



## HIDROQUIMICA E HIDRODINÁMICA ASOCIADA A LAS PRINCIPALES UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS EN EL NORESTE DE LA PROVINCIA DEL CHUBUT

### HYDROCHEMISTRY AND HYDRODYNAMICS ASSOCIATED TO THE MAIN GEOMORPHOLOGICAL UNITS IN NORTHEASTERN OF CHUBUT PROVINCE

Alvarez, María del Pilar<sup>1,2</sup>; Funes, Daniela<sup>3</sup> y Bouza, Pablo José<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Patagónico para el estudio de los Ecosistemas Continentales, IPEEC-CONICET, <sup>2</sup>Universidad Nacional de la Patagonia, Facultad de ciencias naturales y de la Salud, <sup>3</sup>Centro de Investigaciones Geológicas, CIG-CONICET

[alvarez@cenpat-conicet.gob.ar](mailto:alvarez@cenpat-conicet.gob.ar)

#### Resumen

*En el noreste de Chubut el clima es árido, el recurso hídrico superficial es escaso y el subterráneo en general salino. El objetivo del presente trabajo es identificar las diferentes facies químicas del agua subterránea y analizar la relación de las mismas con las características del suelo y la geomorfología. En aguas se monitorearon niveles piezométricos y determinaron elementos mayoritarios. En suelos se midieron contenidos de carbonatos pedogenéticos (CP) e índice de acumulación de arcillas (IAA). La hidrodinámica y la hidroquímica muestran una clara relación con las grandes unidades geomorfológicas y los suelos. En los sectores de terrazas dominan aguas salobres de tipo Cl-Na y Cl-SO<sub>4</sub>-Na, y en el campo eólico de Península Valdés, aguas de baja salinidad de tipo Cl-HCO<sub>3</sub>-Na. Se observó que tanto los CP como los IAA son, en el NE de Chubut, condicionantes de la recarga y los procesos salinizadores.*

**Palabras clave:** Facies químicas, Agua subterránea, zonas áridas, Patagonia Extra Andina, Península Valdés.

#### Introducción

En zonas áridas, donde los cursos superficiales son escasos o inexistentes, el recurso hídrico subterráneo resulta la principal fuente de abastecimiento, no solo para consumo humano, sino también para el desarrollo de actividades tanto agropecuarias como industriales. Cada una de las actividades tienen diferentes requisitos respecto a la calidad del agua que necesita por lo cual el desarrollo productivo de una región queda condicionado al conocimiento, no solo de la cantidad, sino también de la calidad del recurso hídrico disponible. La geomorfología y los suelos cumplen un rol fundamental en la prospección del agua subterránea puesto que condicionan el fenómeno de recarga y muchos de los procesos que modifican la calidad química del agua. El objetivo del presente trabajo es identificar las diferentes facies químicas que dominan en una gran región Nordpatagónica árida y analizar la relación de las mismas con las características del suelo y la geomorfología a fin de dar elementos para la prospección del recurso hídrico subterráneo.

#### Área de estudio

El área de estudio comprende el sector NE de Chubut (Fig. 1), donde el clima es árido, la precipitación aumenta de 200 a 260 mm de O a E, la temperatura media anual es de 14 °C y la evapotranspiración potencial de 704 mm/año (Coronato et al. 2017). La recarga de la zona para los sectores donde la permeabilidad superficial es máxima ronda el 14,5 % y ocurre de manera esporádica, asociada a tormentas (Alvarez y Hernández 2017).

La geología aflorante está representada principalmente por rocas volcánicas ácidas de la Formación Marifil (Jurásico inferior a medio) y por las sedimentitas cenozoicas de las Formaciones Gaiman (Oligoceno, marino), Sarmiento (Oligoceno, continental) y Puerto Madryn (Mioceno superior, marino). Sobre las sedimentitas cenozoicas apoyan mediante una discordancia erosiva los depósitos fluviales correspondientes a las unidades geológicas

informales Rodados Patagónicos y Gravas Morgan (Plio-Pleistoceno) y a la Formación Bajo Simpson (Pleistoceno superior). Estas Unidades se componen de depósitos psefíticos y arenas que culminan en la zona costera en escarpas de erosión asociadas a bajadas aluviales litorales. Cubriendo parcialmente estas unidades se desarrollan depósitos cuaternarios coluviales, aluviales, eólicos, de bajos y lagunas, y marinos (Haller 1979 y Haller et al. 2005).

