

Índice

1- Caracterización Hidrogeológica.....	2
2- Reservoirio de Agua Dulce-Salobre.....	3
3- Hipótesis de la desconexión entre el acuífero de Agua dulce salobre -Acuífero salmuera , en el margen Este del salar.....	3
4- Geofísica.....	12
5- Ensayo de Bombeo de los pozos WSE-02,03 y 04.....	15
6- Niveles y Piezometría.....	17
7- Gradientes Hidráulico.....	19
8- Estimación de la Recarga de las Subcuencas a Partir de las Precipitaciones.....	19
9- Estimación de la Recarga mediante la ecuación de Darcy.....	25
10- Reservoirio de Salmuera.....	26
11- Ensayos de Bombeo.....	30
12- Niveles y Piezometría-Salmuera.....	34
13- Gradientes Hidráulicos-Salmuera.....	36

1- Caracterización Hidrogeológica

1.1 Acuíferos Reconocidos

Es importante de separar los dos principales reservorios presentes:

1- Acuífero de agua dulce-salobre presente en el cono aluvial de Archibarca en la parte oeste, donde actualmente se extrae el agua para uso industrial. También se desarrollan otros conos aluviales de origen clástico en la parte este, en la zona marginal de los depósitos salinos.

2- Acuífero de salmuera del Salar de Olaroz, donde se extrae la materia prima para el proceso de obtención del carbonato de Litio en facies clásticas y evaporíticas. Como se observa en la fig1.

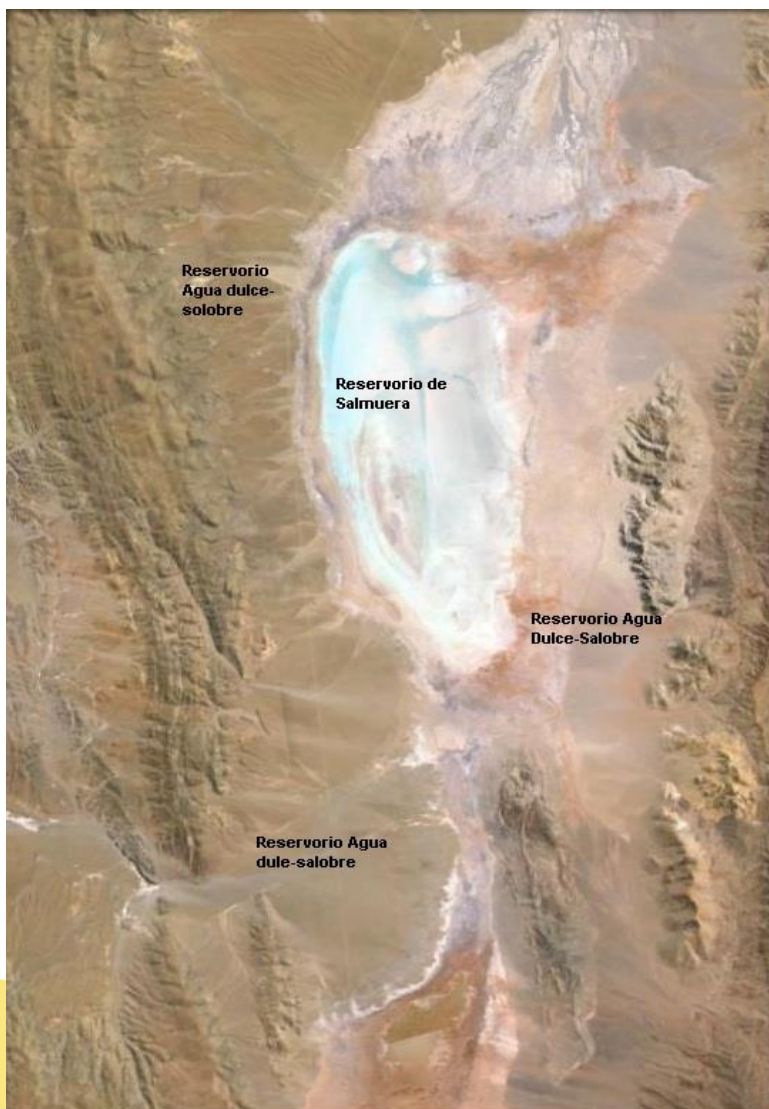


Fig.1

2-Reservorio de Agua Dulce-Salobre

Desde el punto de vista conceptual en su funcionamiento y la relación de las distintas aguas presentes, es importante mencionar la clara diferencia entre los dos márgenes donde están presentes los conos, el sector este y oeste donde se aloja el acuífero dulce- salobre.

3-Hipótesis de la desconexión entre el acuífero de Agua dulce salobre -Acuífero salmuera , en el margen Este del salar.

No vamos a mencionar lo que es un tema un poco más conocido, y en lo que en la bibliografía mas se asemeja y lo que podemos encontrar como acuíferos costeros (la intrusión del agua salada sobre el agua dulce), sin bien en este ambiente cono-salar tiene muchas variables parecidas pero también algunas diferencias importantes ,pero en definitiva se puede usar los principios básicos de las metodologías para estos casos, etc.

Ahora de que pueda ocurrir lo contrario ósea de la intrusión de agua dulce en el salar para generar la dilución de la concentración del litio, si bien es una posibilidad pero seguro que depende de variables como ser el potencial hidráulico del acuífero etc. No está desarrollada esta temática en la bibliografía, salvo trabajos específicos como ser en el salar de Atacama, por lo menos se demostró que existe una desconexión entre estos acuíferos de agua dulce y de salmuera.

La bibliografía menciona que solo un ambiente genera el desfasaje o cambio de equilibrio por bombeo de la fase agua dulce ubicado en el continente, y que del mar no se genera el bombeo, pero en el ambiente cono -salar al generar el bombeo de salmuera seguro genera un desplazamiento con la fase de agua dulce, pero acá lo distinto también si se bombea agua dulce se genera un nuevo escenario de desplazamiento de las fases. Los nuevos escenarios y desplazamiento existentes se deberán gestionar para conocer las posiciones en ambos casos.

En el caso de que el agua dulce pueda entrar al salar y vencer la barrera física generada por la diferencia de densidad , se deben dar varias condiciones como ser una alta tasa de recarga del acuífero dulce, esto genera movilidad , por la diferencia de energía, sumado a que se puede considerar un ambiente poroso y es aplicable la teoría de Darcy , además debe tener una continuidad el acuífero hacia el borde del salar, que las salmuera explotadas tengan una baja concentración de iones dentro de esta solución lo cual se refleja en su conductividad o en su cantidad de sólidos totales , su densidad ,etc.

Algo que es un tema que tiene que quedar claro, es el concepto de agua dulce para esto vemos el contenido de los sólidos totales disueltos (STD), otra expresión de la salinidad y que nos ayuda a tener una dimensión de las aguas que encontramos en el ambiente cono-salar.

<2000 mg/l agua dulce

>2000 mg/l y < 5000 Agua salobre

>5000 mg/l y < 40000 Agua salada

>40000 mg/l Salmuera

Los pozos de extracción en el cono de Archibarca ,su contenido de (TDS), ronda entre 1020 a 2700 mg/l, lo que indica agua dulce y salobre. Los pozos de extracción de salmuera superan a mas de 330.000 mg/l el contenido de sólidos totales disueltos.

3.1 Modelo Conceptual estimativo, del lado Este del Salar

Lo que se quiere es plantear un modelo conceptual teórico de cómo podrían actuar el sistema de la interface de agua dulce-salmuera, se aclara que nunca se descarta la opción de que puede ingresar el agua dulce al salar, pero también se plantea la situación de porque el agua dulce no podría tener una relación con el acuífero de salmuera, seguro con el tiempo y teniendo más conocimiento de las variables veremos el real funcionamiento del sistema. La adopción de estos conceptos ,consisten tanto en fundamentos teóricos como empíricos.

3.2 Hipótesis A

-Si hay un escaso desarrollo del acuífero de agua dulce en cuanto a su espesor y también a su continuidad ,lo que puede acuñarse en dirección al salar que no llega a los bordes del mismo. En este caso genera una total desconexión hidráulica entre el acuífero dulce con respecto al acuífero de salmuera en forma lateral y así disminuye la probabilidad de generar la dilución de la salmuera en el tiempo.

El porqué de esta apreciación que se puede dar en la margen este de nuestro salar, se debe a la apreciación superficial, el sector tiene una pendiente mucho mayor que la parte que de la margen oeste del salar, lo que indica que tiene poca actividad como ser, erosiva, tectónica es decir es un margen pasivo. También se suma que el tamaño de las quebradas desarrolladas en este sector condicionan el desarrollo de un acuífero con espesor importante. Es de suponer que la presencia de un acuífero de relevancia se encuentra también limitada por la escasa potencia de estos conos y además si le sumamos la presencia de arenas medias en una matriz fina, hace que los acuíferos sean de poca importancia.

Minera Exar realizó una serie de SEV sobre el cono, en la parte sureste del salar de Olaroz ,Fig. 2.En la línea 20,fig. 3, se muestra el perfil geoléctrico, donde el acuífero dulce tiene un espesor mayor en la parte alta y se va acuñando, no llegando al borde mismo del salar .Así mismo se identifica debajo de esta una zona una no saturada, lo que indica un acuífero dulce muy superficial de tipo libre, y de espesor promedio 25 m. Debajo de este horizonte de agua dulce existe la presencia de la zona de mezcla que ya tiene una alta concentración de elementos en solución y espesor promedio de más de 50 m, el espesor de esta zona depende las características de los movimiento de los fluidos , debajo de la zona de mezcla podemos encontrar una zona mucho mas salada que podemos decir que es sedimentos saturados de salmuera.

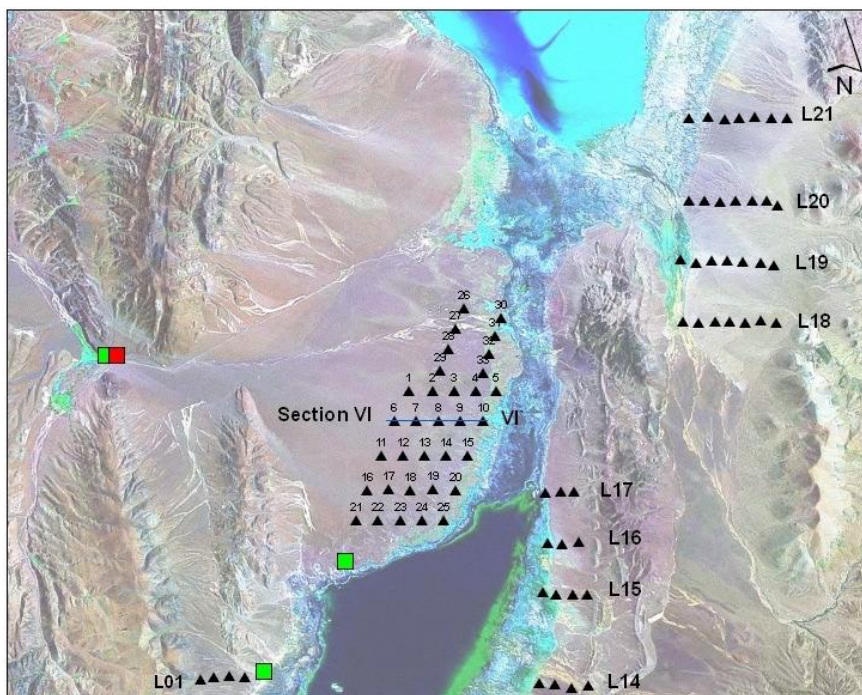


Fig.2

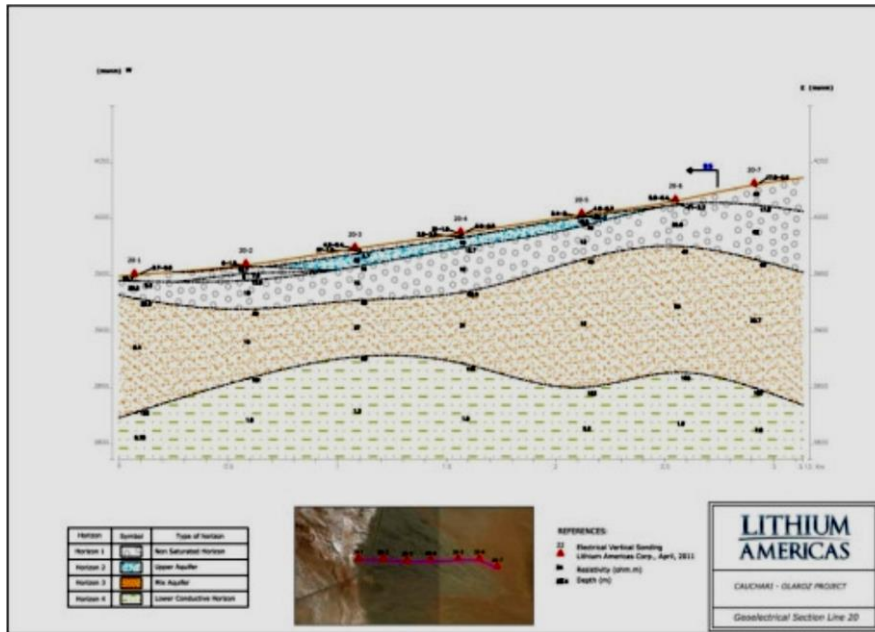


Fig.3

3.3 Relación de densidad de las agua vs la profundidad de los pozos ,DWE,DDH1,CD06

En la fig. 4 se observa la ubicación de los pozos Exar(Pe03, DDH1), y los DWE, CD06(Sales de Jujuy).



