



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA AUSTRAL

Programa de Posgrado Interinstitucional en Ciencias Hídricas
(con mención ambiental)

Trabajo final o tesina de la carrera de
Especialización en Contaminación de Aguas Subterráneas

IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS PARA
SU AISLACIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN DE
POZOS DE GAS. IMPLEMENTACIÓN EN EL
YACIMIENTO RINCÓN DEL MANGRULLO – YPF -
NEUQUÉN.

Gabriel Andrés Sanchez

Director de tesina: Dr. Mario Grizinik

Jurados: Dr. Federico Horne; Dr. Claudio Lexow; Dr. Gabriel Kaless

Suplente: Dra. Laura Brandizi

Comodoro Rivadavia, septiembre 2018



PROGRAMA DE POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS HÍDRICAS (CON MENCIÓN AMBIENTAL)

IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS PARA SU AISLACIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS DE GAS. IMPLEMENTACIÓN EN EL YACIMIENTO RINCÓN DEL MANGRULLO

Gabriel Andrés Sanchez

Director de Tesina:

Dr. Mario Grizinik

Especialización en Contaminación de Aguas Subterráneas

Universidad Nacional del Comahue
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Universidad Nacional de la Patagonia Austral

*Programa de Posgrado Interinstitucional en Ciencias Hídricas
(con mención ambiental)*

Comodoro Rivadavia, septiembre 2018



AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido por YPF SA, en especial al grupo de trabajo de Reservorios ANC y los valiosos aportes de Rodrigo Claa, Pedro Solorzano, Mateo Palacios, Damián Ulbrich y Gonzalo Richly, quienes colaboraron en diversos contenidos de este informe.



IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS PROFUNDOS PARA SU AISLACIÓN DURANTE LA PERFORACIÓN DE POZOS DE GAS. IMPLEMENTACIÓN EN EL YACIMIENTO RINCÓN DEL MANGRULLO – YPF - NEUQUÉN.

RESUMEN

El incipiente desarrollo del área Rincón del Mangrullo en la provincia de Neuquén ha creado la necesidad de ahondar en el estudio de los acuíferos dulces profundos con el fin de preservar la calidad ambiental de las aguas subterráneas dulces minimizando los impactos negativos ocasionados en el área de influencia directa de los pozos a construir. Preliminarmente, se realizó un análisis de las capas acuíferas sometiéndolas a un cut-off de resistividad que responde al límite de salinidad exigido por las normativas de la Provincia de Neuquén. De esta manera, se identificaron las capas acuíferas que deben ser protegidas por las cañerías guías, lo que implicó una profundización de las mismas según cálculos basados en un mapa estructural que ajusta una superficie sísmica a las profundidades máximas de acuíferos de agua dulce detectados. Para respaldar la información brindada por los perfiles de resistividad, se tomaron muestras de agua en dos pozos a diferentes profundidades y se establecieron relaciones de acuerdo con su mineralización y a las características estratigráficas del área. Finalmente se propone una guía metodológica basada en la experiencia adquirida.

Palabras clave: acuífero – cañería guía – resistividad – mapa estructural – muestreo de aguas

ABSTRACT

The incipient development of the Rincón del Mangrullo area in the province of Neuquén has created the need to deepen the study of deep sweet aquifers in order to preserve the environmental quality of sweet groundwater, minimizing the negative impacts caused in the area of direct influence from the wells to be built. Preliminarily, an analysis of the aquifer layers was performed subjecting them to a cut-off of resistivity that responds to the limit of salinity required by the regulations of the Province of Neuquén. In this way, the aquifer layers that must be protected by the guide pipes were identified, which implied a deepening of the same according to calculations based on a structural map that adjusts a seismic surface to the maximum depths of freshwater aquifers detected. To support the information provided by the resistivity profiles, water samples were taken from two wells at different depths and relationships were established according to their mineralization and the stratigraphic characteristics of the area. Finally, a methodological guide based on the experience gained is proposed.

Keywords: aquifer - guide pipe - resistivity - structural map - water sampling



TABLA DE CONTENIDOS

CONSIDERACIONES GENERALES	6
OBJETIVO DEL TRABAJO	6
UBICACIÓN Y ANTECEDENTES	6
MARCO GEOLÓGICO	7
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	13
MARCO LEGAL	14
JUSTIFICACION TÉCNICA	15
CONDUCTIVIDAD DE LAS FORMACIONES	15
MUESTREO DE AGUAS	20
<i>RDM-28(D)</i>	21
<i>RDM-8</i>	28
COMPARACIÓN ENTRE RDM-28(D) Y RDM-8	32
CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN EL ÁREA	35
COMPORTAMIENTO RESISTIVO DE LOS ACUÍFEROS EN EL ÁREA	35
PRESIONES Y NIVELES PIEZOMÉTRICOS	38
CONCLUSIONES	42
TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO	43



CONSIDERACIONES GENERALES

El presente trabajo cuenta con información privada de ypf sa, cuyo consentimiento comprende ser compartida en el ambiente académico y no puede ser divulgada fuera de él sin autorización expresa de la compañía.

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo del presente trabajo es justificar las profundidades de perforación de los tramos guía, con el fin de proteger las capas acuíferas exigidas por la Provincia de Neuquén, según el Decreto 2656/99, Anexo VII, y preservar la calidad ambiental de las capas de agua dulce minimizando los impactos negativos ocasionados en el área de influencia directa de los pozos a construir.

UBICACIÓN Y ANTECEDENTES

El Yacimiento Rincón del Mangrullo se encuentra ubicado en el Centro Oeste de la Cuenca Neuquina, en la Provincia de Neuquén (Figura 1). Pertenece a la Unidad de Negocios No Convencionales. Las poblaciones más cercanas son Añelo, situada a unos 50 km al Este y Plaza Huinca a unos 75 km al Sur. A 65 km en línea recta hacia el NE se encuentran las instalaciones de la UE LLL y a unos 125 km de distancia se emplaza la ciudad de Neuquén, capital de la provincia de Neuquén. El Río Neuquén es parte del límite Oeste del Bloque de Concesión, para luego dirigirse hacia el Este dividiendo en dos el área del Rincón del Mangrullo. El Bloque limita al Oeste con el área El Mangrullo (Petrobras), al Norte con Aguada Pichana (Total), al Este con Fortín de Piedra (Tecpetrol) y al Sur con Las Tacanas (YPF).



Desde el punto de vista geomorfológico, la zona se encuentra en la región de las Mesetas Patagónicas Neuquinas. Se destaca por la casi horizontalidad de los sedimentos del Grupo Neuquén, generándose un paisaje mesetiforme, escalonado, salpicado por cuencas cerradas y bordes de meseta de pendiente pronunciada (Confluencia Ambiente & Seguridad, 2014).

En el área predominan los depósitos de terraza del río Neuquén de distintos niveles, de edad pleistocénica media a depósitos aluviales actuales, todos conformados principalmente por conglomerados, gravas, arenas y limos. En las zonas de barrancos erosionados por el río se observan afloramientos del Grupo Neuquén, específicamente las formaciones Cerro Lisandro (fangolitas continentales), Huincul (conglomerados, areniscas y fangolitas) y Candeleros (conglomerados, areniscas y fangolitas), de edad Cenomaniano-Turoniano (Cretácico Superior). La Fm. Rayoso (conglomerados, areniscas y fangolitas), de edad aptiano-albiano (Cretácico Inferior), aflora en bordes de barrancos hacia el NO del yacimiento.

El principal interés económico en el área recae en la Fm. Mulichinco, integrada por depósitos clásticos y carbonáticos, donde se han reconocido tres secciones, denominadas como inferior, media y superior. Más precisamente, en el bloque Rincón del Mangrullo, la Fm. Mulichinco está constituida principalmente por areniscas finas a medias, distinguiéndose una sección basal eólica, una sección media fluvial y, sobreyaciéndole, una sección superior compuesta por niveles finos de ambiente costero hasta marino somero, que han comprobado gas en diversos pozos.¹

Si bien ha sido perforado en el área hasta la Fm. Auquilco (Figura 2), los pozos que se están construyendo actualmente, dentro del proyecto integral de gas, ingresan sólo hasta 50 m por debajo del tope de la Fm. Quintuco.

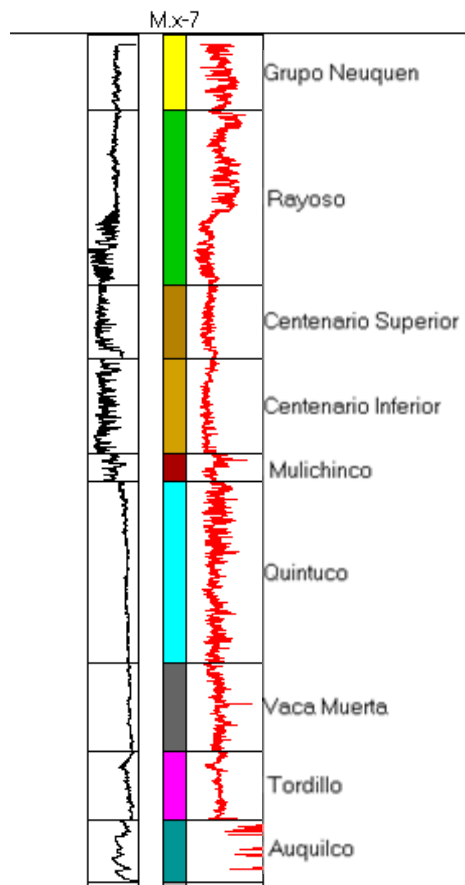


Figura 2: Columna Estratigráfica.

El Grupo Neuquén y la mayor parte del Grupo Rayoso, constituyen los principales reservorios profundos de aguas dulces y salobres.

El Grupo Neuquén está conformado por una secuencia de depósitos continentales de origen fluvial de aproximadamente 1200 metros de espesor, con un aumento gradual en sentido ENE-OSO, que constituyen los Subgrupos Río Limay, Río Neuquén y Río Colorado. La litología corresponde a un paquete de sedimentitas clásticas rojizas compuestas principalmente de areniscas, fangolitas y grauvacas; con una reducida participación de horizontes conglomerádicos. Desde el punto de vista tectosedimentario, el Grupo Neuquén ha sido vinculado al inicio de una tectónica compresional sobre el margen andino acaecido a fines del Cretácico Inferior. Producto de ésta, se produce la inversión de las antiguas estructuras extensionales, con la consiguiente generación de un frente de deformación occidental (faja plegada y corrida) y la migración hacia el este de los depocentros (Figura 3). Los efectos de esta deformación quedan evidenciados en la base del Grupo Neuquén a partir de una marcada discordancia angular y erosiva que define a la discordancia Patagoníca. Esta Faja Plegada y Corrida opera como un alto estructural en la depositación de las sedimentitas del Grupo Neuquén, junto con la Dorsal de Huincul, situada al sur del yacimiento, que influyó especialmente en la depositación de la Fm. Candeleros (base

del Grupo Neuquén). El ambiente principal de depositación corresponde a ambientes fluviales, con depósitos de abanicos aluviales hacia el borde de cuenca. Se han descrito hasta tres episodios de acumulación, representados por cada uno de los Subgrupos, que se inician con granulometrías areno - conglomerádicas y culminan con tramos pelíticos, lo que señalaría una reiteración del hábito de subsidencia intermitente de la cuenca. Se le atribuye al Cenomaniano - Campaniano del Cretácico superior (Garrido, 2010).

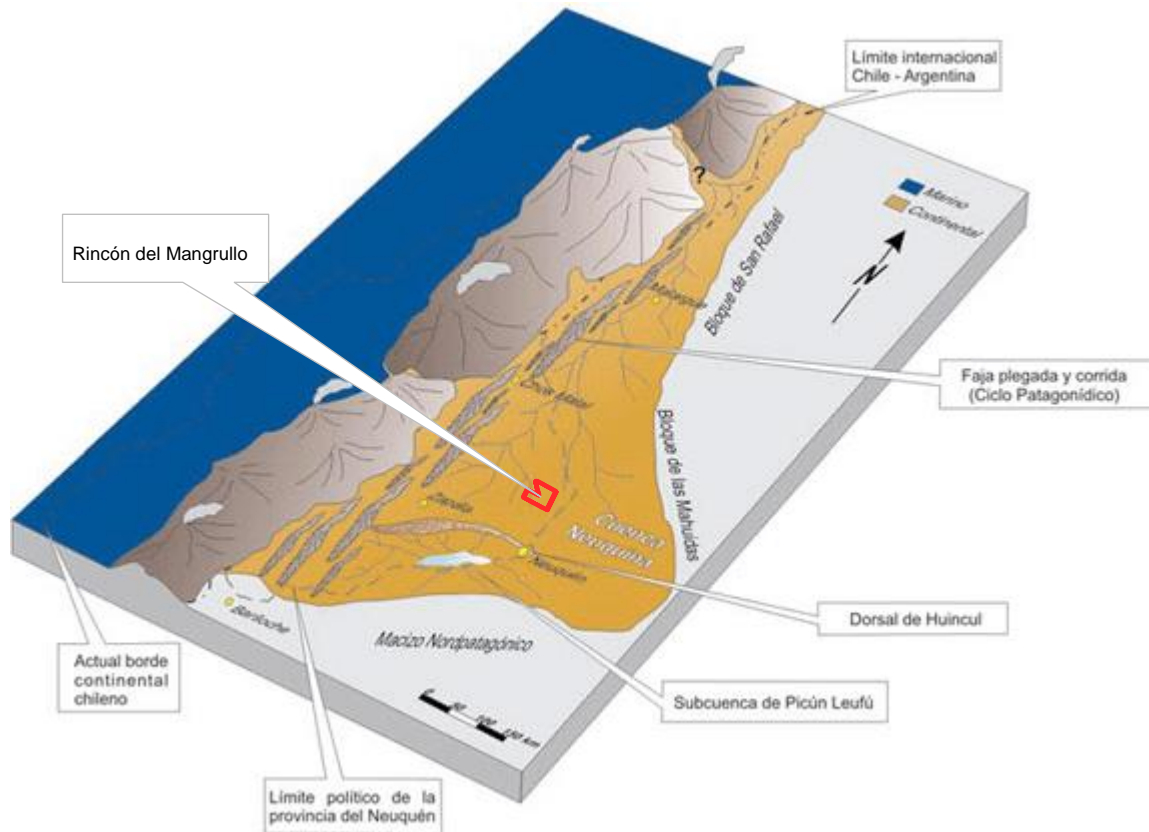


Figura 3: Esquema paleogeográfico de la Cuenca Neuquina durante la depositación de la base del Grupo Neuquén (tomado de Garrido, 2010).

