

# ESTIMACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL ANUAL DE ACUÍFEROS EN LA PROVINCIA DE NEUQUÉN

Jose Gatica\*; Ana Cecilia Dufilho\* y Jorge Irrisari\*

\*Departamento de Geología y Petróleo, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.  
Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina. Tel. 0299 498300. email: [josenqn@gmail.com](mailto:josenqn@gmail.com)

## Resumen

Es necesario conocer el volumen de la recarga para garantizar el manejo sustentable de los recursos hídricos en zona áridas. Se ha estimado la recarga potencial a escala mensual en la provincia de Neuquén considerando precipitación, evapotranspiración, litologías y pendientes, utilizando un Sistema de Información Geográfica. Se consideraron 50 estaciones con datos de precipitación mensual y 21 con evapotranspiración potencial mensual de la base de datos LocClim (FAO, 2002) en el período 1961-1990.

Se determinó un excedente potencial mensual realizando el balance entre precipitación y evapotranspiración potencial corregida por el tipo de vegetación y cobertura. Se ajustaron estos excedentes para considerar las propiedades de las rocas aflorantes y las pendientes del terreno. El mapa de recarga potencial anual se obtuvo de la suma de los correspondientes mapas mensuales.

Los resultados indican importantes excedentes hídricos en la región andina y menores en la región oriental. En esta región extra-andina de clima semiárido, los afloramientos de las sedimentitas cretácicas del Grupo Neuquén tienen una gran cobertura areal, estimando que unos 800 hm<sup>3</sup> anuales promedio se infiltrarían en estas rocas, y que una fracción percolaría en profundidad permitiendo la recarga de los acuíferos confinados profundos. Estas estimaciones pueden mejorarse con más datos climatológicos y estimaciones del balance hidrológico a escala diaria.

**Palabras Claves:** balance hídrico, excedentes hídricos, GIS, acuíferos confinados.

## Abstract

It is necessary to know the volume of the recharge to guarantee the sustainable management of water resources in arid zones. The potential recharge at a monthly scale in the province of Neuquén has been estimated considering precipitation, evapotranspiration, lithologies and slopes, using a Geographical Information System. We considered 50 stations with monthly precipitation data and 21 with monthly evapotranspiration from the LocClim database (FAO, 2002) in the period 1961-1990.

A potential monthly excess was determined making the balance between precipitation and potential evapotranspiration corrected by the type of vegetation and coverage. The surpluses were adjusted to consider the properties of the outcrops and the slopes of the terrain. The potential annual recharge map was obtained from the sum of the corresponding monthly maps.

The results indicate that significant water excess in the Andean region and lower ones in the eastern region. In this extra-Andean region of semiarid climate, the outcrops of the Cretaceous sediments of the Neuquén Group have a large areal coverage, estimating that an average annual 800 hm<sup>3</sup> would infiltrate these rocks, and that a fraction would percolate in depth allowing the recharge of the deep confined aquifers. These estimates can be improved with more climatological data and hydrological balance estimates on a daily basis.

**Keywords:** water balance, water excess, GIS, confined aquifers.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La provincia del Neuquén localizada al noroeste de la Patagonia Argentina (fig.1), **presenta condiciones húmedas en la zona andina, y áridas hacia el este** en la zona extra-

andina. Aproximadamente el 60% del territorio de la provincia de Neuquén, se encuentra bajo la influencia del clima árido y semiárido, caracterizado por tener una relación de precipitación media anual y evapotranspiración potencial inferior a 0,65 (UNEP, 1997), lo que se traduce en un marcado déficit hídrico. La zona extra-andina recibe precipitaciones inferiores a 200 mm anuales que no posibilitaría la existencia de excedentes para recargar los acuíferos. Sin embargo, las mayores láminas de precipitación que se producen en otoño e invierno cuando la evapotranspiración es baja (fig.1), permitiría excesos hídricos en intervalos más cortos.

