



ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO MEDIO MENSUAL EN LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN (ARGENTINA)

*Marisa Gloria Cogliati*¹
Griselda Ostertag^{1,2}
*Matías Caso*²
*Florencia Gisella Finessi*¹
*Damián Groch*¹

(Manuscrito recibido el 20 de octubre de 2018 en versión final 18 de diciembre de 2018)

Para citar este documento

Cogliati, M.G., Ostertag, G., Caso, M., Finessi, F.G. & Groch, D. (2018). Análisis del balance hídrico medio mensual en la provincia del Neuquén (Argentina). *Boletín geográfico*, 40(2), 27-45.

Resumen

En los últimos años se ha producido un aumento de la temperatura media en distintas regiones, lo que se asocia con un aumento en la evapotranspiración, provocando mayor déficit y estrés hídrico en zonas con climas áridos. El clima de la provincia del Neuquén presenta un marcado gradiente de precipitaciones oeste-este, en áreas cercanas a la cordillera de los Andes se destacan inviernos fríos con lluvias y nevadas, y veranos más secos y templados; hacia el este disminuye la precipitación presentando un ambiente semidesértico identificado con la estepa patagónica. El conocimiento de la evolución de las distintas componentes del balance hídrico en zonas áridas es de fundamental importancia para la estimación de la cobertura vegetal y sus requerimientos hídricos, considerando las diversas actividades productivas que se desarrollan en la región. En el presente trabajo se presentan en detalle las variaciones espaciales de las componentes del balance de humedad, a partir de información de superficie de la red estaciones meteorológicas de la provincia del Neuquén.

Palabras clave: Thornthwaite, balance hídrico, evapotranspiración, escorrentía.

¹ Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía.

² Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.

Email: marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar

MEAN MONTHLY WATER BALANCE IN NEUQUÉN, ARGENTINA

Abstract

In recent years there has been an increase in the average temperature in different regions, which is associated with an increase in evapotranspiration, causing greater deficit and water stress in areas with arid climates. The climate of the Province of Neuquén presents a marked gradient of precipitations west-east, in areas near the mountain range of the Andes stand out cold winters with rains and snowfalls, and summers drier and more temperate; to the east, precipitation decreases, presenting a semi-desert environment identified with the Patagonian steppe. The knowledge of the evolution of the different components of the water balance in arid zones is of fundamental importance for the estimation of the coverage of the hydric requirements of the vegetation, and of the different productive activities that are developed in the area; as well as for the control of the state of the wetlands (mallines). In this work, the spatial variations of the moisture balance components are presented in detail from information from the network of surface meteorological stations in the province of Neuquén.

Keywords: Thornthwaite, water budget, evapotranspiration, runoff.

Introducción

Existe una influencia directa del calentamiento global sobre la precipitación, ya que un incremento en el calentamiento lleva a mayor evaporación y un mayor secamiento de la superficie, por lo que aumenta la intensidad y la duración de las sequías, sin embargo la capacidad del aire de contener agua se incrementa un 7% cada 1°C de calentamiento, lo que podría llevar un incremento de humedad en la atmósfera (Trenberth, 2011), sin embargo, en nuestra zona, las fuentes de agua son escasas, por lo que el efecto sería en general períodos más extensos donde los requerimientos de agua no son cubiertos.

Fasullo y Sun (2001) estimaron que la contribución del aumento global de vapor de agua debido al forzante radiativo sería alrededor de 1.5 W/m² resultando en una evidencia directa del fuerte efecto del vapor de agua en el cambio climático.

La precipitación se ha incrementado en altas latitudes de Europa, norte de Asia, América del norte, y Sudamérica (Dai, Trenberth, & Qian, 2004), en parte debido a que las mayores temperaturas incrementan la capacidad de contención de vapor de agua y al hecho de que una mayor parte de la precipitación ocurre en forma pluvial y no nival (Trenberth & Shea, 2005).

El clima de la provincia del Neuquén es dominado por la constancia e intensidad del viento del oeste y la cordillera de los Andes, que constituye una barrera orográfica perpendicular a los vientos del oeste (Prohaska, 1976). El estudio del ciclo hidrológico en la zona se plantea a partir del análisis de los ingresos y salida de agua a la región a

partir del estudio de la evapotranspiración, el almacenaje de agua y nieve, la precipitación y el escurrimiento superficial.

Thornthwaite (1948), propuso un análisis de las componentes del balance hídrico a partir del estudio de la precipitación y su relación con la necesidad de evaporación y transpiración, que constituyen un factor limitante de la vegetación.

Meisner y Arkin (1987) obtuvieron que, durante la estación lluviosa, se presenta un máximo de convección profunda sobre áreas continentales en el atardecer, ya que el calentamiento de la superficie tiende a desestabilizar la tropósfera baja, en regiones cercanas a los Andes, con un máximo nocturno y al mediodía.

García (1994), analizó los regímenes de precipitación predominantes en la Patagonia, observando que indicarían climas con máxima precipitación en invierno, con un descenso notorio de la precipitación anual hacia el este e isohietas paralelas a la cordillera de los Andes.

Garreaud y Aceituno (2001), presentaron las características climáticas y ciclos regulares de la circulación atmosférica y la precipitación sobre América del Sur; indicando además que los fenómenos atmosféricos presentan una fuerte influencia de las formas topográficas y la vegetación sobre el continente y las condiciones de borde provistas por los océanos adyacentes; concluyeron además que los impactos de El Niño/La Niña en la precipitación de la región exhiben considerable variación cuando son analizados en escala regional.

La provincia del Neuquén presenta un gradiente importante de precipitación y evapotranspiración de oeste a este, debido a la presencia de la barrera orográfica que intersecta el viento zonal propio de latitudes medias, provocando diferencias notables en el comportamiento del balance de agua en el área, por lo que se estudiaron las componentes del balance hídrico a partir de datos de estaciones meteorológicas de superficie. Estos efectos se ven reflejados en una transición en la vegetación.

Los modelos de balance hídrico mensual han sido utilizados como un medio para examinar los diversos componentes (precipitación, evapotranspiración y escorrentía) del balance hídrico global (Mather, 1979; Legates & Mather, 1992; Legates & McCabe, 2005), para estimar la humedad del suelo y el almacenamiento (Mintz & Serafini, 1992), la escorrentía (Yates, 1996; Wolock & McCabe, 1999), y la demanda de riego (Wolock & McCabe, 1999a).

