



**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**

EFFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN EL QUIMISMO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA FORMACIÓN SARMIENTO

Hugo Nicolas Martinez

Director de tesina: Geólogo Mario Grizinik

Comodoro Rivadavia, Marzo 2022



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

EFFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN EL QUIMISMO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA FORMACIÓN SARMIENTO

Hugo Nicolas Martinez

Director de tesina: Geólogo Mario Grizinik

Línea de investigación:
Hidrogeología

Universidad por la que cursa la carrera:
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Unidad Académica por la que cursa la carrera:
Facultad de Ciencias Naturales

Comodoro Rivadavia, Marzo 2022



EFFECTO DE LAS PRECIPITACIONES EN EL QUIMISMO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA FORMACIÓN SARMIENTO

RESUMEN

Mediante este estudio se propone mostrar los efectos de mezcla de las aguas de lluvia en la composición química de las aguas subterráneas de la Formación Sarmiento. Se busca de igual manera determinar si existe una relación entre la geomorfología y litología del sector por donde circulan dichas aguas y los valores encontrados. El sector de estudio se ubica al Norte de la localidad de Comodoro Rivadavia, precisamente en los acantilados próximos al Faro San Jorge de Punta Novales, donde aflora la unidad litológica. Luego de una abundante precipitación se procedió a la toma in situ de conductividad eléctrica en las aguas de diversos manantiales de los acantilados de la Formación Sarmiento. Posteriormente, se procede al análisis y agrupación a fin de determinar los puntos de muestreo de aguas. Los parámetros de estudio son total de sólidos disueltos (STD), conductividad eléctrica, concentración de aniones y cationes principales, pH y de hidrocarburos totales de petróleo (HTP). Al evaluar los resultados obtenidos se pudo observar una disminución de la salinidad debido a la dilución, en comparación con valores previos de los pozos de agua. Este proceso de dilución es favorecido por la marcada porosidad secundaria (diaclasas) observada en la Formación por la cual infiltra el agua de lluvia.

Palabras claves: Hidrogeología. Formación Sarmiento. Acuitardo. Mezcla de aguas.

ABSTRACT

Through this study, it is proposed to show rainwater effects on chemical composition of groundwater from Sarmiento Formation. Values after heavy rain were compared with old values from monitoring wells. Likewise, it seeks to find a relationship between these data and the geomorphology and lithology of the sector where these waters circulate. The study sector is located north of Comodoro Rivadavia city, precisely on the cliffs next to Punta Novales Lighthouse, where emerges the lithological unit. After heavy rainfall, conductivity was measure in situ in several springs from Sarmiento Formation cliffs in order to select sampling points for subsequent analysis. , The study parameters are total dissolved solids (STD), electrical conductivity, main anions and cations, pH) and Total petroleum hydrocarbons (HTP). The obtained data were evaluated, it was possible to



observed lower salinity values compared with previous values from water wells, due to dilution. The dilution process is aided by the remarkable secondary porosity (diaclasses) observed in the formation by which rainwater infiltrates.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4	CONCLUSIONES	15
5	BIBLIOGRAFIA.....	16

1 INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se ubica 12 kilómetros al Noreste del casco céntrico de la ciudad de Comodoro Rivadavia (Fig.1). La Punta Novalés posee costas de acantilados de entre 20 a 40 metros de altura con restingas alrededor ambos de composición semipermeable debido a su porosidad secundaria (diaclasas). Por sobre éstos cubren mantos de rodados permeables interceptados por cauces de régimen temporario. El flujo de aguas es horizontal tanto superficial como subterráneo con velocidades lentas para las aguas que circulan por los acantilados.

El propósito de este estudio es realizar un aporte al conocimiento de las características hidroquímicas de las aguas del acuitardo Sarmiento y su comportamiento hidrogeológico.

Es de esperar que estos datos sea un aporte que ayude a comprender la influencia de la porosidad secundaria en la mezcla de aguas de un acuitardo en situaciones de precipitación.



Figura 1: Zona de estudio con ubicación de puntos de muestreo. Imágenes: Google Earth y Openstreet Maps.

El clima de la región corresponde al de la Patagonia extrandina, siendo seco y árido con vientos regulares a fuertes proveniente del cuadrante Oeste (Sciutto, 2000). Las temperaturas promedio registradas en el período 1963-2017 son las siguientes: media anual con 13.5° C, promedio más baja correspondiente al mes de Julio con 6.6° C, y más alta en enero con 19.4° C. Las precipitaciones promedio anuales son de 244.8 mm, media mensual de 20 mm, con máximos de precipitación media mensual en el mes de Mayo. Paredes (2020), define a las precipitaciones como extremas para los eventos mayores a 59 mm/día. Las precipitaciones en la zona de Comodoro Rivadavia acaecidas entre marzo y abril de 2017, fueron de 399.4 mm, con 232 mm precipitados sólo el 30 de marzo, superando ampliamente el límite inferior de eventos extremos.