Fig.4

En la fig.5 se representa los pozos DWE,DDH1 y CD06, El pozo DWE está ubicada en la parte distal del cono, la densidad es un indicador del tipo de agua que está presente ya desde los primeros metros del acuífero indica una densidad mayor a la del agua del mar, lo que marca claramente que estamos en presencia del acuífero salobre, la densidad va en aumento hacia el salar, es lo que también se observa en el DDH1, que sigue el camino de la evolución hidroquímica, e ingresando más hacia el oeste , el pozo CD06 la densidad es mayor.

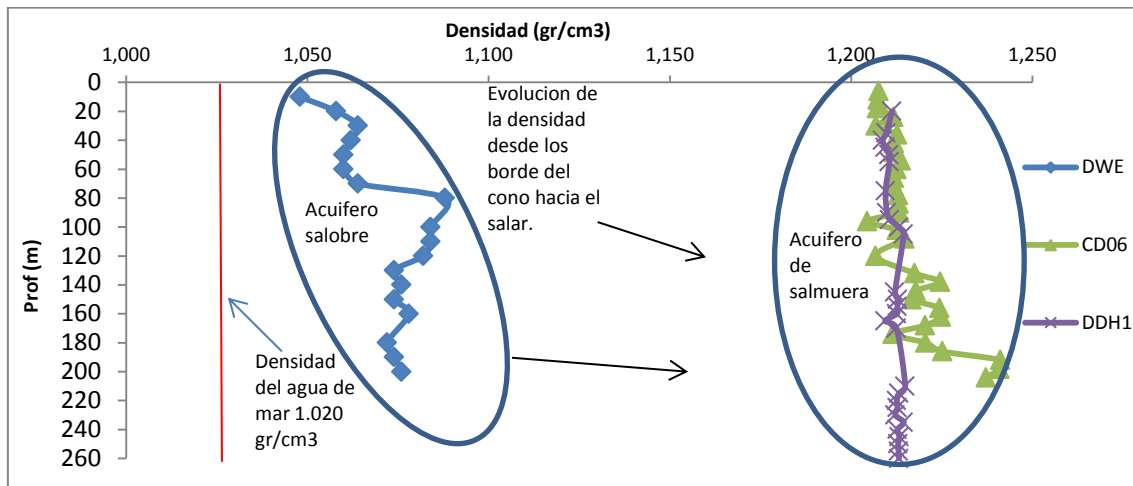


Fig.5

3.4 Ensayos de Laboratorio

Se realizaron pruebas en laboratorio, para tratar de aproximarse al ambiente con toda la limitaciones de variables que no se pueden reproducir en el ambiente físico real del acuífero, como ser la viscosidad del líquido, la temperatura real etc.

La primera prueba consistió a partir de dos soluciones ,una de salmuera del pozo PP21 y la otra de agua dulce del pozo WSE-03 se genero mezclas, como se ve en la tabla 1.

	Li	Na	Densidad (gr/ml)	Cond (ms/cm)	Ph
WSE-03	3.311	406.9	1.000	2.85	7.60
PP21	672.9	108400	1.216	226	6.69
90mlPP21+10ml agua	619.9	96620	1.213	220	6.81
80mlPP21+20ml agua	538.4	81820	1.168	215	6.94
70mlPP21+30ml agua	487.2	71260	1.152	205	7.07
60mlPP21+40ml agua	436.4	61240	1.140	191.9	7.16
50mlPP21+50ml agua	365	53680	1.135	172.9	7.29
40mlPP21+60ml agua	293	42550	1.090	148.8	7.41
30mlPP21+70ml agua	217.2	31740	1.067	121	7.52
20mlPP21+80ml agua	144.8	18200	1.045	87.7	7.65
10mlPP21+90ml agua	78.88	11230	1.023	50.9	7.76

Tabla.1

En la representación grafica de la fig. 6, se puede ver que se parte de las dos soluciones iniciales identificadas por el círculo, a medida que se van generando la mezcla, se hace casi una relación lineal. Ya con la ultima mezcla la concentración del litio se redujo casi un 88%, de la salmuera original, la densidad quedo muy cercana a la del agua del mar, y conductividad también se redujo casi un 77%. El agua dulce original también en la última mezcla aumento su densidad a 1.023 gr/ml aumentando un 2%, la concentración del litio aumento a casi 23 veces, y la conductividad aumento casi 18 veces.

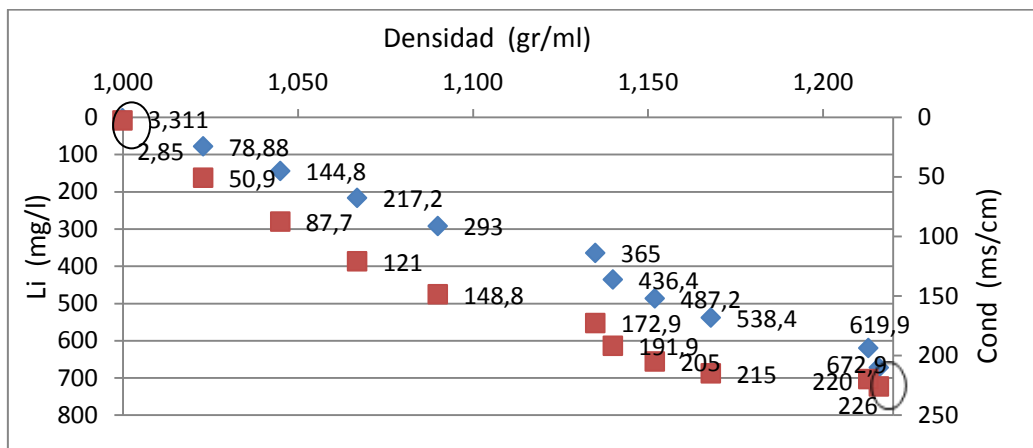


Fig.6

También se realizo la prueba con dos soluciones, una de salmuera del pozo PP21 y la otra de agua salobre del piezómetro DWE se genero mezclas, como se ve en la tabla 2.

	Li	Na	Cond(ms/cm)	Densidad(gr/ml)	Ph
PIEZOMETRO DWE	132.8	22320	82.7	1.055	7.34
PP21	794.3	112700	208	1.216	6.55
90mlPP21+10ml piezo DWE	706	96810	203	1.201	6.75
80mlPP21+20ml piezo DWE	637	85110	201	1.185	6.81
70mlPP21+30ml piezo DWE	597	79570	196	1.171	6.87
60mlPP21+40ml piezo DWE	522	41320	190	1.156	6.95
50mlPP21+50ml piezo DWE	464	68600	180	1.142	7.03
40mlPP21+60ml piezo DWE	402	36320	165	1.124	7.13
30mlPP21+70ml piezo DWE	400	53610	149	1.11	7.22
20mlPP21+80ml piezo DWE	340	46000	130	1.089	7.32
10mlPP21+90ml piezo DWE	210	28730	112	1.074	7.41

Tabla.2

En la representación grafica de la fig.7, se puede ver que se parte de las dos soluciones iniciales identificadas por el círculo, y el avance de la generación de la mezcla. Ya con la ultima mezcla la concentración del litio se redujo casi un 73%, de la

salmuera original, la densidad se redujo casi un 88%, y conductividad también se redujo casi un 46%. El agua salobre original también en la última mezcla aumento su densidad a 1.074 gr/ml, la concentración del litio aumento un 37 %, y la conductividad aumento casi un 26%.

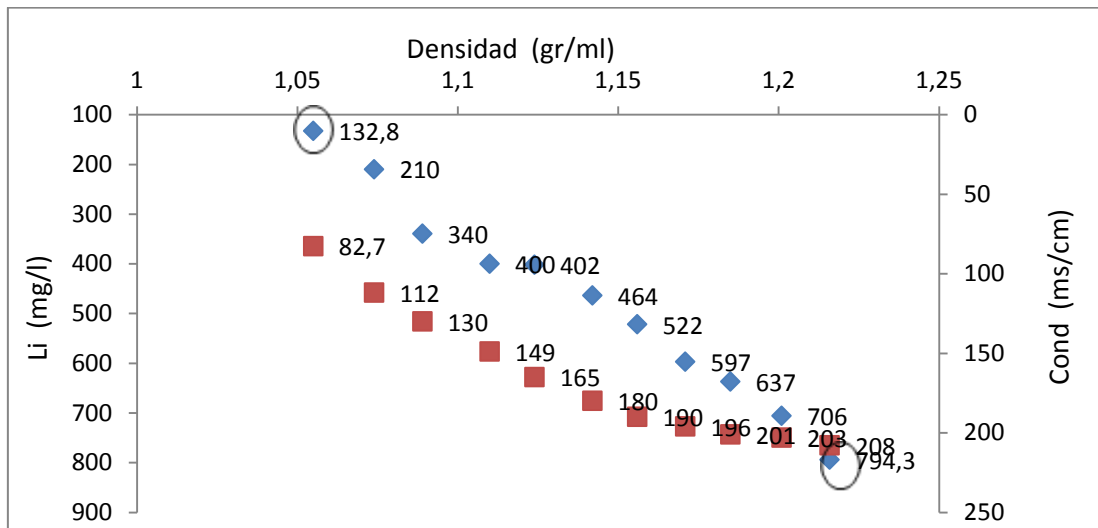


Fig.7

En base a las evidencias podemos hacer un resumen del modelo conceptual considerando esta hipótesis como se ve en la fig.8 . En este sector el acuífero de agua dulce si bien esta presente pero vemos que no tiene mucho espesor y se va acuñándose , y pierde la continuidad lateralmente por eso no llega al salar, que flota sobre una zona no saturada o directamente sobre el agua salobre. En los pozos PE03 (Exar) tiene una surgencia muy marcada y DWE(Sales) la surgencia es muy leve. En esto caso la superficie piezometrica intercepta a la topográfica y se genera estas condiciones artesianas.

El pozo DDH1, está ubicado en un bloque hundido ósea en la fosa tectónica del graben, esto se puede observar en la fig.9, debido a la correlación estratigráfica .Si la falla en caso de estar presente ya nos está diciendo que esta estructura puede funcionar como una barrera hidráulica lo que podría limitar en medida el flujo o por lo menos hacerlo todavía mucho más lento el movimiento de los líquidos principalmente salmuera, y en menor medida el agua de mezcla.

Algo muy destacable y fundamental es el criterio de buscar un horizonte guía para poder correlacionar unidades en cualquier sector del salar, para esto se uso Halita, pero no cualquier horizonte del mismo ,sino el mas resistivo o masivo comportándose como un basamento ,por nuestra experiencia se decidió usar la herramienta de perfilajes de pozos usando la resistividad normal larga , los cuales en estos tipos de ambientes salinos se comparten en forma invertida a lo que se muestra en la bibliografía, y solo referida para un ambiente de agua dulce , y lo que pude generar

graves errores de interpretación, sin considerar lo inverso que se comporta en el ambiente de salmuera.