En este trabajo se analizan las variaciones estacionales de las componentes del balance hídrico medio mensual en el período 1997-2015, para las estaciones meteorológicas ubicadas en la provincia del Neuquén utilizando un modelo basado en la metodología propuesta originalmente por Thornthwaite (1953) desarrollado por Markstrom y Mc Cabe (2007).

Área de Estudio

El área de estudio comprende la provincia del Neuquén con información de las estaciones meteorológicas presentadas en la Figura 1. Se encuentra ubicada en el área de latitudes medias con mayor frecuencia de circulación zonal del viento. La distribución anual de las direcciones de viento presenta entre el 50 - 70% de

direcciones del sector oeste (incluyendo calmas). La nubosidad presenta un régimen subtropical en verano (mínima nubosidad) y sistemas nubosos asociados a vientos del oeste en invierno (máxima nubosidad) (Prohaska, 1976).

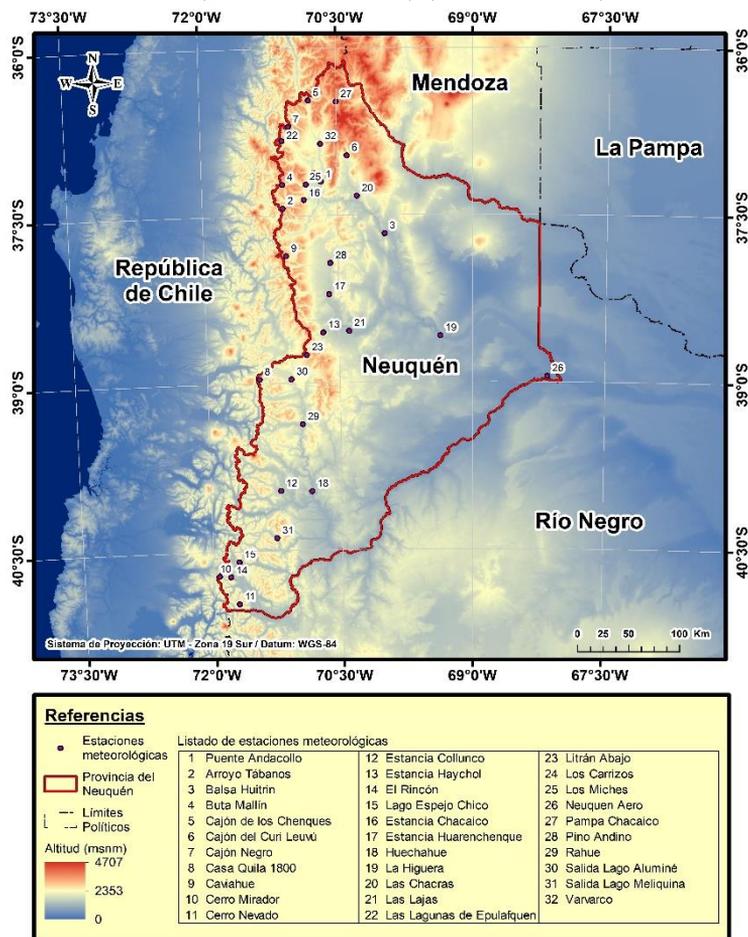


Figura 1. Topografía y distribución geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas (Modelo Digital de Elevación: Satellite Radar Topography Mission (SRTM)).

Las isotermas de la temperatura media en la zona oeste de la Patagonia norte, donde la elevación del terreno cambia abruptamente en cercanías de la cordillera de los Andes, siguen la dirección Norte-Sur.

En primavera, la incidencia de la radiación solar es mayor que en otoño y las primeras irrupciones de masas de aire frío polar ocurren en mayo, marcando el

comienzo del invierno. La variación diaria de la temperatura a nivel del suelo en Neuquén alcanza valores entre 17.0°C y 19.0°C a fines de verano.

En la estación Neuquén, la intensidad media mensual del viento presenta su valor mínimo en julio y aumenta hasta alcanzar su valor máximo en octubre, se mantiene durante el verano y disminuye a partir del mes de marzo. La distribución de frecuencias de ocurrencia de direcciones de viento, sigue la forma predominante en latitudes medias (Prohaska, 1976), con prevalencia en general de vientos de los sectores oeste y sudoeste con un máximo relativo de 39.4%. La velocidad media del viento para el período de 30 años fue de 3.8 m/s, este efecto junto con el déficit de agua y la vegetación dispersa propician que grandes cantidades de material particulado se incorporen a la atmósfera.

La región presenta marcadas diferencias de oeste a este en el régimen de precipitación. Hoffman (1988) estudió las variaciones de precipitación ocurridas en la Argentina, desde el punto de vista de los campos de precipitación media anual, donde los promedios decádicos desde 1900 a 1980 y las sumas anuales desde 1951 a 1986 encontraron que las isohietas al norte de 40° sur tienden a alinearse paralelas a la cordillera de los Andes, y se observa una zona húmeda al este y una zona árida en el oeste del país debido al efecto orográfico.

La cordillera determina abundantes precipitaciones en cotas altas a barlovento de las montañas y desciende rápidamente a sotavento; es posible observar que los regímenes de precipitación cambian de muy húmedo a árido – semiárido en una distancia de aproximadamente 300 km.

Datos y Metodología

Para la elaboración del presente trabajo se consideraron datos de precipitación y temperatura de 32 estaciones meteorológicas, las cuales fueron seleccionadas por la disponibilidad de datos en el período 1997-2015 (Figura 1). Dicha información fue provista por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), y el Servicio Meteorológico Nacional y Departamento Provincial de Aguas de Río Negro.

La densidad de la red de estaciones considerada, ha permitido reflejar el gradiente oeste-este decreciente en precipitaciones y creciente en temperaturas y efectuar el cálculo del balance hídrico a distintas altitudes.

Los modelos mensuales de balance de agua son utilizados para examinar los componentes del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración, escorrentía) y para desarrollar clasificaciones climáticas (Thorntwaite, 1948).