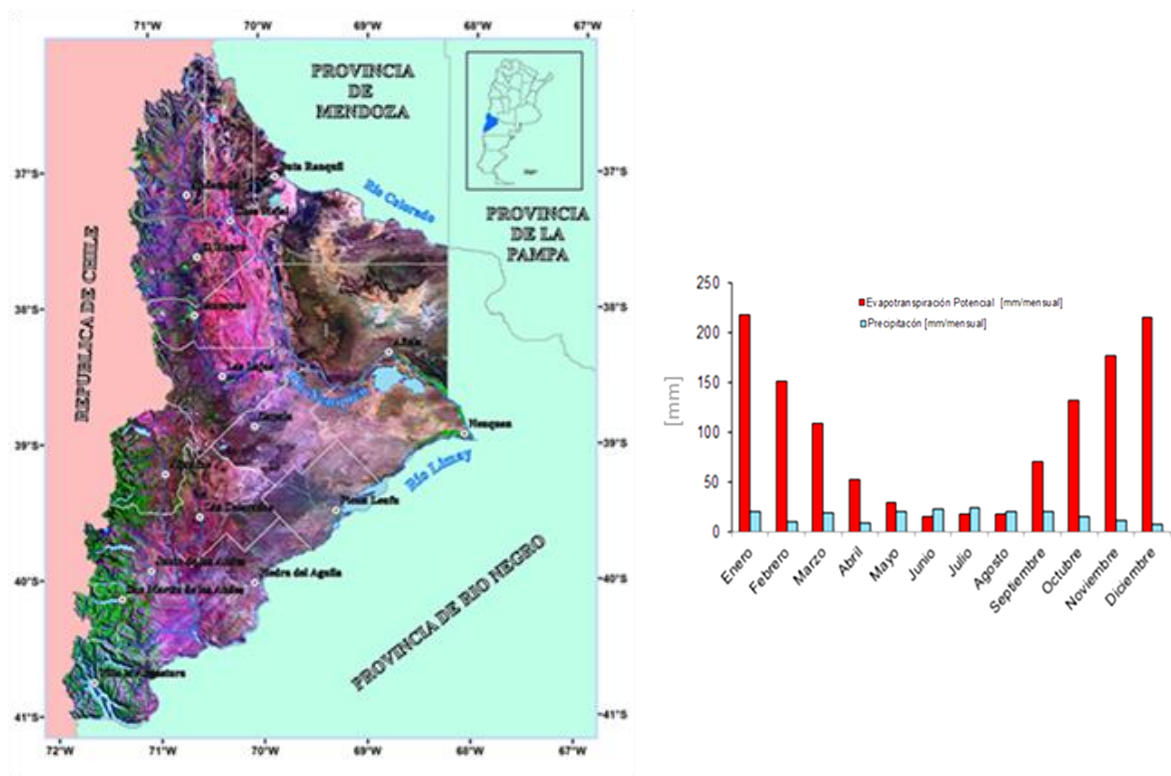


Figura 1. Provincia de Neuquén (izq) y precipitación vs. evapotranspiración potencial en la región extra-andina (der) (obtenido mediante datos climáticos del interpolador climático LocClim (FAO, 2002)).

La recarga natural de los acuíferos, está condicionada por el flujo vertical descendente en la zona no saturada y por el exceso de disponibilidad de agua por encima de la demanda evapotranspirativa. Por esta razón, en regiones áridas, solo una pequeña parte del agua entra a formar parte del componente subterráneo del ciclo hidrológico. Asumiendo que las escasas precipitaciones aportan a la recarga natural de los acuíferos, la recarga se transforma en el problema central para la evaluación de las reservas de agua disponibles en los sistemas subterráneos. En la provincia de Neuquén no se han realizado estimaciones de la recarga, por lo que este trabajo intenta contribuir con el conocimiento, cuantificación e identificación de potenciales zonas de recarga hídrica a nivel regional.

## METODOLOGIA

La metodología presentada por Gatica (2017) permite estimar la recarga potencial de los acuíferos, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), determinando la distribución espacial de las variables involucradas en la recarga potencial de acuíferos (fig. 2). Las zonas del territorio aptas para la recarga (ZAR) se estimaron según la propuesta de Matus Silva (2007), teniendo en cuenta litología, relieve, vegetación y suelo, ponderados según la importancia relativa de estos factores en la provincia de Neuquén, siendo la pendiente el factor más influyente.

Luego, este índice normalizado (ZARn) entre 0 y 1, permitió estimar un valor de infiltración potencial (IP) considerando que una fracción de la precipitación (P) se infiltrará según la aptitud del territorio determinada por ZARn. La lámina de agua infiltrada (IP) en parte será consumida por las plantas y la evaporación directa desde el suelo.

