

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXIII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**AGRESIVIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE**

**BASTIÁN SÁEZ B. <sup>1</sup>**  
**JOSÉ VARGAS B. <sup>2</sup>**

**RESUMEN**

El extremo septentrional de Chile presenta características de zonas áridas, donde la precipitación principalmente es de origen convectivo, lo que conlleva intensidades altas en un espacio y tiempo reducido. A este patrón se le asocia el término agresividad, lo cual se ha cuantificado mediante el uso de índices. En el extremo norte de Chile poco se ha estudiado la agresividad, pero sus consecuencias (wadís) son ampliamente conocidas por las múltiples pérdidas humanas y económicas que dejan. La presente investigación tuvo como propósito evaluar los índices de agresividad de la precipitación en el Norte Grande de Chile, para esto fue necesario analizar el comportamiento espacial de los índices de agresividad y también aplicar un análisis de tendencia para examinar la variabilidad temporal de los índices.

Los resultados de la investigación indicaron que la agresividad tiene un evidente patrón espacial; aumento de los índices desde la zona litoral hacia el altiplano, donde los máximos se ubicaron en cercanías del Lago Chungará. En lo relativo al análisis de tendencia solo se observó indicios de a la disminución de los índices de agresividad en el extremo norte atribuible a una disminución de la concentración y del monto de precipitación.

---

<sup>1</sup>Ingeniero Civil y estudiante de MSc, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción- [bastisaez@udec.cl](mailto:bastisaez@udec.cl)

<sup>2</sup>Profesor Asociado, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción- [jvargas@udec.cl](mailto:jvargas@udec.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

La precipitación es uno de los elementos importantes del clima e incide directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos. En el último tiempo el calentamiento global ha modificado el patrón de la precipitación a escala global; como lo indica el reporte elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático (De Luis et al., 2011; Caloiero, 2014)

La precipitación se ha estudiado en profundidad a escala anual pero no así su agresividad; la que se refiere a la concentración de la precipitación en períodos cortos de tiempo (Vega y Febles, 2008). La agresividad de la precipitación provoca impactos ambientales relacionados con diversos riesgos naturales por lo que resulta conveniente conocer su variabilidad espacial y temporal con el fin de adoptar medidas de prevención y mitigación (García-Barrón et al., 2015).

En zonas áridas y semiáridas la precipitación es de carácter errático con una alta variabilidad temporal y espacial (Salas, 2000). A escala diaria los registros presentan una particular distribución; la mayoría de los días no presentan precipitaciones mientras que unos pocos concentran el total del monto anual (Sen, 2008).

En el último tiempo la comunidad científica ha estado interesada en los procesos hidrológicos que se generan 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 de origen arábico, que significa cursos de agua efímeros. 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. Los procesos erosivos se pueden agrupar en factores de energía y resistencia, donde a los primeros se le asocia la agresividad de la precipitación (Castelán et al., 2014). Para cuantificar la agresividad se enunció el índice modificado de Fournier por Arnoldus en 1977 (Angulo-Martínez y Beguería, 2009), el cual ha sido modificado a través de los años con el objetivo de generar correlaciones con el transporte de sedimentos y/o con la capacidad de erosión de la precipitación.

La zona del Norte Grande de Chile, debido a sus condiciones climáticas de radiación, temperatura y precipitación, se clasifica como árida. En esta zona se tienen antecedentes de ocurrencia de fenómenos wadis que han dejado decenas de muertos y múltiples pérdidas económicas como lo fue el acontecido en marzo del 2015 en la región de Atacama.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la agresividad de la precipitación en el Norte Grande de Chile mediante la aplicación de índices. Para esto es necesario realizar mapas que muestren la cuantificación de los índices con el fin de analizar el comportamiento espacial. Además, se requiere aplicar un análisis de tendencia para examinar la variabilidad temporal de los índices de agresividad con la precipitación anual y su vinculación.

## 2. ÍNDICES DE AGRESIVIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

Los índices de agresividad se clasifican en dos tipos: índices de concentración, que tienen como valor de salida un adimensional, que se mueve en un rango acotado de valores, e índices de concentración y cantidad, que tienen como resultado una lámina de precipitación en mm.

Para estudiar el transporte de sedimentos y la erosividad de la precipitación, que corresponden a dos atributos importantes en el fenómeno wadi, se han utilizado los índices de concentración y cantidad.

