

RECARGA DE ACUÍFEROS
Aspectos generales y particularidades
en regiones áridas



Editores:

Jorge CARRICA, Mario HERNÁNDEZ y Eduardo MARIÑO



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Argentino



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Recarga de Acuíferos. Aspectos generales y particularidades en regiones áridas – 1ª ed.-
editado por Jorge Carrica, Mario Hernández y Eduardo Mariño. Buenos Aires: Asociación
Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Santa Rosa:
Amerindia Nexo di Nápoli, 2009.
88 p. ; 29,7x21 cm.

ISBN 978-987-1082-39-1

1. Recarga 2. Acuíferos. 3. Regiones Áridas. I. Carrica, Jorge. ed. II. Hernández, Mario. ed.
III Mariño, Eduardo, ed.



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Argentino

EDICIONES



amerindia

Santa Rosa, La Pampa – Agosto 2009
Diseño e impresión: Nexo/di Nápoli
Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723
Impreso en Argentina

CONDICIONANTES CLIMATICOS Y FISICOS DE LAS REGIONES ARIDAS EN ARGENTINA. IMPLICANCIAS EN EL REGIMEN HIDRICO SUPERFICIAL Y SUBTERRANEO

Nilda González ⁽¹⁾, Lisandro Hernández ⁽²⁾ y Mario A. Hernández ⁽³⁾,

⁽¹⁾ Facultad de Cs. Naturales y Museo UNLP. Cátedra de Hidrogeología. nilda_h@sinectis.com.ar ⁽²⁾
Cátedra de Fundamentos de Geología ⁽³⁾ Cátedra de Hidrogeología – CONICET

RESUMEN

Se analizan los principales factores que definen las grandes regiones áridas de Argentina, a partir de la existencia de dos regímenes pluviales característicos: uno Pacífico originado en vientos contralisios procedentes del océano homónimo y otro Atlántico con masas de aire generadas en el anticiclón de Santa Catalina en el Atlántico Sur (vientos alisios). En ambos quedan a sotavento amplias comarcas áridas: la Patagonia Extrandina y el Noroeste Argentino que junto a la región cuyana representan más de las dos terceras partes del país. Otros factores influyentes son la temperatura, con grandes variaciones latitudinales en un territorio desarrollado en tal sentido, y la altitud. Se producen entonces notables diferencias entre el comportamiento árido cálido y árido frío y dentro de este último, grandes extensiones muy elevadas como el Noroeste y Puna, y otras que van desde el nivel del mar hasta poco más de 100 m (Patagonia Extrandina). Se reconoce un régimen fluvial característico, con cursos perdedores, generalmente perennes, alóctonos y de régimen nival o pluvio-nival. Además de constituir zonas de recarga del sistema subterráneo (lineales y poco extendidas por fuera de los valles), tanto de los sub-álveos como de los acuíferos someros y ocasionalmente otros profundos. Hay una gran diferencia entre los dos regímenes. En el primero la localización intranual de las mayores lluvias es invernal, cuando la menor evapotranspiración posibilita pequeños excesos hídricos. En el Atlántico, las lluvias son estivales, con solicitud atmosférica máxima y sin excedentes intranuales de balance.

Palabras Clave: Regiones áridas - condicionantes – Argentina – régimen hídrico

ABSTRACT

Climatic and physical factors affecting the arid regions in Argentina. Implications in the surface and underground water regime. The main factors influencing the great arid regions of Argentina are analyzed based on the occurrence of two characteristic rainfall regimes: a) Pacific, originated in counter-trade winds from this ocean, and b) Atlantic, with air masses generated in the Santa Catalina anticyclone in the south Atlantic (trade winds). In both regimes, large arid regions extend leeward: the Extra-Andean Patagonia and the Argentine Northwest which, together with the Cuyo region, cover two thirds of the country. Other influencing factors are temperature, with large latitudinal variations along a territory extending in this direction, and altitude. Significant differences are observed between the arid-hot and the arid-cold regions. The latter include extensive, very high areas, such as Northwest and Puna, and others located from sea level to little more than 100 m a.s.l. (Extra-Andean Patagonia). A characteristic fluvial regime is recognized, with losing streams, generally permanent, allochthonous, and with a nival or pluvial-nival regime. There is a great difference between both regimes, besides constituting recharge zones of the groundwater system (linear, little extended outside the valleys) both in the sub-alveous and in shallow and occasionally deep aquifers. In the former, heavier rains occur in winter, when the lower evapotranspiration produces a small water surplus. In the Atlantic, rains occur in summer, when the high evapotranspiration prevents any intra-annual surplus.