En un escenario de bombeo del campo de pozos de salmuera del sur, los conos se empiezan a extender y aumentar, ósea que dependen del tiempo y por supuesto de las propiedades hidrogeológicas, con el tiempo que lleva el bombeo no se observo el cambio de la química, lo que hace presumir que la extensión del cono estaría todavía dentro del ambiente del acuífero de salmuera.

Si el acuífero de agua dulce podría estar a una distancia de unos 6 km del campo de pozos del sur, el acuífero de agua dulce por su poca extensión, potencia y baja recarga, tiene pocas posibilidades de avanzar, sumado a que la extensión del cono de los pozos de salmuera tendría poca chance de llegar al sector de agua dulce, no habría posibilidad de generar la dilución.

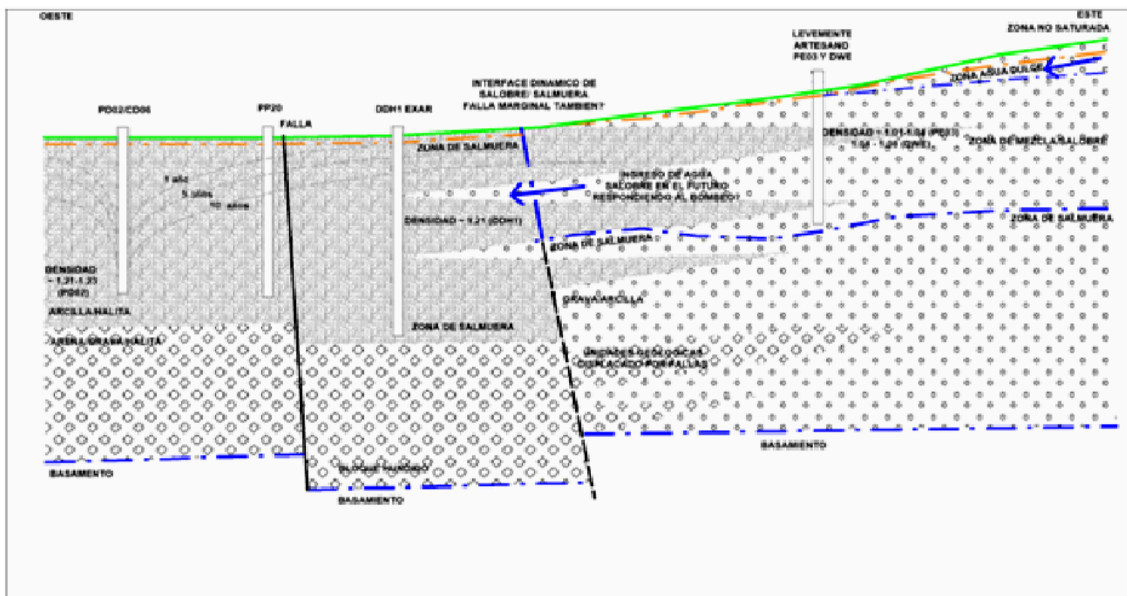


Fig.8

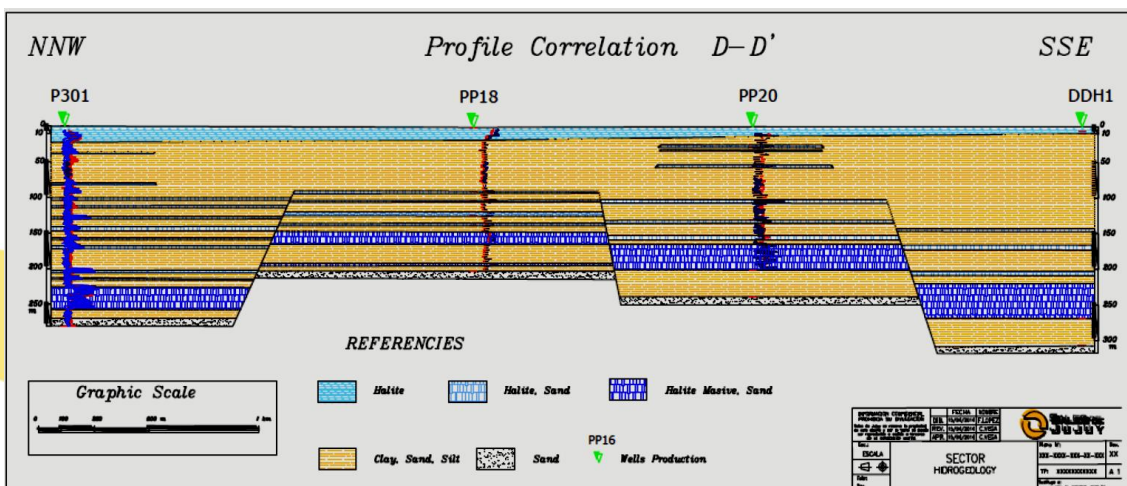


Fig.9

3.5 Hipótesis B

-El modelo incorpora la idea de la existencia de una zona de baja permeabilidad que separa el acuífero del núcleo del salar respecto de los que se reconocen en las zonas marginales o bordes del mismo especialmente al acuífero de agua dulce, este sistema se da en Atacama en un sector y lo podemos adoptar ya que por lo visto en nuestros pozos de salmuera y mucho más en el campo norte ,prácticamente los 200 m de espesor, hay un predominio de materiales muy finos lo que representa una zona de baja conductividad hidráulica a una escala macroscópica.

Podemos describir la situación donde esta ubicados los pozos DDH1, P03 (Exar) y los pozos DWE y CD06 (Sales) , fig.4 , se hace un esquema conceptual representado en la fig.10 , analizando la litología de los pozos P03,DDh1 donde hay un predominio hasta casi los 31 metros de una arcilla impermeable, lo cual puede actuar como una barrera estratigráfica de baja conductividad hidráulica, al ingreso y a la circulación del agua dulce hacia el acuífero de salmuera, esta secuencia de acuífero arenoso por el circulan la agua de mezcla la que interactúa con el acuífero de salmuera. Se proyecta el pozo DWE, que ya está dentro del ambiente agua salobre, y demuestra que ya no existe el agua dulce.

3.6 El fundamento de esta hipótesis se basa:

Debido a que el agua dulce y el agua salada son líquidos miscibles, no existe una interface brusca entre ellos, sino que se reconoce una zona de mezcla o zona de transición dinámica, cuyo ancho depende de las características de los movimientos de los fluidos.

Vamos a considerar en ese sector que existe un gradiente piezométrico en el agua dulce, produciéndose circulación de la misma, con velocidades crecientes y aparición de componentes de fluido verticales en la zona de la cuña salada, El aumento de la velocidad del agua dulce provoca un aumento en el gradiente, con lo cual, el nivel del agua en el acuífero es superior al que se tendría si se considera solamente flujo horizontal. Esto se debe a que se produce una sucesiva disminución de la sección de descarga en el sentido del flujo.

Este fenómeno no determina estrictamente la existencia de una zona de baja permeabilidad, no obstante explica la desconexión hidráulica existente entre las aguas subterráneas provenientes de las partes altas del cono y el núcleo del salar, debido a la existencia de una zona de mezcla dinámica, es decir, con flujo vertical.

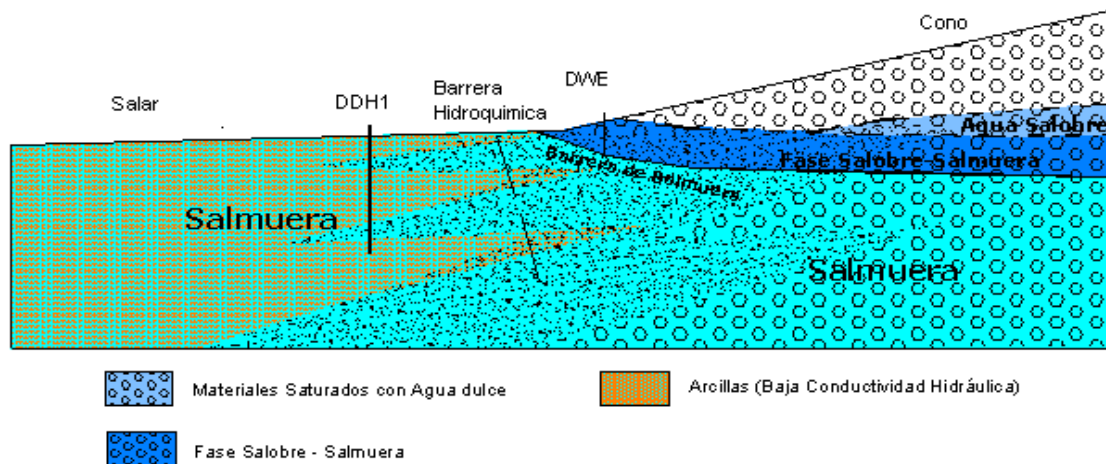


Fig.10

3.7 Modelo Conceptual estimativo, del lado Oeste del Salar

La estratigrafía del lado Oeste consiste en una sucesión clástica de depósitos de pie de monte y conos que tienen menor pendiente lo que indican todo lo contrario al lado este del salar, con una mayor actividad erosiva, tectónica, siendo un margen más activo, el comportamiento de la granulometría sigue la clásica deposición: los materiales más finos se depositan o van en forma decreciente hacia el Este, sin embargo, en profundidad se reconocieron sedimentos carbonatados en los pozos DWO y CD02, debido posiblemente a precipitación en una etapa temprana de la evolución del Salar.

La integración de la información estratigráfica de los demás sondeos, sugiere una evolución química de Oeste a Este, que consiste en la precipitación de minerales según su solubilidad. De esta forma, se deposita inicialmente carbonato (principalmente en forma de calcita); luego sulfatos (en forma de yeso y anhidrita), cementados con carbonato; posteriormente una zona de precipitación dominante de sulfatos en forma de yeso y, finalmente, una zona de precipitación de halita.

Esta secuencia, desde sedimentos clásticos a químicos, determina las características del flujo subterráneo a través de él. En efecto, la zona de precipitados químicos de menor solubilidad y bajo grado de compactación determinan una zona de alta conductividad relativa, en tanto, el sector del núcleo de facies finas se comporta como una zona de baja conductividad hidráulica.

4-Geofísica

La interpretación de las técnicas geofísicas realizadas por Sales de Jujuy, Gravimetría color amarillo y AMT color rojo vistos en la fig.11, y los SEV realizados por minera Exar sobre el cono de Archibarca, presentando mayor espesor del acuífero dulce-salobre y

la continuidad acuñándose en el borde del salar. Lo que marca la diferencia con los conos del sector este del salar.