### Índices de concentración y cantidad

Los índices de concentración y cantidad tienen origen en el índice de Fournier (IF), definido en 1960 (De Luis et al., 1997) y que muestra alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía. Posteriormente se propuso el índice modificado de Fournier, que corresponde a una modificación hecha al IF por Arnoldus en 1977, citado por De Luis et al. (1997). Se trata del índice más usado en la evaluación de erosión hídrica y que ha sido estudiada su relación con el factor R de la Universal Soil Loss Equation (Ecuación de pérdida de suelo; USLE según sus iniciales en inglés).

Luego se enunciaron otros índices con distintas configuraciones como el índice F (Ferro, 1991; citado por Ferro y Porto, 1999), índice modificado de Fournier Maule (Cornejo, 2006; citado por Olivares, 2009), índice de erosividad total (Vega y Febles, 2008), índice de Fournier anual (Gómez, 1991; citado por Castelán et al., 2014) y la variante del índice de Fournier anual (Rey, 1996; citado por Castelán et al., 2014).

Los índices de agresividad estudiados requieren distinto dato de entrada; precipitación mensual o precipitación diaria (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación de índices de agresividad según dato de entrada

| <b>Precipitación diaria</b>         | <b>Precipitación mensual</b>        |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Índice de Fournier Anual            | Índice de Fournier                  |
| Índice de Fournier Anual (variante) | Índice Modificado de Fournier       |
|                                     | Índice F                            |
|                                     | Índice Modificado de Fournier Maule |
|                                     | Índice de Erosividad Total          |

En la Tabla 2 se muestran las expresiones que siguen cada uno de los índices.

**Tabla 2.** Ecuaciones para la cuantificación de los índices de agresividad

| Índice                              | Ecuación   |
|-------------------------------------|--|
| Índice de Fournier                  | $IF_j = \frac{P_{\max_j}^2}{P_j}$  |
| Índice modificado de Fournier       | $IMF_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{ij}^2}{P_j}$   |
| Índice F                            | $F = \frac{P_m}{12} \left[ \frac{\sum_{j=1}^N P_j (1 + CV^2(p_{i,j}))}{\sum_{j=1}^N P_j} \right]$  |
| Índice modificado de Fournier Maule | $IMFM_j = \frac{(\sum_{i=1}^{12} P_{ij})^2}{P_m}$  |
| Índice de erosividad total          | $IET_j = IMF_j \cdot ICP_j$  |
| Índice de Fournier anual            | $IdF = \frac{P_{m_{pd}}^2}{PT_{pd}} \quad IFA = \sum_{i=1}^{i=36} IdF_i$                           |
| Índice de Fournier anual (variante) | $IdF' = \frac{\sum_{i=1}^n P_{m_i}^2}{\sum_{i=1}^n P_{m_i}} \quad IFAv = \sum_{i=1}^{i=36} IdF'_i$ |

Donde  $P_{\max_j}$  es la precipitación máxima mensual dentro del año  $j$  en mm,  $P_j$  es la precipitación anual del año  $j$  en mm,  $P_{ij}$  corresponde a la precipitación del mes  $i$  en el año  $j$  (mm),  $P_m$  es la precipitación media anual (mm) en los  $N$  años de estudio,  $CV(p_{i,j})$  se refiere al coeficiente de variación de la precipitación mensual,  $P_{m_{pd}}$  es la precipitación máxima diaria dentro del período decadal en mm,  $PT_{pd}$  es la precipitación total del período decadal en mm y  $P_{m_i}$  se refiere a la precipitación media diaria del día  $i$  dentro del período decadal.

Para algunos de estos índices; IF, IMF, IET e IFA, se definen rangos de clasificación donde se le asocia un nivel de agresividad según el valor obtenido. (Castelán et al., 2014; Lobo et al., 2005; Vega y Febles, 2008). (Tabla 3)

**Tabla 3.** Clases de los índices de agresividad

| IF    | IMF     | Clasificación | IET       | Descripción de clase | IFA     | Grado de agresividad |
|-------|---------|---------------|-----------|----------------------|---------|----------------------|
| <15   | <60     | Muy bajo      | <1500     | Baja                 | <140    | Leve                 |
| 15-30 | 60-90   | Bajo          | 1500-2500 | Moderada             | 140-210 | Baja                 |
| 30-50 | 90-120  | Moderado      | 2500-5000 | Alta                 | 210-280 | Media                |
| 50-65 | 120-160 | Alto          | >5000     | Muy alta             | 280-350 | Alta                 |
| >65   | >160    | Muy alto      |           |                      | >350    | Muy alta             |

### **3. METODOLOGÍA**

#### **Área de estudio**

La zona de estudio corresponde al denominado Norte Grande de Chile, que comprende las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, 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 (hasta 26° latitud sur) lo que provoca lento desplazamiento de los vientos del oeste de latitudes medias y altas. Lo anterior se refleja en 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, que se presenta casi exclusivamente en los meses de verano. En este período, 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).