Con respecto a la Geología, los acantilados en el sector de estudio corresponden a la Formación Sarmiento, que asociada con las unidades litológicas que se mencionarán, forman los continentes de los principales sistemas acuíferos de la región. Sciutto (2000), las clasifica de la siguiente manera:

- Formación Río Chico: Areniscas y areniscas tobáceas con intercalaciones arcillosas. De ambiente continental (Paleoceno medio a Superior).
- Formación Sarmiento: Principalmente arcillas con intercalaciones de tobas y basaltos. Ambiente continental (Eoceno – Oligoceno).
- Formación Patagonia: Areniscas tobáceas, coquinas, y arcillitas intercaladas. Ambiente marino. (Oligoceno superior).
- Sedimentos aluviales y coluviales: Psammitas y pelitas no consolidadas.

Además menciona Regionalmente la Formación Sarmiento constituye estratos tabulares, subhorizontales y que por intemperismo genera un típico relieve de *badlands* (Sciutto, 2000).

La Hidrogeología de la región, Castrillo (1984), la define como un modelo hidrogeológico conceptual con tres sistemas de acuíferos de arriba a abajo:

Acuífero Multiunitario Superior, de características regionales. La recarga se produce en la zona de relieves mesetiformes (Pampa de Castillo) en forma directa y régimen variable. La descarga depende del tipo de flujo, en manantiales y lagunas si es local o hacia el Océano si es regional.

Posee sentido de escurrimiento desde el oeste hacia el este-sureste, es decir, en dirección a la costa.

Hidroquímica: en zona de recarga hay aguas bicarbonatadas sódicas con contenido salino bajo. Hacia la zona serrana se evidencia un aumento de sales totales, siendo sulfatadas cloruradas sódicas, donde las aguas tienden a adquirir las características del medio sólido.

Acuitardo Sarmiento: La Formación Sarmiento se comporta como acuitardo y funciona como hidroapoyo, separando al Complejo Acuífero Inferior del Complejo Multiunitario

Superior. Se han detectado algunos niveles tobáceos que ceden agua, pero son de muy bajo caudal.

Del Complejo de Acuíferos Inferiores se posee información muy dispersa, pero en general son niveles de alta salinidad que varían en profundidad.

Con respecto al manto de gravas superior, o depósitos psefíticos, desde un punto de vista hidrogeológico, Castrillo et al. (1984) los caracteriza como depósitos receptores del aporte pluvionival, donde una parte de estos caudales se descarga en pequeños manantiales hacia los cañadones y otra parte filtra verticalmente, recargando a los acuíferos más profundos.

Existe información proveniente del sector privado, principalmente datos de pozos de monitoreo de la industria petrolera. Para este estudio se seleccionaron algunos sitios en función a su proximidad al área de estudio, los cuales servirán como parámetros de comparación de los resultados de las muestras del estudio.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió a ubicar los lloraderos o manantiales a lo largo de los acantilados de Punta Novales. Aprovechando las copiosas lluvias acaecidas entre marzo y abril de 2017, se pudieron tomar in situ los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) en 10 lloraderos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10). En cada uno se realizaron repeticiones de la medición para disminuir el error. La determinación se realizó con un medidor de conductividad que transforma el dato en STD mediante factor de conversión NaCl (avg. 0.5). En tres puntos de muestreo se pudo repetir la medición 3 días después para observar si hubo cambios en los valores de salinidad.

Una vez realizadas las mediciones, se agruparon los puntos de muestreo en base a la similitud en los valores de STD y su ubicación. Se eligieron como sitios de muestro los puntos identificados como P2, P4, P8 y P10. El procedimiento eficaz para la recolección de las muestras de agua, consistió en realizar con un elemento punzante, surcos en forma dendrítica por todo el ancho de la película de agua convergiendo hasta un tubo de modo de dirigir el agua hacia el pico de la botella de muestreo (Fig. 2). Se emplearon botellas de vidrio color caramelo de 1 litro de volumen. Las muestras se llevaron a laboratorio en heladeras para preservar sus propiedades, donde se realizaron los siguientes análisis físico-químicos:

Aniones principales (cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos), cationes principales (sodio+potasio, calcio, magnesio). Sólidos totales (de manera indirecta tomando la conductividad medida), pH, conductividad eléctrica.

En la evaluación de los resultados se caracterizaron químicamente las aguas, empleando una clasificación según sus componentes principales y se elaboró un diagrama de Piper para representar los resultados obtenidos. Se comparó con datos

previos de muestreo de aguas en pozos ubicados en la Formación Sarmiento y también con datos de análisis químicos de dos muestras de aguas de lluvia, posteriormente recolectadas en febrero de 2022.

Para el análisis geo-espacial de los datos se consideró conveniente elaborar un mapa de red de drenaje en base a un modelo de elevación digital con Global Mapper para conocer el grado de influencia de la escorrentía superficial y de la geomorfología en cada punto de muestreo.