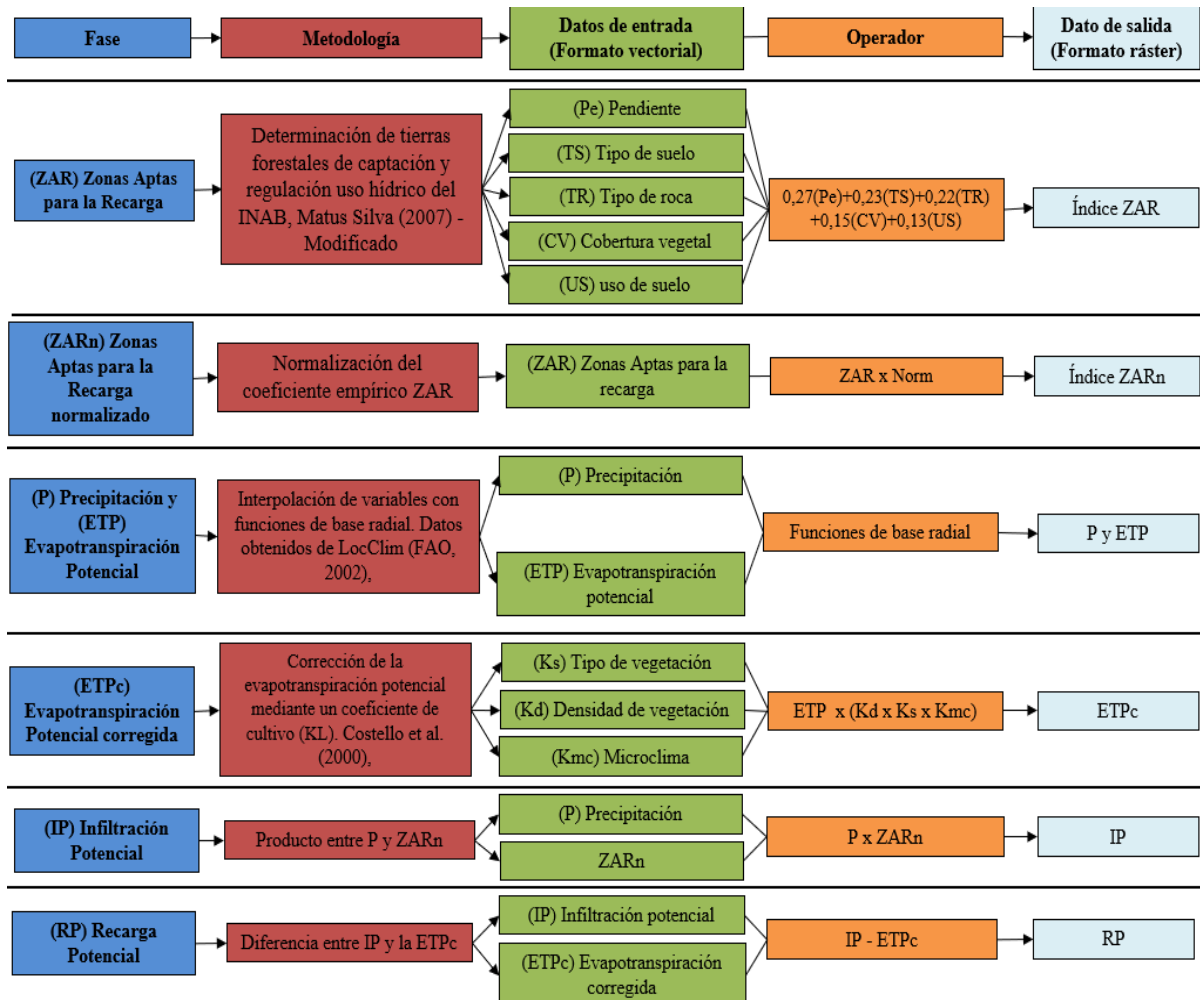


Figura 2. Esquema metodológico para la estimación de la recarga potencial mensual

La evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (ETP) obtenido de FAO (2002) fue corregido para adecuarla las condiciones de vegetación locales (ETPc) utilizando el método de Costello et al. (2000), que propone una corrección por paisaje que considera tres factores: especie y densidad de la vegetación y microclima. Esta ETPc, se considera próxima a la evapotranspiración real dado que es la que está en equilibrio con el desarrollo de la vegetación existente.