#### **Recopilación de información**

La información de precipitación se obtuvo de dos fuentes de información, que corresponden a lo proporcionado por la Dirección General de Aguas (DGA) y por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Ambas fuentes presentaron registros de precipitación diaria, lo que hace posible construir y/o tener los registros mensuales y anuales.

Luego se realizó un pre proceso de la información pluviométrica, donde se consideró un período de análisis de 30 años, ya que MOP-DGA (1987) indican que resulta ser un período suficientemente representativo de las condiciones hidrológicas medias.

Lobo et al. (2005) señalan que el primer análisis que se debe realizar es verificar que las observaciones son consistentes, o sea, que la estación haya permanecido en las mismas condiciones sin cambiar instrumental o condiciones del predio. Una vez que se verifica la consistencia, se realiza el relleno de información faltante ya sea porque el dato no fue observado o porque se sabe que es erróneo. En la zona de estudio, caracterizada por ser una zona climática del tipo árida, la precipitación es de carácter errático y muy variable en el tiempo y espacio (Salas, 2000). Además, los patrones climáticos son forzados por el efecto orográfico de baja escala y la ocurrencia de lluvias convectivas en intervalos de tiempo y espacios acotados (Sen, 2008). Considerando lo anteriormente expuesto, se decidió omitir los procedimientos de análisis de consistencia y relleno, ya que no se cumplen los supuestos que siguen las metodologías por lo que se está propenso a obtener precipitaciones en un rango amplio de valores.

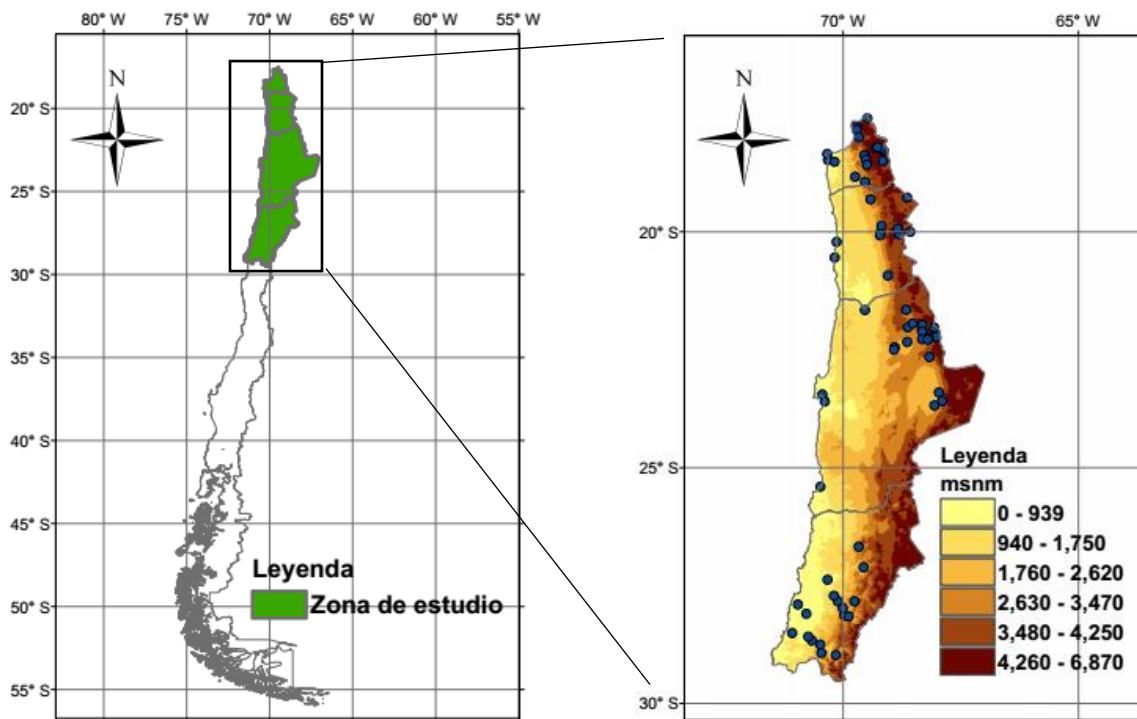
El procedimiento que se siguió consiste en realizar un pre proceso a los datos pluviométricos para establecer el número de estaciones que se considerarán en el estudio. Dado que se omitió el relleno, las series de precipitaciones mayoritariamente fueron incompletas. Para determinar los años que entraron en estudio se exigió un mínimo de nueve meses con información completa y que los tres meses restantes fueran aceptados según un procedimiento estadístico, el cual acepta los registros si se tiene más de 20 días medidos o si la precipitación medida no es menor que el promedio histórico menos la desviación estándar del mes en cuestión.