El subsuelo asociado al nivel acuífero estudiado está dominado por los sedimentos cenozoicos, siendo el sector continental dominado por las sedimentitas oligocenas, mientras que en la zona peninsular por los depósitos miocenos y en menor medida por la Formación Gaiman.

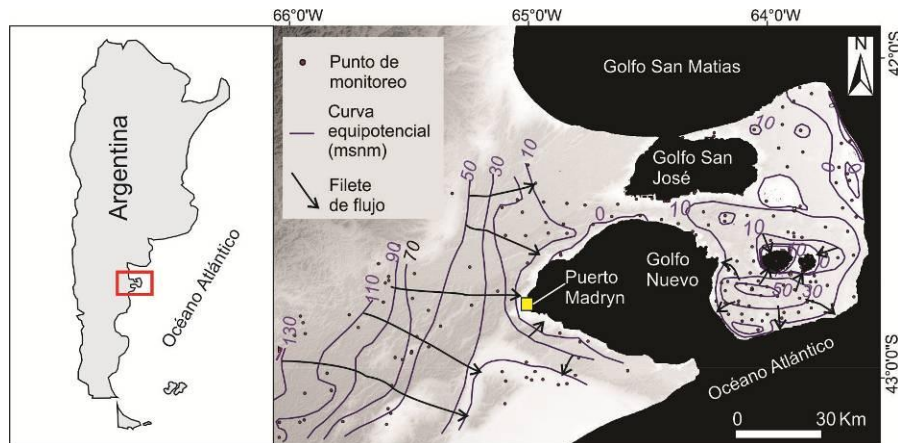


Figura 1. Mapa de ubicación y de flujo del agua subterránea del NO de Chubut

## Metodología

Sobre la base de imágenes satelitales, modelos de elevación digital ALOS World 3D de 30 m de resolución, relevamiento de campo y síntesis de información de antecedente, se realizó un mapeo de las grandes unidades geomorfológicas. En canteras y calicatas se describieron perfiles de suelo y se extrajeron muestras de los horizontes pedológicos con el fin de determinar aquellas variables que condicionan la infiltración del agua en la zona vadosa. Las variables seleccionadas fueron porcentaje de carbonatos (método gravimétrico) y textura (método de la pipeta). Para cuantificar estos contenidos a lo largo del perfil, se determinaron los contenidos de carbonatos pedogenéticos (CP,  $gcm^{-2}$ ; Gile 1995) y el índice de acumulación de arcillas ( $gcm^{-1}$ , IAA, Levine y Ciolkosz, 1983). Asimismo, para realizar el mapa hidrodinámico se llevaron a cabo campañas de relevamiento de perforaciones donde se midieron los niveles piezométricos, los parámetros fisicoquímicos *in situ* y se tomaron muestras de aguas subterráneas para la determinación de los iones mayoritarios. Las determinaciones químicas se realizaron bajo normas APHA 1998. Los datos se analizaron espacialmente sobre la base de un Sistema de Información Geográfica y los diagramas químicos fueron realizados con el software Diagrammes.

## Resultados y discusiones

Se definieron 4 asociaciones de terrazas (AT), siendo la 1 la topográficamente más elevada y la 4 la más baja (Tabla 1). A los fines de este estudio, el agrupamiento de distintos niveles de terraza, se realizó no solo en base a las propiedades intrínsecas que comparten sus depósitos (morfometría, sedimentología, tipo de suelo, etc.), sino también debido a que los niveles acuíferos se encuentran a profundidades de entre 30 y 100 m, con lo cual resulta conveniente analizar unidades de mayor escala.

A grandes rasgos puede observarse que, excepto los bajos endorreicos, el resto de las unidades geomorfológicas presentan en superficie una litología que varía entre gravas y arenas estratificadas y predominantemente clasto sostén, lo que en principio favorecería la infiltración. No obstante, se reconocieron en el techo de los depósitos psefíticos grandes variaciones en los contenidos de CP e IAA, características que condicionarán el fenómeno de recarga puesto que tanto la acumulación de carbonatos como de arcillas disminuyen la permeabilidad de los sedimentos (Tabla 1).