Fig.11

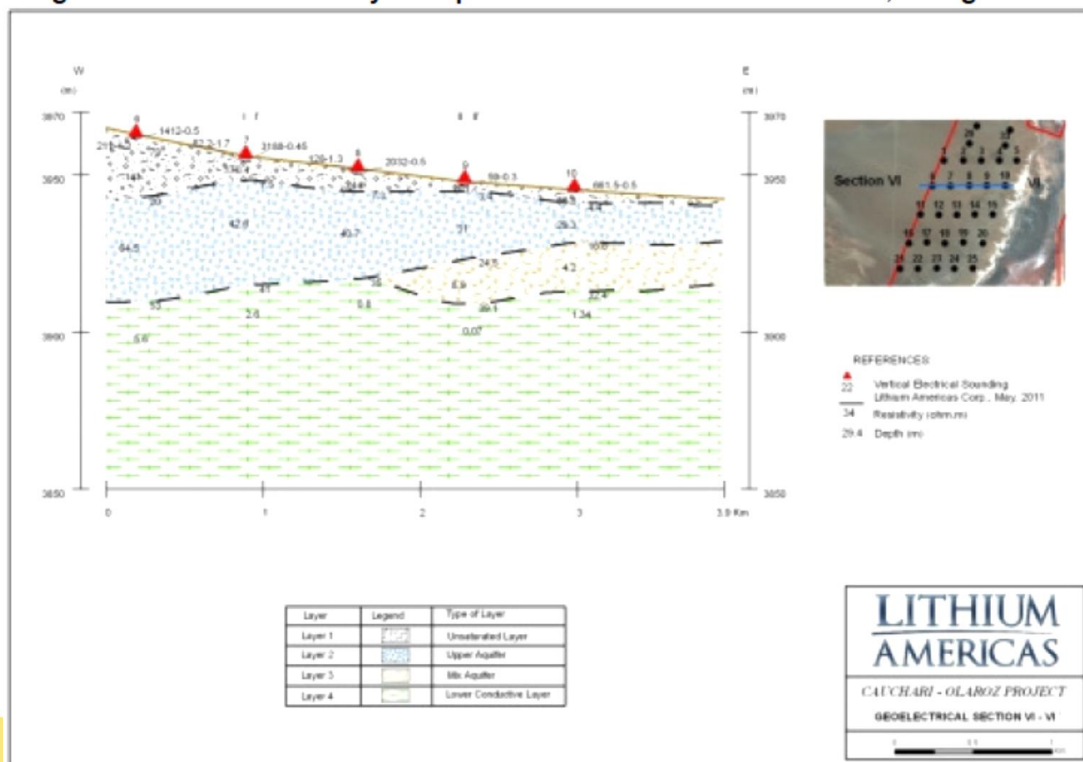


Fig.12

4.1 Mediciones geofísicas

Se recogieron datos de la gravimetría en un radio de 200 m a lo largo de 2,2 km del abanico de Archibarca, como se muestra en el mapa de ubicación en la fig.11 mapa de ubicación. Los datos de la gravimetría fueron reducidos y corregidos y se preparó un modelo como el que se observa en la fig.13. El modelo muestra que los sedimentos no consolidados del abanico de Archibarca pueden tener una densidad máxima de hasta 130 m, con una densidad promedio de aproximadamente 60 m en todo el rango de los 2 km. Estos sedimentos no consolidados están sustentados por lechos de rocas más densos y menos permeables.

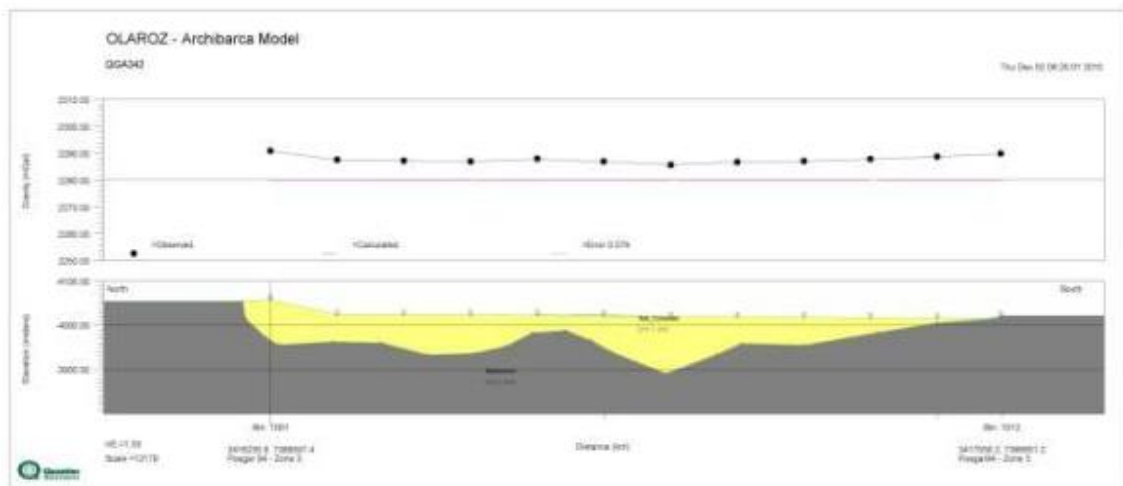


Fig.13: Modelo de gravimetría de Archibarca

4.2 Medición AMT

Se recogieron los datos AMT a lo largo de un perfil de 10 km este-oeste por todo el cono de Archibarca. Estos datos fueron reducidos y configurados como se muestra en la Fig.14. El modelo 2D muestra la presencia de una zona de resistividad más alta ($R > 100 \text{ Ohm-m}$) en el lado oeste del perfil que fueran interpretados como sedimentos no saturados del abanico. Las zonas de resistividad más bajas ($R < 3,5 \text{ Ohm-m}$) son interpretadas como sedimentos saturados de salmuera. Los valores de resistividad intermedia entre estos valores so sedimentos saturados de agua dulce.

La ubicación del campo de pozos WSE-02,03 Y 04 se ha proyectado en la línea como se muestra en la fig.14. Está más o menos relacionado con el modelo 2D de resistividad. La fig.14 también sugiere que los pozos están ubicados en la zona del acuífero dulce .A medida que nos vamos hacia el este se va acuñando el acuífero pero a pesar de eso tiene continuidad hasta el borde del salar.

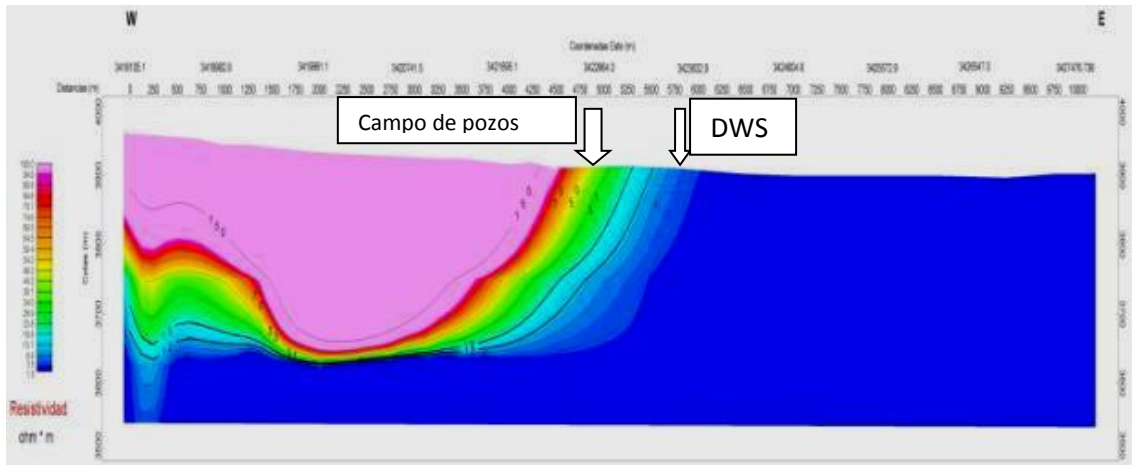


Fig.14: Modelo 2D de resistividad en Archibarca

5-Ensayo de Bombeo de los pozos WSE-02,03 y 04

Durante el año 2011, una vez terminado el pozo se le realizaba un ensayo de tipo constante.

5.1 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.

5.2 Pozo WSE-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 10 HP.

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.

5.3 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.

5.4 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 bombeó 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:

5.5 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.

5.6 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.

5.7 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.

6 -Niveles y Piezometria

6.1 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,
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	salvo las fluctuaciones del mismo
WSE-05	3421848	7390932	Piezómetro	Enero 2013	3961.13	15.06	3946.07	

Tabla.3

6.2 Mapa Piezometrico

El sentido del flujo del agua fig. 7, 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.

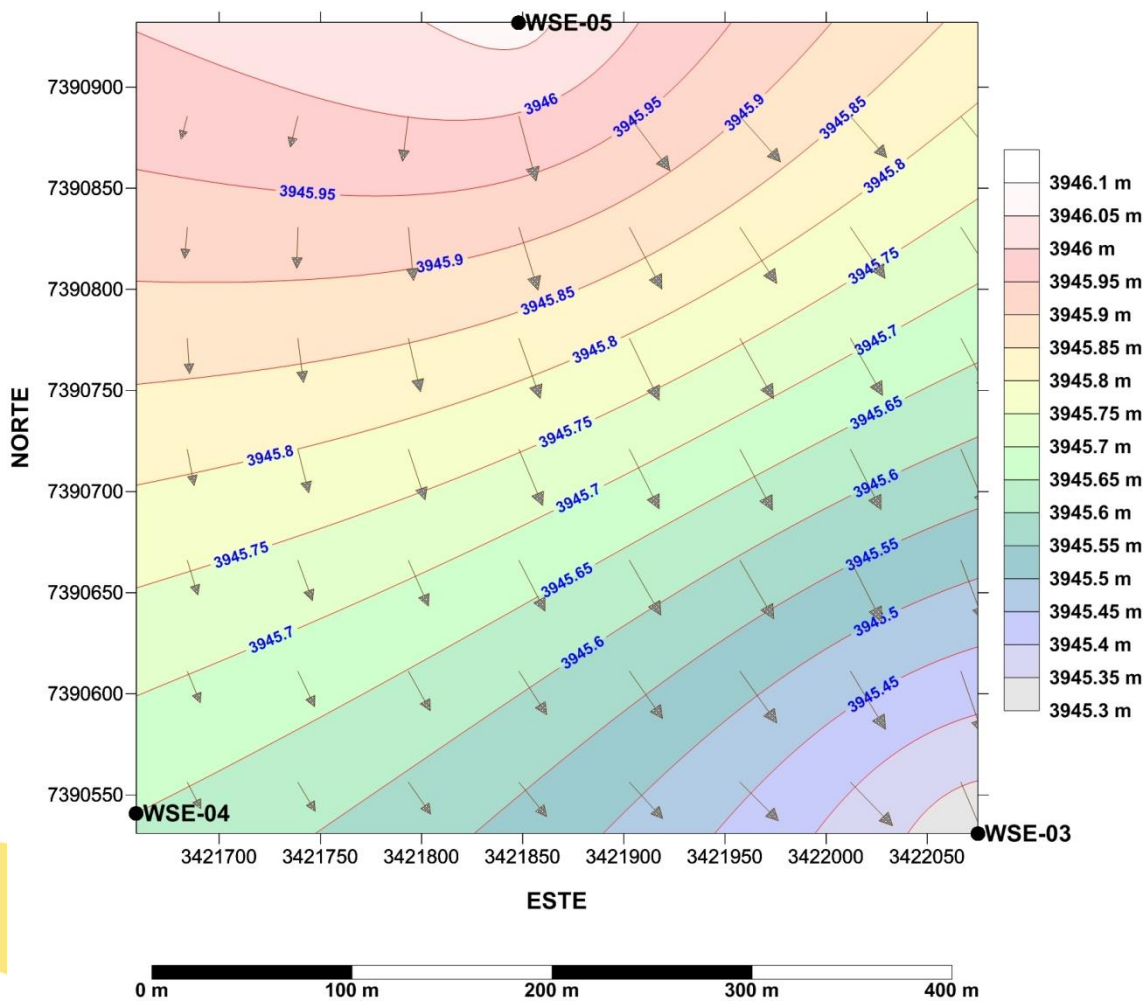


Fig.7

Referencias

→ Dirección de Flujo



Curva isopieza y cota de la superficie piezométrica.

- Pozos

7 -Gradientes Hidráulicos

En la siguientes tablas 4 y5, 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.4

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.5

8 -Estimación de la Recarga de las Subcuencas a Partir de las Precipitaciones

La recarga directa a partir de la precipitación es, tal vez, uno de los procesos más difíciles de cuantificar en zonas áridas debido a la escasez y alta variabilidad de las precipitaciones. Para esta se realizó la investigación del tratamiento estadístico de los datos hidrometeorológicos existentes en Las Precipitaciones del Noroeste Argentino (Bianchi y Yañez,1992;Bianchi,2006) y de FMC, permite efectuar algunas generalizaciones para esta región de la Puna.

En el mapa de Isohietas media anual (Bianchi, 2006),se observa que gran parte de la superficie ocupada por el Salar de Olaroz (subcuenca 2) ,se encuentra entre las isohietas de 50 a 100 mm/año, y la subcuenca 1, por debajo de los 50 mm/año. fig. 8.

