

ESTIMACIÓN DE LA EROSIVIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE

Bastían Sáez B. y José Vargas B.

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile.
E-mail: bastisaez@udec.cl, jvargas@udec.cl

Introducción

La precipitación es uno de los elementos importantes del clima que afectan directamente la disponibilidad del recurso hídrico y que ha sido afectada por el efecto del calentamiento global (M. De Luis *et al.*, 2011). Bajo este contexto las zonas áridas resultan de gran interés, ya que la precipitación es de carácter errático con alta variabilidad temporal y espacial (Salas, 2000).

En el último tiempo la comunidad científica ha estado interesada en los procesos hidrológicos que se desarrollan en las zonas áridas, ya que estas se caracterizan por ser frágiles y sensibles a la degradación de vegetales y suelos (Lobo *et al.*, 2005). Para diferenciarlos de los procesos que ocurren en zonas húmedas se ha adoptado el término wadi, palabra árabe, que significa curso de agua efímero. Los wadis son causados generalmente por tormentas convectivas que desarrollan inundaciones repentinas amenazando a muchas comunidades y que se consideran la mayor fuente de recarga de agua subterránea (Sen, 2008).

Las tormentas convectivas en las zonas áridas generan procesos erosivos, que resultan ser lentos, recurrentes, progresivos e irreversibles. Estos procesos dependen de factores como el clima, relieve, tipo de suelo y antrópicos, y se pueden agrupar en erosionabilidad y erosividad (Castelán *et al.*, 2013).

La erosividad es la capacidad que tiene el agente geológico de separar partículas de suelo, en el caso de zonas áridas el agente geológico más importante corresponde a la precipitación. Para cuantificarla se usa un índice que considera la energía cinética; factor R de la *Universal Soil Loss Equation* (Ecuación universal de pérdida de suelo; USLE según sus iniciales en inglés) (Lobo y Bonilla, 2015). Para el cálculo de R es necesario la intensidad máxima con duración de 30 minutos, pero cuya información rara vez está disponible con buena cobertura espacial (Angulo-Martínez y Beguería, 2009).

Para estimar la erosividad se han establecido curvas de ajuste usando modelos lineales, potenciales y cuadráticos (Angulo-Martínez y Beguería, 2009). Preferentemente se usan índices de agresividad ya que se han formulado para evaluar la erosión hídrica y son de fácil cómputo debido a que requieren datos que generalmente se encuentran disponibles, como lo es la precipitación diaria.

El extremo norte de Chile dado sus condiciones climáticas se clasifica como de extrema aridez y se tiene antecedentes de ocurrencia de fenómenos wadis. Además, la mayoría de las mediciones pluviométricas son a escala diaria por lo que se tiene poca información de los procesos erosivos. Frente a esto surge la necesidad de estimar la erosividad de la precipitación en el Norte Grande mediante el uso de índices de agresividad con el fin a futuro de analizar el comportamiento espacial de la erosividad.

Área de estudio

La zona de estudio corresponde al denominado Norte Grande de Chile, que comprende cuatro regiones, que se ubican desde los 17,5° hasta los 29,3° latitud sur.

La circulación atmosférica desarrolla un área de alta presión en gran parte de la zona de estudio, lo que provoca la casi inamovilidad del sistema en general, que tiene como efecto actuar como bloqueo a la aproximación de los sistemas

frontales, los que son forzados a desviar su trayectoria (DMC, 2010).

Debido a su ubicación geográfica y al efecto orográfico, el Norte Grande presenta un régimen pluviométrico principalmente convectivo. En los meses de verano la banda de convergencia intertropical de Sudamérica se desplaza hacia el sur y la zona de máxima convección se ubica sobre el altiplano boliviano. Esta condición al coincidir con la máxima radiación solar en superficie, genera el desarrollo de nubes cumuliformes de gran desarrollo vertical durante el día, generando las consecuentes precipitaciones (DMC, 2010).

Metodología

a) Recopilación de información: La información de precipitación se obtuvo de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO), ya que dentro del área de estudio tienen divisiones mineras que registran precipitación (Chuquicamata y Salvador).

Se seleccionó las estaciones con al menos los 10 últimos años con registro continuo, en la Figura 1 se muestra la ubicación de las estaciones.