Finalmente se obtuvo un total de 66 estaciones pluviométricas, cuya distribución por región se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Distribución estaciones pluviométricas en estudio

| Región             | Estaciones DGA | Estaciones DMC | Total |
|--------------------|----------------|----------------|-------|
| Arica y Parinacota | 16             | 1              | 17    |
| Tarapacá           | 10             | 1              | 11    |
| Antofagasta        | 19             | 2              | 21    |
| Atacama            | 17             | 0              | 17    |

En la Figura 1 se muestra el área de estudio, su ubicación y el modelo digital de elevaciones, y en puntos de color azul se presenta la distribución espacial de las estaciones en estudio.



**Figura 1.** Zona de estudio y distribución espacial de estaciones pluviométricas

## **Aplicación de los índices de agresividad**

A las 66 estaciones seleccionadas, se le aplicaron los siete índices de agresividad de precipitación estudiados. Se hizo notar que hay índices donde se obtuvo solo un valor para el período de estudio como lo es para el índice F y el índice de Fournier (variante), mientras que para el resto de índices se extrajo un valor para cada año donde se consideró información completa.

## **Elaboración de mapas de índices de agresividad**

Se realizó la interpolación espacial del tipo *kriging* para los siete índices en estudio. Se generaron dos tipos de mapas, el primero consistió en clasificar en escala de colores según los rangos propuestos en la bibliografía. El segundo tipo de mapa se realizó para los siete índices de agresividad y consistió en clasificar los datos en cinco rangos usando el método de rupturas naturales (Jenks), que según ESRI (2010) genera cortes de clase que se caracterizan por agrupar mejor los valores similares y maximizar diferencias entre clases.

## **Vinculación agresividad con precipitación anual**

Para el desarrollo del análisis de la vinculación se seleccionó el índice modificado de Fournier y el índice de Fournier anual. A la serie de precipitación anual y a la de los dos índices definidos se aplicó el test de Mann-Kendall (M-K), que corresponde a una prueba estadística no paramétrica basada en rangos y es utilizada por varios investigadores para detectar tendencias en datos pluviométricos (Chatterjee et al., 2016).

De los resultados de la aplicación del test M-K, el principal foco fue identificar tendencia opuesta entre agresividad y precipitación anual, es decir, tendencia positiva en algún índice y tendencia negativa en monto anual de lluvia o viceversa.

## **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **Índices de agresividad**

En la Tabla 5 se muestra los valores máximos y mínimos obtenidos para cada uno de los índices en estudio y las respectivas estaciones pluviométricas donde se obtuvieron.

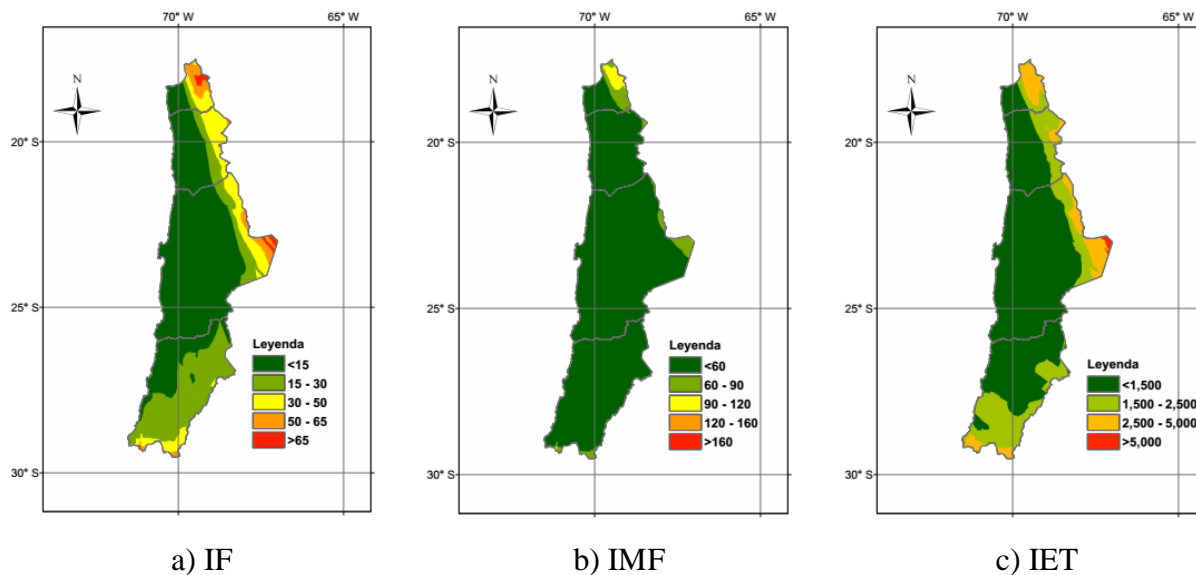
Se observó que los máximos se ubicaron en dos estaciones en el altiplano de la región de Arica y Parinacota en cercanías del Lago Chungará mientras que los mínimos en dos estaciones de la zona litoral.