Debido a que en un punto de muestreo se encontraron valores sospechosos o anómalos, se decidió tomar una muestra adicional para determinación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) para intentar reconocer la fuente de esta discrepancia.

Se intentó realizar un mapa Hidrogeológico con el programa Surfer, pero debido a que los puntos de muestreo se encuentran alineados, no se consideró de utilidad la información presentada de este modo.

Los datos del muestreo se correlacionaron con las características de las rocas específicas de cada lugar, mediante un análisis visual del tipo de manantial; tipo, abundancia y orientación de las fracturas y litología mediante reconocimiento macroscópico con lupa de mano.



Figura 2: Recolección de muestras de agua en botellas de vidrio caramelo de un litro de volumen.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de Sólidos Totales Disueltos (STD), tomados in situ, en los puntos P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10 (Fig. 3), se presentan en la Tabla 1):

Tabla 1: Valores de STD medidos en los puntos de muestreo en distintas fechas.

Punto	<u>Sólidos Totales Disueltos in situ en mg/L</u>				
	16/5/2017	17/5/2017	18/5/2017	19/5/2017	20/5/2017
P1	3720			6460	
P2	4260				
P3	2080				
P4 a	4610			4180	
P4 b	5140				
P4 c	2330			5440	
P4 d	4570				
P5 a	7220			seco	
P5 b	6800			seco	
P6	4700			8900	
P7 a		8640			
P7 b		8970			
P8 a		9970			
P8 b		8220			
P9 a			5320		
P9 b			4800		
P10 a					2780
P10 b					4800
P10 c					5040
P10 d					3460

Los valores van de 2330 a 9970 mg/l, en todos los casos son aguas salinas, presentando una gran variabilidad entre los distintos sitios de medición. En los puntos P1, P4 y P6, donde se efectuaron mediciones durante un período de tiempo, se observó un aumento en la salinidad y disminución del aporte de agua por parte de los lloraderos.

Las muestras para análisis en laboratorio recolectadas de los puntos P2, P4, P8 y P10 arrojaron resultados de STD de 9782, 8960, 16512 y 3533 mg/l respectivamente, todas se clasifican como cloruradas sódicas (Figura 3).

El aumento en salinidad en cada punto de muestreo con respecto a los valores medidos in situ es concordante con la tendencia observada del aumento de salinidad en el tiempo, ya que la toma de muestras se realizó entre dos a tres días después de la medición inicial.

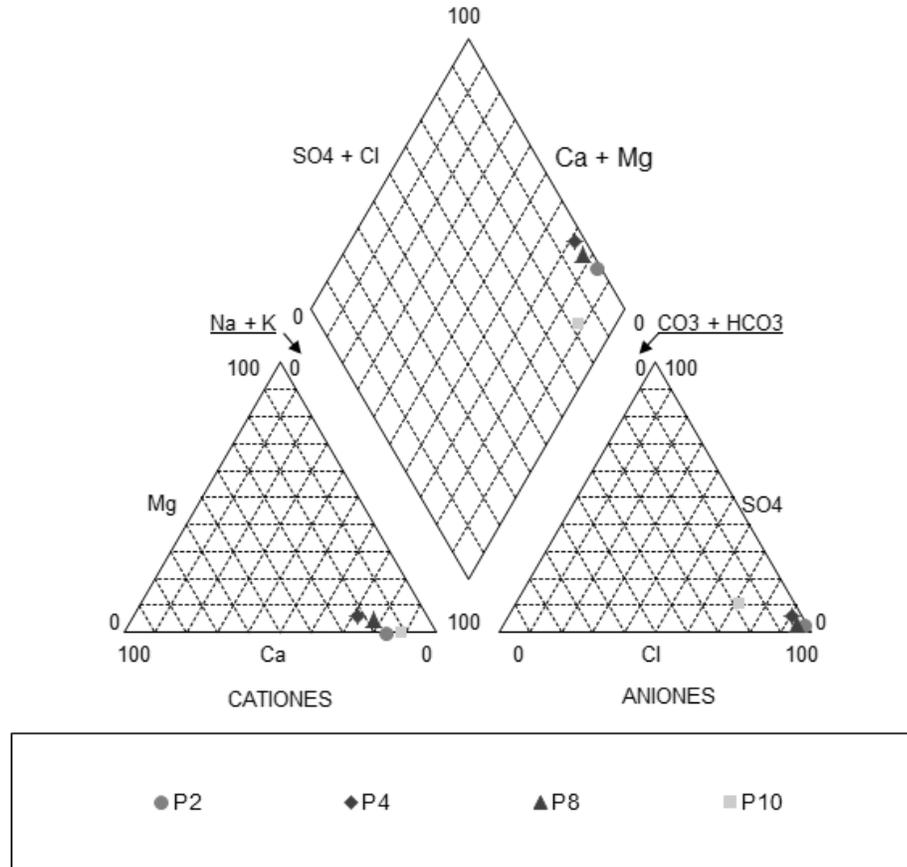


Figura 3: Diagrama de Piper representando a las muestras como cloruradas sódicas.