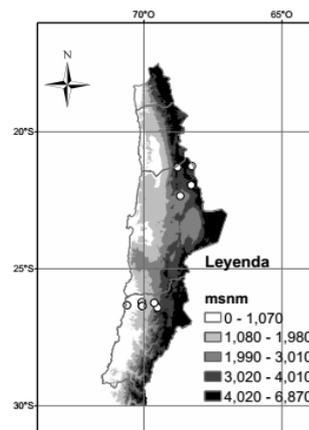


Figura 1.-Estaciones en estudio.

b) Individualización de eventos: Para la consideración de eventos erosivos se debe separar los que presenten un período de 6 horas con menos de 1.27 mm de lluvia y que la precipitación total sea mayor a 12.7 mm (Angulo-Martínez y Beguería, 2009). Este trabajo rebajó estas condiciones a 6 horas de período seco y precipitación total mayor a 1.27 mm.

c) Estimación de intensidad máxima en 30 minutos: A lo largo de los 10 años el lapso de medición es de una hora y en ciertos momentos se registraron eventos con intervalos de 5 minutos. A raíz de esto se decidió a estimar las intensidades máximas de 30 minutos usando la intensidad máxima horaria a través de siete relaciones de la forma que muestra la Ecuación 1 (García-Bartual y Schneider, 2001)

$$i_{max}(t) = f(t) \quad [1]$$

Donde i_{max} corresponde a la intensidad máxima en el tiempo t y $f(t)$ es una función de 2 o 3 parámetros, los cuales se estimaron mediante mínimos cuadrados.

Usando el criterio del R^2 ajustado se seleccionó la forma que presentó mejor desempeño para luego estimar la intensidad máxima de todos los eventos ocurridos en los 10 años de análisis.

d) Cálculo del factor R

Para el cálculo del factor R se usaron la Ecuación 2 y Ecuación 3 (Angulo-Martínez y Beguería, 2009).

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (EI_{30})_k \text{ [MJ mm/año ha h]} \quad [2]$$

$$EI_{30} = \left(\sum_{r=1}^0 (0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05i_r)] \right) v_r I_{30} \quad [3]$$

Donde n es el número de años, m es el número de eventos erosivos en el año j, EI_{30} es la erosividad del evento k en MJ *mm/ha*h, i_r es la intensidad de precipitación del lapso r en mm/h, v_r es el volumen de precipitación en mm e I_{30} corresponde a la intensidad máxima en 30 minutos en mm/h, que corresponde a la estimada en c).

Para evaluar el desempeño se usó el criterio de Nash-Sutcliffe (N-S) para comparar erosividad de los eventos usando I_{30} medida v/s I_{30} estimada.

e) Ajuste curvas

Para las estaciones en estudio se ajustan curvas (Ecuación 4)

$$R = f(I) \quad [4]$$

Donde R corresponde al factor de USLE e I corresponde a índice de agresividad ponderado en el período de análisis. Mientras que f corresponde a funciones del tipo lineal, potencial y cuadrática, donde los parámetros se determinan usando mínimos cuadrados.

Se usó el índice de Fournier (IF), Índice Modificado de Fournier (IMF), índice Modificado de Fournier Maule (IMFM), índice de Erosividad Total (IET), índice de Ferro (F) y también se incluyó el valor de precipitación anual (PP).

Para evaluar el desempeño de los ajustes se usó el coeficiente de correlación de Pearson (r) y complementariamente se calculó la eficiencia de Nash-Sutcliffe (N-S).

Resultados

De la individualización de eventos erosivos se encontraron un total de 56 donde se tiene la I_{30} medida. En estos se calculó EI_{30} y se comparó con la erosividad calculada con la I_{30} estimada. La Tabla 1 muestra los valores de N-S para la intensidad máxima en 30 minutos y erosividad del evento.

Tabla 1.- Valores de N-S para las estimaciones de I_{30} e EI_{30}

Criterio	I_{30}	EI_{30}
Nash-Sutcliffe	0,787	0,758

El valor de N-S para EI_{30} está influenciado principalmente por la estimación de I_{30} y en menor medida por la discretización en los lapsos r. Aún cuando no se obtuvieron buenos valores de eficiencia, se consideraron aceptables. La comparación de EI_{30} medido v/s EI_{30} estimado se muestra en la Figura 2.