Por último, se consideró que del total de agua potencialmente infiltrada (IP), parte vuelve a la atmósfera a través de ETPc y el resto es el volumen de agua de recarga potencial (RP).

La estimación se realizó con datos mensuales promedio, obteniendo la recarga potencial anual como la suma de las potenciales mensuales.

### Tareas realizadas en el entorno SIG

Se consideraron 50 estaciones meteorológicas con datos de precipitaciones medias mensuales y de 21 estaciones meteorológicas con datos de evapotranspiración potencial media mensual -obtenidas por el método de Penman-Monteith- disponibles en la base de datos del software LocClim (FAO, 2002), para el periodo 1961-1990. Las estaciones se

encuentran situadas dentro (fig. 3) y fuera de los límites de la provincia de Neuquén, de manera de asegurar una interpolación que cubra la totalidad de la Provincia. Se interpolaron los datos mediante funciones de base radiales (FBR) con el Software ArcGIS.

El coeficiente de las zonas aptas para la recarga ZAR fue obtenido a partir de los mapas base de vegetación (Movia et al., 2007), suelo (Ferrer et al, 1996), y geología y uso de suelo modificado (disponibles en formato digital en Dufilho et al., 2002). Se le asignó a cada entidad vectorial el valor del factor correspondiente a la recarga.

El factor pendiente fue obtenido aplicando la herramienta *slope* y *reclassify* de geoprocésamiento de ArcGIS al modelo digital de elevación de la República Argentina (MDE-Ar) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que cubre la totalidad de la provincia de Neuquén, con una resolución espacial de 30 m x 30 m, disponible en la página oficial del Instituto (<http://www.ign.gob.ar> consultada en mayo 2016).

La recarga potencial fue calculada por medio de la herramienta de geoprocésamiento *Raster Calculator* de ArcGIS. Se generó un archivo en formato raster para cada recarga potencial media mensual con una resolución espacial de 200 m x 200 m. La suma mes a mes permitió obtener de la recarga potencial anual.

## RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSIÓN

### Precipitación, evapotranspiración corregida y zonas aptas para la recarga

Las menores precipitaciones (P), entre 180 mm y 200 mm durante el periodo 1961 a 1990), se localizaron en la zona central de la región extra-andina, mientras que en la región andina ocurrieron las mayores precipitaciones anuales de la provincia, con valores entre 2000 mm y 2500 mm en el extremo suroeste (fig. 3 - izquierda).

La corrección de la evapotranspiración potencial (ETPc) muestra que **la mayor pérdida por evapotranspiración tiene lugar en la región andina**. Los resultados obtenidos por el método de Costello et al (2000) son aceptables en general, aunque **existen algunas áreas cuyos valores son atípicos**, por ejemplo, alrededor del Auca Mahuida donde la ETPc anual es inferior a 100 mm, lo cual se considera muy bajo y **no se correspondería con los valores de las zonas similares que presentan valores superiores** (fig.3 - centro).