Keywords: arid regions –influencing factors – Argentina –water regime

INTRODUCCIÓN

Las regiones secas del planeta abarcan alrededor de unos 45 millones de km² (30% de su superficie), no existiendo otro grupo climático que ocupe un área de tal magnitud. Reconocen dos tipos distintivos: el desierto ó **árido**, y la estepa ó **semiárido** que comparten muchas características, siendo sus diferencias una cuestión de grado, manifestando una continuidad sin existencia de verdaderos límites (Monod, 1994) . Así, la estepa es una variante marginal y más húmeda del desierto y zona transicional hacia los climas húmedos que lo bordean.

En cuanto a su distribución se concentran en los subtrópicos y en las latitudes medias atendiendo a sus orígenes:

a. desiertos de latitudes bajas en proximidades de los trópicos, como resultado de la distribución global de la presión del aire y los vientos. En las regiones próximas a los 30° de latitud N y S, anticiclones subtropicales con cielos claros, luz solar y sequía progresiva, controlados por masas de aire descendentes, comprimidas y calientes, asociadas con presiones elevadas.

b. desiertos de latitudes medias, en el interior de grandes masas continentales, o de sombra pluviométrica, a sotavento de las montañas que cruzan el rumbo de vientos que descargan su humedad a barlovento.

Con una superficie de aproximadamente 1.850.000 km² de regiones áridas y semiáridas en su territorio continental, donde mora el 32% de la población, la República Argentina tiene una seria limitación vinculada con la disponibilidad de recursos hídricos para su desarrollo. Dentro de ese panorama surge claramente la importancia que adquieren las aguas subterráneas como soporte del crecimiento socioeconómico. Los cursos que surcan estas comarcas, perdedores y por tanto aportantes al régimen subterráneo, fueron importantes para la expansión agrícola (región de Cuyo, Salta, Comahue, alto valle del Río Negro, valle inferior del río Chubut y otras).

El transcurso del tiempo trajo otros requerimientos, como los emanados de la actividad petrolífera bajo recuperación secundaria con inyección de agua, minería metalífera y ganadería bovina con nuevas fronteras, por fuera de la ribera de los ríos, lo cual despertó el mayor interés en el conocimiento de la hidrogeología de las regiones áridas.

Se ha creído importante entonces caracterizar a las zonas áridas de Argentina en función de sus condicionantes y asociar a ellos la yacencia y particularidades de las aguas subterráneas.

Desean los autores rendir con esta modesta contribución un homenaje a los cincuenta años de la publicación pionera de Schoeller (1959) sobre la hidrogeología de las regiones áridas.

LAS REGIONES ÁRIDAS EN ARGENTINA

El primer condicionante climático a poner en tratamiento son las **precipitaciones**, pudiendo distinguirse dos regímenes pluviales diferenciables que son mostrados en la Figura 1: el régimen Atlántico y el Pacífico.