El balance hídrico plantea los ingresos y salidas de agua en un determinado sistema pudiendo considerarse:

$$P + Q_{in} = EVP + \Delta S + Q_{out} \quad (1)$$

donde P es la precipitación (P,mm), Q_{in} es flujo de agua hacia dentro de la cuenca, EVP, (mm) es la evapotranspiración (suma de la evaporación de suelo, superficies de agua y plantas), ΔS es el cambio en el almacenaje de agua (mm), y Q_{out} es el flujo de agua que sale de la cuenca considerada. (Thornthwaite & Mather, 1953)

El balance hídrico mensual se calculó mediante un modelo con interfaz gráfica a partir del cálculo de las componentes del ciclo hidrológico para un lugar determinado. El modelo parte de la precipitación total mensual (mm), la temperatura media mensual (°C) y la latitud del área de estudio, que es utilizada para el cálculo de la longitud del día, se consideran además datos acerca de la capacidad de almacenaje del suelo y temperatura a partir de la cual la precipitación presenta fase sólida, se estiman además los factores de escorrentía y la proporción máxima de derretimiento de la nieve en función de la bibliografía.

Cuando la temperatura media se encuentra por debajo de un determinado valor, toda la precipitación puede ser considerada como nieve, si se encuentra por encima de un determinado valor mínimo, toda la precipitación puede considerarse como lluvia. Dentro del rango comprendido entre los dos valores se considera que la nieve disminuye desde un 100.0% a 0.0% de la precipitación total mediante la relación (Markstrom & Mc Cabe, 2007):

$$P_{nieve} = P \left(\frac{T_{lluvia} - T}{T_{lluvia} - T_{nieve}} \right) \quad (2)$$

$$P_{lluvia} = P - P_{nieve}$$

Donde P_{nieve} , es la precipitación nievea, T_{lluvia} es la temperatura asociada a solo lluvia; Mc Cabe y Wolock, (1999) proponen T_{lluvia} como 3.3 °C y T_{nieve} es la temperatura que separa precipitación nievea de la lluvia.

Los valores de T_{nieve} cambiarían con la altura; (Mc Cabe y Wolock, 1999) por debajo de los 1000.0 m, $T_{nieve} = -10.0^{\circ}\text{C}$ pareciera funcionar mejor y para ubicaciones sobre 1000 m, $T_{nieve} = -1.0^{\circ}\text{C}$ es más apropiado, estos valores fueron obtenidos en la etapa de calibración del modelo.

La escorrentía directa (ED, mm) se calculó estimando la fracción de P_{lluvia} (ED_{frac}) que se vuelve escorrentía. En función a análisis previos Wolock y Mc Cabe (1999b) proponen un valor típico de 5.0%. Por lo que la escorrentía directa puede expresarse como:

$$ED = P_{lluvia} \times ED_{frac} \quad (3)$$

El valor de P_{nieve} se acumula como $P_{nieve ac}$ y la fracción de nieve que se fusiona en un mes (FFN) se calcula a partir de la temperatura media mensual y una proporción de fusión máxima (PFMax) que generalmente se puede suponer 0.5 (Mc Cabe y Wolock, 1999; Wolock y McCabe, 1999b). Teniendo en cuenta ello, la fracción de nieve acumulada que se derrite en un mes se puede estimar como:

$$FFN = (T - T_{nieve}) / (T_{lluvia} - T_{nieve}) \times PF_{Max} \quad (4)$$

Si a FFN es mayor a PF_{Max} entonces se considera $FFN = PF_{Max}$ y el monto de nieve acumulada que se fusiona en un mes (NF) en milímetros de agua equivalente se calcula como:

$$NF = FFN \times NAc \quad (5)$$

Este valor se suma a P_{rest} para calcular el total de agua que se incorpora al suelo.

La evaporación real (EVR) se deriva del cálculo de evapotranspiración potencial (EVP), P_{total} , almacenaje de humedad del suelo neto (AH, mm). La EVP se estima a partir de la temperatura media mensual (T). En el balance la EVP se calcula según Hamon (1961):

$$EVP = 13.97 \times d \times D^2 \times W_t \quad (6)$$

EVP (mm/mes), d es el número de días del mes y D es la media mensual de horas de sol y W_t es el término de saturación de la densidad de vapor de agua (g/m^3) y T es la temperatura media mensual ($^{\circ}C$):

$$W_t: 4.95 \times e^{0.062 \times T / 100} \quad (7)$$

El modelo utilizado para el cálculo en el presente trabajo, analiza el agua entre los componentes del ciclo hidrológico usando un procedimiento mensual basado en la metodología originalmente presentada por Thornthwaite (Thornthwaite, 1948).

Resultados y Discusión

El análisis exploratorio de las series de temperatura indicó una tendencia hacia el calentamiento en el período 1997-2015, por lo que se efectuó el análisis de las series con un período más extenso de CRUTEM4 (CRU Climatic Research Unit, TEM: temperatura). CRUTEM es una base de datos derivados a partir de datos de temperatura cercanos a la superficie obtenidos en las estaciones meteorológicas de todo el mundo, desarrollada y mantenida en la University of East Anglia (Jones et al, 2012). A partir de dicha base de datos, se obtuvieron para su análisis las series para períodos extendidos de las estaciones meteorológicas Varvarco y Las Lajas.