En el diagrama de Piper se observa que las muestras se agrupan en áreas bien definidas, evidenciando que son geoquímicamente similares (Custodio, 1965). La Muestra P10, posee menor cantidad en sólidos totales disueltos, posiblemente debido a la dilución con agua de lluvia. El abundante aporte de agua observado en el lloradero (debido a su considerable área de recarga directa arriba del mismo) evidenciaría una mayor proporción de aguas de infiltración de lluvia en dicha punto.

Además, esta muestra arrojó una menor relación cloruro/bicarbonato (Tabla 2), indicando mayor proporción en bicarbonatos lo que sugeriría que en dicho punto existe, en relación con los otros, una solubilidad diferencial relacionada con el tipo de material que atraviesan las aguas, el cual corresponde a los mantos de material psefítico. La presencia de bicarbonatos podría estar relacionada con la dilución de cemento calcáreo presente en estos depósitos o por la remoción de aguas juveniles propias de estos depósitos debido a las copiosas lluvias.

Tabla 2: Resultados de las muestras de laboratorio.

	Laboratorio (mg/l)			
	STD	Cl-	HCO ₃ ⁻	rCL-/rHCO ₃ ⁻
P2	9782	5616	147	65.6
P4	8960	4109	231	30.57
P8	16512	9974	563	30.44
P10	3533	1945	831	4.02

Con respecto a la muestra P8, en dicho punto, el lloradero posee gran aporte de agua, lo cual se explica por la gran área para la recarga directa arriba del mismo (figura 4). Se esperaría que presente una mayor dilución por efecto de mezcla con aguas de lluvia, pero posee la mayor salinidad en comparación con los demás puntos.

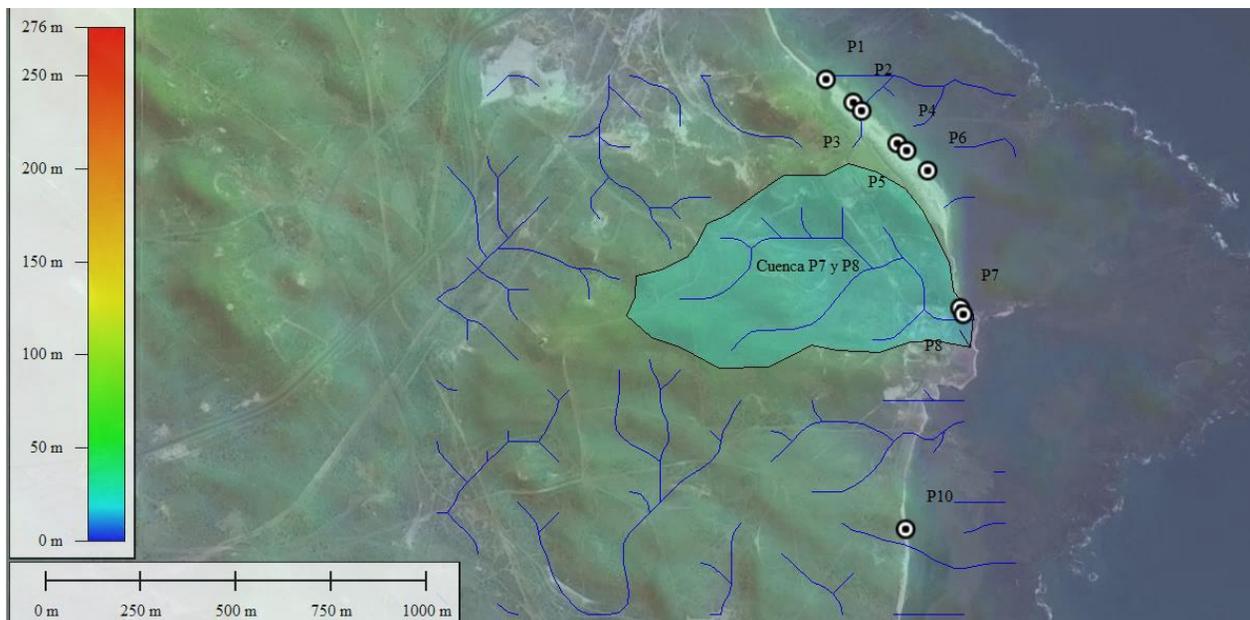


Figura 4: Delimitación de la cuenca arriba de los puntos P8 y P7, mediante la generación de una red de drenaje en un modelo de elevación digital. El área de cuenca de drenaje superficial posee 0,321 kilómetros cuadrados o 32 hectáreas.

En este punto se tomó además una muestra de agua para la determinación de hidrocarburos totales de petróleo, donde se obtuvo un valor de 0,6 mg/l. El elevado valor salino, podría deberse a la mezcla con aguas de uso industrial. Las locaciones de antiguos pozos petroleros, ubicados sobre los depósitos psefíticos se encuentran dentro del área de la cuenca local para este lloradero.