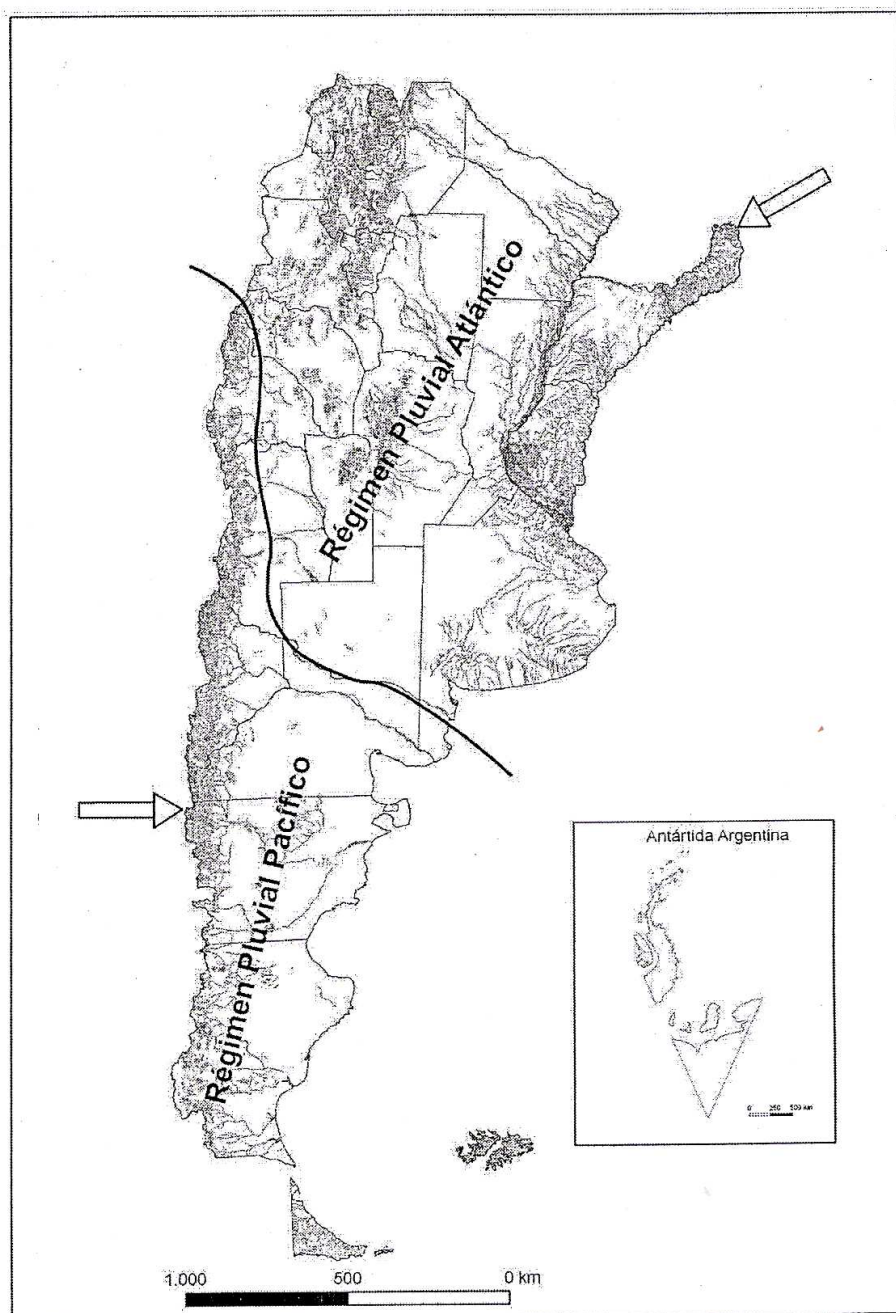


Figura 1. Regímenes pluviales de Argentina

En el primero de ellos las precipitaciones están originadas por los vientos alisios (del Noreste) procedentes del anticiclón del Atlántico Sur o de Santa Catalina, húmedos y cálidos, que penetran y avanzan en el continente hasta que el contacto con frentes fríos que acceden desde el Sur, o el encuentro con el escollo orográfico que representan las Sierras Subandinas y sector septentrional de las Pampeanas, provocan la descarga pluvial por enfriamiento adiabático al ascender las masas de aire. Al poniente de las sierras se

desarrolla la “sombra orográfica” del Noroeste con lluvias que apenas superan los 100 mm/año mientras que sobre el Este llegan a más de 1500 mm/año. El resultado es un gradiente pluviométrico en sentido NE-SW, mientras que la concentración de los aportes es estival.