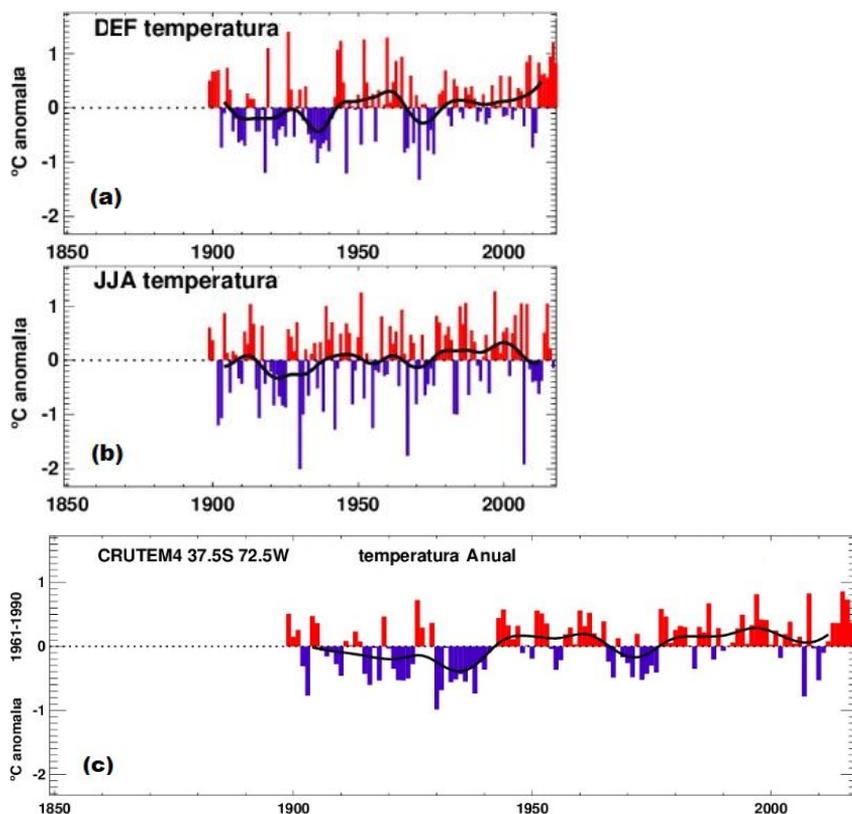


Figura 2. Anomalía de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) con respecto al período 1961-1990 para el área centrada en $37.7^{\circ}\text{ S} - 72.5^{\circ}\text{ W}$ (cercano a Varvarco) a partir de la base de datos CRUTEM4-2018-06, la línea negra presenta la línea suavizada de 20 años (1961-1990) (Osborn & Jones, 2014) para verano (a), invierno (b) y anual (c).

El análisis de la temperatura media mensual muestra períodos alternados de anomalías positivas y negativas, asociadas a temperatura del aire mayor (+) o menor (-) al valor medio de 20 años respectivamente. En la zona centrada en $37.7^{\circ}\text{ S} - 72.5^{\circ}\text{ W}$ (cercano a Varvarco) a partir de la base de datos CRUTEM4-2018-06, y considerando el periodo desde principios de 1900 a 2018 las anomalía de la temperatura media mensual del aire con respecto al período 1961-1990, presentó períodos consecutivos de temperaturas mayores y menores a la media con valores que no superaron $\pm 1.3^{\circ}\text{C}$ para los inviernos y veranos, con anomalías anuales menores a 1.0°C , sin embargo el período desde 1980 a la fecha presenta mayor frecuencia de anomalías cálidas insinuando un calentamiento del aire en el área a partir de la década del '80 en las estaciones Las Lajas, Varvarco y Chos Malal (Figura 2), si bien esto

repercute en un aumento en la capacidad del aire no contener humedad, con mayor evapotranspiración potencial las fuentes de humedad son escasas.

La precipitación en las estaciones Varvarco y Las Lajas a partir de la base de datos CRU³, en el período 1900 a 2018 mostró diferencias principalmente en la precipitación total anual (Figura 3), con media cercana a 200.0 mm para Las Lajas y 500.0 mm para Varvarco. Como se observa en la Figura 3, la estación Varvarco presenta una precipitación media mensual mayor a la registrada en Las Lajas con una alta dispersión (Varvarco, $P_{med\ m}: 43.1\ mm \pm 47.1\ mm$ y Las Lajas $P_{med\ m}: 21.8\ mm \pm 19.9\ mm$).

Para cada una de las meteorológicas presentadas en la Figura 1, se realizó el cálculo de las componentes del balance hídrico. En el período analizado la precipitación presentó una alta variabilidad oeste-este, marcada por el efecto orográfico de la barrera montañosa, la evapotranspiración también mostró un comportamiento siguiendo el gradiente altitudinal debido a los cambios de temperatura media asociados con la altitud.

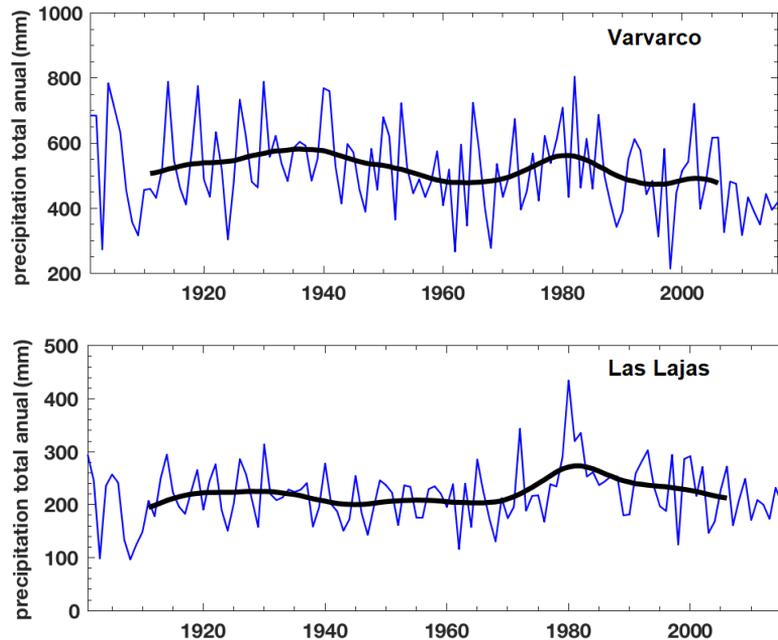


Figura 3. Precipitación anual total (mm) para las estaciones Varvarco y Las Lajas a partir de la base de datos CRUTEM4-2018-06, la línea negra presenta la línea suavizada de 20 años. (Harris, Jones, Osborn, & Lister, 2014).

³ <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>

De esta manera, la provincia presenta zonas diferenciadas, una más seca al este, donde no se cubren los requerimientos hídricos y la evapotranspiración es mayor que la precipitación todo el año, con un cambio hacia áreas más húmedas en zonas de terreno complejo en la cordillera.

En la Figura 4 se presentan tres estaciones con precipitación media mensual menor a 200.0 mm. Las estaciones Las Lajas y Neuquén Aero no presentaron los requerimientos de agua cubiertos en el periodo analizado, en Las Lajas la precipitación presentó un máximo en invierno cubriendo apenas los requerimientos de agua en mayo, junio y julio, mientras que en Varvarco el periodo con déficit hídrico incluyó solamente de diciembre a abril.