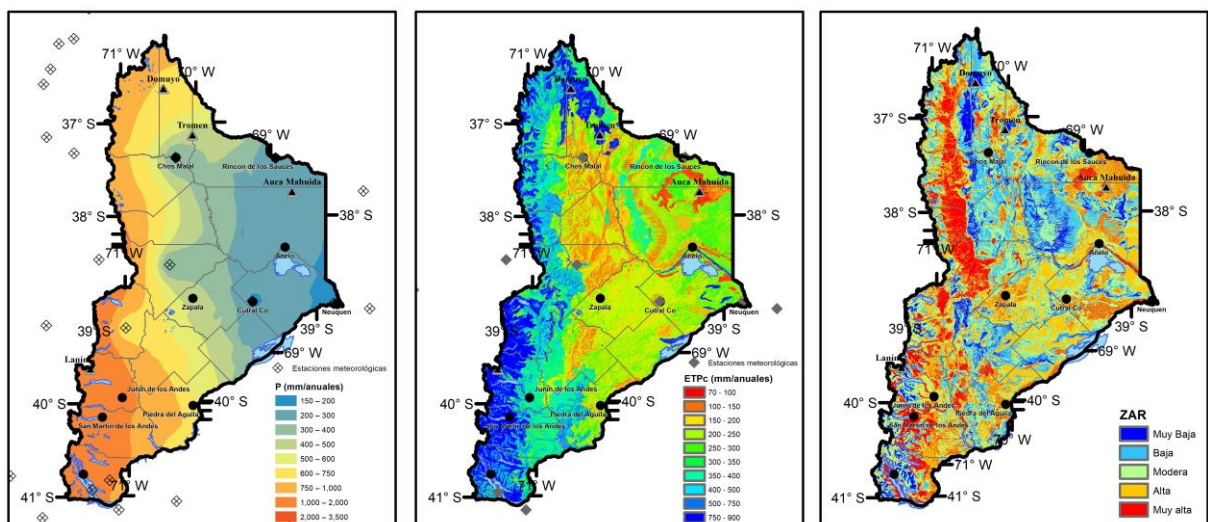


Figura 3. Izquierda) Precipitaciones medias anuales 1961-1990 (fuente de datos LocClim (FAO, 2002)), centro) Evapotranspiración Potencial Corregida (obtenido mediante el método de Costello et al. (2000)), derecha) Distribución de las Zonas Aptas para la Recarga en la provincia de Neuquén (obtenido mediante adaptación del método de Matus Silva (2007))

Las mayores exposiciones de **superficies aptas para la recarga (ZAR) ocurren en las coladas basálticas destacándose en la región árida los campos volcánicos del Auca Mahuida, Barda Negra, cercanías de Santo Tomás. El Dorso de Los Chihuidos**, ubicada en

el sector central de la región árida, es una extensa zona de importancia para la recarga de acuíferos confinados, presenta una aptitud moderada a baja. Las terrazas aluviales antiguas depositadas sobre las rocas sedimentarias del Grupo Neuquén, tienen amplia distribución en la zona este de la provincia y presentan moderada a alta aptitud para la recarga. Las áreas menos favorables están representadas por afloramientos de rocas ígneas y metamórficas en la región cordillerana y por los bajos endorreicos -debido a la presencia de suelos salinos de baja conductividad hidráulica- en la región oriental de la provincia (fig. 3 - derecha).

### **Recarga potencial anual**

En la fig. 4, se observa que solo una fracción de la precipitación media anual y de la infiltración potencial media anual podrá formar parte de las reservas subterráneas como una recarga potencial. En la región extra-andina, la recarga sobre el Auca Mahuida se encuentra entre los 50 a 125 mm anuales. Estas mesetas y campos basálticos son propicios para la surgencia de los aportes pluviales en el frente de avance de la colada de basalto, y en secciones de basaltos macizo y diaclasado. En la región del Dorso de Los Chihuidos los valores no superan los 75 mm anuales, sin embargo, la gran superficie implicada permite la recarga de importantes volúmenes.

La RP cercana a 200 mm anuales en la región de Zapala es un valor importante a tener en cuenta dado que es la fuente de recarga del acuífero La Bardita, y el volumen anual recargado correspondería con el agua disponible para el consumo en la ciudad de Zapala.

La región andina presenta valores superiores a 500 mm posibilitando la existencia de vertientes, mallines, humedales y acuíferos aluviales y glacifluviales. Esta región presenta fuertes pendientes que dificultan la recarga produciendo que los excesos de agua sean drenados hacia los sistemas lacustres. La presencia del basamento paleozoico ígneo metamórfico genera acuíferos fracturados con escasa capacidad de almacenamiento del agua de recarga.