El Grupo Rayoso (Uliana, et al., 1975; renombrado como Grupo Bajada del Agrio por Leanza en 2003) subyace al Grupo Neuquén y está compuesto por las Fm. Huitrín y Rayoso. Su edad corresponde al lapso Aptiano - Cenomaniano inferior y se halla separado por discordancia regional, correspondiente a los movimientos intersenonianos, de las unidades más modernas (Schiuma, et al., 2002). El ambiente de este Grupo se inicia con precipitación química en aguas marinas y salobres someras, para culminar en un cuerpo lacustre somero y perenne de salinidad variable, en el cual alternaban períodos húmedos y áridos con aportes fluviales.

La Fm. Huitrín está formada por calizas, anhidrita, yeso, areniscas y arcilitas. En Rincón del Mangrullo, el nivel evaporítico se acuña hasta desaparecer hacia el este del área.

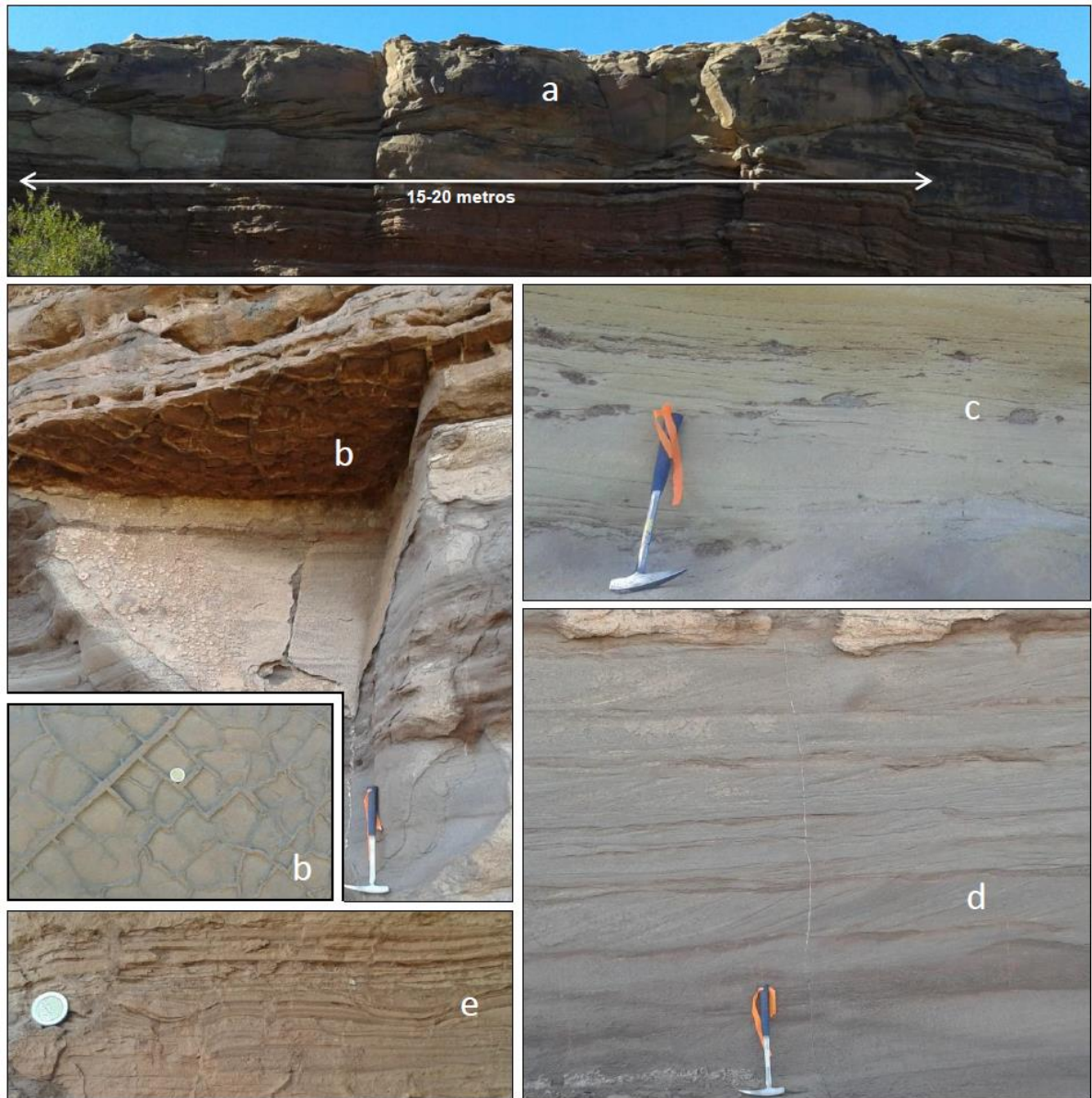


Figura 4: Estructuras sedimentarias reconocidas en afloramientos de la Fm. Rayoso en el sector NO del yacimiento: Canal lacustre hiperpícnico propio de eventos transgresivos del lago (a); grietas de desecación (b); areniscas finas a medias con clay chips alineados (c); megaripples con estratificación entrecruzada tabular planar con láminas cóncavas del foreset (d); y laminación convoluta (e).

La Fm. Rayoso se compone por una sucesión de areniscas finas, pelitas rojas, carbonatos y evaporitas, acumuladas en un medio predominantemente continental, el cual marca la desconexión definitiva de la Cuenca Neuquina con el paleo-océano Pacífico. Corresponde a acumulaciones en un cuerpo lacustre somero, en el cual se intercalan periodos húmedos con descargas fluviales extraordinarias desde sectores

marginales, resultando en una transgresión relativa del lago y la acumulación de depósitos arenosos de canales subacuáticos; y periodos secos, marcado por una alta tasa de evaporación, salinización y contracción del cuerpo lacustre, con depósitos evaporíticos alternados con lutitas rojizas y areniscas. De esta manera, la Fm. Rayoso se divide en tres secuencias depositacionales denominadas por Zabala y Ponce (2011) como R1, R2 y R3 (Zavala y Ponce, 2011). Aflora en el extremo noroeste del yacimiento (Figura 4), sobre la margen del río Neuquén, subyacente a las sedimentitas de la Fm. Candeleros (Figura 5), cuyo contacto es establecido por la discordancia intersenoniana en leve discordancia angular. Su espesor en el área de estudio varía entre 740 m y 640 m, adelgazándose en dirección el SSE.

La Formación Centenario completa la columna, subyaciendo a la Fm. Huitrín y sobreyaciendo a la Fm. Mulichinco. Se trata de potentes secuencias de sedimentos clásticos rojizos ampliamente distribuidas en los sectores Central y De Plataforma de la Cuenca Neuquina. Están representadas por intercalaciones de pelitas y areniscas de ambientes litorales, deltaicos y fluviales distales que gradan hacia el este a areniscas y conglomerados fluviales proximales.



Figura 5: Contacto erosivo neto entre las areniscas moradas masivas de la Fm. Candeleros, base del Grupo Neuquén (a) y los depósitos de areniscas amarillas masivas con intercalaciones pelíticas de la Fm. Rayoso (b).

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

No se dispone de datos específicos sobre las características de los acuíferos presentes para la totalidad de la Provincia del Neuquén. Por esta causa se utilizó como criterio descriptivo para la escala provincial la semejanza que las áreas desprovistas de información tienen con los sitios en los cuales se cuenta con este tipo de conocimiento.³ El área Rincón del Mangrullo y zonas aledañas se ubican, de esta manera, dentro del grupo de acuíferos correspondiente a Subálveo (vinculado al río Neuquén), Mesetas y Profundos. Las características de los dos primeros, se describen a continuación:

- Los ambientes geológicos receptores del agua son sedimentos de granulometría gruesa, tales como rodados, gravas y arenas gruesas.
- El agua proviene de recarga local y directa y es proporcionada por cursos fluviales, precipitaciones pluviales y fusión de nieve estacional.
- Poseen en general agua dulce o salobre dependiendo esta característica de los componentes mineralógicos presentes en el medio clástico a través del cual se desplaza el agua.
- Constituyen capas freáticas o libres.
- Conforman cuerpos de agua que poseen una alta vulnerabilidad a la contaminación.

Los acuíferos de tipo Subálveo se desarrollan en la faja que se extiende entre los niveles de terrazas más elevados y el lecho del valle activo. En este sistema hidrogeológico el gradiente hidráulico y la velocidad de escurrimiento son intermedios.

Estos acuíferos poseen un carácter dual ya que pueden ser efluentes o influentes con los ríos asociados, dependiendo esta condición de la época del año y/o del hábito del cauce. De esta forma, durante los períodos húmedos, el acuífero aporta aguas al río mientras que en los períodos secos el proceso es inverso.

En relación con el hábito del río, se destaca especialmente la situación que se da en cursos de morfometría meandriforme o con elevada sinuosidad.

Vistos en planta, estos acuíferos poseen forma de faja, en general coincidente con el ancho del piso del valle, específicamente con su planicie de inundación. En cortes transversales al rumbo del valle presentan una sección con forma de letra "U" o "V".³

Los acuíferos de Meseta se desarrollan en las zonas llanas y sub-horizontales de suave pendiente al Este que coronan las mesetas que se localizan en el ámbito de Patagonia Extrandina. Suelen estar cubiertas por gravas y, eventualmente, por coladas lávicas. Los referidos niveles de gravas presentan espesores variables que van disminuyendo progresivamente en dirección al Este.

El aporte de agua es local y proviene directamente de las precipitaciones pluviales o de la fusión de la nieve estacional. El movimiento del agua se verifica inicialmente en forma vertical desde la superficie de las referidas gravas hasta que llega al contacto con los sedimentos de menor permeabilidad, los que en general se relacionan con las sedimentitas continentales y marinas de edad terciaria. A continuación el movimiento

del flujo está condicionado por la pendiente del referido horizonte estratigráfico, que en general es al Este. En el caso de las mesetas con cubierta basáltica, la percolación vertical se verifica a través del sistema de fracturas verticales que presentan las coladas.^{2 3}

Los acuíferos del tipo profundo se localizan por debajo de los rodados y en un medio sedimentario en el cual están presentes niveles arcillosos con intercalaciones de bancos de arena. Desde el punto de vista hidrogeológico fueron clasificados en una sección aparte de los otros dos debido a que:

- Poseen características de semiconfinamiento.
- Las recargas no son locales.
- Poseen aguas salobres (en casos aislados alumbran agua dulce).
- Tienen una vulnerabilidad media a la contaminación.

Otros acuíferos profundos están formados a partir de las fisuras presentes en los macizos rocosos, reconociéndose que en estos casos almacenan agua de buena calidad.³

Por otra parte, las diferencias más destacables que presentan los referidos acuíferos se vinculan con su ubicación topográfica y con tendencia a profundizarse en dirección NO-SE. Asimismo, estos acuíferos poseen una distribución geométrica y un diseño de la red de flujo subterránea que es coherente con la topografía de la superficie de cada sitio.²

MARCO LEGAL

El gerenciamiento de reservorios debe considerar los aspectos legales para hacerlos productivos, y entre ellos debe responder por la protección de los recursos acuíferos ante los entes gubernamentales.

Las características de las capas acuíferas que se deben proteger en una perforación se establecen en normativas nacionales y de la Provincia de Neuquén.

La Resolución 105/1992, de la Secretaría de Energía de la Nación, “Procedimiento para la Protección del Medio ambiente en Operaciones de exploración y explotación de Hidrocarburos.”, publicada el 18/11/1992¹, dispone:

“La cañería de superficie o de seguridad alcanzará no sólo la profundidad adecuada por los requisitos de control de presión, sino que también se extenderá hasta cubrir el total de horizontes acuíferos de baja salinidad, considerando como tal un máximo de 2000 micromhos por centímetro cuadrado de conductividad específica.”

¹ Resolución 105/1992, de la Secretaría de Energía de la Nación, Procedimiento para la Protección del Medio ambiente en Operaciones de exploración y explotación de Hidrocarburos.



La normativa de la Provincia de Neuquén es más específica y exigente. Según el Decreto 2656/1999 publicado el 10/09/1999; Anexo VII, “Normas y procedimientos que regulan la protección ambiental durante las operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos”; Título III, “Normas ambientales a cumplir en la etapa de perforación y explotación”; Capítulo VI, “Normas ambientales para los programas de cañerías de entubación”; Art. 27:

“Pautas: En el diseño de los programas de cañerías de entubación se deberá considerar que la cañería de superficie o de seguridad, alcanzará no sólo la profundidad adecuada por los requisitos de control de presión, sino que también se extenderá hasta cubrir el total de horizontes acuíferos de baja salinidad, considerando como tal un máximo de **4000 micromhos por centímetro o 3000 p.p.m. de sales totales**. Si el programa técnico contempla la entubación de una cañería intermedia, los estratos de agua de baja salinidad pueden ser protegidos por dicha cañería, que se cementará, entonces, desde el zapato hasta la superficie.”

Además de las normativas específicas, se debe tener en consideración la ley nacional N° 25675, “Ley General del Ambiente”, en cuyo artículo 4 define, entre otros, el *Principio de prevención*: Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir; y el *Principio de responsabilidad*: El generador de efectos degradantes del ambiente, actuales o futuros, es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de los sistemas de responsabilidad ambiental que correspondan.

JUSTIFICACION TÉCNICA

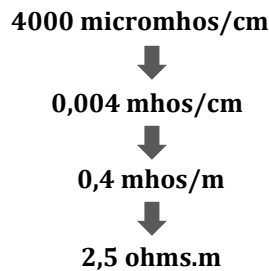
Se realizó en forma preliminar un análisis de las curvas de conductividad para establecer una base general para los acuíferos del área. Posteriormente se procedió a extraer muestras de pozos seleccionados con el fin de consolidar los resultados obtenidos.

CONDUCTIVIDAD DE LAS FORMACIONES

De manera preliminar, se utilizaron las curvas de resistividad para calcular la conductividad de las formaciones del subsuelo.

El dato que se considera, en primer lugar, es la **Resistividad de la Formación (Rt)**, que es la resistividad de la roca más la **Resistividad del Fluido (Rw)**. Las herramientas de perfilaje suelen ofrecer lecturas de Rt a diversas profundidades de penetración en la formación. Las diferencias en sus datos dan una idea aproximada del nivel de invasión del lodo de perforación en las rocas permeables. El dato requerido para este caso es el Rt más profundo, que, usualmente, es de 90 pulgadas de penetración en la formación.