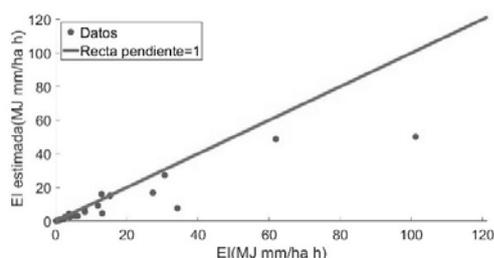


Figura 2.- Comparación entre EI_{30} estimado e EI_{30} medido.

Se observa que hay dos eventos con alta intensidad con subestimaciones por parte del modelo, esto no se debe a un mal ajuste, sino que la medición hecha con ventana fija no es capaz de encontrar la intensidad máxima en una hora por lo que se estima I_{30} a partir de la máxima intensidad horaria.

En el ajuste de curvas se encontró que en la mayoría de los casos la curva potencial con dos parámetros presentaba el mejor ajuste, solo en el caso de la precipitación anual el ajuste lineal presentó mejor desempeño. La Tabla 2 presenta los valores de coeficiente de correlación de Pearson para los distintos ajustes.

Tabla 2.- Eficiencia para los ajustes de curva $R=f(i)$

Criterio	PP	IF	IMF	F	IMFM	IET
r	0,98	0,91	0,96	0,93	0,97	0,77

Es posible identificar a la precipitación anual como el mejor indicador para estimar el factor R, seguida de muy de cerca por IMFM e IMF.

La Figura 3 muestra la comparación entre Factor R y Factor R estimado a partir del mejor ajuste, que corresponde a $R=f(PP)$.

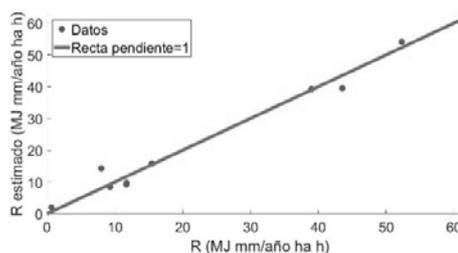


Figura 3.- Comparación entre R y R estimado a partir de PP.

De los resultados obtenidos se puede concluir que es posible estimar de buena forma el factor R usando el valor de precipitación anual media. Aunque hay que tener en consideración que el factor R medido no sigue el procedimiento de la USLE ya que se usó una estimación de I_{30} a partir de intensidad máxima horaria por lo que el desafío está en mejorar la eficiencia de estimación del EI_{30} con el fin de lograr analizar el comportamiento espacial del factor R en el área de estudio.

Referencias

- Angulo-Martínez, M. y S. Beguería (2009) "Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain)" *Journal of Hydrology*, Vol. 379, No 1, pp 111-121.
- Castelán, R., V. Tamariz, G. Linares y A. Cruz (2013) "Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México" *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Vol. 328, No 83, pp 28-40.
- De Luis, M., J.C. González-Hildago, M. Brunetti y L.A. Longares (2011) "Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005" *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol 11, No 5, pp 1259-1265.
- DMC (2010) *Climatología de Chile*. Dirección Meteorológica de Chile
- García-Bartual R., M. Schneider (2011) "Estimating Maximum Expected Short-Duration Rainfall Intensities from Extreme Convective Storms" *Phys. Chem Earth (B)*, Vol 26, No 9, pp 675-681.
- Lobo, D., D. Gabriels, F. Ovalles, F. Santibañez, M.C. Moyano, R. Aguilera, R. Pizarro, C. Sangueza y Urrea (2005) *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*. CAZALAC. Unesco
- Lobo, G. y C. Bonilla (2015) "Effect of temporal resolution on rainfall erosivity estimates in zones of precipitation caused by frontal systems" *Catena*, Vol. 135, pp 202-207.
- Salas, J. D. (2000) "Hidrología de zonas áridas y semiáridas" *Ingeniería del agua*, Vol. 7, No 4, pp 409-429.
- Sen, Z. (2008) *Wadi Hydrology*. CRC Press. New York.