En el régimen Pacífico, los vientos contralisios procedentes del anticiclón homónimo descargan al Oeste de la cordillera andina desde San Juan al Sur con abundantes lluvias, también en este caso por condensación al ascender adiabáticamente el aire húmedo. La sombra orográfica ocurre entonces en la Patagonia extrandina con medias anuales del orden de los 200 mm/año, siguiendo una faja de bajas presiones barométricas, con algunas células de alta presión que, migrando hacia el Noreste, suelen provocar lluvias al Norte del río Colorado. En los lugares más bajos de la línea de cumbres (lagos Nahuel Huapi, Lacar, Puelo, Vintter) puede acaecer el ingreso local de aire húmedo con las consecuentes lluvias y penetración del ecotono Valdiviano.

A diferencia del régimen Atlántico, aquí la concentración pluvial es invernal según puede observarse en los hietogramas representativos expuestos en la Figura 2, con un resultado de implicancia geohidrológica muy importante como se verá (Hernández et al., 2009).

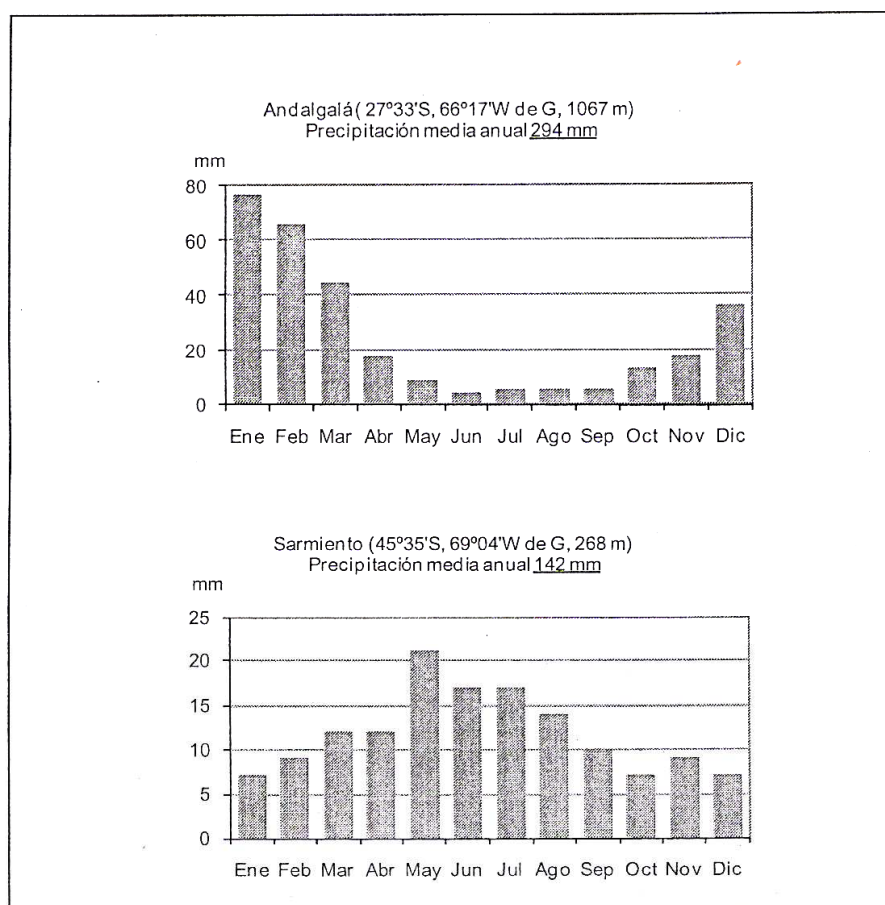


Figura 2. Hietogramas característicos

La **temperatura** es otro importante factor actuante, de por sí y por su influencia en el fenómeno de evaporación/evapotranspiración, tal es así que las tipificaciones de regiones áridas/semiáridas se basan más en su relación con las lluvias que con las características de estas únicamente.