Las estaciones ubicadas en el extremo este presentan precipitación media anual menor a 250.0 mm. (Neuquén, $P_{\text{med anual}}$: 180.0 mm, con características de la provincia fitogeográfica del Monte, sin árboles o con especies arbóreas enanas, con dominio de las Zigofilaceas arbustivas, del género *Larrea* como *Larrea divaricata* (jarilla) y *cuneifolia* (jarilla), *Monttea aphylla* var. *Aphylla* (mata sebo) estas especies son propias de áreas con déficit hídrico, dado que prácticamente durante todo el año la evapotranspiración excede a la precipitación.

Considerando las estaciones ubicadas más al oeste del área, la Figura 5 presenta los balances de Co. Mirador, Co. Nevado, Casa Quila y Caviahue (Figura 1) en las que los requerimientos hídricos han sido cubiertos, con promedios mensuales que alcanzan valores cercanos a 700.0 mm.

En niveles altitudinales cercanos a 1200.0 m snm (sobre el nivel del mar), las precipitaciones presentaron totales anuales de precipitación en forma de lluvia (P_{II}) y equivalente agua nieve (EAN) superiores a 1000.0 mm (Co Mirador, $P_{II \text{ med anual}}$: 1108.0 mm, $\text{EAN}_{\text{med anual}}$: 1200.0 mm).

Las zonas de alta montaña pueden asociarse a la provincia fitogeográfica altoandina (Cabrera, 1985), donde la vegetación predominante son estepas gramíneas y arbustivas, y semidesierto de líquenes, con adaptaciones a condiciones xéricas extremas y presentó los requerimientos de agua cubiertos durante todo el año, algunos ejemplos se presentan en la Figura 5, donde coinciden las líneas de EVP y EVR indicando que los requerimientos de agua son cubiertos y el excedente se presenta como escorrentía.

Hacia el sur del área analizada en niveles cercanos a 800.0 m snm se registraron precipitaciones (P) medias anuales mayores a 2000.0 mm (Espejo Chico: $P_{\text{med anual}}$: 2009.0 mm), en forma de lluvia y nevadas que debido a la baja altura funden rápidamente. Esta área presenta las características de la provincia fitogeográfica Subantártica (Cabrera, 1985), la vegetación incluye bosque caducifolio y perennifolio, matorrales, praderas y tundra. Se destacan los bosques de cohiue, ciprés y ñire. Los requerimientos de agua son cubiertos en verano, y presentan precipitación de hasta 400.0 mm en invierno.

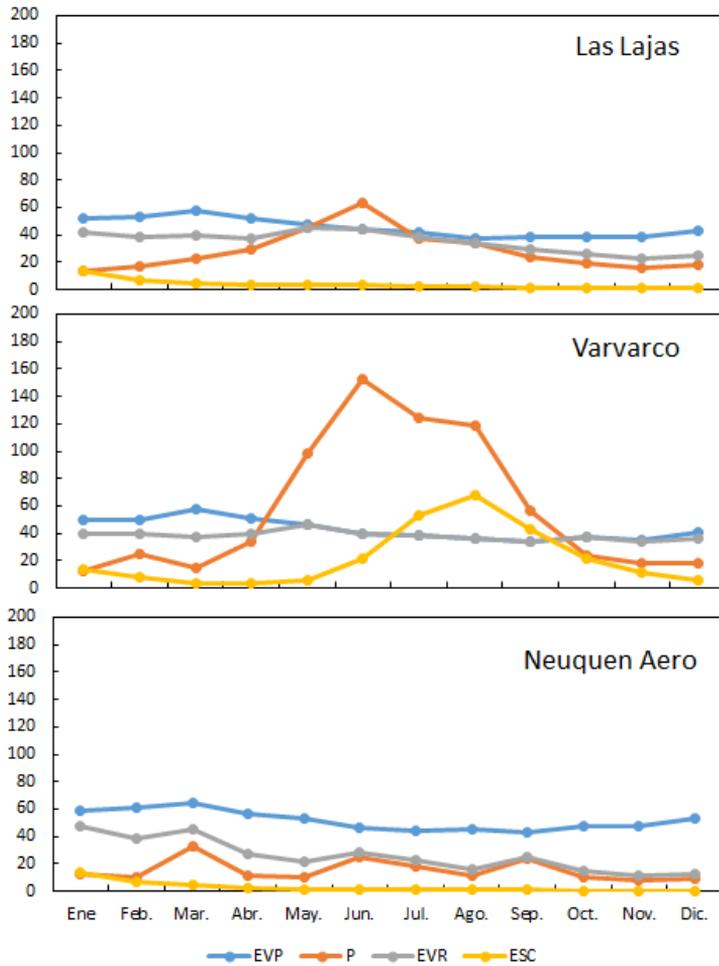


Figura 4. Precipitación total mensual (P, mm), evapotranspiración potencial (EVP, mm), evapotranspiración real (EVR, mm), escorrentía (ESC, mm) medias para el período 1997-2015 según estaciones de la red de telemedición de AIC (Las Lajas, arriba; Varvarco; medio; Neuquén Aero, abajo).

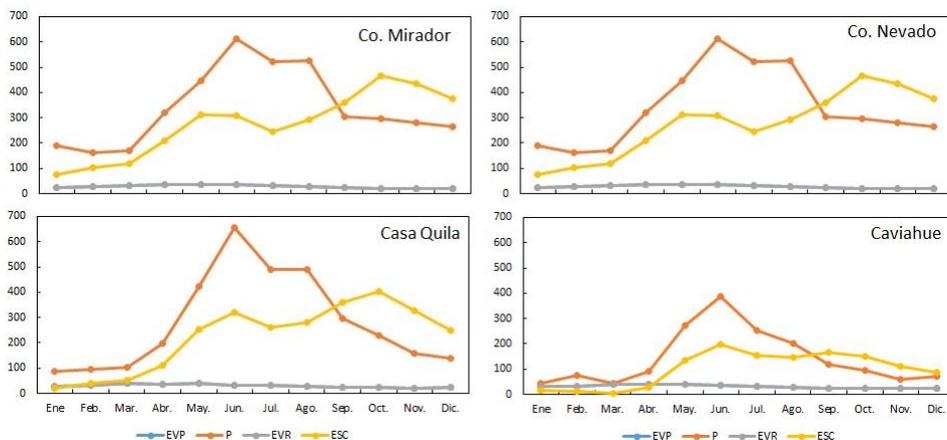


Figura 5. Precipitación total mensual (P, mm), evapotranspiración potencial (EVP, mm), evapotranspiración real (EVR, mm), escorrentía (ESC, mm) medias para el período 1997-2015 según estaciones de la red de telemedición de AIC (Co Mirador y Co Nevado, arriba; Casa Quila y Caviahue, abajo).