El Decreto antes mencionado se refiere a la **calidad del agua subterránea** (no específicamente de la Formación), por lo tanto, es necesario transformar estos datos a **R_w** (resistividad del agua), que resulta de la inversa de la conductividad, $\rho=1/\sigma$. Hay que tener en cuenta que la conductividad varía también en función de la temperatura. **Los 3000 ppm de sales totales se corresponden con 4000 micromhos/cm (4 dS/m) a 10°C de temperatura**; que da un **R_w = 2,5 ohm.m**, de la siguiente manera:



Si se considera que **la temperatura a una profundidad de 450 mbbp es de unos 40°C**, da un **R_w = 1,3 ohm.m**, según el siguiente gráfico:

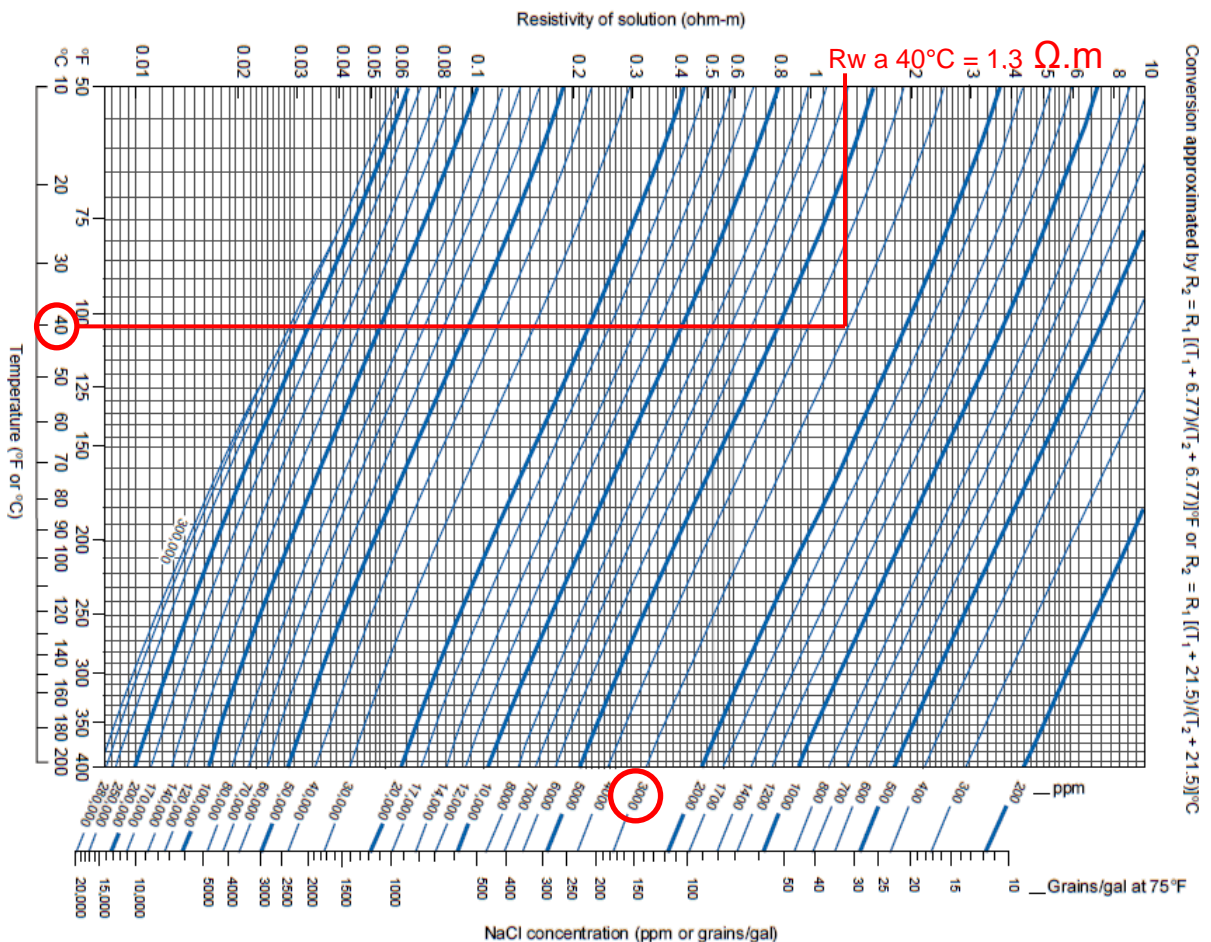


Figura 6: Gráfico Resistividad vs Temperatura en Soluciones de NaCl (Tomado de Schlumberger).

Utilizando la Fórmula de Archie, se obtiene:

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a * R_w}{\phi^m * R_t}}$$

Donde:

- a*: Constante
- m*: Exponente de Cementación
- n*: Exponente de Saturación
- R_w*: Resistividad del agua de formación
- R_t*: Resistividad zona virgen

Según la Tabla 1, se consideran los siguientes valores:

- $S_w = 1$ (agua)
- $a = 0.81$
- $m = 2$
- $n = 2$
- $R_w = 1,3 \text{ ohm.m}$
- $\Phi = 0,3$
- $R_t = ?$

a	1	Rocas Carbonáticas o Arenas de baja porosidad
	0.81	Areniscas de mediana a alta porosidad
m	2	"Arenas limpias"
	1.7 - 2	Areniscas Arcillosas
	2.5 - 3	Porosidad Secundaria
n	1	Rocas fisuradas
	2	"Arenas limpias"
	1.8	Areniscas Arcillosas
	4	Petróleos pesados

Tabla 1: Valores teóricos de *a*, *m* y *n*.

La porosidad (Φ) utilizada corresponde al promedio de las areniscas del Grupo Neuquén y Fm. Rayoso, obtenida de la lectura realizada por la herramienta DSLC (Sónico Digital, de la compañía Schlumberger) en la fase guía del pozo RDM-28(d). Previamente se había tomado la propuesta por el Grupo de desarrollo Lajas Tight Gas, de la Unidad de Negocio Neuquén Gas, en los cálculos para determinar el R_w de los acuíferos de las arenas limpias del Grupo Neuquén, la cual se corresponde con los valores de Rincón del Mangrullo.

Calculando el R_t según el R_w del dato a una temperatura de 40°C ,

$$1 = \sqrt{\frac{0,81 \cdot 1,3 \text{ ohm/m}}{0,3^2 \cdot Rt}} \quad ; \quad Rt = \frac{0,81 \cdot 1,3 \text{ ohm/m}}{0,3^2}$$

da como resultado un $Rt = 11,7 \text{ ohm.m}$.

En una primera instancia, se utilizó este cut-off para elaborar un mapa de profundidad máxima de las unidades acuíferas dulces, interpolando los datos de cada pozo y siguiendo como guía un nivel de referencia (tope de Centenario Superior, en este caso). Este mapa, elaborado en relación con el nivel del mar, permitió inferir la profundidad hasta donde debería cubrir los tramos guías. Considerando luego la cota de cada pozo se estableció la profundidad de la cañería guía.

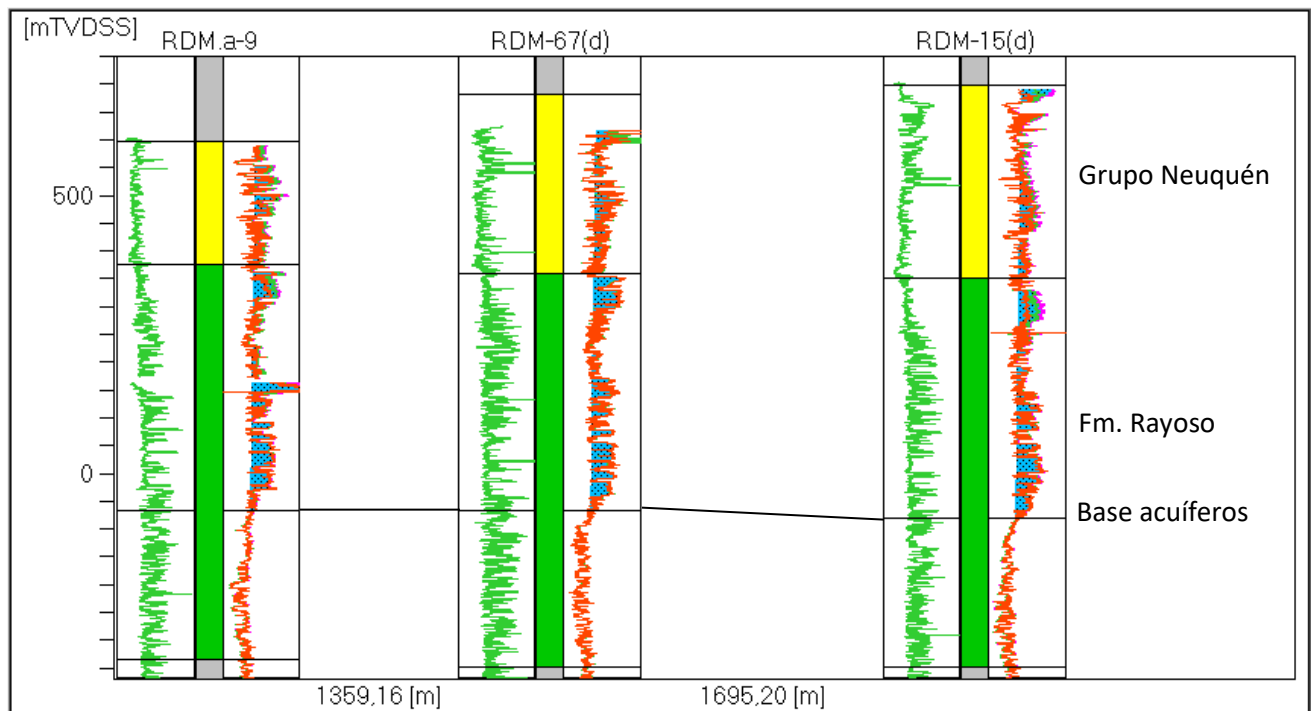


Figura 7: Corte estratigráfico de pozos de RDM con curva cut-off de resistividad marcando la base de los acuíferos dulces.

Finalmente, este cut-off se reemplazó por una curva de resistividad en función al gradiente geotérmico (Figura 7).

Tomando la base de la última capa de interés acuífero en cada pozo perforado en RDM, se buscó un reflector sísmico que fuera representativo y correlacionable, con el cual se elaboró un mapa isobático de la profundidad máxima de acuíferos dulces (Figura 8).

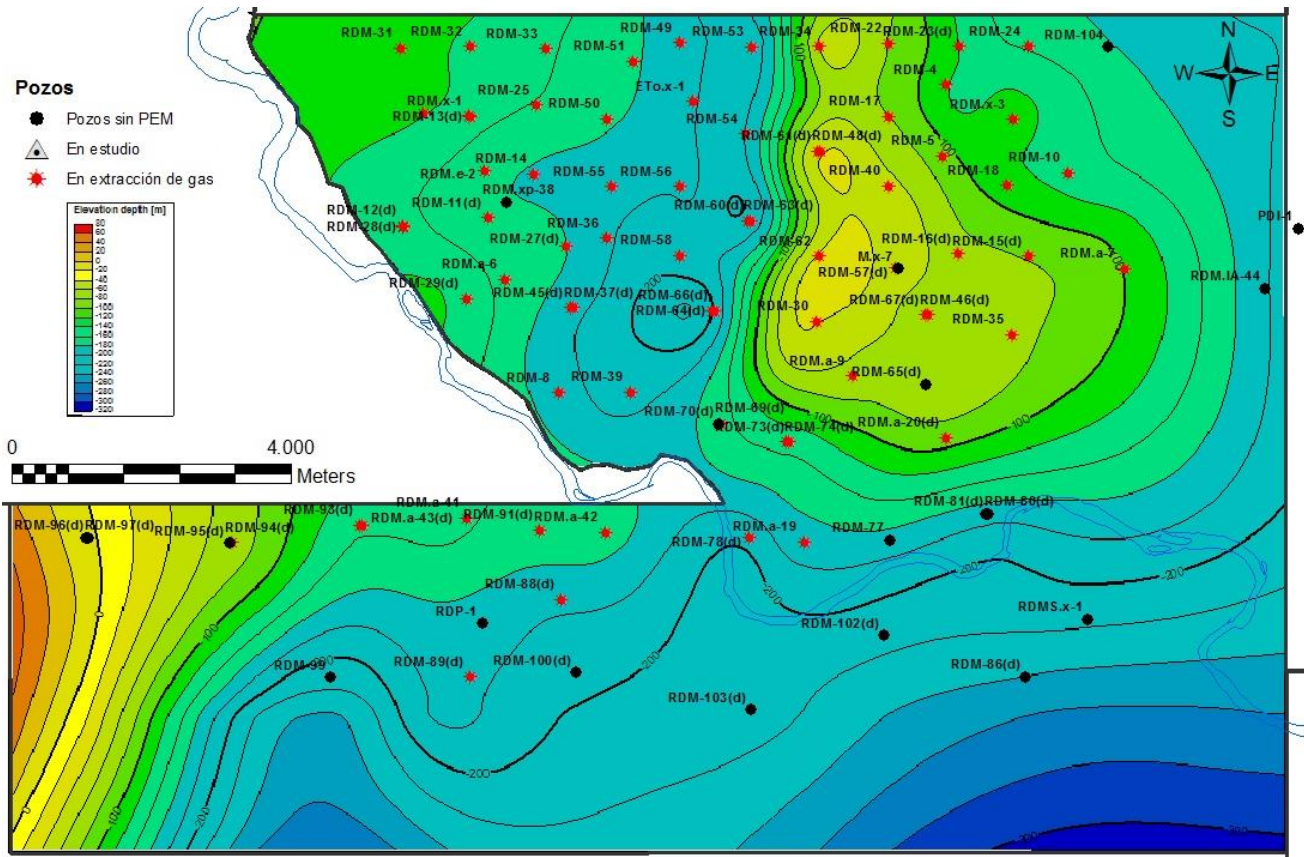


Figura 8: Mapa de profundidades máximas de acuíferos dulces en el área de Rincón del Mangrullo.

MUESTREO DE AGUAS

Se utilizó la herramienta MDT (Modular Reservoir Dynamics Tester) de la compañía Schlumberger con el fin de recoger muestras de fluido de diversas capas a distintas profundidades, medir la presión de reservorio y obtener datos de permeabilidad. Fueron seleccionados para un primer muestreo el pozo YPF.Nq.RDM-28(d), ubicado en el cuadrante noroeste del yacimiento, y el YPF.Nq.RDM.a-8, ubicado a unos 3,2 km del RDM-28(d) aguas abajo (Figura 9).