En general, nuestro país de amplio desarrollo latitudinal se corresponde con los climas de las latitudes medias, entre isotermas anuales de 10° C y 18° C y dentro de ellos, se reconoce un clima de desiertos y estepas tropicales coincidente con el territorio seco bajo régimen pluvial Atlántico, y de desiertos y estepas de latitudes medias, con el de régimen Pacífico (Strahler, 1989). Lógicamente, existe una gran diferencia entre los fenómenos hidrológicos ocurrientes en las regiones áridas cálidas como las del Norte y Noroeste y en las frías como la Patagonia extrandina, en estas últimas con gravitación importante de la nieve y el hielo, tanto en las aguas superficiales como subterráneas.

Pero también un factor físico como la **altitud** tiene gran influencia, a partir de que no sólo existe una disminución vertical de la temperatura con un gradiente adiabático seco (1°C /100 m) mayor que el húmedo o saturado (0.5°C /100 m), sino que al decrecer la presión barométrica la atmósfera contiene menos CO₂, vapor de agua y polvo, con menor capacidad para absorber energía solar y por lo tanto mayor insolación a nivel del suelo (Strahler, 1989). Es el caso de la cordillera principal andina, especialmente la septentrional más elevada, y las Sierras Subandinas.

PARTICULARIDADES DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Los cursos de agua perennes en las regiones áridas de Argentina tienen como características comunes su origen alóctono y montano, alimentación nival o pluvio-nival, relación perdedora o influente respecto a las aguas subterráneas. (Hernández, 2005; Alvarez et al., 2006).

Responden a este patrón los principales del sistema fluvial del Desaguadero (ríos Jachal, San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Desaguadero) y los que surcan la Patagonia extrandina con nacientes en la Cordillera de Los Andes (Colorado, Neuquén, Limay, Negro, Chubut, Senguerr, Santa Cruz, Coyle, Turbio, Gallegos) entre otros.

Hay también algunos cursos de régimen transitorio (efímero o intermitente), como el caso del Chico de Santa Cruz o el Deseado, y otros cursos del Noroeste de características endorreicas o transitorias. En la Figura 3 se muestra el dominio de los ríos mencionados.

Si bien desde el punto de vista utilitario la permanencia del caudal es muy importante para fines agrícolas, industriales, de abrevamiento ganadero y domésticos, lo es también desde el del régimen subterráneo ya que posibilita la recarga permanente del sub-álveo y subsuelo, al menos en el espacio de las planicies aluviales.

El riego con aguas subterráneas de tal procedencia, como así también la provisión a localidades ribereñas y la extracción para recuperación secundaria de petróleo, son ejemplos de la ventaja que ofrece este tipo de almacenaje subterráneo al no poseer carga sólida ni estar afectada el agua por congelamiento o problemas derivados de las grandes avenidas, vinculados a la seguridad de las obras de captación.