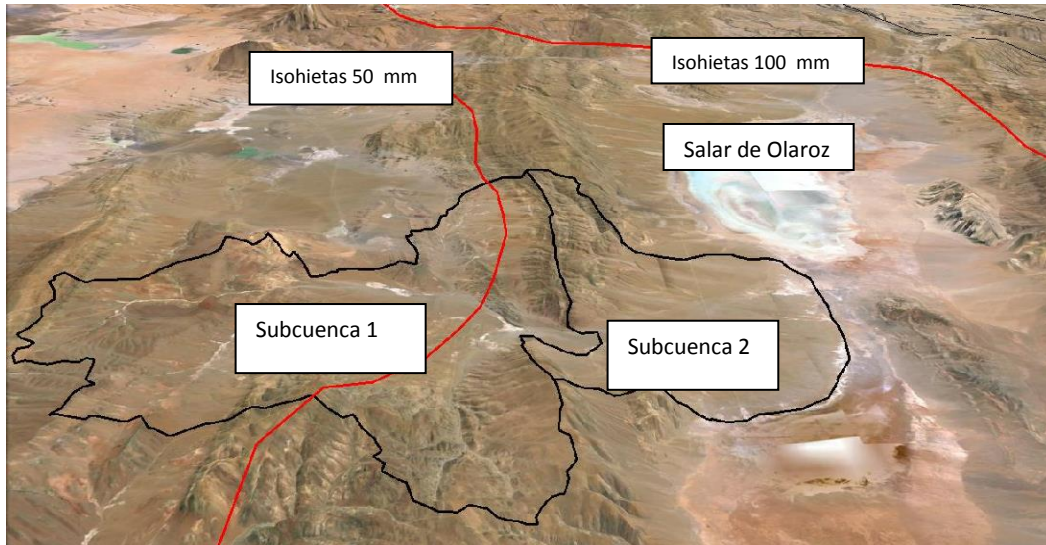


Fig.8

8.1 Subcuenca 1

Se toma como referencia los datos históricos de la estación Pocitos , la precipitación media para el ciclo 1950/1990 en la Estación Salar del Pocitos (localizada al sur del Salar del Rincón) es de 35 mm/año; hacia el oeste, en la localidad de Olacapato, la precipitación media para el período 1950/1990 es de 64 mm/año. En la Estación Fénix, del Salar del Hombre Muerto la precipitación media para el ciclo 1992/2006 es de 83.4mm/año. Con estos datos queda claramente evidenciado que para cualquier cálculo bien se podría adoptar uno de estos valores medios, razón por la cual se adoptará una precipitación media de **48 mm/año** para toda la subcuenca.

Tabla 6: Datos de precipitaciones medias mensuales Salar de Pocitos (1950 – 1990). Datos tomados de Bianchi y Yañez, 1992.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Precipitación Anual
P media	19	10	2	0	0	0	0	0	0	1	0	3	35

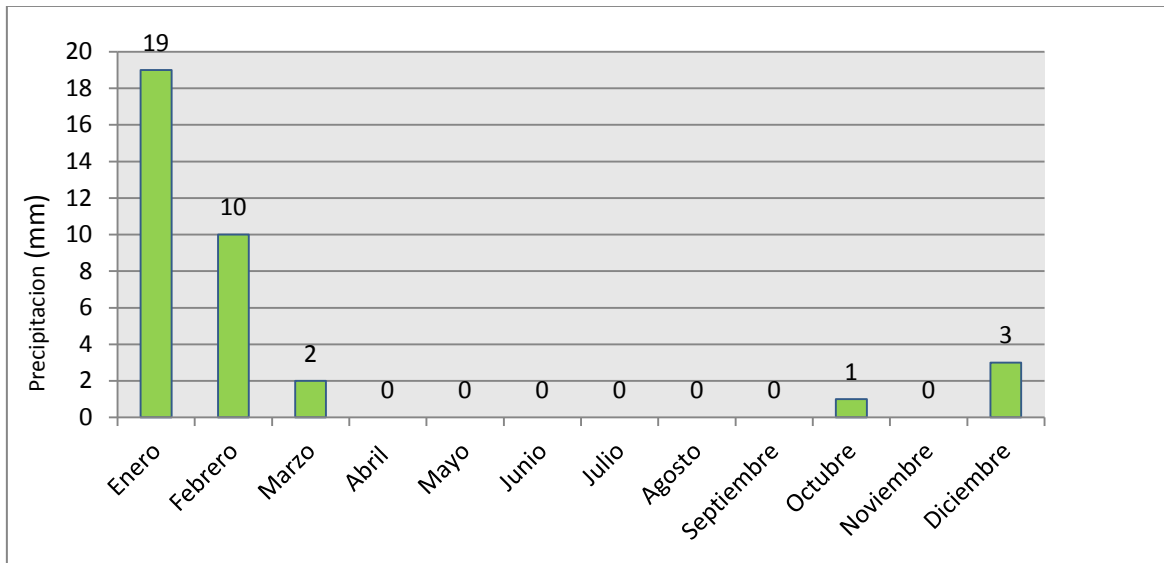


Grafico1: Precipitación media mensual para el período 1950 - 1990 en la localidad de Salar de Pocitos.

Tabla 7: Datos de precipitaciones medias mensuales Olacapato (1950 – 1990). Datos tomados de Bianchi y Yañez, 1992.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Precipitación Anual
P media	30	20	4	0	0	1	0	0	0	0	0	9	64

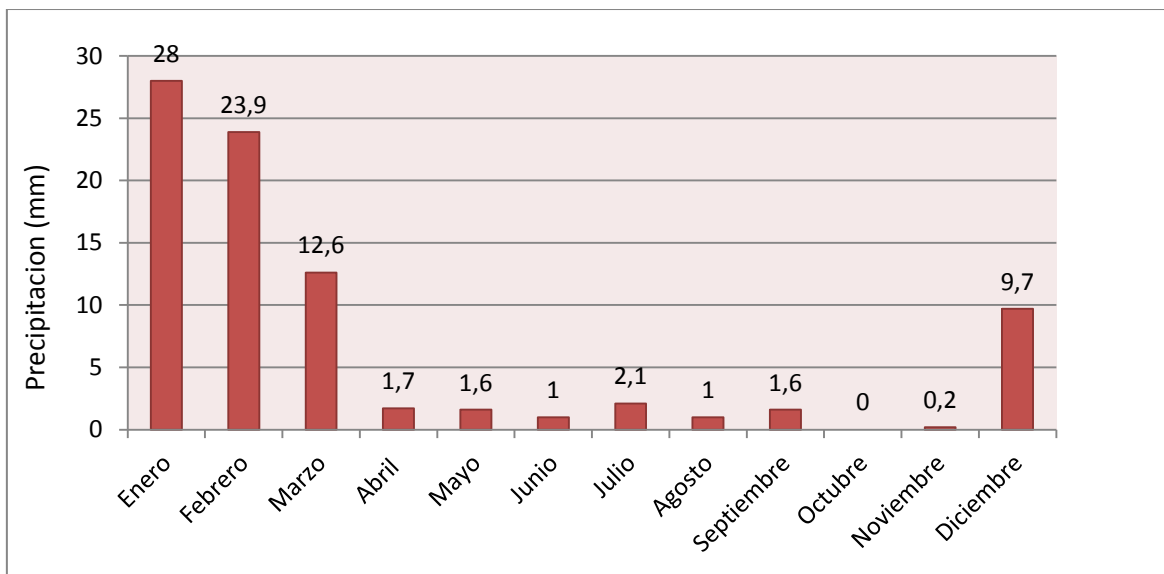


Grafico2: Precipitación media mensual para el período 1950 - 1990 en la localidad de Olacapato.

Tabla 8: Datos de precipitaciones medias mensuales Salar del Hombre Muerto ,FMC (1992 – 2006).

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Precipitación Anual
P media	28	23.9	12.6	1.7	1.6	1	2.1	1	1.6	0	0.2	9.7	83.4

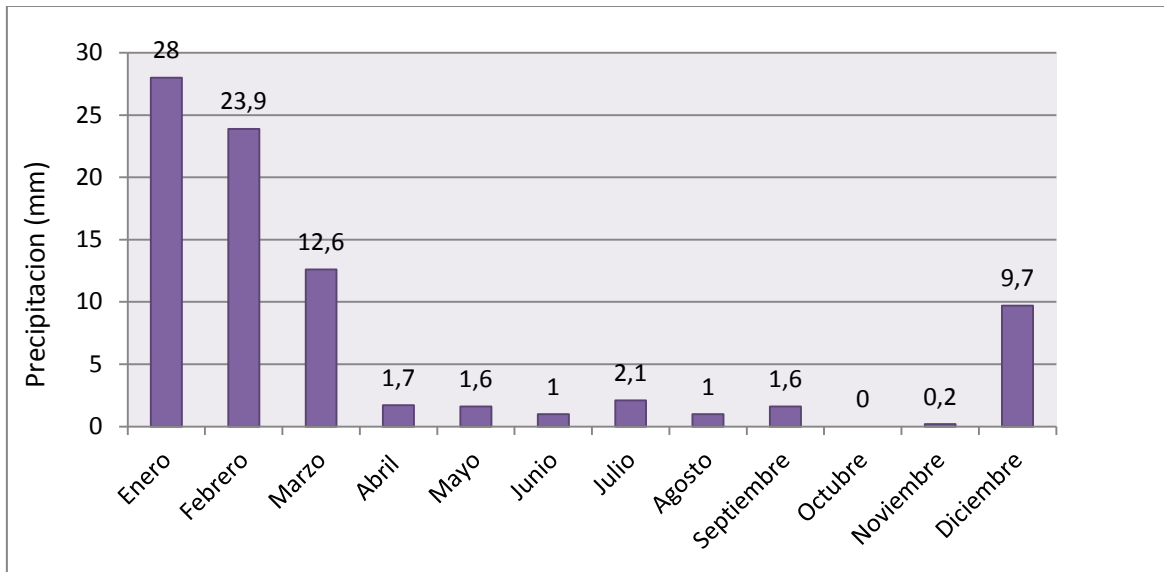


Grafico3: Precipitación media mensual para el período 1992 - 2006 Salar del Hombre Muerto (FMC).

La precipitación total de 48 mm/año, que cae sobre una área de 354.61 Km², son 17.012.280 m³/año, no todo la precipitación ingresa a la recarga, parte se pierde principalmente por evaporación. Para estimar el recarga se usa aproximaciones sobre la base del conocimiento adquirido en otras regiones con características hidrogeológicas y climáticas similares a la de la zona en estudio y se basa en ,Acosta y Custodio (2008) establecen para el Salar del Huasco (norte de Chile) que la Recarga representa un valor del 14 % de las precipitaciones medias. Acá se utiliza un valor medio de 7.5 % de la precipitación media anual de 48 mm, lo que genera una recarga de 3.6 mm/año, un valor muy aceptable. Usando este valor de recarga es de aproximadamente 1.275.816 m³/año o 40 l/s, y un valor aproximado de perdida considerando la evaporación es de unos 15.736.464 m³/año o 499 l/s.

Se observa que el caudal del Rio Ola que escurre superficialmente en condiciones normales, se infiltran totalmente , y al ingresar al cono aluvial; por lo que se puede establecer es que este volumen se incorpora definitivamente al reservorio subterráneo de la subcuenca 2. Así, y luego de las consideraciones efectuadas, se asume que la recarga mínima es del 7.5 % del volumen anual precipitado.

8.2 Subcuenca 2

Teniendo en cuenta que en la región es prácticamente inexistente la información respecto a las precipitaciones y otras variables meteorológicas, se ha considerado conveniente analizar los datos de las cercanas estaciones pluviométricas de Olacapato (grafico 2), que cuentan con una serie de registros de datos entre los años 1950 y 1990 y emplearlas para referenciar el marco climático que impera en la región cercana al Salar del Olaroz. En ambos casos la variabilidad de las lluvias es extrema ya

que en Olacapato se tienen registros mínimos de 2 mm en el año 1962 y máximo de 207 mm en el año 1984. Los valores del Salar del Hombre muerto se encuentra entre las isohietas 50 a 100 mm/anuales (fig.9), los registros de su estación meteorológica, desde 1992 a 2006, indica una precipitación media anual de 83, 4 mm(grafico 3).