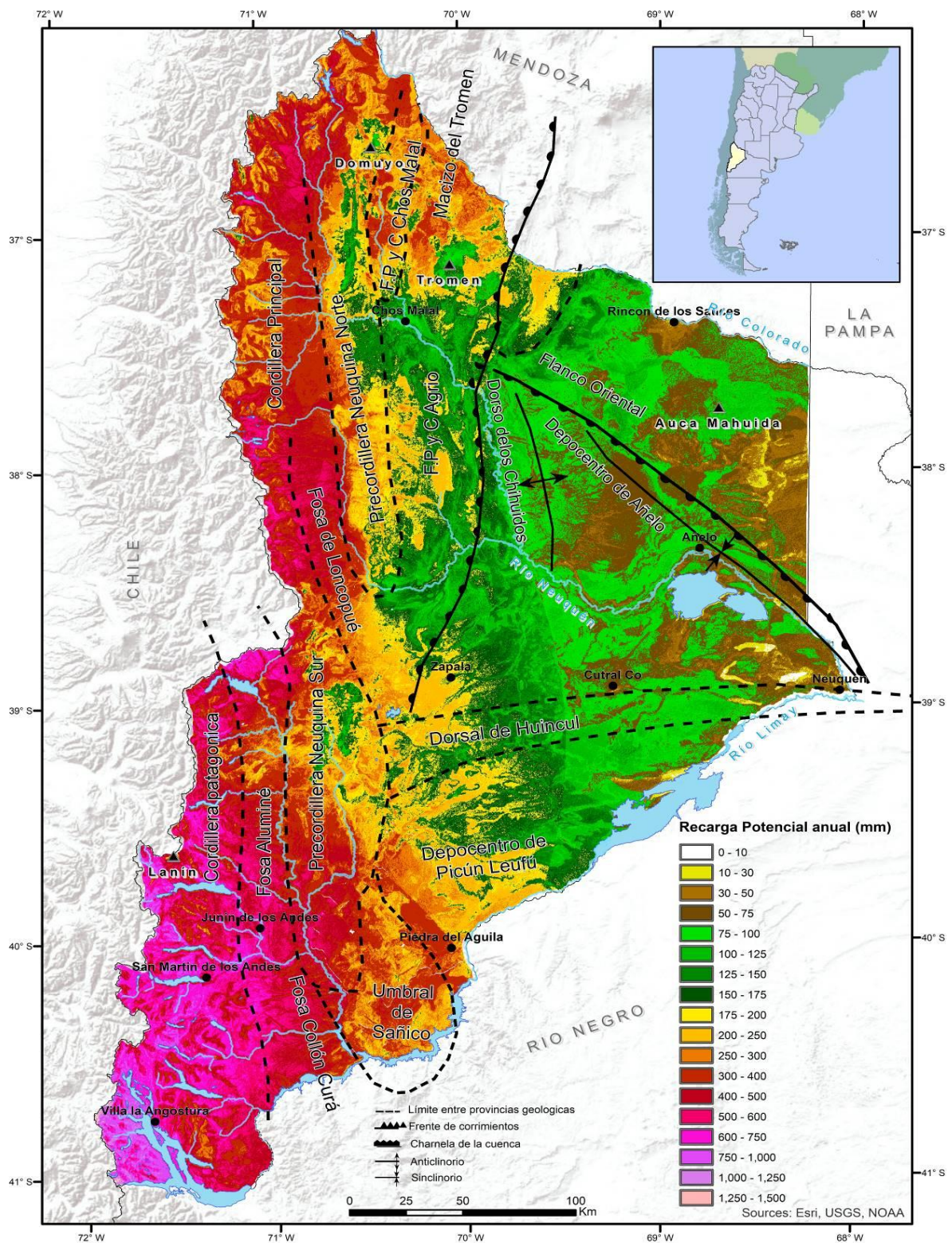


Figura 4. Recarga Potencial media anual para el periodo 1961 a 1990 en la provincia de Neuquén.

### Variabilidad espacial de la recarga potencial anual

La distribución de la recarga potencial anual (fig. 5) en relación a los estilos estructurales de las provincias geológicas de Ramos et al. (2011), indican que la Cordillera Patagónica presenta la mayor recarga potencial anual, tanto como lámina como en volumen,

pero como ya se indicó la litología presente impide la existencia de acuíferos profundos, predominando por lo tanto un flujo subsuperficial que alimenta mallines, vertientes y ríos.

En la región del Engolfamiento Neuquino, que comprende las estructuras del Flanco Oriental, el Depocentro de Añelo, el Dorso de los Chihuidos, la Dorsal de Huincul y el Depocentro de Picún Leufú, la recarga potencial media es cercano a 100 mm anuales pero dada la gran superficie que ocupa, el volumen de posible recarga asciende a unos 1100 hm<sup>3</sup> anuales.

Las zonas de interés para la recarga regional de los acuíferos confinados de la región extra-andina, como el Dorso de los Chihuidos y el Flanco Oriental, presentan un valor promedio inferior a 100 mm anuales mientras que el volumen potencial es cercano a 400 hm<sup>3</sup>/anuales en el primero y de 800 hm<sup>3</sup>/anuales en el segundo.