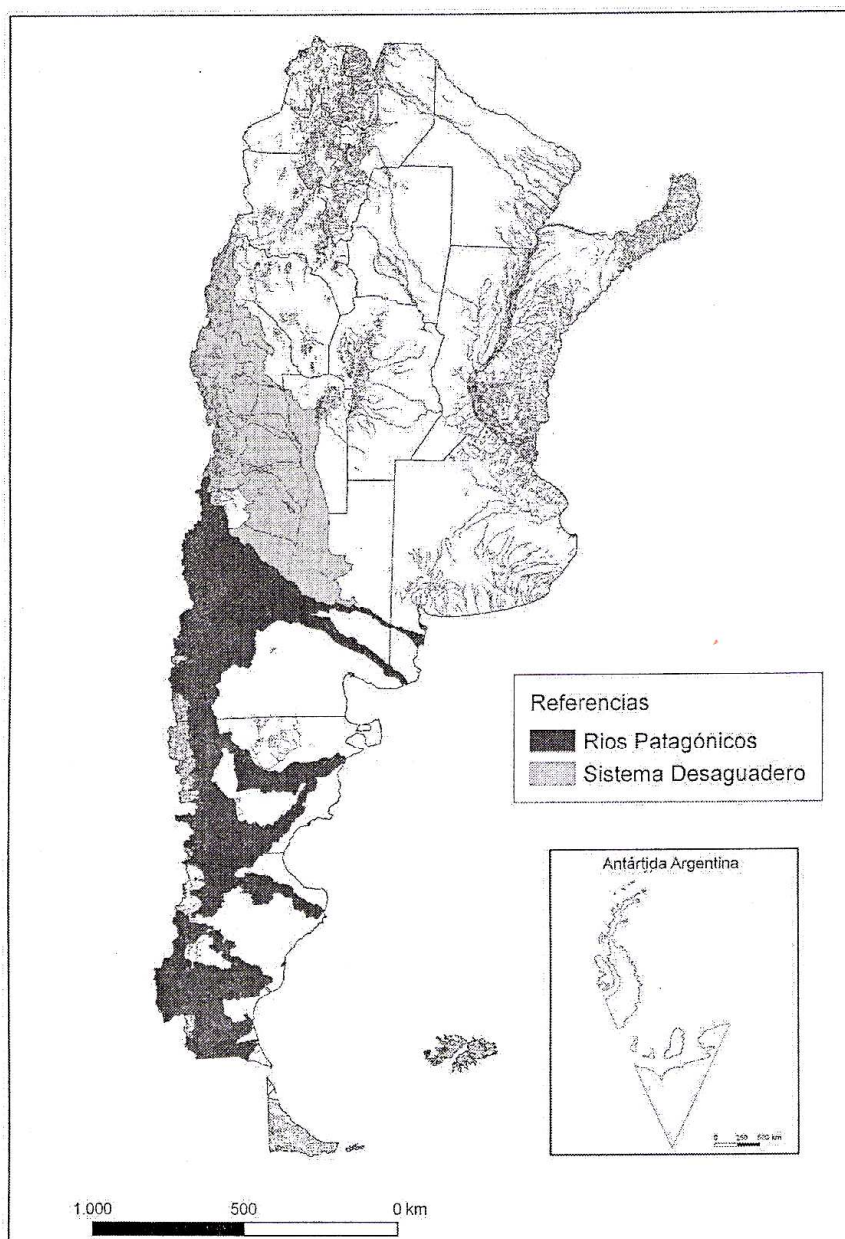


Figura 3. Sistema Desaguadero y ríos patagónicos (con nacientes andinas)

PARTICULARIDADES DE LA GEOHIDROLOGÍA

Además del rol de zonas de recarga que poseen los ríos perdedores de las comarcas áridas, existen otras implicancias vinculadas con la ocurrencia intranual de las escasas precipitaciones pluviales, tal como se mostrara en los histogramas de la Figuras 2, y con los aportes nivales.

En el régimen Atlántico, las mayores lluvias intranuales ocurren en el verano cuando la solicitud atmosférica es mayor, por lo que existen muy escasas posibilidades de recarga autóctona salvo por algunos mecanismos especiales (Hernández, 2005; Hernández et al., 2009).

Otra es la situación en el ámbito del régimen Pacífico, en que los máximos pluviales aunque de baja cuantía, coinciden temporalmente con la estación invernal donde además de registrarse obviamente las mínimas temperaturas (menores pérdidas depletivas), suceden los máximos de presión barométrica y humedad relativa y predominan las calmas. Esta estacionalidad favorece la oportunidad de un mínimo aporte al régimen subterráneo, evidenciada por la mayor densidad de manantiales en Patagonia extrandina respecto a otras comarcas áridas (Hernández et al. 2002; Hernández et al., 2009).

Además de la precitada influencia de los regímenes pluviales, existe otra muy importante de índole térmica latitudinal, ya que en las vastas terrazas patagónicas, especialmente en la porción austral y la isla de Tierra del Fuego, ocurren nevadas, heladas y en muchos sectores congelamiento de suelos (permafrost) que dan lugar a la denominada recarga diferida (Hernández, 2005).

En las comarcas frías del Norte por predominio del factor altitud, este tipo de aportación está limitada fundamentalmente a los sectores pericordilleranos y el alto plano de la Puna y sus bordes.

Otra característica general importante desde la visión geohidrológica es el espesor de la Zona No Saturada, normalmente más potente en las zonas áridas como consecuencia del profundo nivel freático, ofreciendo menor vulnerabilidad intrínseca por mejores posibilidades de atenuación natural respecto a las húmedas, con la superficie freática somera.