Los valores de salinidad observados en los freáticos pertenecientes a empresas petroleras (tabla 3), son mayores en comparación con los valores de las muestras recolectadas. Dichos freáticos se encuentran sobre la Formación Sarmiento, en

proximidad a los puntos de muestreo y en cotas similares. Los valores del análisis de las muestras de aguas de lluvia se presentan en la tabla 3. Se interpreta que los valores de estos pozos son los correspondientes a las aguas subterráneas propias del Acuitardo Sarmiento, y los valores obtenidos en las muestras del presente estudio estarían revelando el efecto de dilución con el agua de lluvia.

Tabla 3: Valores de conductividad, STD y relación Cloruro/Bicarbonato para muestras de agua extraídas de freáticos pertenecientes a la industria petrolera y de aguas de lluvia.

Pozo	Conductividad(uS/cm)	STD(mg/l)	rCl/rHCO ₃
E-1	42530	26347	140,4
E-2	35320	22682,6	203,3
E-3	35655	21633	379,8
E-4	17623,3	11374,7	16,4
E-5	32015	21806,9	12,4
E-6	15938,3	10158,3	34,5
Muestra agua de lluvia (Rada Tilly)	17.8	11.4	2.58
Muestra agua de lluvia (Zona Norte)	18.7	12.0	1.42

El análisis visual de los manantiales permitió reconocer dos tipos, lloraderos y manantiales difusos. Los lloraderos, permiten la salida del agua por fracturas de la roca (porosidad secundaria) generando una lámina de agua descendente por la pared, mientras que los manantiales difusos (Fig. 5) sólo alcanzan a humedecer levemente la pared del acantilado sin llegar a generar una película de agua, esto se debe a un menor aporte y a la evaporación.

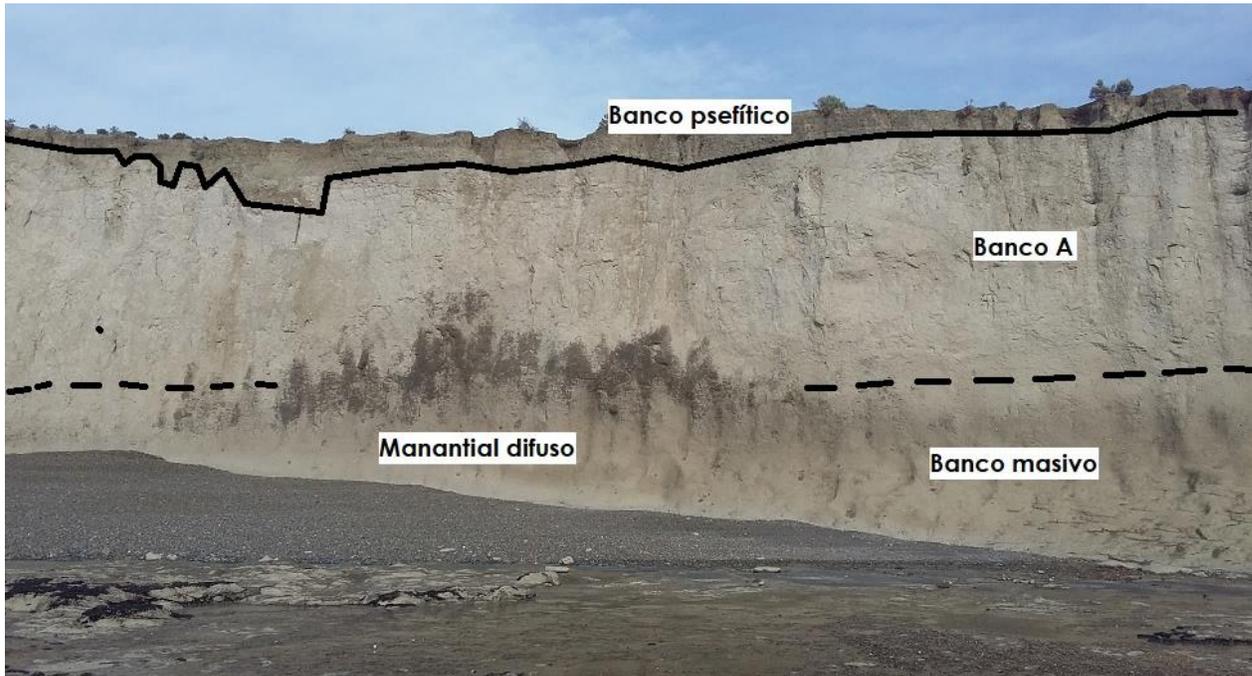


Figura 5: Manantial difuso sobre el banco masivo. El banco A corresponde a tobas con predominancia de fracturas planas verticales y horizontales.