La recarga potencial en el Depocentro de Picún Leufú cercana a 1600 hm<sup>3</sup>/anuales no se corresponde con la escasez de agua registrada en las perforaciones realizadas en la zona. Es probable que las perforaciones existentes -que no superan los 150 m de profundidad- no alcancen los niveles acuíferos profundos.

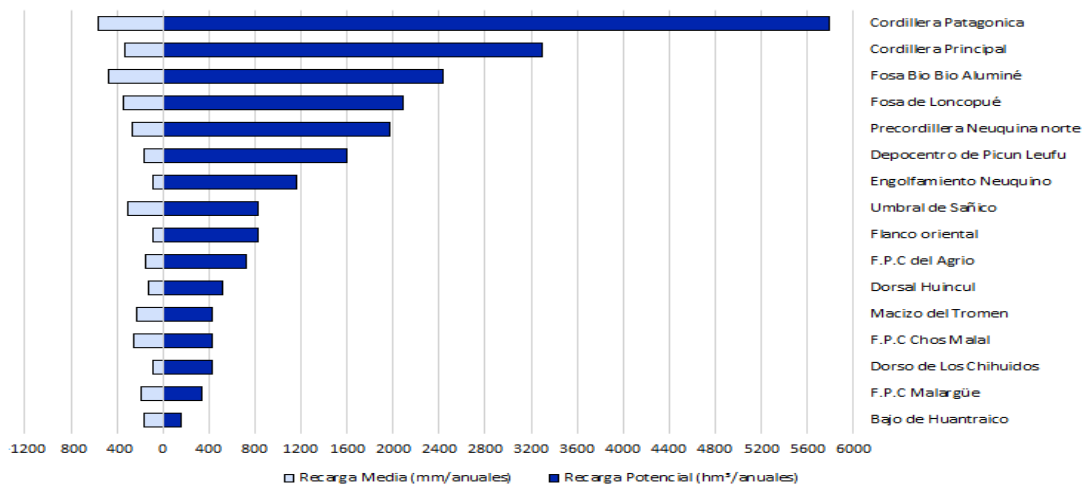


Figura 5. Recarga potencial anual en las provincias geológicas de Neuquén de Ramos et al. (2011)

Considerando los tipos litoestratigráficos (fig. 6), las formaciones que presentan una mayor lámina potencial tienen una pequeña superficie aflorante, por lo que el volumen potencial anual es bajo.

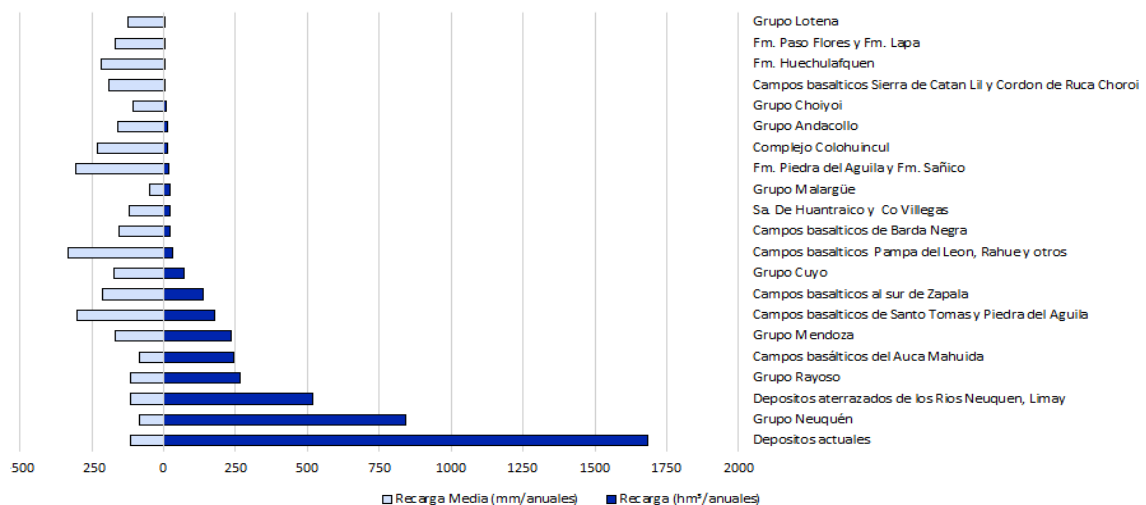


Figura 6. Recarga potencial media anual (mm) y recarga potencial media anual (hm<sup>3</sup>) de las formaciones geológicas de la región extra-andina