En directa relación con la ZNS, pueden citarse las características de la franja capilar: puede estar ausente o ser de ínfimo espesor en las regiones más secas no sólo por la mayor profundidad del nivel, sino porque existen generalmente tamaños porales más grandes o depósitos eólicos con buena porosidad efectiva, en comparación con los más finos de los climas húmedos, con una elevación capilar que puede llegar a varios metros.

La recarga en estas regiones suele ser alóctona, procedente de otros ámbitos más húmedos o perimontanos (por ejemplo la del acuífero de la *Fm. Río Colorado* del Grupo Neuquén), o autóctona restringida a ciertas localizaciones donde tienen lugar los fenómenos de infiltración rápida o concentración rápida (Hernández, 2005). En directa vinculación con la recarga, la vegetación típica de los paisajes áridos es esencialmente xerófita, especializada para no transferir agua a la atmósfera y por lo tanto, restando virtualidad al término evapotranspiración real en los balances hídricos a nivel edáfico.

No es común la descarga regional o pasiva en las zonas áridas, donde predomina la local o activa, por manantiales o evaporación desde cuerpos endorreicos como los ejemplos de la Salina de Huyamampa (Schalamuk et al., 2005) en el centro-Norte del país o las Salinas Grande y Chica en la Península Valdés (Alvarez et al., 2006).

Desde el campo de la hidroquímica, la circunstancia quizás más importante es la muy baja tasa de CO₂ y ácidos orgánicos por la escasa cobertura vegetal y el tipo de vegetación. El resultado es la predominancia regional de aguas sulfatadas y cloruradas por sobre las bicarbonatadas y de los procesos de concentración y oxidación respecto a los de ataque químico (disolución, hidratación, hidrólisis) dilución y reducción que prevalecen en las zonas húmedas y sub-húmedas. Las aguas son de mayor tenor salino y

fundamentalmente con el cloruro como anión dominante, en comparación con las generalmente dulces y bicarbonatadas de aquellas zonas.

Tabla 1. Síntesis de diferencias entre regiones áridas y húmedas

CARACTERIZADOR		ZONAS ARIDAS	ZONAS HUMEDAS
HIDROMETEOROLOGIA		Ev-Evtr >> Precipitación	Precipitación > Evtr
BALANCE HIDRICO		Déficit	Exceso
RIOS	Régimen	Transitorio (efímero)	Perenne
	Origen	Alóctono	Autoctono
	Relac. c/ agua subterr.	Perdedores (influentes)	Ganadores (efluentes)
VEGETACION		Xerófita-halófita	Mesófita-hidrófita
ZONA NO SATURADA		Potente	Reducida
FRANJA CAPILAR		Delgada	Desarrollada
NIVEL FREATICO		Profundo	Somero
RECARGA		Alóctona o Autóctona Concentrada/ Restringida	Areal – Autóctona
DESCARGA		Local	Regional-Local
CONCENTRACIÓN SALINA		Alta predominante	Baja predominante
PROCESOS HIDROQUIMICOS		Concentración-Oxidación	Disolución-Dilución-Reducción
ION DOMINANTE		Cloruro	Bicarbonato
RESERVAS		Limitadas	Abundantes
PROSPECCION		Más aplicable la prospección por teledetección	Más accesible la prospección hidrológica y por perforaciones
ACUIFEROS DE INTERES		Freáticos localizados, o muy profundos	Gran parte de la secuencia. Freáticos vulnerables

En síntesis, la zonalidad hidroquímica vertical regionalmente más habitual es la invertida, mientras que en las comarcas húmedas es la normal en los sectores de recarga y la invertida en los de descarga, estando la climática caracterizada por los iones dominantes más arriba mencionados.

Si se analiza el aspecto utilitario puede notarse que los acuíferos freáticos portadores de aguas con baja salinidad son localizados y/o muy profundos, o confinados con recarga alóctona, lo cual hace que la exploración y explotación sean más onerosas que en las

regiones húmedas, especialmente cuando se trata de acuíferos en medio fisurado. Una excepción sería la ventaja que ofrece el paisaje para la prospección por teledetección, por la buena exposición de las geoformas de interés por la escasa cobertura y su fácil distinción.