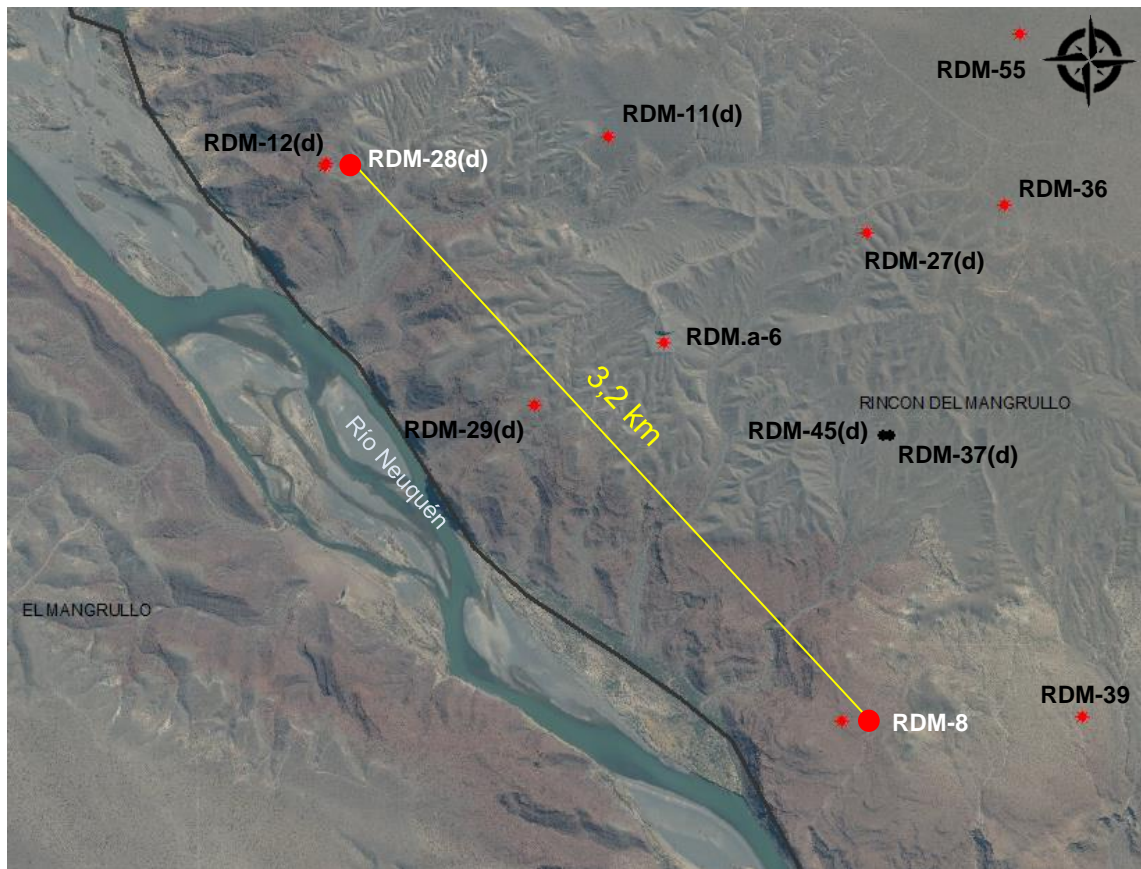


Figura 9: Ubicación de las bocas de pozo de RDM-28(d) y RDM-8.

RDM-28(d)

Este pozo se ubica en la zona de barrancos en el borde este del río Neuquén, a una altura de 605 msnm y en las siguientes coordenadas POSGAR 94 (Proyección Gauss Krüger, Faja 2): x (Norte): 5731794,75; y (Este): 2467218,23.

Se obtuvieron 6 muestras de capas de areniscas a distintas profundidades con el multiensayador MDT (Figura 10). Esta herramienta se asienta sobre la formación, mide la presión y a partir de allí comienza a bombear fluido enviándolo internamente hacia la columna hidrostática, hasta el momento en que se decide abrir el tanque y llenarlo con el fluido que se está bombeando. Se va realizando una lectura de temperatura y resistividad, la cual se va estabilizando con el tiempo e indica que el fluido que circula se va limpiando de contaminación del lodo de perforación. Es necesario contar con una diferencia de presión entre la capa muestreada y la presión hidrostática para permitir el flujo. Para esta ocasión se contó con el módulo MultiSample con cuatro botellas para muestras de 450 cc; y dos samples/tanques más de un galón de volumen.



Figura 10: Esquema y fotografía del Multiensayador MDT (a, b), donde se observa una de las botellas de muestra; traspaso de la muestra de agua de una de las botellas al contenedor final (c); traspaso de la muestra de uno de los tanques (d).

Las seis muestras obtenidas corresponden a las profundidades: 342m, 422m, 462m, 476,5m, 508m y 515,5m; todas referidas en metros al nivel de boca de pozo. La siguiente tabla resume los resultados del análisis de laboratorio para cada una de las capas muestreadas:

Resultados químicos de agua de RDM-28(d)								
Dato\Capa	uni	342m	422m	462m	476,5m	508m	515,5m	Promedio 342/508
pH	---	7,73	7,44	8,18	8,09	8,04	7,82	7,90
Na+	mg/l	372,26	387,92	428,41	524,80	663,99	1552,95	475,48
Ca++	mg/l	96,19	144,30	53,44	60,12	48,09	40,08	80,43
Mg++	mg/l	9,72	19,44	4,86	7,29	6,48	7,29	9,56
Fe++ (total)	mg/l	3,25	6,00	2,00	5,75	2,25	2,50	3,85
Ba++	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr+	mg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cl-	mg/l	540,00	560,00	460,00	560,00	660,00	2000,00	556,00
HCO3-	mg/l	453,84	717,36	629,52	692,96	858,88	795,44	670,51
SO4=	mg/l	105,00	85,00	52,50	95,00	82,50	97,50	84,00
CO3=	mg/l	0,00	0,00	1,20	2,40	0,60	0,00	0,84
DUREZA (total)	mg/l	280,00	440,00	153,30	180,00	146,00	130,40	239,86
HC	mg/l	no determ	no determ	no determ	no determ	no determ	no determ	no determ

Tabla 2: Resultados químicos de agua del pozo YPF.Nq.RDM-28(d).

Para comparar las muestras de agua de las distintas capas y poder establecer relaciones entre ellas, se construyeron diagramas de Stiff (Figura 11), los cuales permiten visualizar claramente los diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica). Esta gráfica está compuesta por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. El Na^+ se confronta con el Cl^- , el Ca^{+2} con el HCO_3^- , el Mg^{+2} con el SO_4^{-2} y el Fe^{+2} contra el CO_3^{-2} . Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/l. El gráfico resultante se puede utilizar como una “huella” de la calidad del agua y facilita la comparación. La figura 12 muestra las curvas de rayos gamma y resistividad (con su correspondiente cut-off) y los diagramas de Stiff de cada muestra confrontados con su correspondiente capa. Las capas fueron identificadas en forma general como “muestra n°” para facilitar la correlación y comparación con el RDM-8.

Se puede observar el crecimiento suave y paulatino de cloruro de sodio en cuando más profunda es la muestra, hasta la de 515,5m, donde el contenido de cloruro aumenta de manera más abrupta modificando la huella. De esta manera, se observa una relación entre las calidades del agua de las capas más someras, diferenciándose de la capa muestreada más profunda.

Se tomaron, además, muestras de lodo a distintas profundidades (Tabla 3) mientras avanzaba la perforación. Se realizó un gráfico de Stiff para el promedio de los valores químicos determinados en laboratorio y se comparó con el promedio de las determinaciones químicas de las muestras de agua más someras y con las determinaciones correspondientes a la muestra tomada a 515,5m (Tabla 4 y Figura 13).

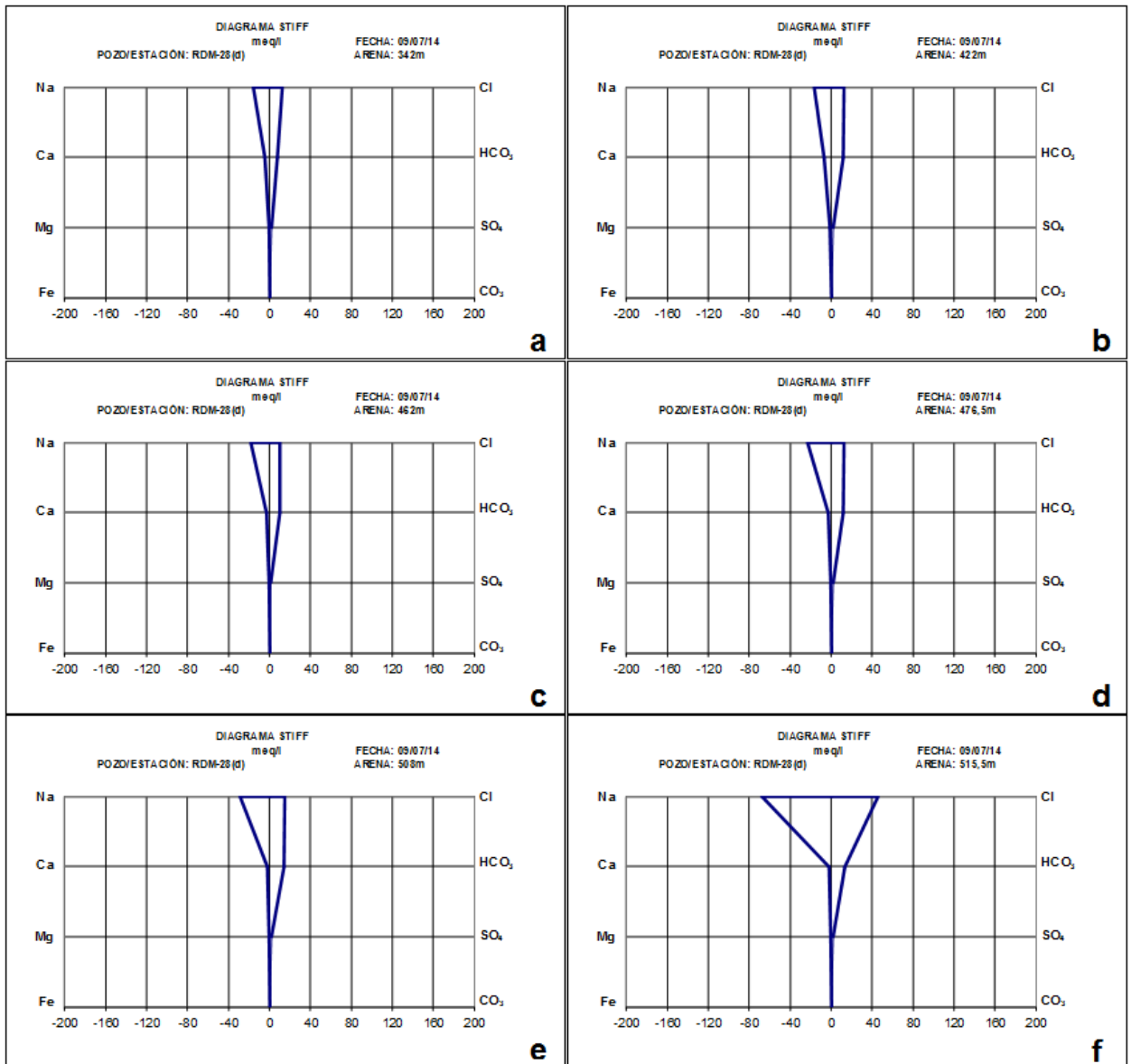


Figura 11: Gráficos de Stiff correspondientes a las muestras obtenidas de capas acuíferas atravesadas por el pozo YPF.Nq.RDM-28(d) en las profundidades: 342m (a); 422m (b); 462m (c); 476,5m (d); 508m (e) y 515,5 (f).

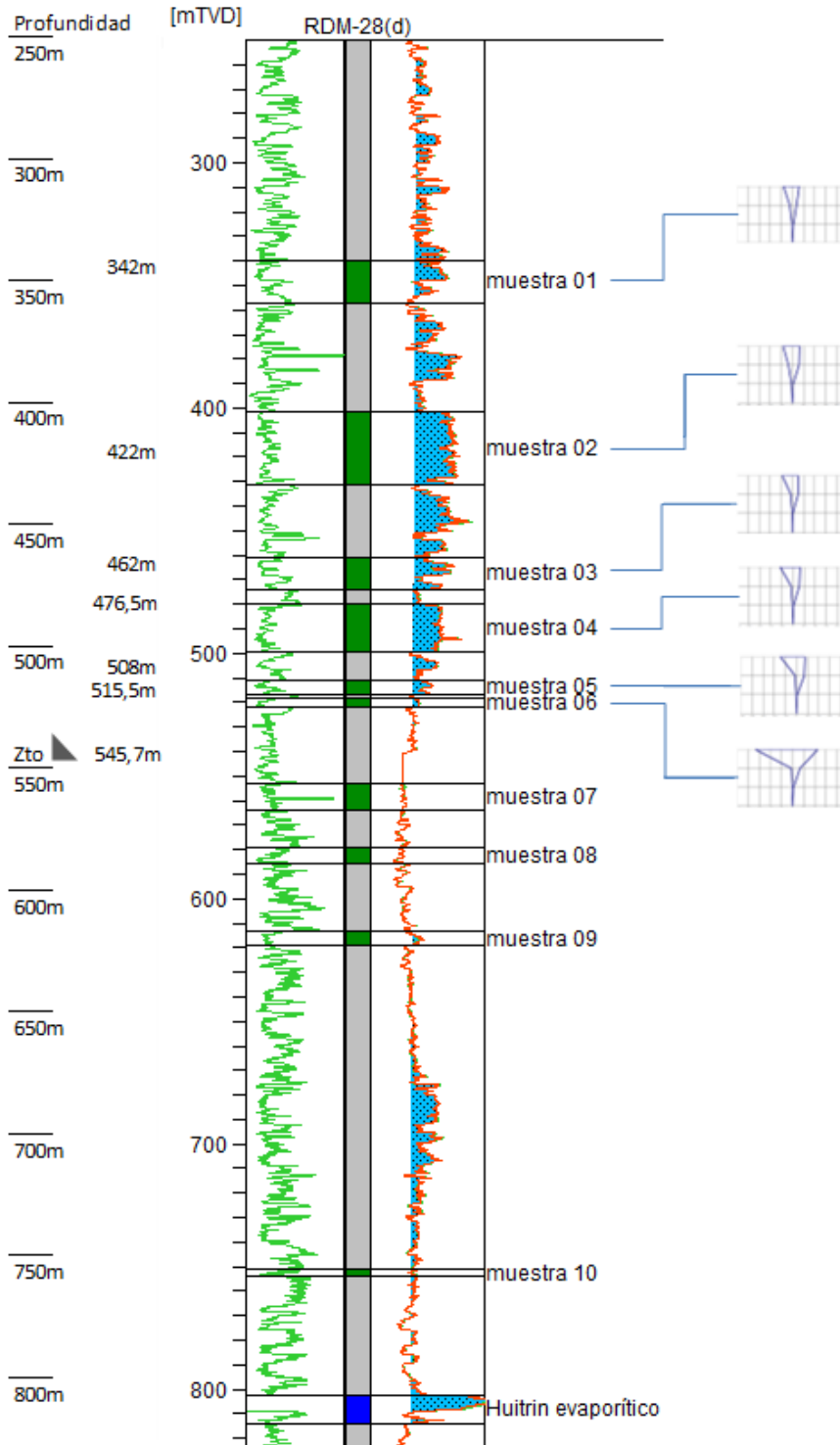


Figura 12: Curvas de rayos gamma y resistividad del pozo RDM-28(d) y diagramas de Stiff de cada muestra confrontados con su correspondiente capa.