La zona central presenta características de la provincia fitogeográfica Patagónica, (Cabrera, 1985), con precipitaciones menores a 900.0 mm (Rahue: $P_{\text{med}}^{\text{anual}}$: 850.0 mm) al año, con condiciones más secas y a diferencia de las estaciones de montaña, el balance hídrico refleja un período de déficit con marcada evapotranspiración potencial en los meses más cálidos, presenta estepas arbustiva - herbácea, con vegas y mallines aptos para el pastoreo. La vegetación muestra adaptaciones a épocas de sequía y viento (Figura 4).

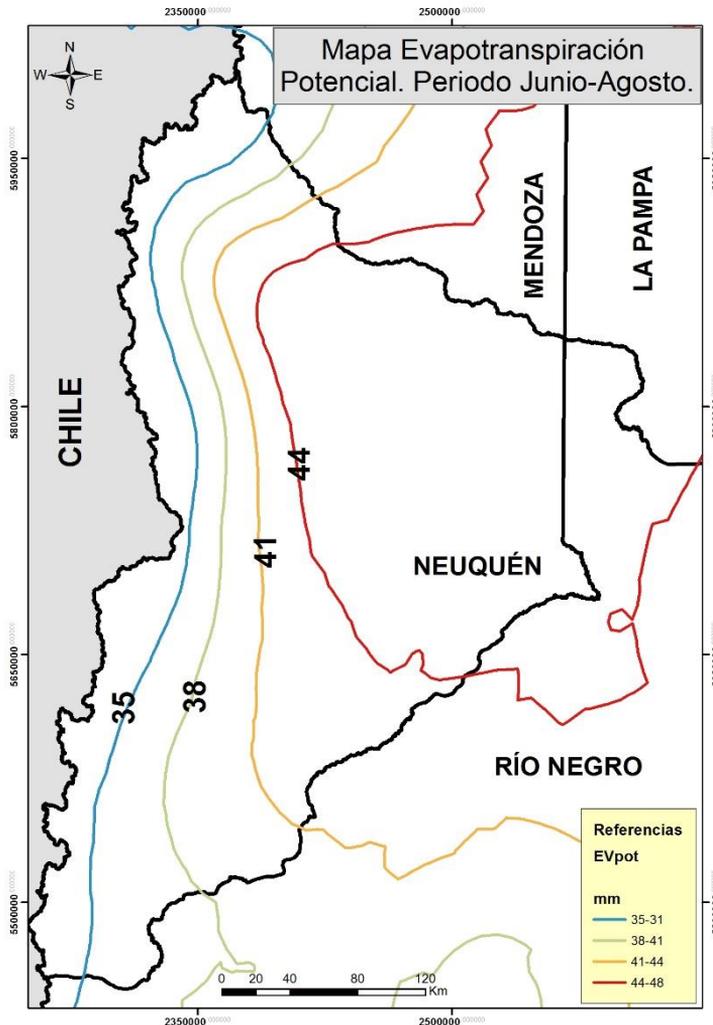


Figura 6 a). Distribución espacial de la Evapotranspiración potencial (mm) en invierno para el periodo 1997-2015 según estaciones presentadas en la Figura 1.

Las Figuras 6 q y b) y 7 a) y b) presentan la distribución espacial de la evapotranspiración potencial y precipitación en invierno (junio-agosto) y verano (diciembre- febrero) para el periodo 1997-2015 en la provincia del Neuquén.

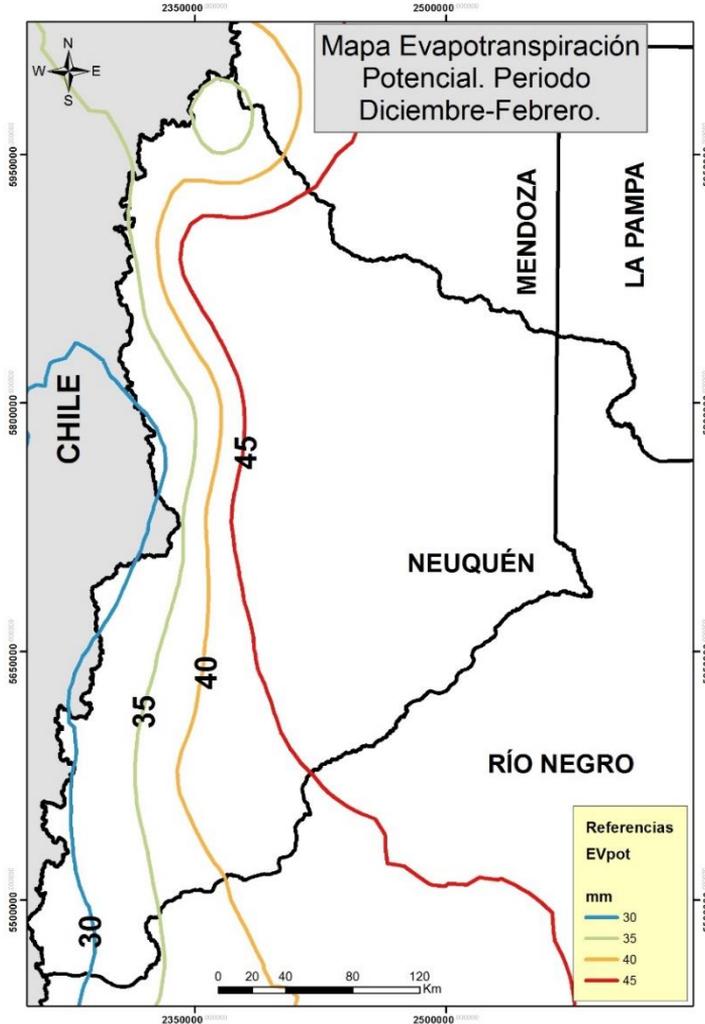


Figura 6 b). Distribución espacial de la Evapotranspiración potencial (mm) verano (derecha) para el periodo 1997-2015 según estaciones presentadas en la Figura 1.