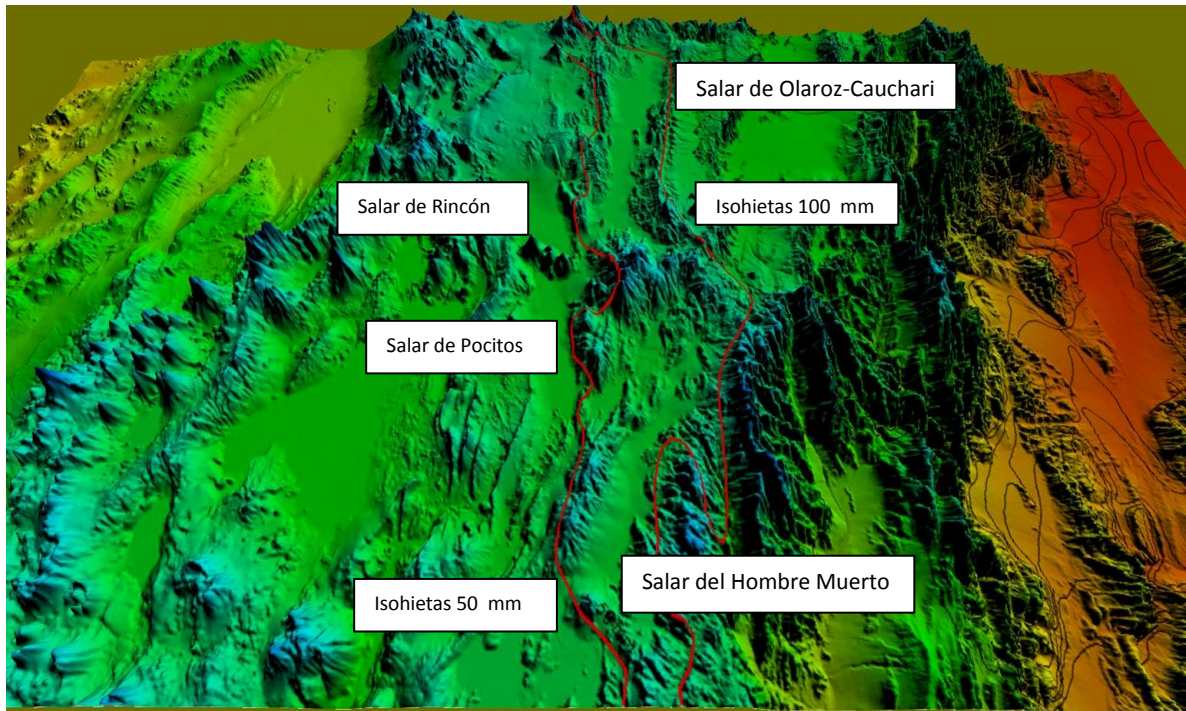


Fig.9

Con estos datos queda claramente evidenciado que para cualquier cálculo bien se podría adoptar uno de estos valores medios, razón por la cual se adoptará una precipitación media de **71 mm/año** para toda la subcuenca.

Toda la precipitación de 71 mm/año que cae sobre la subcuenca con una área de 354.43 Km², son 14.301.530 m³/año, como se menciona en la subcuenca 1 no toda la precipitación ingresa como recarga directa al acuífero.

Se usa el mismo concepto por diferentes estudios en los salares de Chile, y por las similitudes hidrogeológicas y climáticas, la recarga puede representar un valor de 14% de las precipitaciones medias.

Para esta subcuenca se utiliza un valor de 11.1 % de la precipitación media anual de 71 mm, lo que genera una recarga de 7.88 mm/año, también es un valor conservador y aceptable, por las condiciones de los suelos que ocupan son de textura gruesa a muy gruesa con una elevada capacidad de infiltración, sobre el cono.

Usando este valor de recarga es de aproximadamente 1.592.522 m³/año o 50 l/s, y un valor aproximado de pérdida considerando la evaporación es de unos 12.709.008 m³/año o 403 l/s.

8.3 Esquema de las Subcuencas

En la fig.10 , se muestra un resumen de los conceptos mencionados.

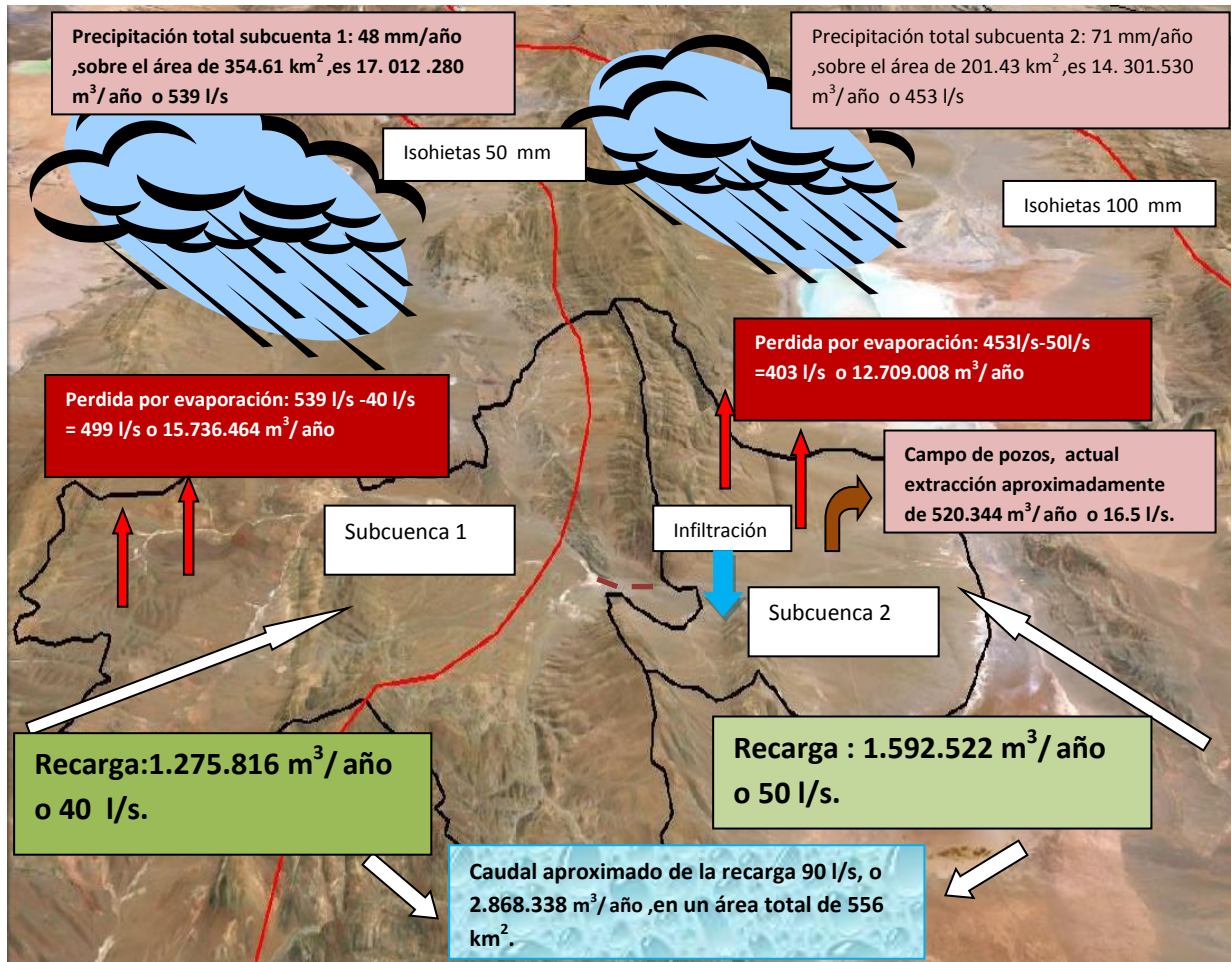


Fig.10

Por último y teniendo en cuenta que todos los cursos fluviales que transportan agua en la cuenca del Salar del Olaroz, se infiltran totalmente antes de alcanzar el salar propiamente dicho, se debería indicar (para ser más precisos y exigentes en el análisis) que en realidad dentro del valor calculado de recarga o infiltración eficaz, estarían incorporados los que fueron señalados como caudales superficiales (Rio Ola). Sin embargo, teniendo en cuenta que se trata de muy pequeños volúmenes comparados con los otros tres parámetros estimados (Evaporación, Precipitación, Infiltración) y considerando que no es necesario ser tan estrictos en los valores estimativos que se presenta, se ha optado por dejar la expresión tal como está señalada más arriba en la fig.10.

9-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.

$$Q = K_D \cdot i \cdot A$$

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.

Se estima que el área transversal efectiva de los sedimentos aluviales saturados en todo el abanico de Archibarca es de 90.000 m². Se estima que el gradiente hidráulico en esta área es de 0,007. Los datos de conductividad hidráulica (K) de 20m/día, se estima el flujo pasante del agua subterránea esta en un orden de 4,2 millones de m³/año, pero aquí se reduce a la mitad con la suposición que el 50% de los caudales ingresan a cada salar (Olaroz y Cauchari). Ósea estamos en presencia de aproximadamente **2.463.750 m³/año**.

Si se asume y considera que este flujo darciano en condiciones naturales se debe a la recarga del agua de lluvia precipitada aguas arriba de la sección drenante subcuenca 1 (reservorio, área de recarga y aporte a la recarga que suman en total unos 354.61 km², el valor de recarga al sistema subterráneo para mantener ese flujo darciano natural debería estar en el orden de 6.96mm/año, lo que representaría aproximadamente un 14.5% de las precipitaciones (P=48 mm/año) sobre esa superficie.

Conocido el caudal darciano (Q) se puede establecer la velocidad darciana (Vd), para esa sección drenante, ésta alcanza un valor **de 0.057 m/día**.

La **velocidad real (VR)** queda definida por el cociente entre la velocidad darciana (Vd) y la porosidad eficaz (**me**), alcanzando un valor de **2.1 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 **9.1 años**.

Obtenido en la simulación el coeficiente de almacenamiento de 2.75 %, la cual representa la porosidad eficaz. 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 ,perteneciente a la subcuenca 2, y un espesor medio de 30 m y la porosidad eficaz de 0.0275.

Establecido el volumen del reservorio y conocida la porosidad eficaz se puede calcular, estimativamente, que las reservas económicamente explotables de *agua dulce* alcanzan a **166 millones de m³**

Teniendo en cuenta que el caudal darciano anual estimado es de aproximadamente 2.463.750 m³/año y que las reservas de agua extraíbles calculadas para esta unidad se encuentran en el orden de los 166 millones de m³; se puede señalar que el consumo máximo futuro de agua es de aproximadamente 90 l/s. o 2.838.240 m³/año lo que representaría aproximadamente **un 1.71 % de las reservas y el 100 % del caudal darciano anual.**

El consumo total de agua del proyecto durante los 20 años de producción de la mina es de aproximadamente 56 millones de m³, es decir aproximadamente el **34 por ciento del agua subterránea de la reserva.**

10-Reservorio de Salmuera

10.1 Hidrología

La cuenca del Salar de Olaroz es una cuenca endorreica o cerrada, en la cual los aportes hídricos escurren hacia la parte más baja, donde se forma un salar de unos 162 Km² y desde el cual el agua es evaporada a la atmósfera. Los principales aportes tienen su origen en las precipitaciones sobre las cumbres que limitan la cuenca por el norte Rio Rosario y el oeste Rio Ola, desde donde escurren y se infiltran antes de llegar al salar. Un menor número de cauces presentan flujo permanente en el sector oeste , mientras la mayoría exhibe escurrimientos eventuales con ocasión de precipitaciones principalmente en el sector este.

El río Rosario es sin duda el mayor aporte superficial del salar . El segundo río en importancia por su caudal, es el Ola.

10.2 Hidrogeología

El núcleo del salar está compuesto por una secuencia clástica, evaporítica, saturada por una salmuera de altísima densidad (1,22 gr/cm³) . Esta salmuera es un importante recurso minero ya que presenta importantes cantidades de litio, potasio y boro, que actualmente son extraídos desde este acuífero a través del bombeo. Para esto se construyó dos campos de pozos norte y sur fig.11, de donde se bombea la salmuera.

Ya con casi dos años de bombeo las densidades de la salmuera se mantiene hasta ahora a las originales, lo que da la clara idea de que no tiene algún tipo de conexión con las aguas de los márgenes.