En los acantilados de la Formación Sarmiento se reconocieron tres bancos de distinta litología y fracturamiento (Fig. 5, 6 y 7). El primero y basal corresponde a un banco masivo de chonitas (roca piroclástica de granulometría tamaño arcilla) con fracturas curvas, debido al plano semi horizontal de las mismas con respecto a la pared del acantilado. El segundo banco, por encima, corresponde a tobas con fracturas planares horizontales y verticales, generando junto con la erosión hídrica un paisaje de 'badlands' (Sciutto, 2000). El tercer banco reconocido, corresponde a tobas muy disgregadas, con mayor diaclasamiento, y de sentido predominantemente horizontal, y permeables. Por encima de estos afloramientos de la Formación Sarmiento, se observaron bancos de depósitos psefíticos, compuestos por rodados polimícticos y matriz areno- arcillosa, muy permeables.

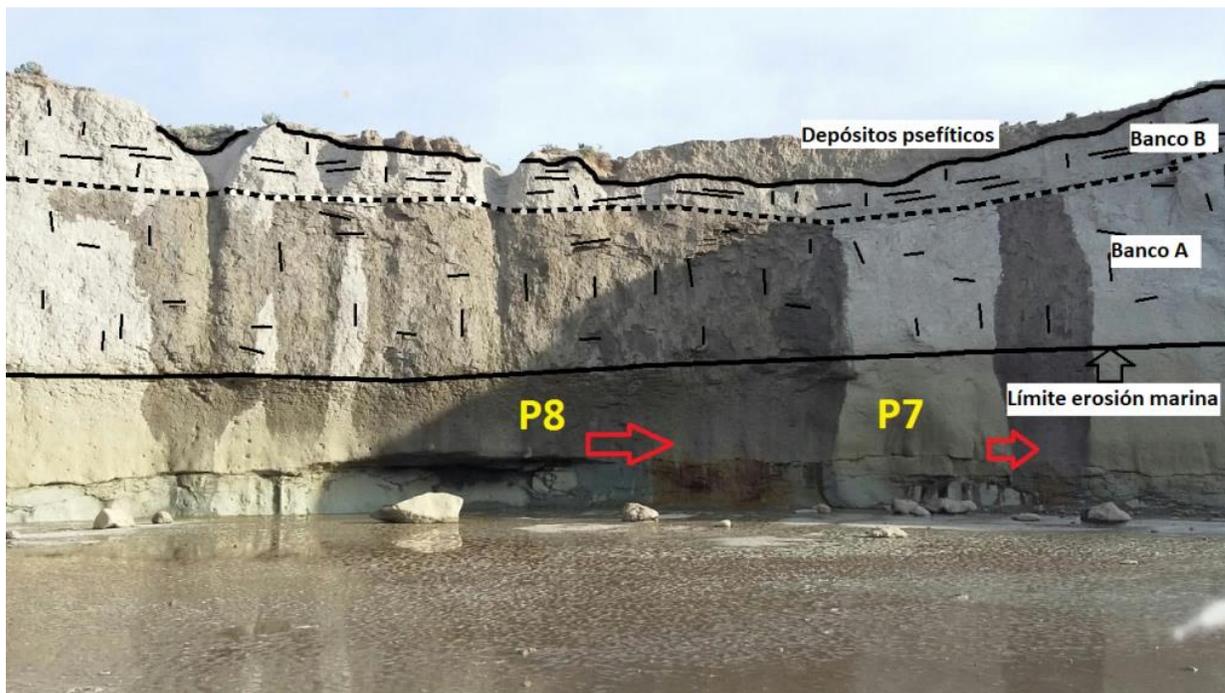


Figura 6: Acantilado de la Formación Sarmiento y sus divisiones en base a la abundancia y disposición de fracturas. Banco A: tobas con fracturas planares horizontales y verticales. Banco B: tobas muy disgregadas, con mayor diaclasamiento. Se detalla los puntos de muestreo P7 y P8 en los lloraderos.