Tabla 1: síntesis de las principales características de las unidades geomorfológicas

Unidad	Altitud máxima (m s.n.m.)	Litología superficial	Espesor mínimo (m)	Tipo de suelo	CP (gcm <sup>-2</sup> )	IAA (gcm <sup>-1</sup> )
AT 1 (Rodados Patagónicos)	192	Gravas y matriz arenosa	5	Petrocalcids y Haplocalcids	806 a 404	3200
AT 2 (Gravas Morgan)	153	Gravas y matriz arenosa	23	Haplocalcids	383	1320
AT 3 (Península Valdés–Punta Ninfas)	115	Gravas y matriz arenosa	4	Natrargids y Calciargids	114-393	4800 a 1440
AT 4 (Fm. Bajo Simpson)	61	Gravas y matriz arenosa	3	Haplocalcids	275-213	2130
Campos eólicos	87	Arenas	2	Torripsamments	0	Sin datos
Bajos endorreicos (playa lake)	40	Sedimentos finos de bajos y lagunas	Sin dato	Aquisalids	Sin dato	Sin dato

La hidrodinámica de la región (Fig. 1), muestra un flujo en sentido O-E desde un nivel máximo de 130 m snm sobre el sector SO, en el límite de la unidad AT-2 con la Formación Marifil hacia los 0 m snm en el sector costero del Golfo Nuevo y cercanías del Istmo Ameghino. Un cambio de sentido se ve en el entorno del Bajo Simpson donde la AT-3 actúa como divisoria de aguas entre la descarga al mar y el Bajo Simpson. Por su parte, en la Península Valdés la hidrodinámica tiene un comportamiento diferente, identificándose un sector de recarga sobre el sector medanoso, donde las curvas equipotenciales tienen un diseño radial centrípeto con niveles desde los 50 m snm a los 20 m snm. Desde allí el agua subterránea fluye hacia los bajos endorreicos y el litoral marino.

El análisis de los diagramas Stiff (Fig. 2) en relación con la geomorfología y la hidrodinámica permiten diferenciar un sector de baja salinidad en la Península Valdés asociado al campo eólico, coincidente con el sector de recarga preferencial de toda la región. En el sector central de esta unidad geomorfológica las aguas tienen conductividades eléctricas menores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y son de tipo  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$  y van aumentando su salinidad pasando a  $\text{Cl-Na}$  a medida que se avanza en el sentido del flujo. La baja salinidad de estas aguas estaría asociada a la presencia de materiales muy permeables en superficie con suelos Torripsamments (Tabla 1) que facilitan la infiltración rápida, minimizando procesos de salinización por evaporación y/o disolución de sales.

En el extremo opuesto se encuentran los grandes bajos endorreicos con aguas muy salinas de tipo  $\text{Cl-Na}$ . En estos sectores se localizan descargas locales, principalmente en Península Valdés donde los bajos alcanzan cotas por debajo del nivel del mar. Los sedimentos finos que los caracterizan, con desarrollo de suelos Aquisalids, no permiten una infiltración rápida y el agua de escorrentía queda en superficie hasta evaporarse completamente precipitando evaporitas. En las siguientes lluvias, estas sales se redisuelven y lo poco que logra infiltrar esta salinizado. Este es un proceso típico de zonas áridas al que se suma a la salinización por tránsito que sufren las aguas subterráneas que llegan a estos bajos transitando por sedimentos principalmente de origen marino.

En situación intermedia entre los campos eólicos y los bajos endorreicos, están las grandes áreas de las AT donde el agua fluye lentamente y la recarga se ve dificultada por la presencia de CP y la acumulación de arcillas. Puede observarse que el agua subterránea asociada a las AT1, AT2 y AT4 donde dominan los suelos del Suborden Calcids, presenta facies principalmente  $\text{Cl-SO}_4\text{-Na}$  con conductividades eléctricas entre 5000 y 13000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por su parte, en las AT3, donde dominan los suelos del Suborden Argids, las aguas varían entre facies menos salinas de tipo  $\text{Cl-Na}$  con CE entre 3000 y 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y más salinas con conductividades eléctricas entre 7000 y 15000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de tipo  $\text{Cl-SO}_4\text{-Na}$ . En todos los casos, las variaciones en los contenidos de CP y de IAA podrían ser responsables de variaciones en las tasas de recarga y de los procesos de salinización ya que condicionan la infiltración y el tiempo de contacto del agua con el sedimento.