Si bien las muestras recolectadas son circuladas a través la herramienta de MDT para lavarla lo máximo posible del contenido de invasión del lodo en la capa muestreada, es

posible que la muestra aun pueda tener algún tipo de contaminación, y esto es lo que se podía presuponer de la muestra tomada a 515,5 metros de profundidad. Sin embargo, si bien el contenido similar de cloruros permitiría arribar a esta conclusión, la muestra posee un contenido de Na⁺ superior al de las capas suprayacentes y al del lodo de perforación, lo que reafirma la calidad de la muestra.

Composición química del lodo utilizado en RDM-28(d) a distintas profundidades						
DETERMINACIONES	uni	100m	202m	305m	400m	500m
pH	-----	7,66	7,68	7,70	7,66	7,57
Cl ⁻	mg/l.	2100,00	2100,00	2000,00	1800,00	2000,00
SO ₄ ⁼	mg/l.	40,00	50,00	40,00	20,00	40,00
CO ₃ ⁼	mg/l.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻	mg/l.	2196,00	1037,00	1067,50	1006,50	1708,00
Ca ⁺⁺	mg/l.	761,52	280,56	681,36	761,52	561,12
Mg ⁺⁺	mg/l.	24,20	24,30	24,30	24,30	4,86
Na ⁺	mg/l.	1288,13	1408,83	889,74	635,22	1306,29
Fe ⁺⁺ (total)	mg/l.	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Ba ⁺⁺	mg/l.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr ⁺	mg/l.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DUREZA (total)	mg/l.	1600,00	1400,00	1800,00	1400,00	1600,00

Tabla 3: Composición química del lodo a distintas profundidades en el pozo YPF.Nq.RDM-28(d).

Promedio de aguas		Muestra 515,5 m		Promedio lodo	
DATOS	mg/l	DATOS	mg/l	DATOS	mg/l
Na ⁺	475,48	Na ⁺	1552,95	Na ⁺	1105,64
Ca ⁺⁺	80,43	Ca ⁺⁺	40,08	Ca ⁺⁺	609,22
Mg ⁺⁺	9,56	Mg ⁺⁺	7,29	Mg ⁺⁺	20,39
Fe ⁺⁺ (total)	3,85	Fe ⁺⁺ (total)	2,50	Fe ⁺⁺ (total)	6,00
Cl ⁻	556,00	Cl ⁻	2000,00	Cl ⁻	2000,00
HCO ₃ ⁻	670,51	HCO ₃ ⁻	795,44	HCO ₃ ⁻	1403,00
SO ₄ ⁼	84,00	SO ₄ ⁼	97,50	SO ₄ ⁼	38,00
CO ₃ ⁼	0,84	CO ₃ ⁼	0,00	CO ₃ ⁼	0,00

Tabla 4: Comparación entre el promedio de las muestras de aguas someras (342m - 508m) con la muestra de agua de 515,5m y el promedio del lodo en el pozo YPF.Nq.RDM-28(d).

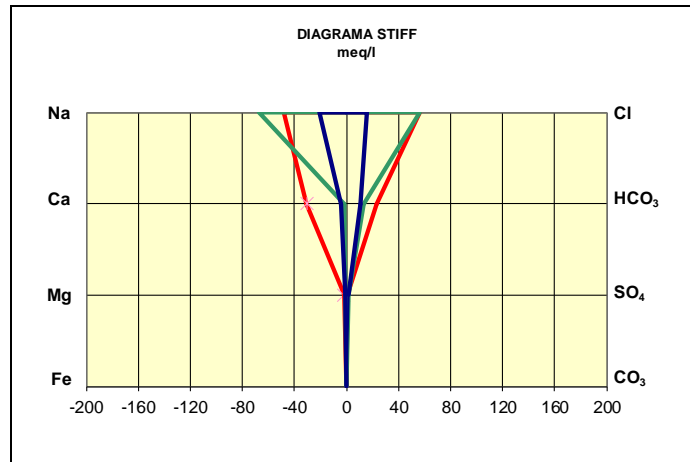


Figura 13: Comparación entre el promedio de las muestras de aguas someras (342m - 508m) con la muestra de agua de 515,5m y el promedio del lodo en el pozo YPF.Nq.RDM-28(d).

Las incrustaciones son compuestos resultantes de la cristalización y precipitación de sales minerales presentes en el agua, especialmente de carbonatos y sulfatos en menor medida. El agua que se encuentra en areniscas cementadas con calcita por lo general contiene una gran cantidad de cationes divalentes como el calcio (Ca^{+2}) y el magnesio (Mg^{+2}), y con frecuencia, contienen también bario (Ba^{+2}) y estroncio (Sr^{+2}), pero su determinación en laboratorio tuvo resultados negativos.

La tendencia a la formación de incrustaciones se calculó mediante un Índice de Saturación (Is) según el método desarrollado por Oddo y Tomson para la incrustación de carbonato de calcio, el cual incluye el efecto de la presión. El método permite el cálculo del pH en sistemas de dos fases (gas y agua); considera la presión total así como las variaciones de las presiones parciales del CO_2 , la temperatura y la fuerza iónica. El valor de Is indica la tendencia del agua a formar depósitos. Si el signo es positivo el agua es potencialmente incrustante. Si el signo es negativo el agua tiende a disolver los cristales de CaCO_3 . La tabla 5 muestra los resultados para las muestras obtenidas en el RDM-28(d).

Muestra	515,5m	508m	476,5m	462m	422m	342m
Presión (psia)	425,4	415,5	372,2	351,6	296,6	168,2
Temp. (°F):	78,4	90,3	91,2	90,2	88,3	85,0
Temp. (°C):	25,8	32,4	32,9	32,3	31,3	29,5
RESULTADOS						
μ :	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
pHc:	6,35	6,48	6,44	6,43	6,54	6,58
IsCaCO ₃ :	-0,72	-0,26	-0,27	-0,36	0,19	-0,15
Tendencia	No incrustante	No incrustante	No incrustante	No incrustante	Incrustante	No incrustante

Tabla 5: Condiciones y resultados según el método de Oddo-Tomson. μ es la fuerza iónica (moles/litro), pHc es el pH calculado y IsCaCO₃ es el índice de saturación para carbonato de calcio. Se considera una fracción molar de CO_2 de 1%.

Una concentración algo más elevada de Ca^{+2} en la muestra obtenida a 422 metros que en el resto de las muestras fue suficiente para arrojar como resultado una tendencia incrustante.

RDM-8

Este pozo se ubica en la zona de barrancos en el borde este del río Neuquén, a unos 3,2 km más al sureste que el RDM-28(d); a una cota de 581 msnm y en las siguientes coordenadas POSGAR 94 (Proyección Gauss Krüger, Faja 2): x (Norte): 5729411,61; y (Este): 2469446,92.

Se lograron recuperar cinco muestras de agua a distintas profundidades con el multiensayador MDT. La siguiente tabla resume los resultados del análisis de laboratorio para cada una de las capas muestreadas:

Resultados químicos de agua de RDM-8							
Dato\Capa	uni	518,5	601,4	621	657,5	781,5	Promedio 518,5/657,5
pH	---	7,57	7,47	8,06	7,84	7,21	7,74
Na+	mg/l	1352,16	1528,16	2508,26	1346,94	4816,40	1347,10
Ca++	mg/l	120,24	160,32	160,32	120,24	140,28	140,28
Mg++	mg/l	48,60	48,60	48,60	24,30	48,60	34,02
Fe++ (total)	mg/l	3,25	No Detectable	4,00	4,50	3,00	3,92
Ba++	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sr+	mg/l	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cl-	mg/l	900,00	1200,00	2400,00	700,00	6200,00	1040,00
HCO3-	mg/l	2501,90	2562,00	2976,80	2342,40	1061,40	2595,78
SO4=	mg/l	115,00	125,00	200,00	400,00	1350,00	168,00
CO3=	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DUREZA (total)	mg/l	500,00	600,00	600,00	400,00	550,00	525,00
HC	mg/l	1015,00	1530,00	950,00	1120,00	2000,00	1153,75

Tabla 6: Resultados químicos de agua del pozo YPF.Nq.RDM-8.

La última capa muestreada se seleccionó para corroborar el registro de Rt, el cual la señalaba como una capa de agua con salinidad superior a la marcada por las normas ambientales.

Las muestras obtenidas a 621m y 657,5m de profundidad corresponden a capas de areniscas pertenecientes a la sección inferior de la Fm. Rayoso, cuyo análisis de cloruros las deja dentro de lo especificado por la norma provincial.

Los diagramas de Stiff para estas muestras (Figura 14) permiten apreciar las diferentes calidades de agua, especialmente para la muestra más profunda, en donde se observa un aumento de cloruros y sulfatos. Las huellas de las muestras de agua de las capas inferiores de la Fm. Rayoso no son tan homogéneas, lo que permite inferir a priori una mayor complejidad respecto a su origen.

Se solicitó, en esta ocasión, que se determinara además el contenido de hidrocarburos. Se comprobaron valores entre 950 y 2000 mg/l, los cuales superan ampliamente el límite de 0,5 mg/l recomendado por la OMS para el agua apta para consumo humano.

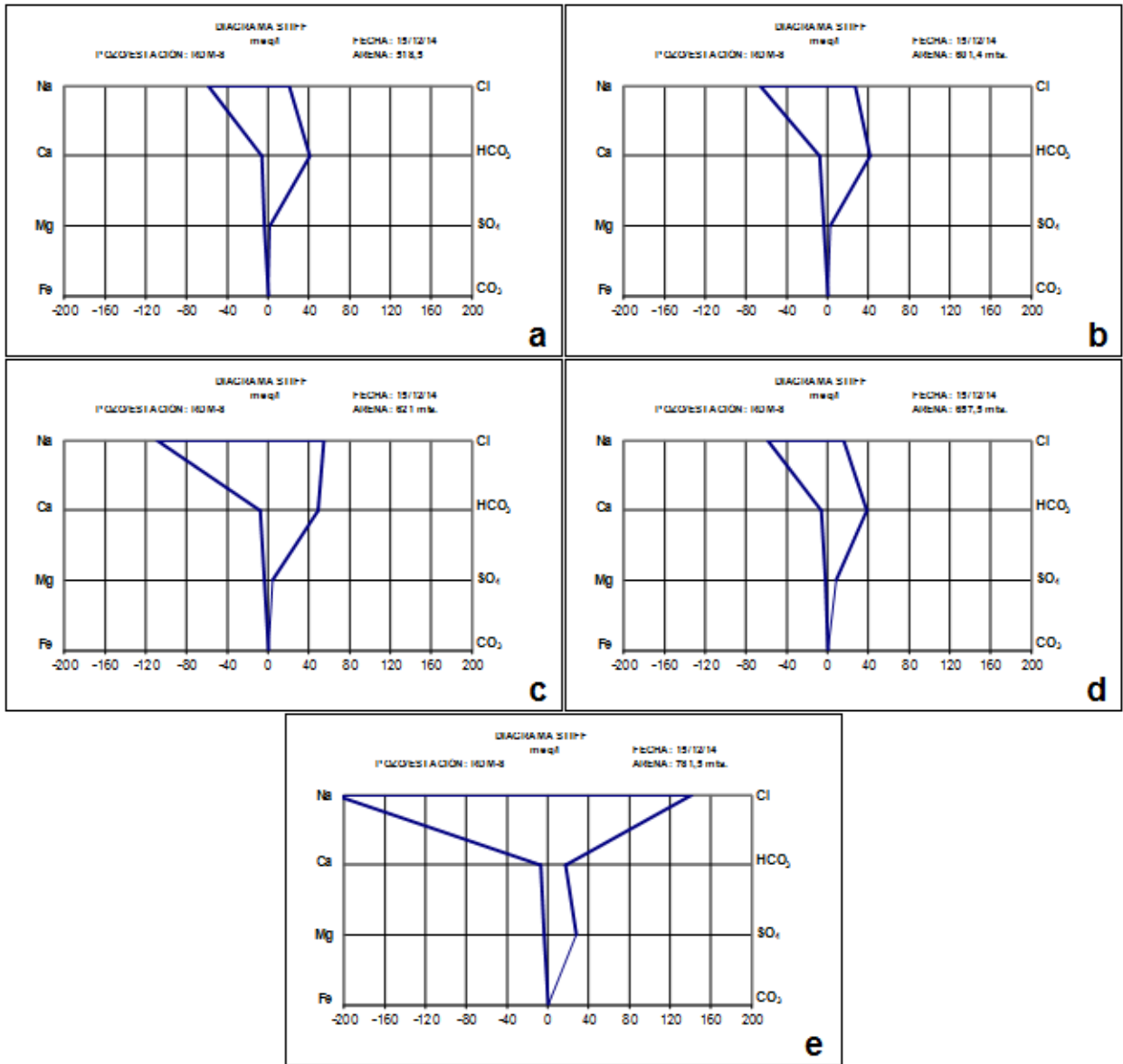


Figura 14: Gráficos de Stiff correspondientes a las muestras obtenidas de capas acuíferas atravesadas por el pozo YPF.Nq.RDM-8 en las profundidades: 518,5m (a); 601,4m (b); 621m (c); 657,5m (d); 781,5m (e).

En la figura 15 se puede observar los diagramas de Stiff de cada muestra junto a las curvas de rayos gamma y resistividad.

