica ampliamente utilizada en regiones o cuencas con superficies de gran tamaño como la del Salar del Olaroz.

Durante el mes de febrero 2016 se realizó una campaña de prospección geoelectrica de 100 (SEV), con el objetivo de reconocer la presencia de los distintos tipos de aguas, dulce-salado, presentes sobre en los conos aluviales del Salar, se representan las primeras interpretaciones de la prospección realizada en los dos conos coalescentes de Archibarca y Telitari. En la actualidad esta información se está concluyendo por parte de la consultora externa.

En la fig. 9, se puede observar el perfil Norte-Sur desde el SEV 12 al 23, con una extensión de 16 kilómetros.

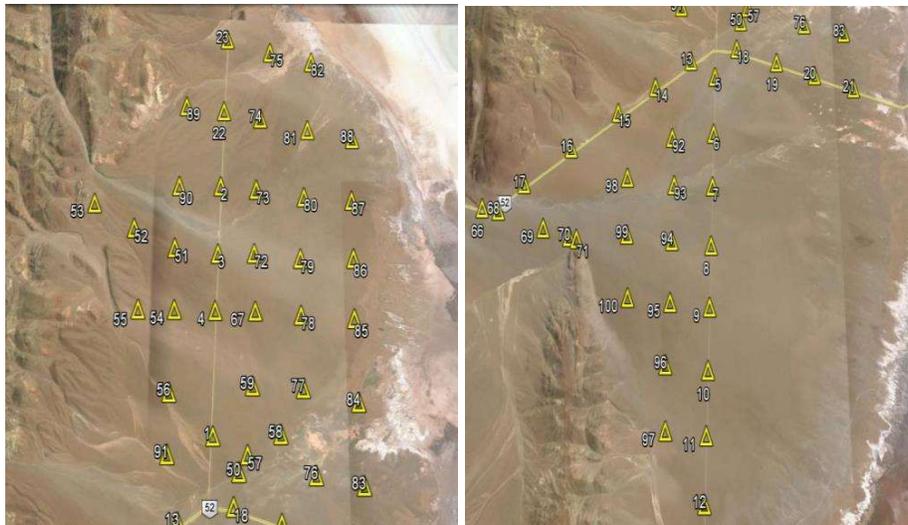


Fig.9.

De este perfil norte- sur, se muestra la representación de las distintas fases Hidroquímica encontradas en subsuelo fig. 10 y 11, de la cual se observa el cambio de espesor del acuífero saturado con agua dulce, donde es más potente al norte SEV 4 al 2, y la zona más conductiva por debajo de este, que puede atribuirse a un horizonte con presencia de agua más salada, hasta salmuera.