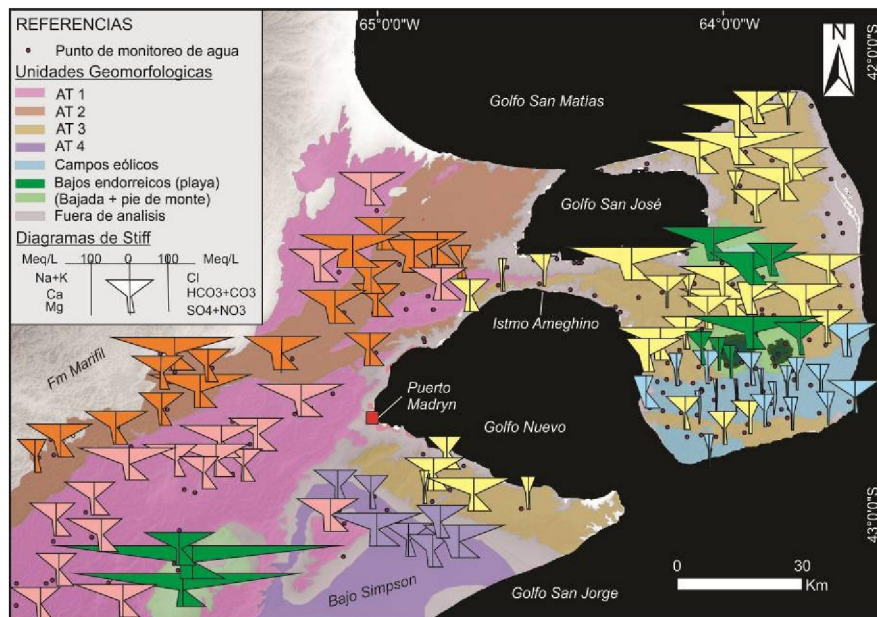


Figura 2. Mapa hidroquímico y geomorfológico. Los diagramas Stiff se muestran según su localización de muestreo y coloreados acordes a la unidad geomorfológica a la cual se asocia el sitio

## Conclusiones

La hidrodinámica y la hidroquímica del NE de Chubut muestran una clara relación con las grandes unidades geomorfológicas. Si bien en los sectores de las asociaciones de terrazas dominan aguas salobres de tipo Cl-Na y Cl-SO<sub>4</sub>-Na, existe un sector en el campo eólico de Península Valdés donde la salinidad es baja y el tipo iónico Cl-HCO<sub>3</sub>-Na. En este sector dominan arenas sueltas sin presencia de carbonatos pedogenéticos. Por el contrario, en la AT si bien es de granulometría gruesa, presenta contenidos de carbonatos pedogenéticos y de acumulación de arcillas elevados.

Si bien la granulometría de los sedimentos superficiales es un condicionante del proceso de infiltración, el contenido de carbonatos pedogenéticos y la acumulación de arcillas son en el NE de Chubut los principales condicionantes de la recarga y los procesos salinizadores.

## Bibliografía

- Alvarez M. P. y Hernández M. A.** 2017. Groundwater Resources of Península Valdés. En Late Cenozoic of Península Valdés, Patagonia, Argentina. An Interdisciplinary Approach. Bilmes A. y Bouza P. Eds. 9:215-232. Springer. Alemania. ISBN 978-3-319-48507-2.
- APHA (American Public Health Association).** 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Twentieth ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC
- Coronato F., Pessac N. y Alvarez M. P.** 2016. The Climate of Península Valdés within a regional frame. En Late Cenozoic of Península Valdés, Patagonia, Argentina. An Interdisciplinary Approach. Bilmes A. y Bouza P. Eds. 4:105-130. Springer. Alemania. ISBN 978-3-319-48507-2
- Fidalgo F. y Riggi J.C.,** 1970. Consideraciones geomórficas y sedimentológicas sobre los Rodados Patagónicos. Revista de la Asociación Geológica Argentina 25: 430-443
- Gile, L.,** 1995. Pedogenic carbonate in soils of the Isaacks' Ranch Surface, southern New Mexico. Soil Science Society of America Journal, 59: 501-508.
- Levine, E. y Ciolkosz E.,** 1983. Soil development in till of various ages in northeastern Pennsylvania. Quaternary Research, 19: 85-99.
- Haller, M.** 1979. Estratigrafía de la región al poniente de Puerto Madryn, provincia del Chubut, República Argentina. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 285-297, Buenos Aires
- Haller, M.J., Meister, C., Monti, A.J. y Weiler, N.** 2005. Hoja Geológica 4366-II, Puerto Madryn, provincia del Chubut. Dirección Nacional del Servicio Geológico, 39 p., Buenos Aires