En cambio, desde el punto de vista ambiental los acuíferos suelen estar más protegidos en función de los espesores considerables de la ZNS, por lo cual cuentan con mayor posibilidad para la ocurrencia de fenómenos naturales de atenuación de posibles cargas contaminantes.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de las principales características diferenciales entre ambos dominios climáticos.

CONCLUSIONES

Dentro de los condicionantes climáticos y físicos para la ocurrencia de las regiones áridas/semiáridas en Argentina (1.850.000 km²), los regímenes pluviales Atlántico y Pacífico, la temperatura y la altitud son altamente influyentes en el régimen de aguas subterráneas.

En el régimen Atlántico (originado por los vientos alisios y el escollo físico de Sas. Subandinas y Pampeanas) las escasas lluvias coinciden con la estación estival minimizando más aún las posibilidades de recarga. En el Pacífico a la inversa, ocurren en invierno con la menor tasa depletiva, máximos de humedad relativa, presión barométrica y frecuencia de calmas, con mayor oportunidad de ingresos puntuales.

Los cursos perennes que surcan las regiones áridas, alóctonos, de nacientes andinas y régimen nival o pluvio-nival tienen un comportamiento perdedor o influente respecto a las aguas subterráneas. El aporte a los sub-álveos y subsuelo de los valles es muy importante desde el enfoque utilitario.

En las zonas áridas frías, la permanencia de heladas, nieve y permafrost durante la estación invernal facilita la recarga de acuíferos por el fenómeno de recarga diferida, especialmente en el ámbito del régimen Pacífico.

Los fenómenos hidrodinámicos en el circuito subterráneo, desde las zonas de recarga a las de descarga, muestran particularidades reconocibles en comparación con las comarcas húmedas, vinculadas aquellas con los condicionantes climáticos y físicos.

Otro tanto ocurre con los procesos y características hidroquímicas, donde la baja tasa de CO₂ y de ácidos orgánicos disponible y los fenómenos de concentración imprimen a las aguas un sello característico. También el análisis ambiental y utilitario de estas regiones permite encontrar diferencias notorias.

REFERENCIAS

- Alvarez M. P., L. Hernández, M. Hernández y N. González, 2006. Relación aguas subterráneas – aguas superficiales en Patagonia Exrandina. República Argentina. Rev. Latino-Americana de Hidrogeología 6:43-48.
- Alvarez M. P., N. Weiler y M. Hernández, 2006. Geohidrología de humedales próximos a la costa con cota bajo nivel del mar. Península Valdés. Argentina. Rev. Latino-Americana de Hidrogeología 6:35-42.
- Hernández M. A., 2005. Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas (Síntesis). Actas II Seminario Hispano Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, pp: 249-254. Río Cuarto. 2005.

- Hernández M. A. , N. González y R. A. Sánchez**, 2002. Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas. Cuenca del Río Seco, Provincia de Santa Cruz. Argentina. XXXII IAH Congress - VI Congreso ALHSUD. Mar del Plata. Ed. CD Rom y Libro de Resúmenes.
- Hernández, M.A., N. González y L. Hernández**, 2009. Late Cenozoic geohydrology of Extra-Andean Patagonia Argentina. En The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego, 24:497-509. J.Rabassa Ed. Elsevier.
- Monod, T.**, 1994. En Los desiertos. El Correo de la UNESCO, Año XLVII Enero. París.
- Schalamuck, I. B. , M. A.. Hernández, J. H. Ceci,. M. del Blanco y M. J. Correa**, 2005. Génesis e hidrodinámica de una salmuera subterránea rica en sulfato de Sodio, Huyamampa, Santiago del Estero. XVI Congreso Geológico Argentino, III:745-752. La Plata
- Schoeller, H.**, 1959. Arid zone hydrology. Recent developments in Arid Zone Research, XII, 1. UNESCO. París.
- Strahler, A.**, 1989. Geografía Física (3a Edición). Omega. Barcelona