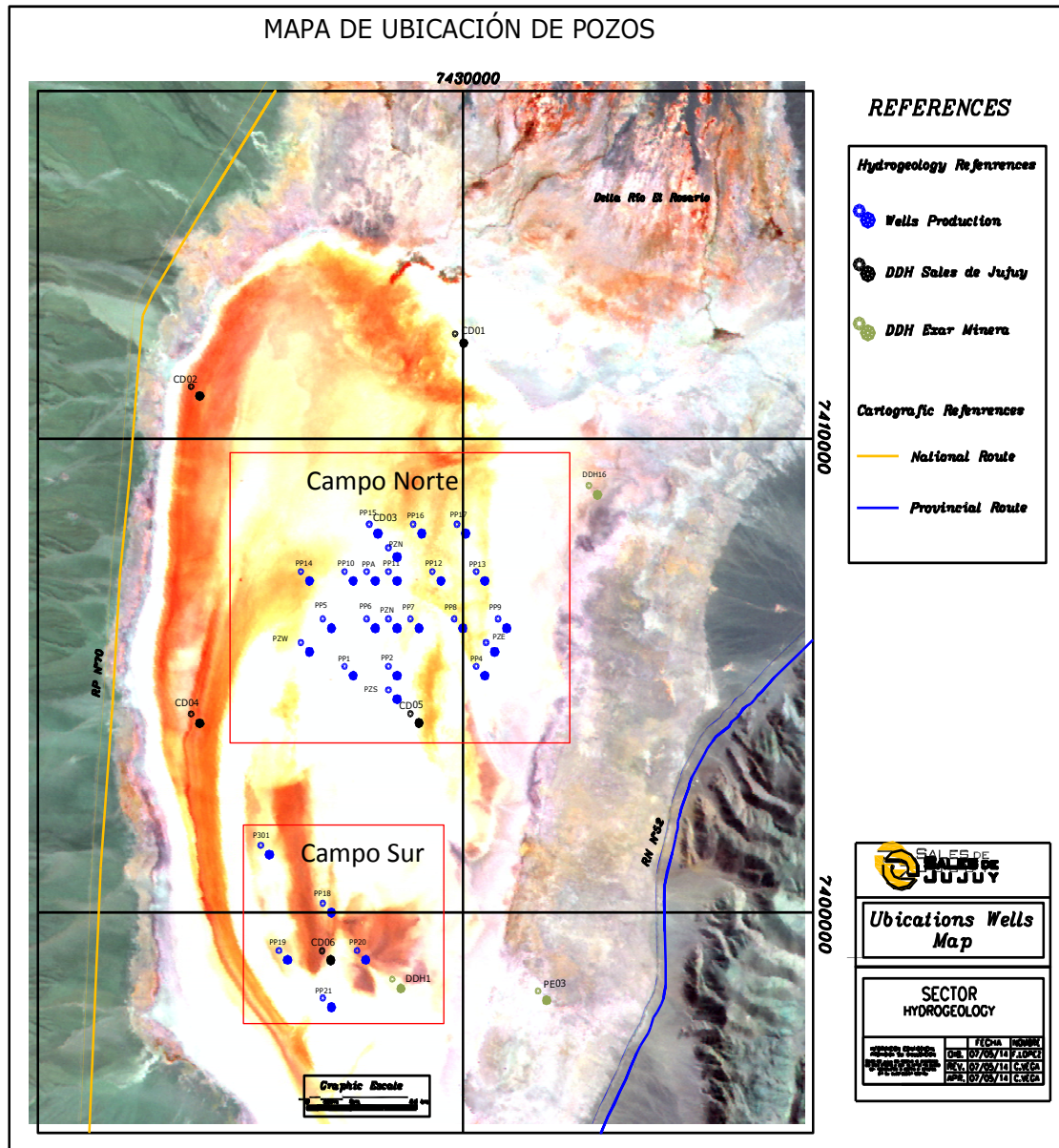


Fig.11

10.3 Geometría acuífera

A partir de la construcción de los pozos de producción se pudo determinar con mayor precisión la geometría acuífera. En profundidad se distinguen dos secuencias o eventos deposicionales una facies clástica conformada mayormente con sedimentos muy finos (arcillas, limos y arenas), y otra facie evaporítica una sal compacta, en ambos campos. En el campo sur hay presencia de mas facies con arenas, lo que genera mayor permeabilidad.

En la fig.12 se muestra una sección estratigráfica de orientación norte -sur ,representada por el pozo DWN en el norte , y el otro extremo sur por DWS, ambos pozos están sobre el ambiente del cono, el perfil atraviesa también el ambiente del salar con algunos pozos del campo norte y campo sur .Se observa las facies comentadas anteriormente. En la fig.13, se observa otro sección también Norte-sur pero con los pozos más profundos los P301 (300 m),y P302 (323 m), con las nuevas exploraciones de estos pozos, se cambio el concepto del salar, ya que en la parte superior hasta una profundidad de 250 m en promedio actúa como un típico salar inmaduro, pero debajo de esta profundidad se encontró una zona de sedimentos muy permeables (arenas y gravas),lo que los hace muy productivos en rendimientos hidráulicos. .Ya en la gravimetría realizada fig.14, se podía ver la posible de la existencia de esta secuencia , la cual quedo demostrada en los pozos profundo .Por las múltiples secciones elaborados se tiene la gran probabilidad de que este horizonte este presente y tenga extensión en todo el salar, encontrándola más arriba o abajo dependiendo de donde se la explore esto es debido al sistema de Horts y graben.

Cross-Section A-A'

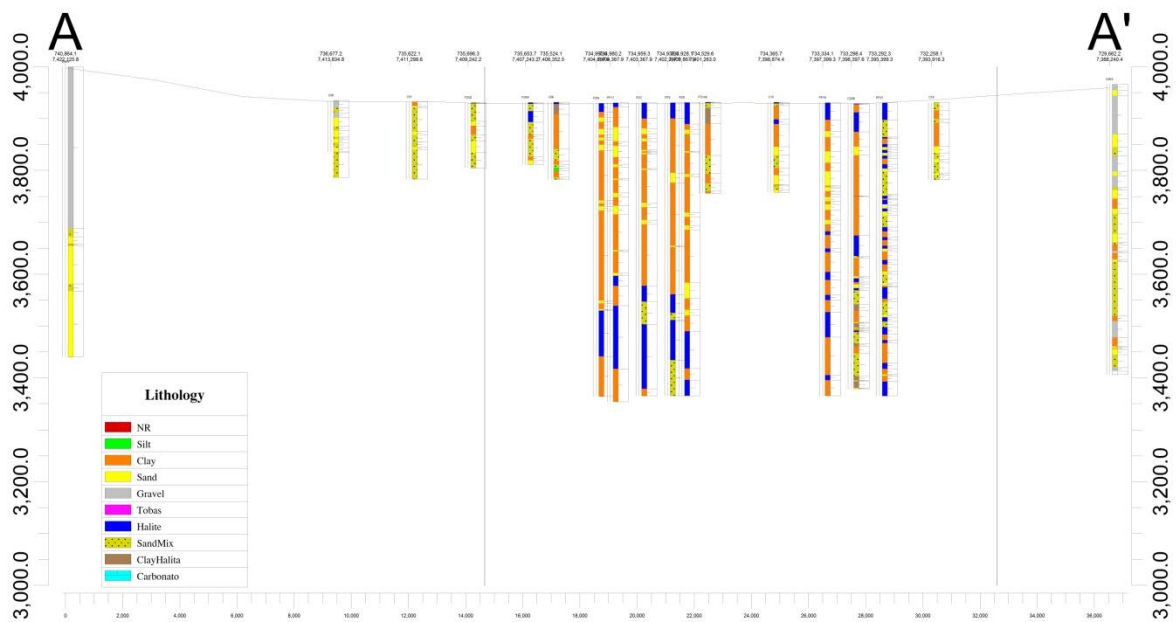


Fig.12

Cross-Section D-D'

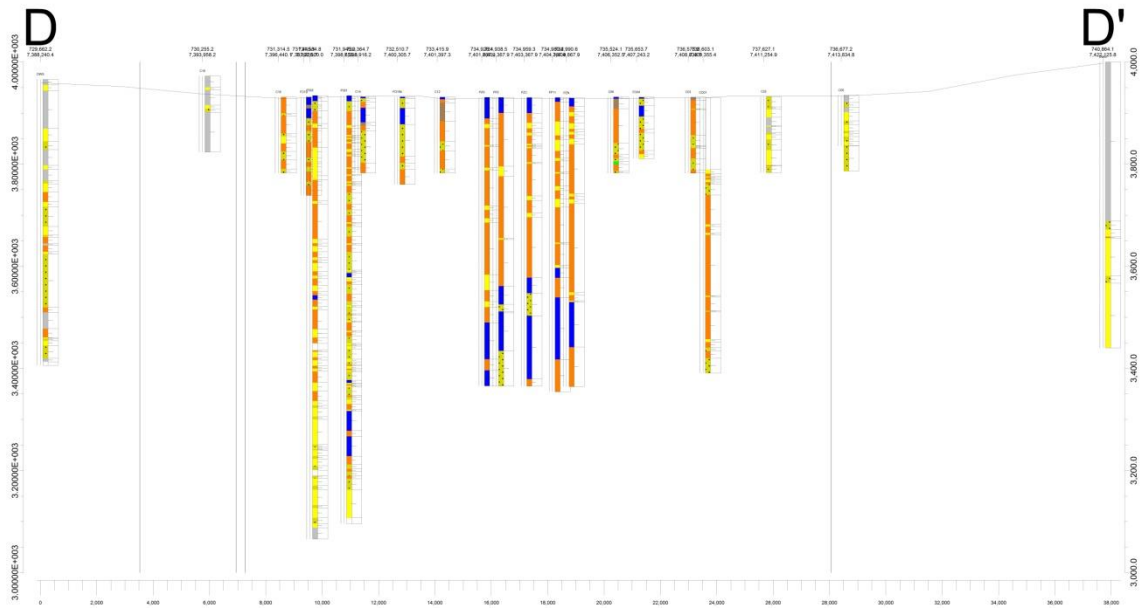


Fig.13

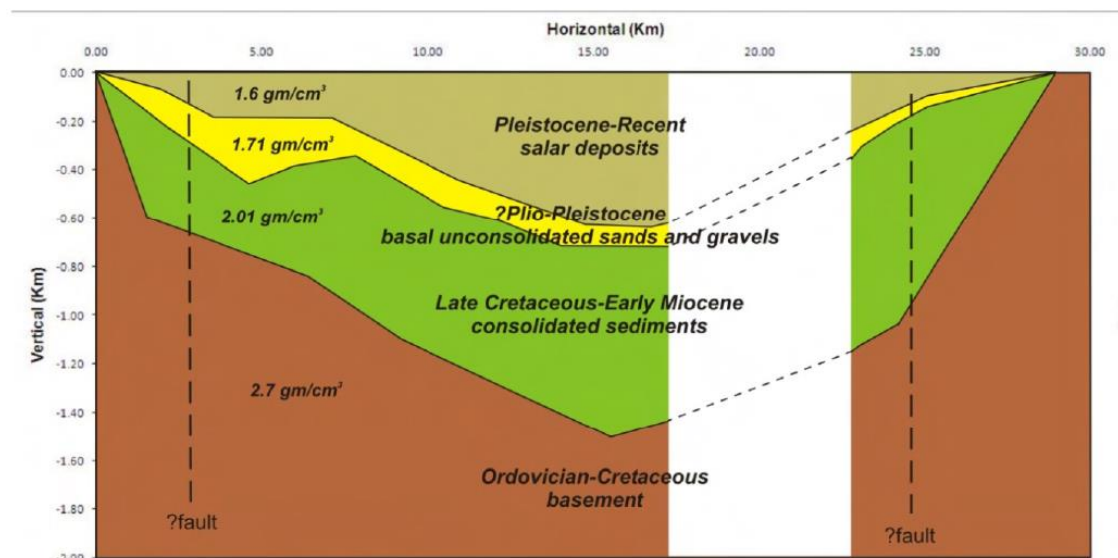


Fig.14

La heterogeneidad encontrada entre las distintas facies clásticas-evaporíticas en estos medios porosos naturales, que alojan acuíferos, lo constituye la sucesión de estratos de diferentes texturas y conductividades hidráulicas. Estas sucesiones estratificadas pueden conformarse mediante la alternancia de capas de acuitados semiconfinantes y acuíferos, dando lugar a los denominados acuíferos multicapa. Los estratos acuíferos se vinculan entre sí, conformando sistemas multiacuíferos.