Por otro lado en la región extra-andina, los depósitos actuales y aterrazados con láminas potenciales cercanas a 100 mm podrían producir una recarga anual de 1650 y 500 hm<sup>3</sup>/anuales, respectivamente. Ambos cubren a las rocas sedimentarias del Grupo Neuquén donde se aloja el sistema acuífero multicapa. A su vez, estas rocas recibirían una recarga de unos 800 hm<sup>3</sup>/anuales.

El Grupo Rayoso aportaría con 250 hm<sup>3</sup>/anuales de recarga; sin embargo, solo la sección superior de este Grupo contiene acuíferos dulces en la región del Dorso de los Chihuidos y Depocentro de Añelo, por lo que la recarga será inferior a este valor.

Los campos basálticos producen una interesante recarga, pero parcialmente llegarán a recargar los acuíferos subyacentes, debido a que parte del agua es descargada, en vertientes y mallines de ladera, donde se produce el contacto con rocas menos permeables.

## CONCLUSIONES

Se ha determinado que unos 3900 hm<sup>3</sup> anuales se recargarían en promedio en la región extra-andina. Debido a esta recarga, unos 842 hm<sup>3</sup> estarían disponibles anualmente para ser captados en los acuíferos del Grupo Neuquén y Fm Rayoso. Las zonas donde se produce esta recarga se localizan en el Dorso de Los Chihuidos, el Vn. Auca Mahuida y la zona de la Sierra Negra. En la región andina la recarga se produce fundamentalmente en las rocas de origen volcánico, pero se descargan localmente a través de vertientes, mallines, humedales y cursos de ríos y arroyos.

Los valores estimados de recarga no consideran que durante el estío el agua almacenada va disminuyendo en los horizontes del suelo por consumo de las plantas ni tampoco que disminuye el almacenamiento en los acuíferos por alimentación de ríos y lagos como caudal base. Por lo tanto, los valores reales deben ser inferiores a los estimados, posiblemente menores al 50% en la región árida, debido a esta reposición del almacenamiento al comienzo de las lluvias de invierno luego de un período de casi 9 meses de déficit hídrico.

El estudio fue realizado a escala 1:500.000 y puede no representar adecuadamente las variaciones zonales y locales de los factores considerados, por lo que un mayor detalle podría modificar la estimación de la recarga.

## REFERENCIAS

- Costello, L., Matheny, N., y Clark, J.,** 2000. The landscape coefficient method. In: A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resources.
- Dufilho, A. C., Toth, A., Valle, D.,** 2002. Elaboración de bases para el ordenamiento territorial ambiental de la provincia del Neuquén. Sistema de Información Geográfica (SIG-OTA). CFI, 3 Vol, 23 planos, base de datos en ArcView.
- FAO** (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2002. LocClim, Estimador Local Mensual Climático. Disponible en <http://www.fao.org/sd/locclim/srv/locclim.home>
- Ferrer J.A., Mendía J.M. e Irisarri J.,** 1990. Estudio Regional de Suelos de la Provincia de Neuquén, Vol. 1, Tomos 1 a 4. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. 543 p.
- Gatica J.,** 2017. Estimación de la recarga en los acuíferos de la provincia del Neuquén utilizando Sistema de Información Geográfica. Trabajo final de la Licenciatura en Ciencias Geológicas. Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue. 99 p.
- Matus Silva, O.D.,** 2007. Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jacuapa, Matagalpa, Nicaragua. Tesis M. Sc. en Manejo Integrado de Cuenca Hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 247p.
- Movía C., Ower G, Perez C.,** 2007. Estudio de la Vegetación Natural de la Provincia del Neuquén. Tomo I, II y III. Min.de Economía y Hacienda Prov. De Neuquén.
- Ramos, V. A., Folguera, A. y García Morabito, E.,** 2011. Las provincias geológicas del Neuquén. In Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. Relatorio 18º Congreso Geológico Argentino, Neuquén. 317-326.