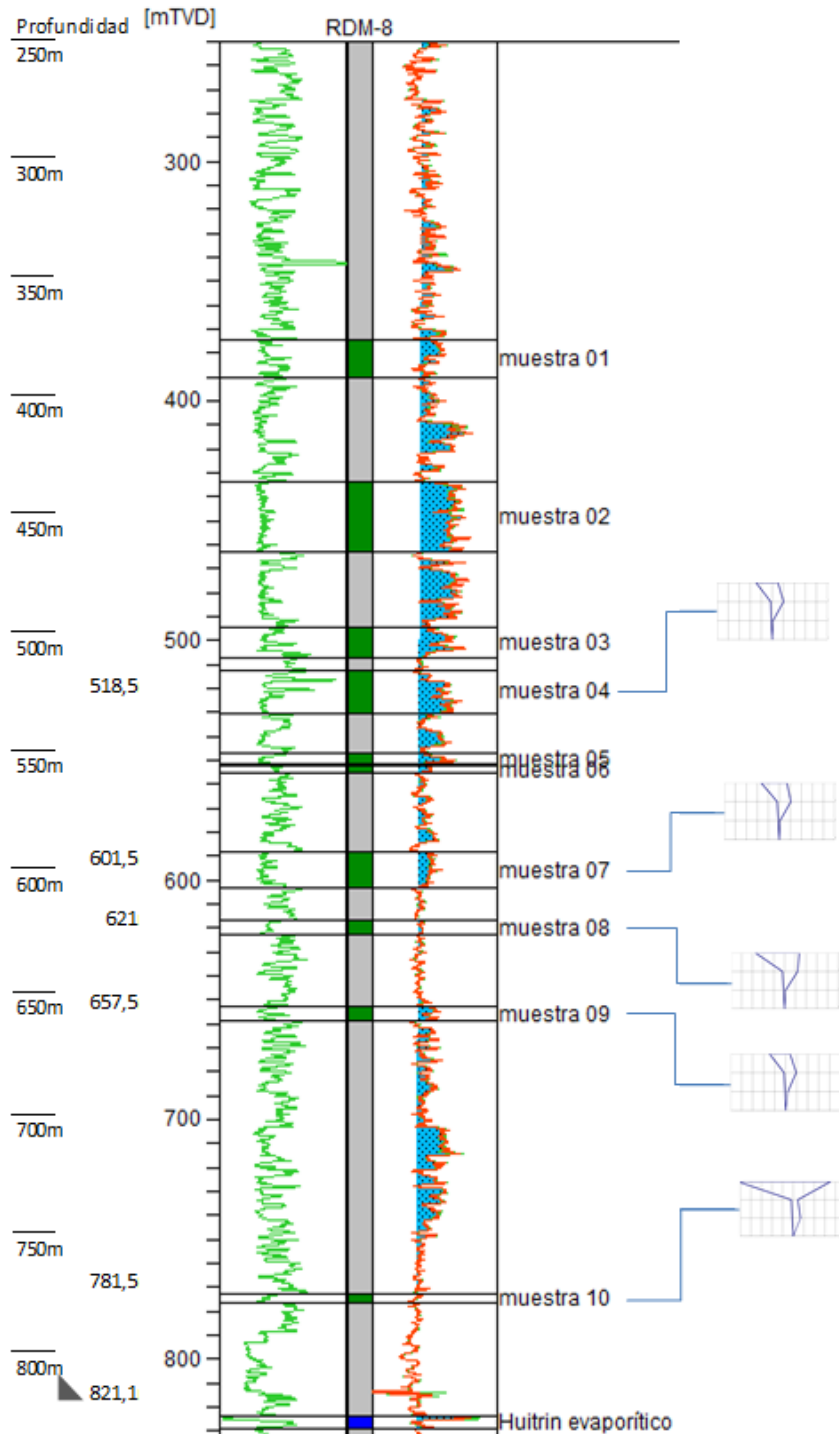


Figura 15: Curvas de rayos gamma y resistividad del pozo RDM-8 y diagramas de Stiff de cada muestra confrontados con su correspondiente capa.

La tabla 7 muestra las características del lodo obtenido a distintas profundidades de perforación. La comparación entre el promedio de las determinaciones químicas de las muestras de agua más someras, las determinaciones correspondientes a la muestra

tomada a 781,5m y el promedio de los valores del lodo (Tabla 8) se realiza con un gráfico de Stiff (Figura 16).

Composición química del lodo utilizado en RDM-8 a distintas profundidades										
DETERMINACIONES	uni	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	823m
pH	---	11,60	11,50	9,10	8,00	7,80	6,71	6,40	6,51	6,64
Na+	mg/l	2410,15	4618,43	3603,03	3120,19	2059,56	3360,31	7396,48	3350,88	3248,16
Ca++	mg/l	561,12	440,88	1202,40	1122,24	1202,40	1002,00	801,60	801,60	601,20
Mg++	mg/l	170,19	170,10	218,70	194,40	170,10	121,50	170,10	170,10	145,80
Fe++ (total)	mg/l	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin
Ba++	mg/l	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable
Sr+	mg/l	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin	No Determin
Cl-	mg/l	1000,00	1000,00	1100,00	1100,00	1100,00	1300,00	1100,00	1600,00	1300,00
HCO3-	mg/l	6344,00	11468,00	11834,00	10370,00	7930,00	10309,00	20984,00	9394,00	8906,00
SO4=	mg/l	30,00	30,00	35,00	35,00	30,00	25,00	30,00	30,00	30,00
CO3=	mg/l	420,00	600,00	270,00	180,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DUREZA (total)	mg/l	2100,00	1800,00	3900,00	3600,00	3700,00	3000,00	2100,00	2700,00	2100,00

Tabla 7: Composición química del lodo a distintas profundidades en el pozo YPF.Nq.RDM-8.

Promedio de aguas		Muestra 781,5 m		Promedio lodo	
DATOS	mg/l	DATOS	mg/l	DATOS	mg/l
Na+	1347,10	Na+	4816,40	Na+	3739,88
Ca++	140,28	Ca++	140,28	Ca++	891,78
Mg++	34,02	Mg++	48,60	Mg++	173,15
Fe++ (total)	3,92	Fe++ (total)	3,00	Fe++ (total)	0,00
Cl-	1040,00	Cl-	6200,00	Cl-	1162,50
HCO3-	2595,78	HCO3-	1061,40	HCO3-	11079,13
SO4=	168,00	SO4=	1350,00	SO4=	30,63
CO3=	0,00	CO3=	0,00	CO3=	191,25

Tabla 8: Comparación entre el promedio de las muestras de aguas someras (518,5m – 657,5m) con la muestra de agua de 781,5m y el promedio del lodo en el pozo YPF.Nq.RDM-8.

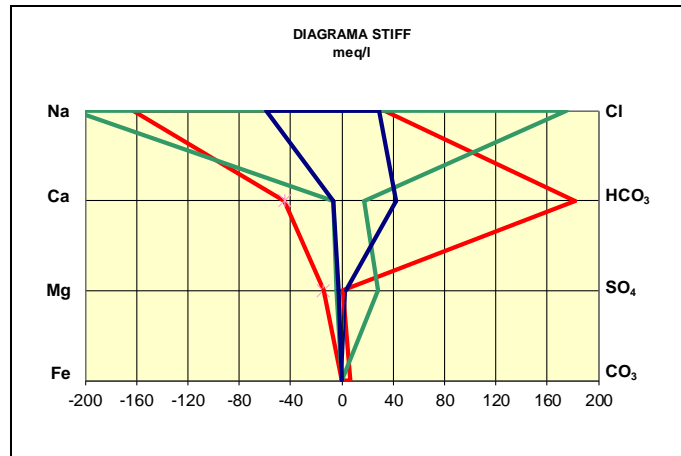


Figura 16: Comparación entre el promedio de las muestras de aguas someras (518,5m – 657,5m) con la muestra de agua de 781,5m y el promedio del lodo en el pozo YPF.Nq.RDM-8.

El Índice de Saturación (Is) de Oddo y Tomson para la incrustación de carbonato de calcio (Tabla 9), demostró una tendencia incrustante en la mayoría de las capas acuíferas dulces.

Muestra	781,5	657,5	621	601,5	518,5
Presión (psia)	785,5	617,1	80,3	563,6	472,1
Temp. (°F):	111,2	103,5	102,3	101,0	98,0
Temp. (°C):	44,0	39,7	39,0	38,4	36,7
RESULTADOS					
μ :	0,24	0,07	0,13	0,09	0,07
pHc:	6,28	6,77	7,73	6,83	6,89
IsCaCO3:	-0,05	0,87	1,98	1,06	0,98
Tendencia	No incrustante	Incrustante	Incrustante	Incrustante	Incrustante

Tabla 9: Condiciones y resultados según el método de Oddo-Tomson para el pozo RDM-8. μ es la fuerza iónica (moles/litro), pHc es el pH calculado y IsCaCO3 es el índice de saturación para carbonato de calcio. Se considera una fracción molar de CO2 de 1%.

COMPARACIÓN ENTRE RDM-28(D) Y RDM-8

El RDM-8 dista a unos 3200 m del RDM-28(d) hacia el sureste, siguiendo el curso del río Neuquén, aguas abajo. La diferencia estructural del tope de la Fm. Rayoso es de 72 metros con un gradiente de unos 2,2 metros cada 100 metros (buzamiento aparente de 1,26° SE).

De las muestras de agua que se lograron recuperar en el RDM-8, sólo una coincidió con una capa muestreada en el pozo RDM-28(d). La capa se identificó como "Muestra 04", a 476,5 metros bajo boca de pozo en el RDM-28(d) y 518,5 metros en el RDM-8 (Tabla 10). De la comparación se observa que aguas abajo el contenido salino se

incrementa en general, siendo el hierro total el único componente cuya concentración disminuye. La salinidad también aumenta en las capas atravesadas por cada pozo conforme aumente la profundidad en la que se encuentra, incrementándose en forma más abrupta en las capas que sobreyacen a la Fm. Huitrín.

La correlación entre las distintas capas muestreadas se puede apreciar en la Figura 17.

Pozo		RDM-28(d)	RDM-8
Dato\Capa	uni	476,5m	518,5
pH	--	8,09	7,57
Na+	mg/l	524,80	1352,16
Ca++	mg/l	60,12	120,24
Mg++	mg/l	7,29	48,60
Fe++ (total)	mg/l	5,75	3,25
Ba++	mg/l	0,00	0,00
Sr+	mg/l	< 1	< 1
Cl-	mg/l	560,00	900,00
HCO3-	mg/l	692,96	2501,90
SO4=	mg/l	95,00	115,00
CO3=	mg/l	2,40	0,00
DUREZA (total)	mg/l	180,00	500,00
HC	mg/l	no determ	1015,00

Tabla 10: Comparación de los resultados químicos de la Muestra 04 obtenida en el RDM-28(d) y en el RDM-8.

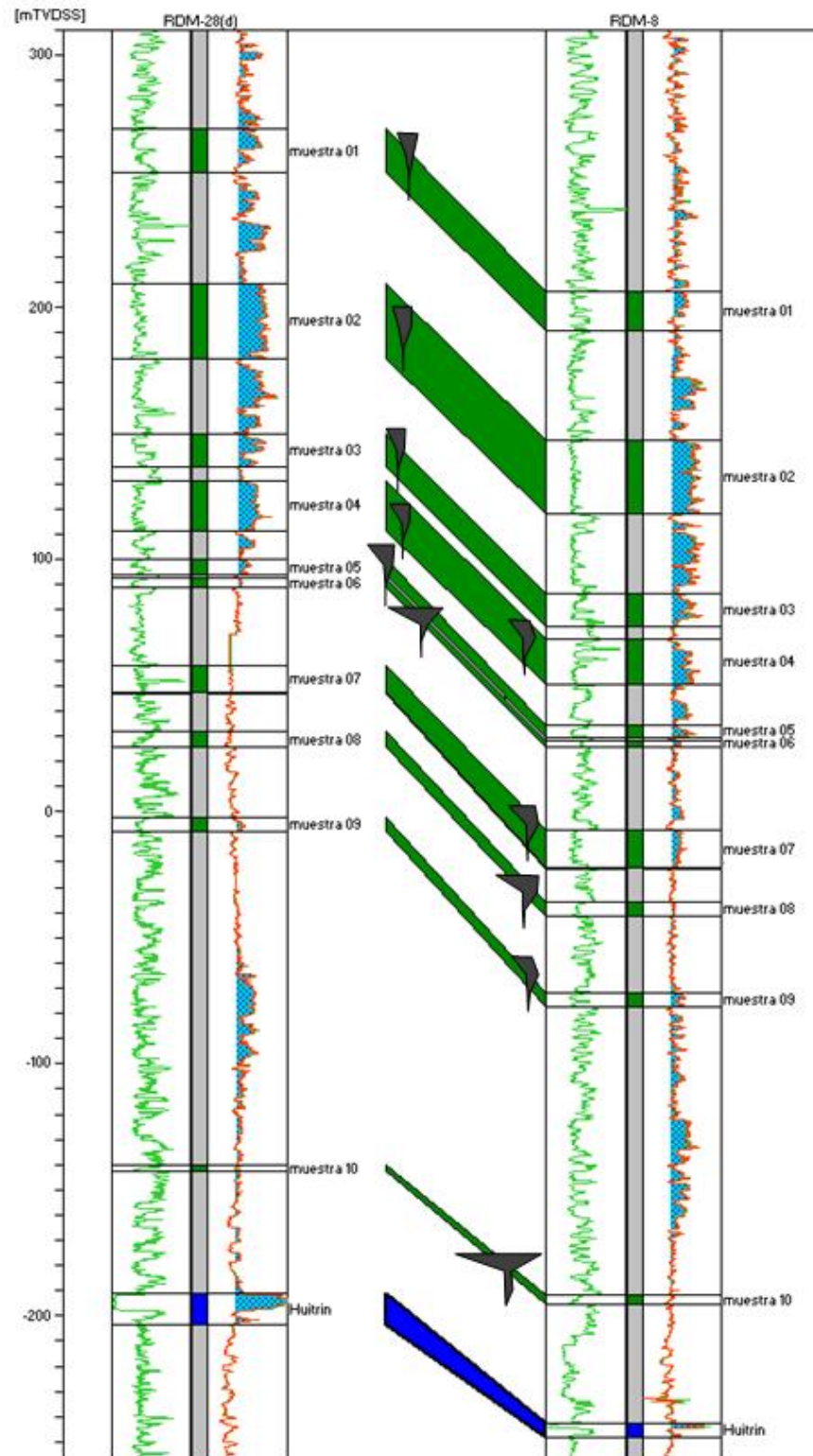


Figura 17: Correlación entre el RDM-28(d) y en el RDM-8.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN EL ÁREA

Los acuíferos profundos dulces de Rincón del Mangrullo se localizan, esencialmente, en los niveles samíticos y psefíticos de las secciones media y superior de la Fm. Rayoso (Figura 18) y en las formaciones presentes del Grupo Neuquén, los cuales se profundizan casi homoclinalmente en dirección NO-SE. De esta manera, la base de los acuíferos se deprime en esta misma dirección desde 120 m sobre el nivel del mar en el extremo NO hasta profundidades estimadas en 300 m bajo el nivel del mar hacia el SE (Figura 8), lo cual repercute en la profundidad hasta donde deben construirse las cañerías guías.