Las evapotranspiración potencial presenta líneas con una disposición paralela a la cordillera de los andes, con gradientes que podrían asociarse a las variaciones altitudinales que se presentan entre el norte y el sur de la provincia.

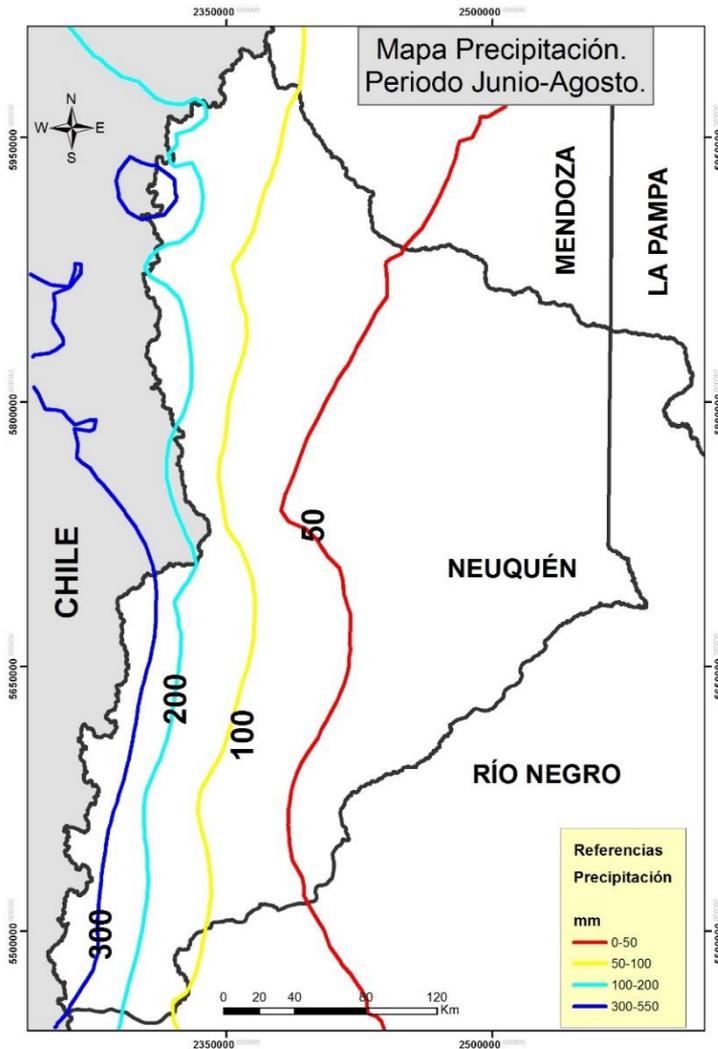


Figura 7 a). Distribución espacial de la Precipitación media mensual (mm) en invierno para el periodo 1997-2015 según estaciones presentadas en la Figura 1.

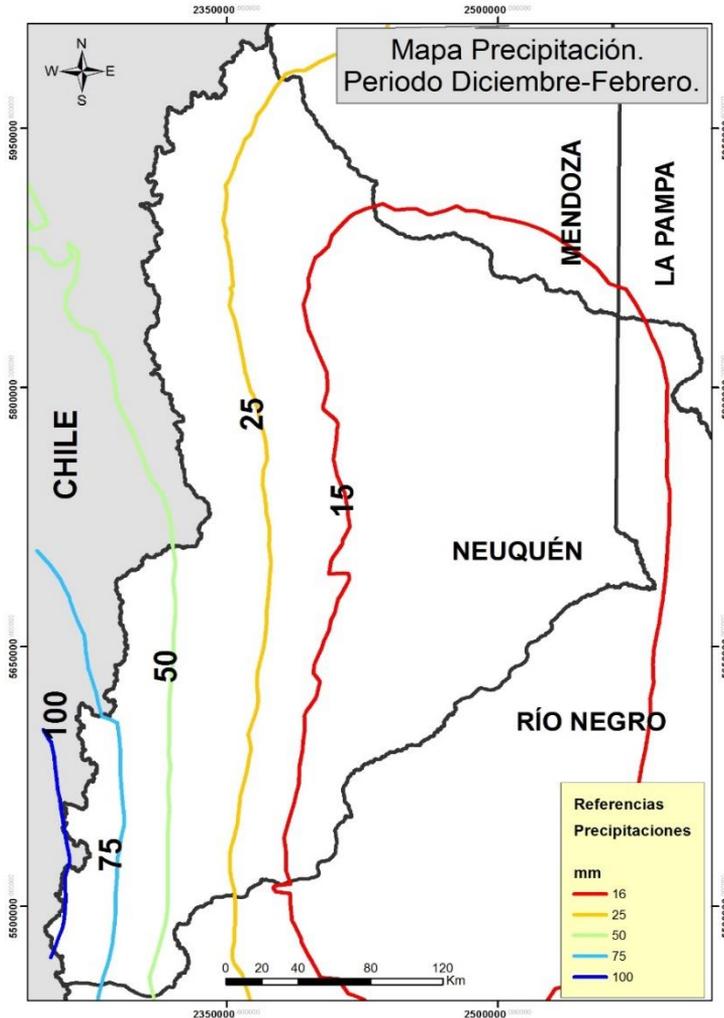


Figura 7 b). Distribución espacial de la Precipitación media mensual (mm) en verano para el periodo 1997-2015 según estaciones presentadas en la Figura 1.

Si bien en el análisis espacial se incorporaron estaciones en ubicaciones periféricas, la densidad de estaciones varía de manera considerable entre la zona oeste y la zona este, produciendo diferencias en la confiabilidad de los resultados cercanos al límite oriental del área. El análisis de invierno y verano no presenta diferencias

notorias en las áreas de cordillera, aumentando las diferencias estacionales hacia el este.

El análisis de la precipitación presenta una alta variación estacional con mayor precipitación media en invierno para toda el área en estudio.

Las estaciones en cordillera presentan un máximo de precipitación media en el mes de junio y un máximo de acumulación de nieve en agosto-setiembre. En esas estaciones, los requerimientos de agua se encontraron cubiertos durante todo el año. En la Figura 8 se presenta la marcha anual en las estaciones Buta Mallín y Arroyo Tábanos, que presentan este comportamiento, a partir del mes de junio, la capacidad de almacenaje del suelo se satura y se genera escorrentía superficial desde junio y un máximo de acumulación de nieve en el mes de agosto.

