

CÁLCULO DE LA EVAPORACIÓN MEDIANTE DATOS SATELITALES EN LA CUENCA DEL SALAR DE RINCÓN (SALTA, ARGENTINA)

Ramiro Domínguez Paris^{1,3}, Luis Guarracino², Verónica Rocha Fasola³
ramiro.dominguezparis@gmail.com

¹CONICET, Polo Tecnológico Vaqueros, Salta, Argentina

²CONICET, CIGEOF, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

³Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Palabras clave: Evaporación, salares andinos, datos satelitales, minería de litio.

1) INTRODUCCIÓN

Los recursos de litio en Argentina se encuentran en la región de la Puna, ocupando el extremo sur del denominado “Triángulo del Litio” que comprende la región norte de Chile y sur de Bolivia. Esta región contiene más de la mitad de los recursos de litio del planeta que se presentan en depósitos de salmueras en cuencas cerradas. El conocimiento del proceso de evaporación en estas regiones resulta clave tanto para entender la formación de los depósitos de salmuera como para la explotación sustentable del litio.

En este trabajo se propone una metodología de cálculo de la evaporación en salares mediante datos satelitales. El proceso de evaporación depende no solo de las variables meteorológicas sino también de factores hidrogeológicos como la densidad del agua, la profundidad del nivel freático y la textura de los sedimentos. En el caso particular de los salares de la Puna los datos de campo son escasos o suelen pertenecer a compañías mineras, lo que dificulta su análisis. En este sentido, la información satelital combinada con información de campo disponible representa una alternativa valiosa para el estudio de la evaporación.

La metodología propuesta se aplicará a la cuenca del Salar de Rincón en la provincia de Salta. Las temperaturas medias en la región oscilan entre los 15° y -5°C a lo largo del año con grandes amplitudes térmicas diarias debido a la intensa radiación solar y un aire extremadamente seco. Las escasas precipitaciones anuales se producen principalmente durante el verano y como resultado solo subsiste poca vegetación muy especializada.

2) METODOLOGÍA

La evaporación (E_v) a escala de cuenca se estimará con la siguiente expresión general:

$$E_v = E_p k_s k_{nf} \quad (1)$$

donde E_p es la evaporación máxima o potencial para agua dulce, k_s un coeficiente de salinidad y k_{nf} un factor que controla la evaporación que se produce desde el nivel freático. Para estimar E_p se empleará la fórmula de Priestley y Taylor (1972) dada por:

$$E_p = \left[\alpha \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_n \right] f_c^{-1} \quad (2)$$

donde α es el parámetro de Priestley-Taylor, Δ es la pendiente de la curva de vapor saturado, γ la constante psicrométrica, R_n la radiación neta y f_c un factor de conversión de unidades.

Los parámetros α y Δ dependen de la temperatura del aire en superficie mientras que R_n depende de la radiación de onda corta recibida, el albedo y las radiaciones de onda larga ascendente y descendente.

Para estimar el coeficiente de salinidad se utilizará una expresión empírica obtenida por Ide (1978) para el salar de Atacama:

$$k_s = -3.7628d^2 + 6.3353d - 1.5725 \quad (3)$$

siendo d la densidad del agua expresada en gr/cm^3 . Finalmente, el factor hidrogeológico k_{nf} será evaluado mediante la expresión propuesta por Johnson y otros (2010) para cuencas del altiplano chileno:

$$k_{nf} = \begin{cases} 1 & z \leq z_1 \\ e^{-a_1(z-z_1)} & z_1 < z \leq z_2 \\ a_2 z^{-a_3} & z_2 < z \end{cases} \quad (4)$$

siendo a_1 , a_2 , a_3 , z_1 y z_2 parámetros empíricos que dependen de la textura del medio poroso, y z la profundidad del nivel freático. Resulta importante destacar que la evaporación solo resulta significativa cuando el nivel freático se encuentra cercano a la superficie.

3) RESULTADOS

La metodología propuesta fue utilizada para estimar la evaporación en el Salar de Rincón. La evaporación potencial E_p se calculó mediante la ecuación 2 utilizando datos mensuales de temperatura del aire y radiaciones de onda (larga y corta) de datos satelitales CERES (<http://ceres.larc.nasa.gov/>). El albedo se estimó en celdas de 1km por 1km a partir de datos OLI Landsat (<https://espa.cr.usgs.gov/>). Los productos satelitales de temperatura y radiación de onda larga incidente fueron validados previamente con datos de una estación meteorológica ubicada en el núcleo del salar.

Para estimar los factores k_s (ecuación 3) y k_{nf} (ecuación 4) se utilizaron datos de densidad y de niveles freáticos extraídos de informes de impacto ambiental disponibles (E&C asociados 2021 y Ausenco 2018). Los coeficientes de la ecuación 4 utilizados se definieron para las distintas litologías de la cuenca y corresponden a curvas que representan valores medios, altos y bajos de evaporación estimados por Johnson y otros (2010).

Una vez estimados los valores de E_p , k_s , k_{nf} para todo el salar y zonas aledañas, se calculó el valor de la evaporación E_v mediante la ecuación 1. En la figura 1 se ilustran los valores de cada uno de estos términos para el mes de noviembre del año 2018.