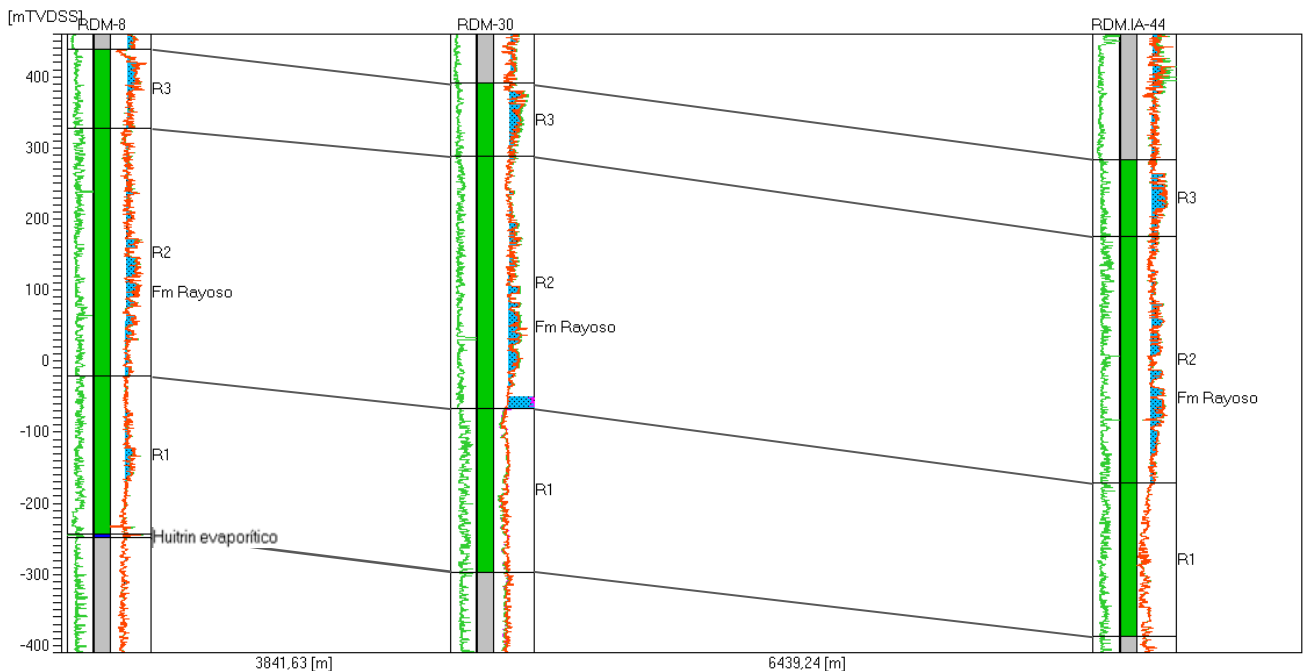
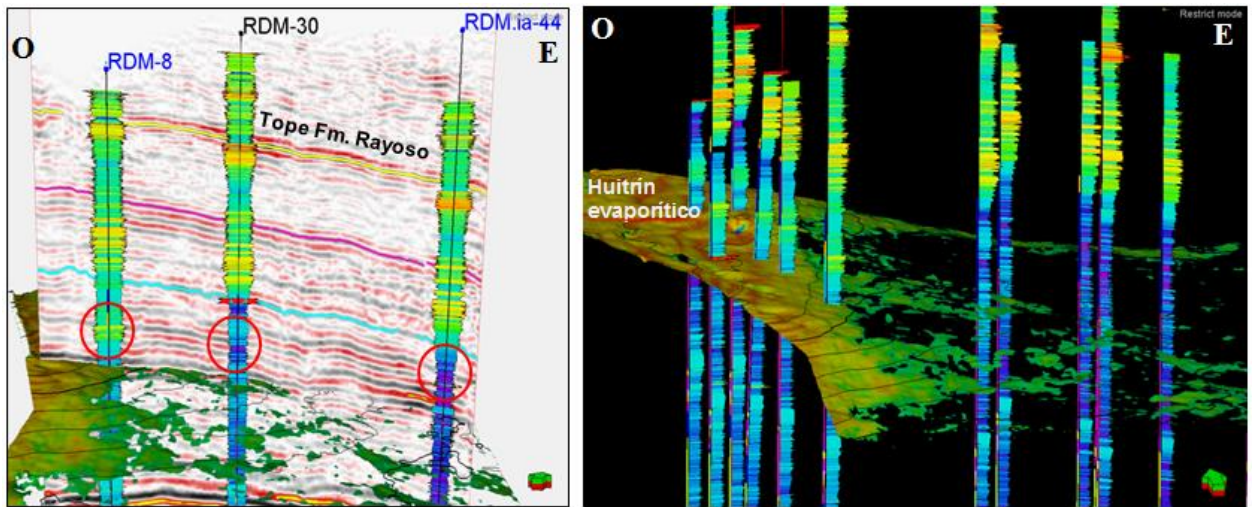


Figura 18: Corte estratigráfico de la Fm. Rayoso y las tres secuencias que lo conforman (Inferior R1, Medio R2 y Superior R3).

COMPORTAMIENTO RESISTIVO DE LOS ACUÍFEROS EN EL ÁREA

En pozos perforados hacia el oeste del área de Rincón del Mangrullo, se comprobó un aumento resistivo en capas de la sección inferior de la Fm. Rayoso que no se haya presente en los pozos del centro y este del yacimiento, con un evidente control estratigráfico. Se conjeturó en primer lugar la posibilidad de presencia de hidrocarburos en esas capas. Luego de la toma de muestras con MDT en el RDM-8 se descartó esa idea. Aun cuando se detectó hidrocarburo en las muestras extraídas, éste no representó una cantidad suficiente como para influir en los registros resistivos.



Figuras 20 y 21: Facies evaporíticas y clásticas de la Fm. Huitrín en Rincón del Mangrullo. Puede observarse como la existencia restringida de los acuíferos dulces de la Fm. Rayoso parece estar controlada por la presencia de las facies evaporíticas.

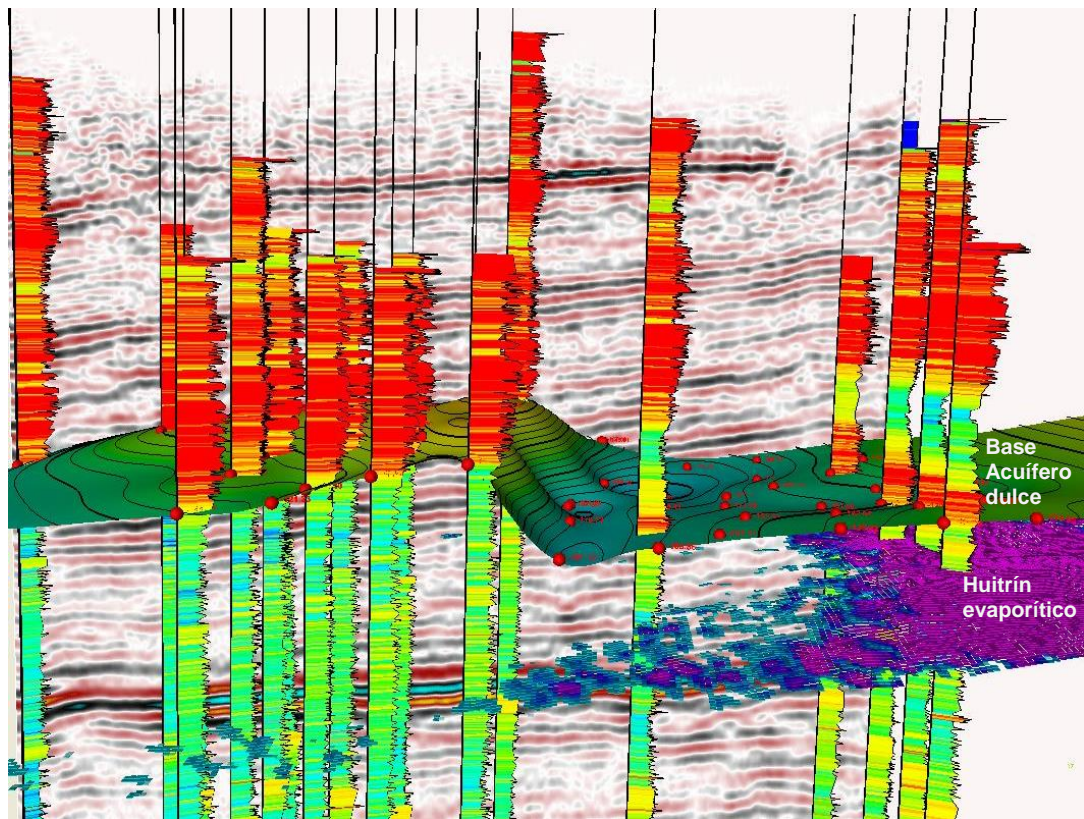


Figura 22: Niveles de base de los acuíferos dulces de Rincón del Mangrullo y su relación con las facies evaporíticas de la Fm. Huitrín.

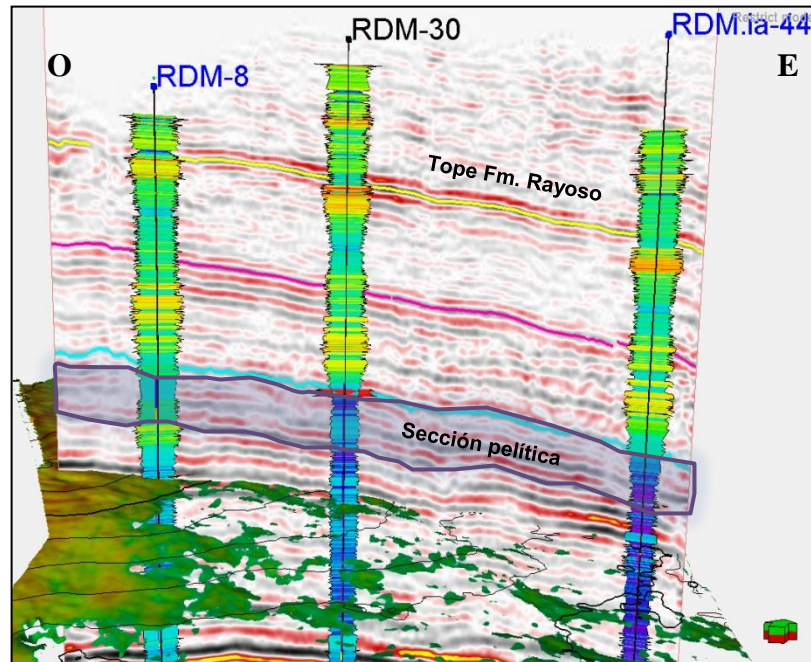


Figura 23: Niveles de pelitas de extensión regional correspondientes a la sección inferior de la Fm. Rayoso.

PRESIONES Y NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Considerando la densidad del agua subterránea de 1 g/cm^3 , la presión del agua aumenta 1 kg/cm^2 (1 bar) por cada 10 metros de profundidad. De esta manera, a partir de datos de presión de capas acuíferas dulces obtenidos en diversos pozos perforados en Rincón del Mangrullo, se calculó el nivel piezométrico general del área (Figura 24a), que varía entre 385 y 391 metros sobre el nivel del mar (disminuyendo en el área en dirección SO) para los acuíferos de la sección media y superior de Fm. Rayoso, y entre 349 y 364 metros sobre el nivel del mar (promediando en 357 msnm) para las capas inferiores (Figura 24b), resultando en una diferencia en los niveles de estas dos secciones (Figura 25).

A excepción de posibles acuíferos colgados que podrían estar presentes, el nivel piezométrico obtenido demuestra que las capas del Gr. Neuquén, en la mayor parte del yacimiento, se encuentran secas, siendo la Fm. Rayoso el principal reservorio de agua dulce del área.