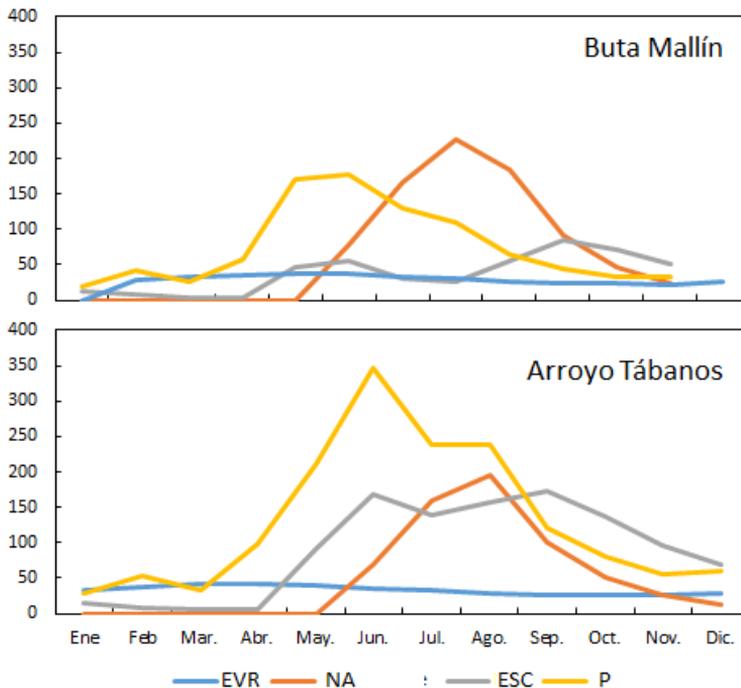


Figura 8. Variación anual de la escorrentía (ESC, mm), evapotranspiración real (EVR, mm), precipitación (P, mm), nieve acumulada (NA, mm)

Conclusiones

La región presenta marcadas diferencias de oeste a este en el régimen de precipitación. Las isohietas al norte de 40° S tienden a alinearse paralelas a la

cordillera de los Andes, y se observa una zona húmeda al este y una zona árida en el oeste del país hasta cercanías de la cordillera de los Andes debido al efecto orográfico.

La cordillera influye en el gradiente de las distintas componentes del balance de humedad, con abundantes precipitaciones en la alta cordillera y un rápido descenso a sotavento de las montañas, variando desde promedios de 1600.0 – 2000.0 mm en el oeste y 200.0 mm anuales de precipitación en el este del territorio neuquino. Aunque la distancia es poca, los regímenes de precipitación cambian de muy húmedo a árido - semiárido.

Desde el punto de vista de las actividades con utilización del recurso hídrico, las áreas ubicadas al oeste presentan exceso o requerimientos hídricos cubiertos en la mayor parte del año, lo que se ve reflejado en cambios en la vegetación natural, mientras que las áreas ubicadas al este presentan déficit de agua, con vegetación natural adaptada, por lo que el planteo de nuevos emprendimientos productivos debería considerar la incorporación de riego.

Bibliografía

- Cabrera, A. (1985). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Segunda Edición. ACME S.A.C.I.
- Dai, A., Trenberth, K.E. & Qian, T. (2004). A global dataset of Palmer drought severity index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5, 1117–1130
- Fasullo, J. & Sun, D.Z. (2001). Radiative Sensitivity to Water Vapor under All-Sky Conditions
- García N.O. (1994). South America Climatology. *Quaternary International*, 21, 7-27.
- Garreaud, R. D., & Aceituno, P. (2001). Atmospheric circulation over South America: Mean features and variability. Chapter 2 in: *The Physical Geography of South America*. T. Veblen, K. Young and A. Orme, Eds. Oxford University Press.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. & Lister, D.H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34, 623–642. doi: 10.1002/joc.3711.
- Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J., Harpham C., Salmon M. & Morice C.P., (2012): Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research* 117, D05127. doi: 10.1029/2011JD017139.
- Legates, D.R., & Mather, J.R. (1992). An evaluation of the average annual global water balance: *Geographical Review*, 82, 253–267.
- Mather, J.R. (1979). Use of the climatic water budget to estimate streamflow, in Mather, J.R., ed., Use of the climatic water budget in selected environmental water problems: Elmer, N.J., C.W. Thornthwaite Associates, *Laboratory of Climatology, Publications in Climatology*, 32(1), 1–52
- McCabe, G.J. & Markstrom, S.L. (2007). A monthly water-balance model driven by a graphical user interface: U.S. Geological Survey. Open-File report 2007-1088, 6 p.

- McCabe, J.G. & Wolock, D.M. (2016). Variability and Trends in Runoff Efficiency in the Conterminous United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 1-10. DOI: 10.1111/1752-1688.12431
- Mintz, Y. & Serafini, Y.V. (1992). A global monthly climatology of soil moisture and water balance. *Climate Dynamics*, 8: 13–27. doi: 10.1007/BF00209340
- Osborn T.J. & Jones P.D. (2014). The CRUTEM4 land-surface air temperature dataset: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth System Science Data* 6: 61-68. doi: 10.5194/essd-6-61-2014
- Prohaska, F. (1976). *World Survey of Climatology. Climates of Central and South America*. Edited by W. Schwerdtfeger, Elsevier Scientific Publishing Company. Cap. 2: The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay, 12, 13-112.
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate: *Geographical Review*, 38, 55–94.
- Trenberth KE (2011) Changes in precipitation with climate change. *Climate Research* 47:123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Trenberth K.E., & Shea D.J., (2005) Relationships between precipitation and surface temperature. *Geophysical Research Letters*, 32. L14703. doi: 10.1029/2005GL022760
- Wolock, D.M. & McCabe, G.J. (1999a). Explaining Spatial Variability in Mean Annual Runoff in the Conterminous United States. *Climate Research* 11:149-159.
- Wolock, D.M., & McCabe, G.J. (1999b). Effects of potential climatic change on annual runoff in the conterminous United States: *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 1341–1350.
- Yates, D.N. (1996). WatBal—An integrated water-balance model for climate impact assessment of river basin runoff: *International Journal of Water Resources Development*, 12, 121–140.