11-Ensayos de Bombeo salmuera

Durante la construcción de la batería de pozos y debidos a lo limitado de los tiempos operacionales solo se pudo hacer algunos ensayos de bombeo de tipo escalonado en los siguientes pozos:

11.1 -Resumen de Parámetros hidráulicos

11.2 Campo Norte

Parámetros Pozo PZS Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 1,69

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	4,20	5,11	5,79
Nivel Dinámico (m)	5,80	6,70	7,55
Depresión (m)	4,11	5,01	5,86
Perdidas Acuífero (m)	3,74	4,55	5,15
Perdidas en Pozo (m)	0,35	0,52	0,67
Eficiencia (%)	91,37	89,69	88,48
Caudal Especifico (m3/h/m)	1,022	1,020	0,988
s/Q	0,97857	0,98043	1,01209
Caudal (m3/d)	4,20	5,11	5,79

Parámetros Pozo PP10 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 7,64

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	18,88	28,25	41,50
Nivel Dinámico (m)	23,69	31,865	43,88
Depresión (m)	16,05	24,23	36,24
Perdidas Acuífero (m)	15,66	23,44	34,43
Perdidas en Pozo (m)	0,36	0,80	1,72
Eficiencia (%)	97,78	96,71	95,24
Caudal Especifico (m3/h/m)	1,176	1,166	1,145
s/Q	0,85011	0,85752	0,87325
Caudal (m3/h)	18,88	28,25	41,50

Parámetros Pozo PP14 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 12.75

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	5.80	14.30	26.06
Nivel Dinámico (m)	14.94	18.860	23.660
Depresión (m)	2.19	6.110	10.91
Perdidas Acuífero (m)	2.40	5.91	10.76
Perdidas en Pozo (m)	0.01	0.06	0.18
Eficiencia (%)	99.62	99.08	98.33
Caudal Especifico (m3/h/m)	2.648	2.340	2.389
s/Q	0.37759	0.42727	0.41865
Caudal (m3/h)	5.80	14.30	26.06

Parámetros Pozo PP15 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 15.55

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	14.92	25.97	46.36
Nivel Dinámico (m)	26.63	34.202	53.800
Depresión (m)	11.08	18.652	38.25
Perdidas Acuífero (m)	10.09	17.57	31.37
Perdidas en Pozo (m)	0.65	1.96	6.23
Eficiencia (%)	93.99	89.98	83.42
Caudal Especifico (m3/h/m)	1.346	1.392	1.212
s/Q	0.74288	0.71830	0.82505
Caudal (m3/h)	14.92	25.97	46.36

Parámetros Pozo PPA Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 25.68

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	7.20	15.78	31.80
Nivel Dinámico (m)	38.80	54.490	80.070
Depresión (m)	13.12	28.810	54.39
Perdidas Acuífero (m)	13.50	29.59	59.63
Perdidas en Pozo (m)	0.25	1.22	4.96
Eficiencia (%)	98.15	96.04	92.33
Caudal Especifico (m3/h/m)	0.549	0.548	0.585



s/Q	1.82222	1.82573	1.71038
Caudal (m3/h)	7.20	15.78	31.80

11.3 Campo Sur

Parámetros Pozo PD02 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 3.395

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	10.13	21.80	38.21
Nivel Dinámico (m)	13.97	25.385	40.119
Depresión (m)	10.58	21.990	36.72
Perdidas Acuífero (m)	10.88	23.42	41.05
Perdidas en Pozo (m)	0.31	1.43	4.38
Eficiencia (%)	97.25	94.26	90.36
Caudal Especifico (m3/h/m)	0.957	0.991	1.040
s/Q	1.04464	1.00872	0.96111
Caudal (m3/h)	10.13	21.80	38.21

Parámetros Pozo PP18 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 4.31

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	15.74	29.30	48.71
Nivel Dinámico (m)	15.08	28.455	53.273
Depresión (m)	10.77	24.145	48.96
Perdidas Acuífero (m)	8.42	15.67	26.06
Perdidas en Pozo (m)	2.40	8.33	23.02
Eficiencia (%)	77.80	65.31	53.10
Caudal Especifico (m3/h/m)	1.461	1.213	0.995
s/Q	0.68452	0.82417	1.00511
Caudal (m3/h)	15.74	29.30	48.71

Parámetros Pozo PP19 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 6.714

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	11.84	27.56	59.32
Nivel Dinámico (m)	15.36	28.255	61.390
Depresión (m)	8.65	21.541	54.68
Perdidas Acuífero (m)	8.38	19.50	41.98
Perdidas en Pozo (m)	0.27	2.05	12.80
Eficiencia (%)	96.86	90.49	76.63

Caudal Especifico (m3/h/m)	1.369	1.279	1.085
s/Q	0.73024	0.78160	0.92171
Caudal (m3/h)	11.84	27.56	59.32

Parámetros Pozo PP20 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 6.48

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	22.14	32.13	56.44
Nivel Dinámico (m)	28.22	41.637	77.485
Depresión (m)	21.74	35.157	71.01
Perdidas Acuífero (m)	18.74	27.20	47.78
Perdidas en Pozo (m)	3.53	7.44	22.95
Eficiencia (%)	84.15	78.53	67.55
Caudal Especifico (m3/h/m)	1.018	0.914	0.795
s/Q	0.98188	1.09421	1.25806
Caudal (m3/h)	22.14	32.13	56.44

Parámetros Pozo PP21 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 6.72

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	21.87	42.35	57.20
Nivel Dinámico (m)	24.24	45.318	64.415
Depresión (m)	17.52	38.604	57.70
Perdidas Acuífero (m)	15.98	30.95	41.81
Perdidas en Pozo (m)	1.54	7.66	15.89
Eficiencia (%)	91.23	80.17	72.46
Caudal Especifico (m3/h/m)	1.248	1.097	0.991
s/Q	0.80114	0.91155	1.00876
Caudal (m3/h)	21.87	42.35	57.20

Parámetros Pozo P301 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 8.82

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	19.08	41.82	66.15
Nivel Dinámico (m)	13.76	19.900	26.560
Depresión (m)	4.94	11.080	17.74
Perdidas Acuífero (m)	4.88	10.69	16.91
Perdidas en Pozo (m)	0.07	0.35	0.88
Eficiencia (%)	98.53	96.83	95.08

Caudal Especifico (m3/h/m)	3.862	3.774	3.729
s/Q	0.25891	0.26495	0.26818
Caudal (m3/h)	19.08	41.82	66.15

Parámetros Pozo P302 Salar Olaroz - Jujuy

Nivel Estático (m) 11.12

	1 ESCALON	2 ESCALON	3 ESCALON
Caudal (m3/h)	38.03	72.54	104.00
Nivel Dinámico (m)	14.61	18.540	22.360
Depresión (m)	3.49	7.420	11.24
Perdidas Acuífero (m)	3.16	6.02	8.63
Perdidas en Pozo (m)	0.29	1.05	2.16
Eficiencia (%)	91.61	85.12	79.96
Caudal Especifico (m3/h/m)	10.897	9.776	9.253
s/Q	0.09177	0.10229	0.10808
Caudal (m3/h)	38.03	72.54	104.00

12 -Niveles y Piezometria-Salmuera

12.1 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 9. 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 piezometrico (msnm)	Observaciones
PP1	3427500	7405000	Producción	Junio 2013	3938.49	0.94	3937.55	Estos pozos los niveles fueron tomados antes de poner en producción el campo de pozos
PP2	3428500	7405000	Producción	Junio 2013	3938.71	1.16	3937.55	
PP6	3428000	7406000	Producción	Junio 2013	3938.51	3.57	3934.94	
PP10	3427500	7407000	Producción	Junio 2013	3938.52	6.69	3931.83	
PP11	3428500	7407000	Producción	Junio 2013	3938.62	4.65	3933.97	
PP12	3429500	7407000	Producción	Junio 2013	3938.61	0.38	3938.23	
PP13	3430500	7407000	Producción	Junio 2013	3938.85	0.2	3938.65	

Tabla.9

12.2 Mapa Piezometrico

El sentido del flujo del agua fig. 15, es desde líneas de mayor altura piezométrica pozo PP13 hacia líneas de menor altura piezométrica pozo PP10, 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 PP13 hacia los otros. Y otro flujo desde los pozos PP1, PP2 al pozo PP10. En el sector del PP1 y PP2, el flujo es horizontal, ya que las cotas piezométricas son iguales.

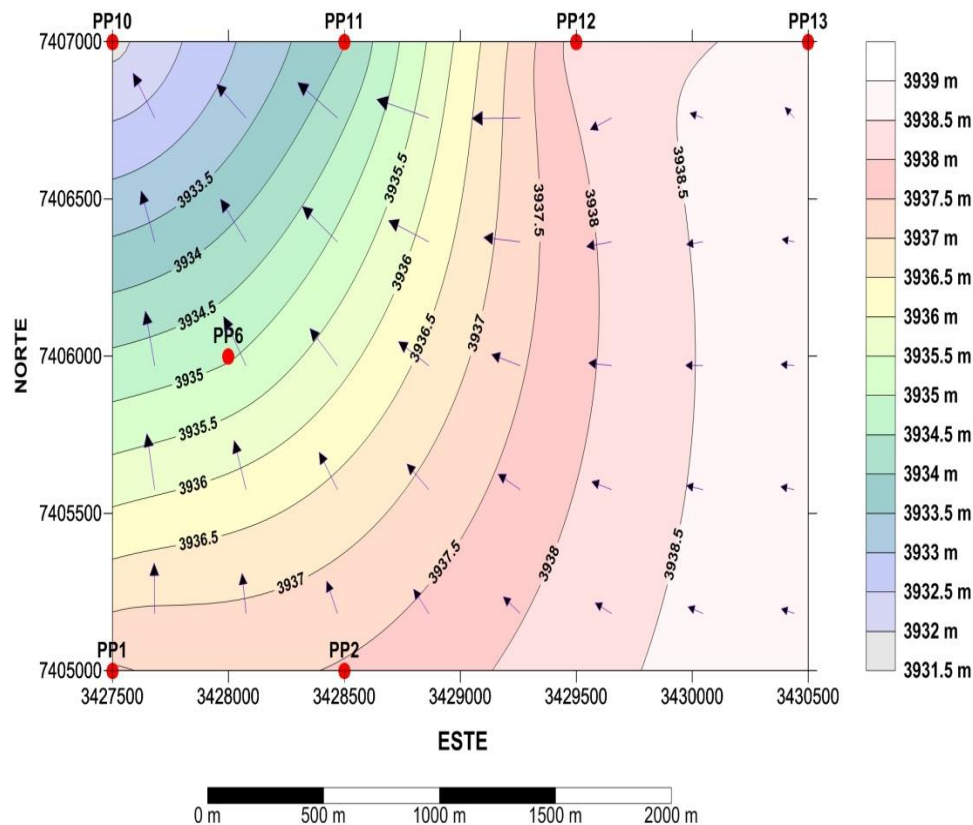


Fig.15

Referencias

→ Dirección de Flujo

• Pozos

Curva isopieza y cota de la superficie piezométrica.

13-Gradientes Hidráulicos-Salmuera

En la siguientes tablas 10 y 11, se muestra las distancias y los valores de los gradientes.

Distancias en metros							
Pozo	PP1	PP2	PP6	PP10	PP11	PP12	PP13
PP1		1000	1120	2000	2225	2830	3590
PP2	1000		1130	2240	2000	2225	2840
PP6	1120	1130		1120	1120	1810	2690
PP10	2000	2240	1120		1000	2000	3000
PP11	2225	2000	1120	1000		1000	2000
PP12	2830	2225	1810	2000	1000		1000
PP13	3590	2840	2690	3000	2000	1000	

Tabla 10.

Gradientes Hidráulicos							
Pozo	PP1	PP2	PP6	PP10	PP11	PP12	PP13
PP1			0.0024	0.003			
PP2			0.0021	0.0024			
PP6	0.0024	0.0021		0.003			
PP10	0.003	0.0024	0.003		0.0022	0.00018	0.0022
PP11	0.0016	0.0017	0.0009	0.0022			
PP12				0.00018			
PP13				0.0022	0.0022	0.00018	

Tabla 11.