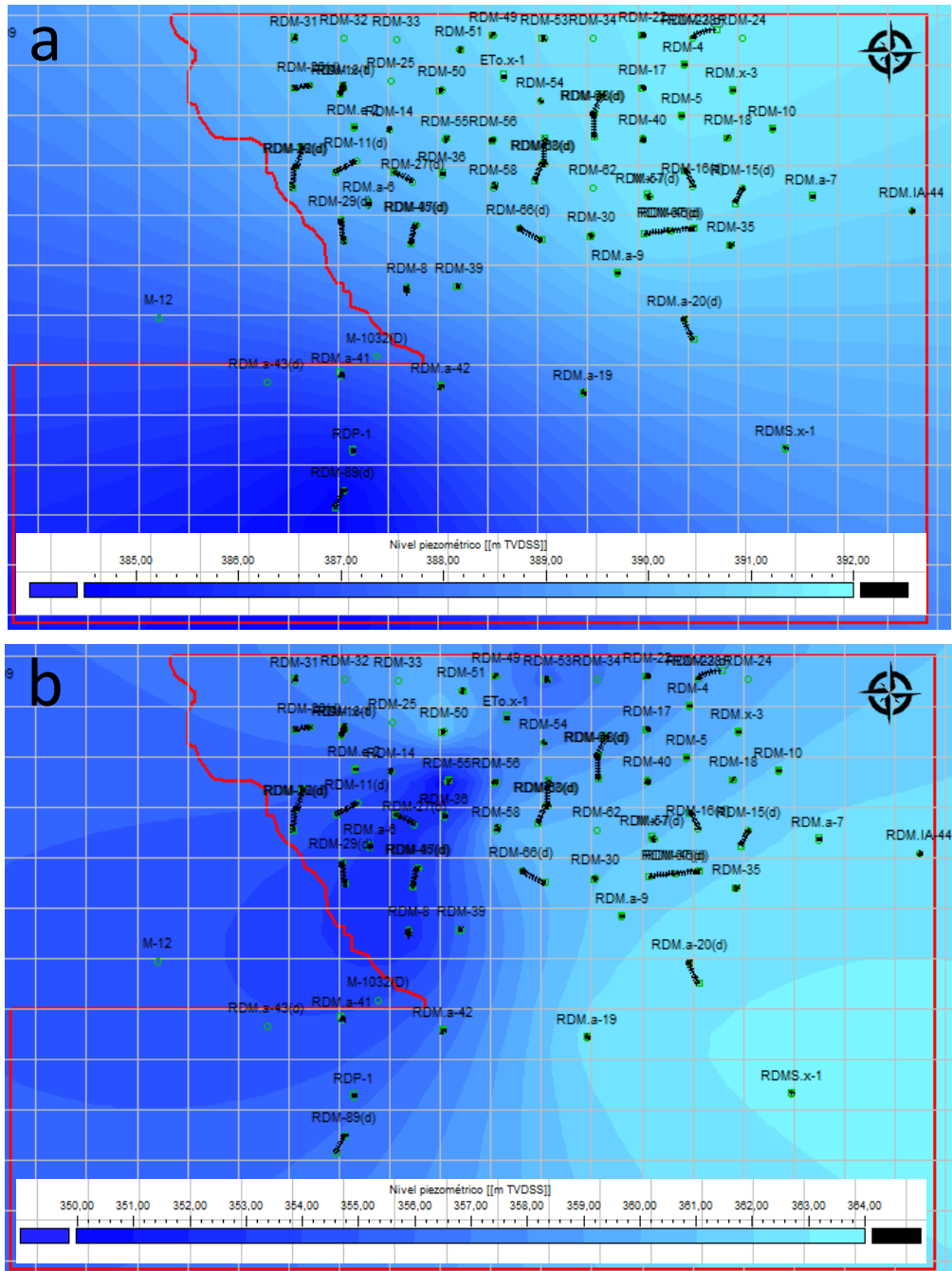


Figura 24: Mapa del nivel piezométrico, en metros sobre el nivel del mar, de las capas acuíferas de las secciones media y superior (a) e inferior (b) de la Fm. Rayoso.

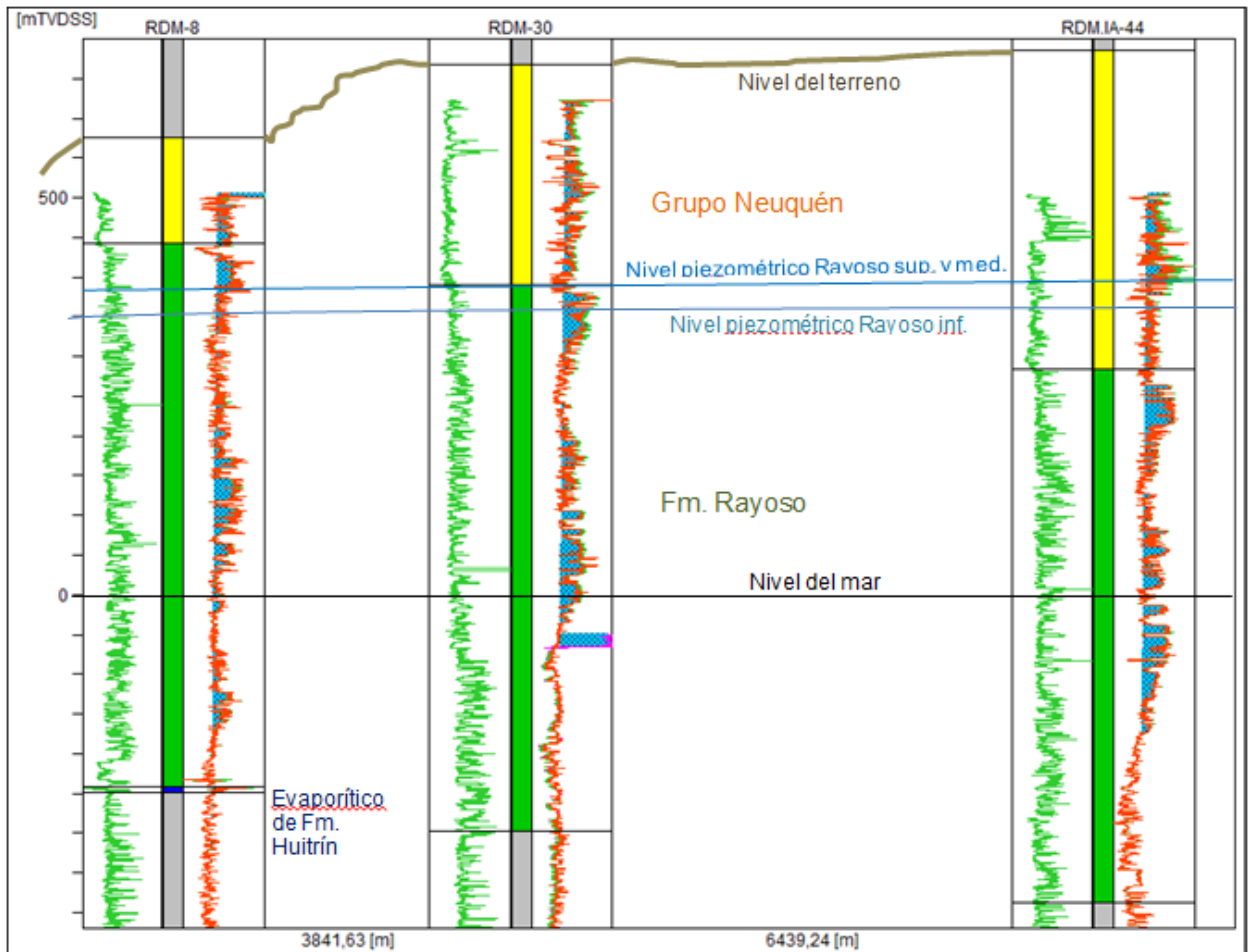


Figura 25: Corte con los niveles piezométricos de la Fm. Rayoso.

El nivel piezométrico general de la sección inferior de la Fm. Rayoso es coincidente con los niveles calculados para capas de agua salada de formaciones subyacentes (Fm. Centenario y Fm. Mulichinco; Figura 26), con lo cual se podría aventurar un aporte adicional a las capas de las secciones media y superior, el cual procedería de los acuíferos de tipo subálveo que se desarrollan en la faja que se extiende entre los niveles de terrazas más elevados y el lecho del valle activo del río Neuquén, canalizándose esta recarga a través de fallas someras semivericales (Figura 27).

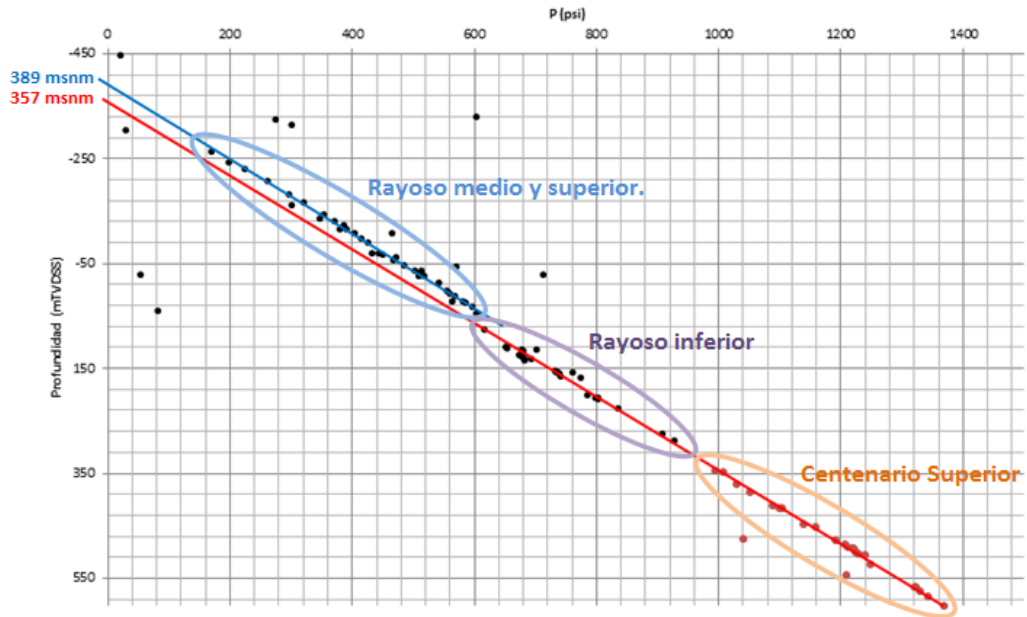


Figura 26: Gráfico de Presiones vs Profundidad que muestra el nivel piezométrico coincidente de capas de la Fm. Centenario y de la sección inferior de la Fm. Rayoso y el nivel piezométrico de las secciones media y superior de la Fm. Rayoso.

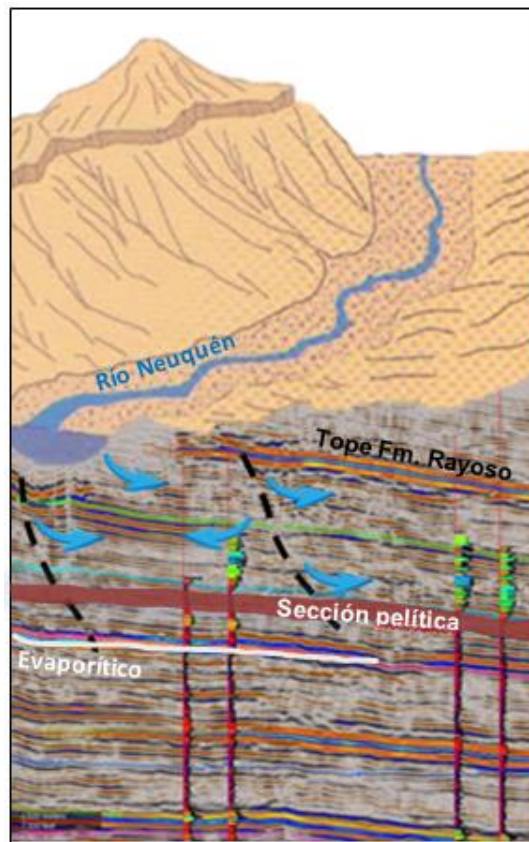


Figura 27: Esquema propuesto de infiltración de agua del río Neuquén a través de fallas semiverticales hacia capas de la Fm. Rayoso.

CONCLUSIONES

Los acuíferos profundos dulces del yacimiento Rincón del Mangrullo se encuentran ubicados, en la mayor parte, en sedimentitas permeables de la Fm. Rayoso, especialmente en sus secciones media y superior.

El Grupo Neuquén posee una menor importancia como reservorio de agua dulces debido a su menor espesor en el área, a su condición más somera y aflorante, y la altura de la columna piezométrica, que en gran parte del área no llega a estas capas (resultando en capas secas).

Las profundidades máximas de los acuíferos dulces, basándose en datos de resistividad según lo establecido en Dec. 2656/99 de la Provincia de Neuquén, se ubican entre 530 y 820 mbbp, con un promedio aproximado de 680 mbbp.

Las muestras de agua extraídas de capas acuíferas de los pozos RDM-28(d) y RDM-8 y analizadas para respaldar los datos resistivos, corroboraron la calidad de las aguas dulces, resultando salinidades entre 460 y 2400 mg/l de cloruros, incrementando la salinidad en dirección SE y demostrando, por medio de diagramas de Stiff, la pertenencia a una misma familia de aguas.

Si bien el objetivo del presente trabajo es determinar la profundidad de los acuíferos dulces para protegerlos mediante las cañerías guía de los pozos a construir, es el primer trabajo sobre acuíferos del área y contribuye al conocimiento de los acuíferos de la región.

Se utilizó para este trabajo, por primera vez, la herramienta MDT de Schlumberger para la extracción de muestras de agua y actualmente la experiencia se está repitiendo en toda la cuenca del Golfo Neuquino.

Se propone como hipótesis una recarga de los acuíferos profundos de la Fm Rayoso desde los depósitos acuíferos de tipo subálveo del río Neuquén a través de fallas subverticales, lo cual es necesario confirmarlo o refutarlo con nuevos estudios en el área.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- (1): Proyecto Integral de Gas Rincón del Mangrullo (Documento de Soporte de Desarrollo). Código Peep / Merak / SAP / IAP: RO325.13Y0. Equipo ANC, YPF SA, Febrero 2013.
- (2): Informe ambiental: Perforación y tendido de línea de conducción de los pozos YPF.Nq.RDM-33 y YPF.Nq.RDM-36. Confluencia Ambiente & Seguridad, Enero 2014.
- (3): Programa de asistencia técnica para el desarrollo del sector minero argentino. [\[Link\]](#)
- (4): Garrido, Alberto C. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. Rev. Mus. Argent. Cienc. Nat., Dic 2010, vol.12, no.2, p.121-177. ISSN 1853-0400 [\[Link\]](#)
- (5): Schiuma, M; Hinterwimmer, G; Vergani, G (Editores). Rocas reservorio de las cuencas productivas de la Argentina. V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, 2002.
- (6): Uliana, M., Dellapé, D. y Pando, G. 1975. Estratigrafía de las sedimentitas rayosianas (Cretácico Inferior de las Provincias de Neuquén y Mendoza, Argentina). 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 1: 177-196. Buenos Aires.
- (7): Leanza, H.A. 2003. Las Sedimentitas Huitrinianas y Rayosianas (Cretácico Inferior) en el ámbito central y meridional de la Cuenca Neuquina, Argentina. Servicio geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas, Geología 2: 1-31. Buenos Aires.
- (8): Zavala, C. y Ponce J. J. 2011. La Formación Rayoso (Cretácico temprano) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino: 205-222. Neuquén, 2011
- (9): Resolución 105/1992, de la Secretaría de Energía de la Nación, Procedimiento para la Protección del Medio ambiente en Operaciones de exploración y explotación de Hidrocarburos. [\[Link\]](#)
- (10): Decreto 2656/1999, Poder Ejecutivo de la Provincia de Neuquén, Reglamentación de la Ley General del Ambiente N° 1875. [\[Link\]](#)
- (11): Ley 25675, del Congreso de la Nación, Ley General del Ambiente, publicada el 27/11/2002.
- (12): Análisis de Aguas Superficiales en el área ATSB, Bloque LLL. Grupo de desarrollo Lajas Tight Gas, UNNG, YPF SA, Mayo 2011.