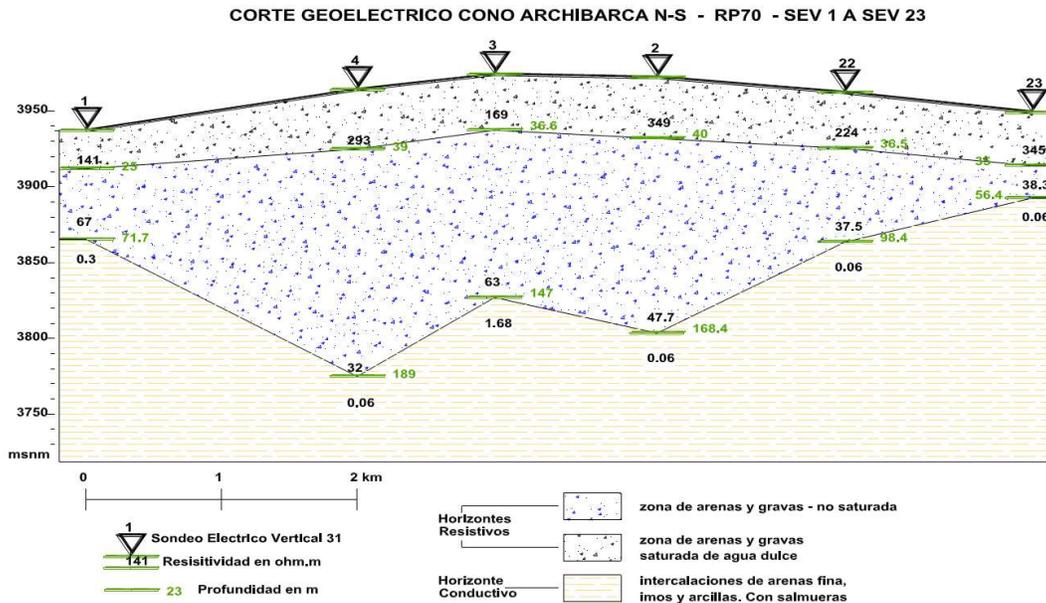
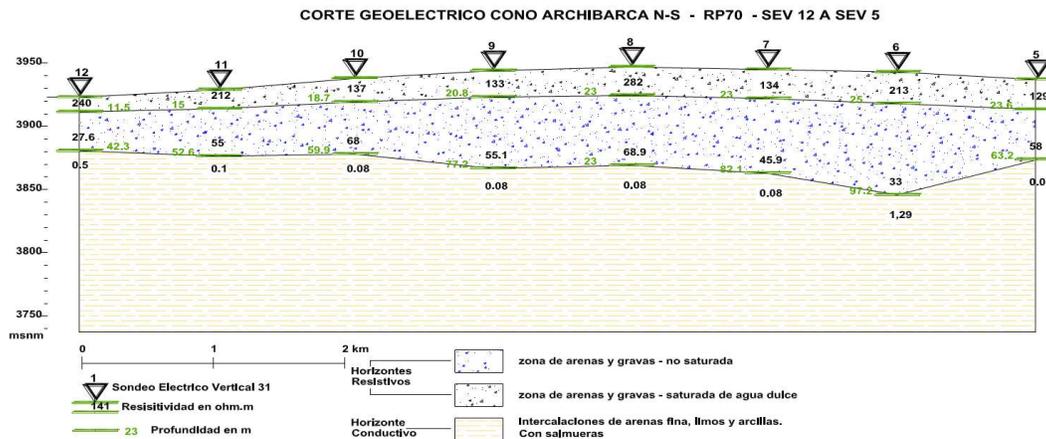


Fig.10



Se estima que el área transversal efectiva de los sedimentos aluviales saturados en todo el abanico de Archibarca es de **608000 m²**. Se estima que el gradiente hidráulico en esta área es de **0,007**. Los datos de conductividad hidráulica (**K**) de **5 m/día**, se estima el flujo pasante del agua subterránea está en un orden de **7.8 millones de m³/año**. Tabla 6.

Punto SEV	X	Y	Cota Superficie	Espesor Zona seca	Cota Techo Acuífero	Espesor Acuífero	Cota Base Acuífero
12	7382684	3420922	3921	11.5	3909.5	30.8	3878.7
11	7383739	340960	3930	15	3915	37.6	3877.4
10	7384778	3421002	3936	18.7	3917.3	41.2	3876.1
9	7385814	3421037	3942	20.3	3921.7	56.9	3864.8
8	7386859	3421074	3947	22.5	3924.5	55.3	3869.2
7	7387897	3421108	3945	23	3922	59.1	3862.9
6	7388846	3421135	3942	25	3917	72.2	3844.8
5	7389904	3421172	3934	23.6	3910.4	39.6	3870.8
1	7391240	3420267	3937	25	3912	46.7	3865.3
4	7393549	3421288	3972	40	3932	128.4	3803.6
3	7394503	3421334	3973	36.6	3936.4	110.4	3826
2	7395670	3421376	3964	39	3925	150	3775
22	7397029	3421426	3951	36.6	3914.4	61.8	3852.6
23	7398372	3421489	3941	36	3905	20.4	3884.6
				26.63		65.03	
				Espesor Promedio Acuífero (m)	38.4		
			Q = K . i . A.365	7848960	m ³ /año		

Tabla.6

Utilizando la misma expresión de Darcy, pero considerando una transmisividad muy conservadora de 200 m²/día, se obtiene un valor de flujo pasante de agua subterránea del orden de 8.1 millones de m³/año. Tabla 7.