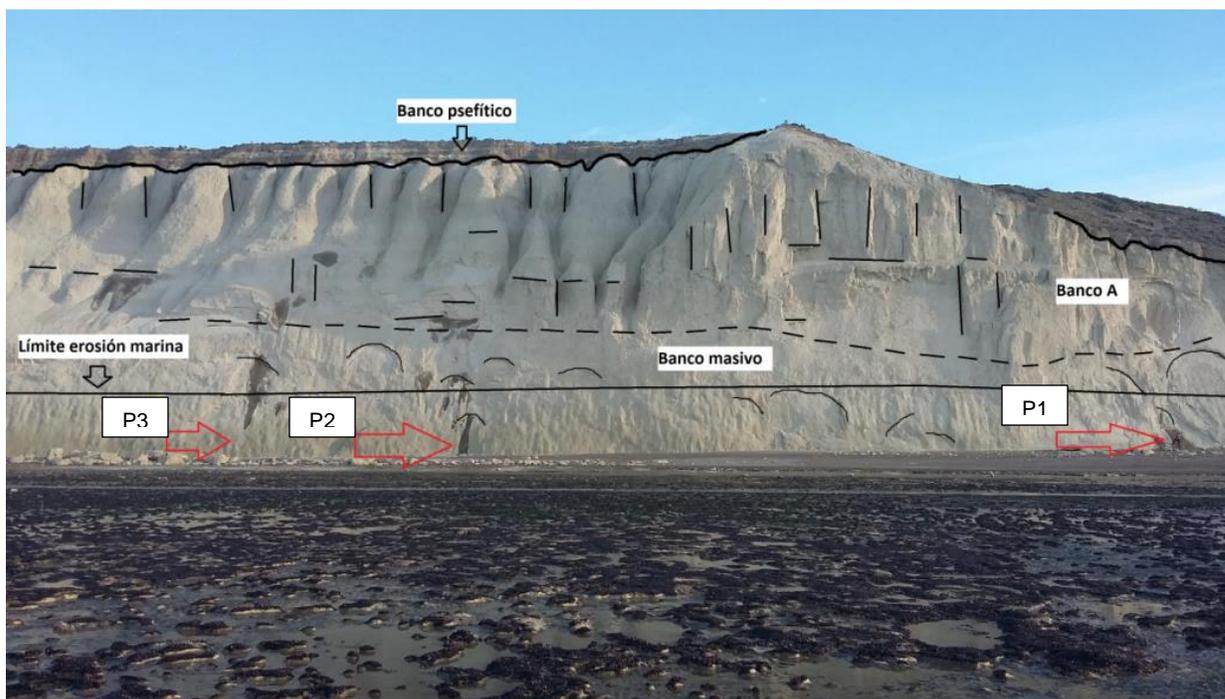


Figura 7: Interpretación del acantilado, en el sector de los puntos P3, P2 y P1.

El banco de tobas inferior, actuaría a modo de acuitardo, en los sectores donde exista porosidad secundaria, la cual permite la transmisividad del agua lentamente. En la parte inferior, es donde se han observado los manantiales difusos que no llegan a generar una película de agua. En ausencia de porosidad secundaria, este banco se comportaría casi como un acuicludo. El banco inferior de chonitas actuaría como hidroapoyo de estos flujos lentos, actuando a modo de acuífugo.

La interpretación del flujo local del agua de lluvia en el sector (Fig. 8), desde la precipitación hasta su descarga en los lloraderos, comienza con la infiltración vertical por los depósitos psefíticos y luego por las fracturas del banco superior de las tobas disgregadas con abundantes fracturas horizontales, hasta llegar al banco de tobas con fracturas más dispersas, el cual actuaría de hidroapoyo para parte de estos flujos locales de lluvia hasta interceptar la superficie de los acantilados como es el caso de los lloraderos de los puntos P7, P8 y P10. El agua de lluvia restante se infiltraría por la porosidad secundaria del banco de tobas, la cual, al interceptar la superficie forman los lloraderos como el caso del punto P5. Las fracturas curvas del banco masivo de chonitas, se observaron que sólo se encuentran en la parte más superficial del mismo, es decir, más próximas a la cara del acantilado, por lo que las aguas que alcanzaron el nivel más inferior del banco de tobas, antes de interceptar la superficie, podrían ingresar por estas fracturas curvas y descender hasta niveles más inferiores en el acantilado hasta alcanzar la superficie como los lloraderos de los puntos P1, P2, P3 y P6. En algunos sectores del banco de tobas existen conos de deyección permeables que atrapan el agua de los lloraderos y la transmiten hacia niveles inferiores del acantilado como el caso del punto P4.