4) CONCLUSIONES

El patrón espacial de la evaporación en los salares del altiplano está fuertemente condicionada tanto por el albedo como por las condiciones hidrogeológicas. La metodología propuesta permite analizar el rol que cumple cada uno de estos factores y de este modo comprender mejor la dinámica de este complejo proceso. La utilización de datos satelitales para estimar la evaporación potencial permite salvar la limitación de datos meteorológicos existente en la zona. Los resultados en el salar de Rincón muestran que el fenómeno de evaporación se limita esencialmente a las zonas del núcleo y de mezcla, donde los niveles freáticos son someros y no superan el metro de profundidad. En la zona del núcleo el nivel

freático medio es de aproximadamente 30 cm pero la alta densidad del agua y la fuerte presencia de precipitados de cloruros en el medio poroso y superficies escabrosas reducen significativamente el proceso de evaporación. Estos resultados reafirman la hipótesis de que la evaporación en el núcleo de los salares suele ser muy baja.

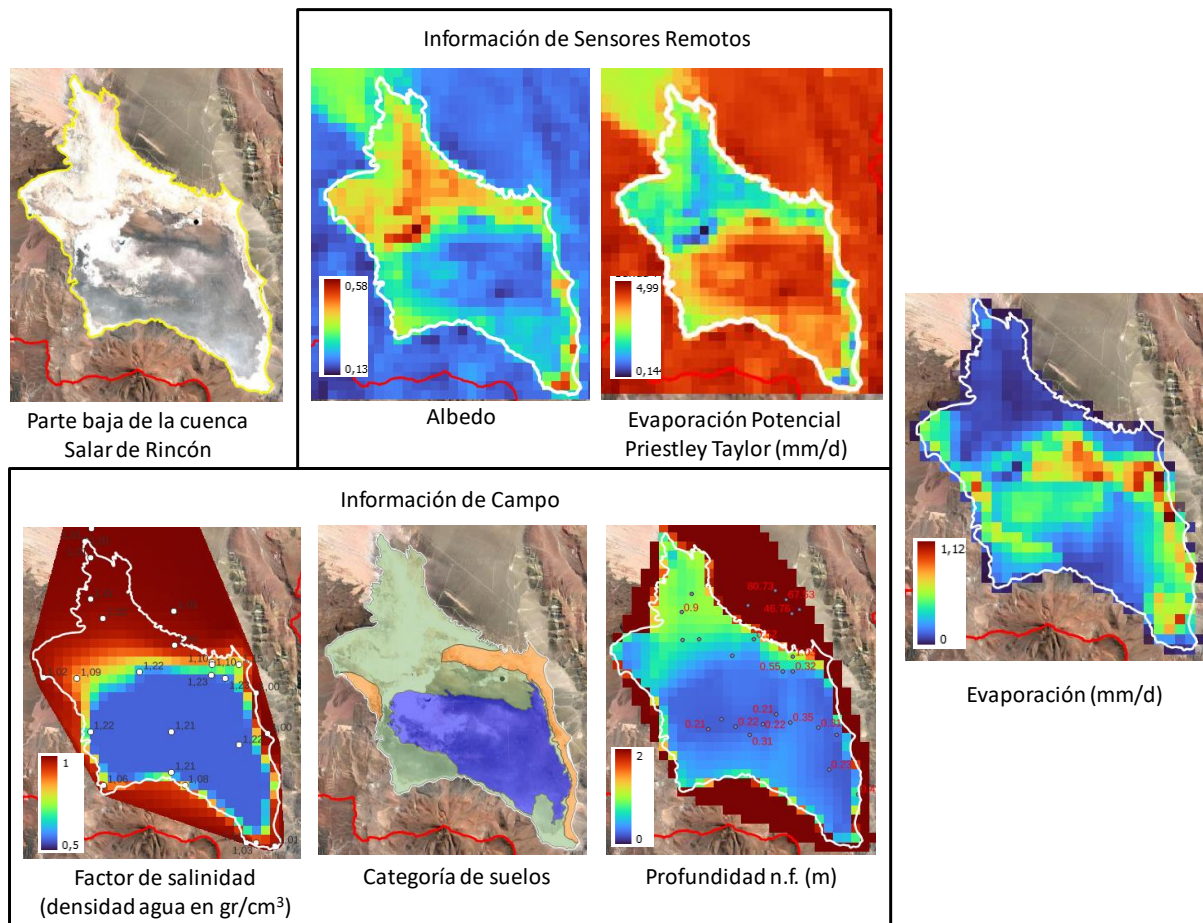


Figura 1: Distribución espacial de los datos de sensores remotos y de campo utilizados para estimar la evaporación en el Salar de Rincón (noviembre de 2018).

REFERENCIAS

Ide F., 1978: Cubicación del yacimiento salar de atacama. Memoria de Título, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Johnson, E., Yáñez, J., Ortiz, C. y Muñoz, J. 2010: Evaporation from shallow groundwater in closed basins in the Chilean Altiplano, Hydrol. Sci. J. 55(4), 624–635.

Priestley, C. H. B. y Taylor, R. J. 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review, 100 (2), 81-92.

E&C asociados, 2021: Informe de Impacto Ambiental. Etapa de Explotación Fase 3. Proyecto Rincón Puna Mining, Salar de Rincón, Dpto. Los Andes, Provincia de Salta.

Ausenco, 2018: Actualización de Informe de Impacto Ambiental del Proyecto Rincón Rincon Mining Limited, Dpto. Los Andes, Provincia de Salta.