Punto SEV	X	Y	Cota Superficie	Espesor Zona seca	Cota Techo Acuífero	Espesor Acuífero	Cota Base Acuífero
12	7382684	3420922	3921	11.5	3909.5	30.8	3878.7
11	7383739	340960	3930	15	3915	37.6	3877.4
10	7384778	3421002	3936	18.7	3917.3	41.2	3876.1
9	7385814	3421037	3942	20.3	3921.7	56.9	3864.8
8	7386859	3421074	3947	22.5	3924.5	55.3	3869.2
7	7387897	3421108	3945	23	3922	59.1	3862.9
6	7388846	3421135	3942	25	3917	72.2	3844.8
5	7389904	3421172	3934	23.6	3910.4	39.6	3870.8
1	7391240	3420267	3937	25	3912	46.7	3865.3
4	7393549	3421288	3972	40	3932	128.4	3803.6
3	7394503	3421334	3973	36.6	3936.4	110.4	3826
2	7395670	3421376	3964	39	3925	150	3775
22	7397029	3421426	3951	36.6	3914.4	61.8	3852.6
23	7398372	3421489	3941	36	3905	20.4	3884.6
				26.63		65.03	
				Espesor Promedio Acuífero (m)	38.4		
			Q=T. i . L	8176000	m ³ /año		

Tabla.7

Conocido el caudal darciano (**Q**) se usa el valor más conservador de **7.8** millones de m³/h se puede establecer la velocidad darciana (**Vd**), para esa sección drenante, ésta alcanza un valor de **0.035 m/día**. La velocidad real (**VR**) queda

definida por el cociente entre la velocidad darciana (V_d) y la porosidad eficaz (me), alcanzando un valor de **1.16 m/día**. A partir de este concepto, se puede estimar que el tiempo en que tardaría una molécula de agua que se infiltra en la parte apical del reservorio y recorre aproximadamente **7 km** para llegar a la zona de los pozos es de **6 años**.

Obtenido en la simulación el coeficiente de almacenamiento de **3%**, la cual representa la porosidad eficaz siendo un valor muy conservador. Respecto a este número, se puede señalar que puede resultar bajo si se tiene presente las facies sedimentarias presente en el abanico aluvial de Archibarca, pero al no contar con datos directos, se ha optado por ser conservadores y asumir este valor para posteriores cálculos.

De tal manera que se estima y siendo conservador una área de **201.43 km²**, y un espesor medio de **38.4 m** y la porosidad eficaz de **0.03**.

Establecido el volumen del reservorio y conocida la porosidad eficaz se puede calcular, estimativamente, que las reservas económicamente explotables de *agua dulce* alcanzan a **232 millones de m³**

Teniendo en cuenta que el caudal darciano anual estimado es de aproximadamente **7.848.960 m³/año** y que las reservas de agua extraíbles calculadas para esta unidad se encuentran en el orden de los **232 millones de m³**; se puede señalar que el consumo máximo futuro de agua es de aproximadamente **55 l/s.** o **1.734.480 m³/año**, lo que representaría aproximadamente **un 0.74% de las reservas y el 22 % del caudal darciano anual**.

El consumo total de agua del proyecto durante los **20 años** con un caudal de **55 l/s**, de producción de la mina es de aproximadamente **35 millones de m³**, es decir aproximadamente el **15 por ciento del agua subterránea de la reserva**.

9. Conclusiones

-Con los nuevos datos aportados por los perfiles de la geoelectrónica, se pueden conocer más detalles las interfaces hidroquímica de los distintos tipos de aguas.

-El caudal darciniano obtenido es de **7.848.960 m³/año**, conceptualmente este flujo pasa por el cono y este es el flujo se almacena en dicho cono, si extraemos anualmente el equivalente de **55 l/s**, estamos usando el 22 % de este flujo pasante.

-La subcuenca tiene **201.43 km²**, y en ella posee una reserva económicamente extraíble de aproximadamente unos **232.047.360 m³**, anualmente con un caudal de **55l/s** estaremos extrayendo aproximadamente el 0.74 %.

-Si durante **20** años extraemos aproximadamente **34.689.600 m³** de agua de la reserva, estamos utilizando un 15 % de la misma. Quedando todavía en el reservorio unos **197.357.760 m³**.

-Los parámetros del acuífero simulado con **55 l/s**, son transmisividad de **200-300** y **400 m²/día**, permeabilidad de **10** y **5 m/día**, y un almacenamiento de **2.23** a **2.63 %**.

-Para los cálculos de la recarga se usaron permeabilidad (**k=5 m/día**), valor muy conservador, porosidad eficaz de **3%** para calcular el volumen del reservorio.

-Con los parámetros de acuífero, menor valor y máximo valor, se simuló con un caudal de 55 l/s, se tendría un descenso en el peor escenario de **42** metros y **20 m** para un mejor escenario de la superficie freática al cabo de 10 años de bombeo ininterrumpido.

-Sobre todo lo expuesto, el área de Archibarca sí tiene la capacidad de proveer el abastecimiento de agua demandada.