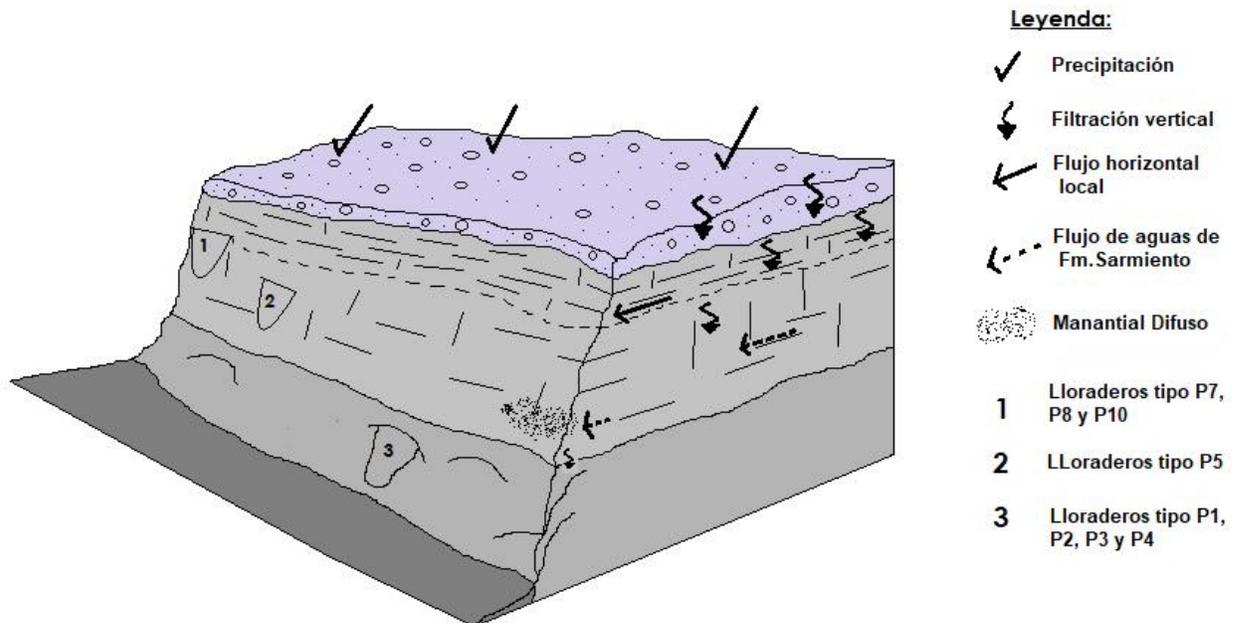


Figura 8: Bancos de distinta porosidad secundaria de la Formación Sarmiento y vías de infiltración desde la recarga directa.

Los freáticos próximos y a cota similar a la parte superior de los acantilados poseen un rango de valores en los niveles estáticos de entre 8 y 21 metros bajo nivel del brocal, por lo que las aguas de lluvia que alcancen dicha profundidad en la infiltración dentro del banco de tobas, se mezclarían con las aguas propias del Acuitardo Sarmiento.

Los lloraderos de los puntos P7, P8 y P10, probablemente no tengan un aporte significativo de agua del Acuitardo Sarmiento, debido a que se encuentran muy próximos a la superficie de recarga y por encima del rango de los niveles estáticos de los freáticos observados. Sin embargo, la salinidad observada, aún para el menor valor STD = 3533 mg/l, sigue siendo elevada para ser mayoritariamente agua de lluvia, sin mencionar el valor extremo en el sitio P8, cuyo origen ya se analizó como posiblemente influenciado por la actividad petrolera en ese sitio. Es probable que dicha salinidad sea aportada por los depósitos pséfíticos y tobas disgregadas, en el recorrido local de las aguas superficiales desde su percolación hasta su salida por los lloraderos.

4 CONCLUSIONES

Las aguas de los lloraderos poseen un contenido de entre 3533 y 9782 mg/l de STD, siendo aguas cloruradas sódicas.

Los lloraderos son producto de la abundante lluvia ocurrida previa al muestreo y resultan por ello efímeros. La disminución de aporte de agua de lluvia ocasiona un aumento en la salinidad. Su elevado contenido salino, probablemente se deba a la remoción de las aguas circulantes propias del acuitardo.

En comparación con los datos de los freáticos, las aguas de los lloraderos poseen menor salinidad, por lo que se interpreta una mezcla y dilución de las aguas del acuitardo Sarmiento con parte de las aguas de lluvia.

La Formación Sarmiento en el lugar posee 3 bancos que actúan de manera hidrogeológicamente distinta: Banco masivo de chonitas, banco de tobas, y banco de piroclastitas retrabajadas o banco de tobas muy disgregadas. El primero sólo posee fracturas en la parte más superficial del acantilado, y actúa como acuífugo, el segundo, compuesto por tobas fracturadas, con planos de orientaciones horizontal y vertical, espaciados, actúa a modo de acuitardo, y en ausencia de fracturas como acuicludo, y por último, el banco de tobas disgregadas con abundantes planos horizontales, permite la infiltración vertical proveniente del nivel superior, compuesto por depósitos pséfíticos que actúan de receptor para la recarga directa de las lluvias y transmisión de las mismas.

La mezcla de aguas de lluvia con las aguas subterráneas de la Formación Sarmiento ocurriría dentro del primer banco de tobas con fracturas planares horizontales y verticales.



5 BIBLIOGRAFIA

Castrilo, E.; Grizinik, M. y Amoroso, A. (1984). “Contribución al conocimiento geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia” Noveno Congreso Geológico Argentino, SC Bariloche, 1984. Actas , VI: 393 – 406.

Custodio, E. y M. R. Llamas (1983). “Hidrología Subterránea”. (2 tomos). Omega, 2350 pp.

Informes internos de empresas de servicios petroleros.

Paredes, J. M.; et al (2020). “Precipitaciones extremas e inundaciones repentinas en ambiente semiárido: impactos del evento de marzo-abril de 2017 en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.” Revista de la Asociación Geológica Argentina. Volumen n° 77.

Sciutto, J. C.; et al (2000). “Hoja Geológica 4566-III Comodoro Rivadavia”. Capítulo 2.2.1.3. Página 14. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín n° 244.