**Tabla 5.** Valores extremos de los índices de agresividad

| Índice   | Máximo |                | Mínimo |               |
|----------|--------|----------------|--------|---------------|
|          | Valor  | Estación       | Valor  | Estación      |
| IF       | 68.0   | Chucuyo Retén  | 0.3    | Quillagua     |
| IMF      | 110.3  | Chucuyo Retén  | 0.3    | Quillagua     |
| Índice F | 120.9  | Chucuyo Retén  | 2.7    | Arica Oficina |
| IMFM     | 405.7  | Chungara Ajata | 2.9    | Quillagua     |
| IET      | 3834.4 | Chucuyo Retén  | 145.2  | Quillagua     |
| IFA      | 68.7   | Chungara Ajata | 0.2    | Quillagua     |
| IFA2     | 44.5   | Chucuyo Retén  | 0.2    | Quillagua     |

### Mapas de índices de agresividad categorizados

Para los índices que fueron clasificados según categorías, que corresponden al IF, IMF, IET y las dos variantes del índice de Fournier anual, se le generaron mapas, los que se muestran en la Figura 2.



**Figura 2.** Distribución espacial índices categorizados

De lo obtenido de la aplicación de los índices y de la generación de mapas fue posible construir la Tabla 6, donde se muestra el porcentaje de estaciones y porcentaje del área de estudio que quedó clasificada según las distintas categorías definidas en la bibliografía.



**Tabla 6.** Distribución porcentual de estaciones y área de estudio según rangos de clasificación

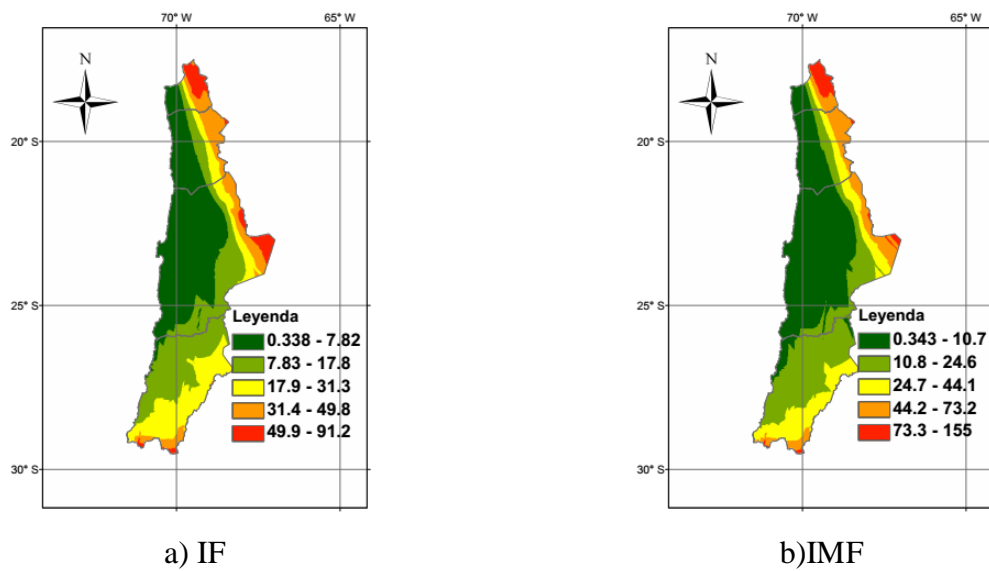
| Clasificación | IF   |      | IMF  |      | Clasificación | IET  |      |
|---------------|------|------|------|------|---------------|------|------|
|               | % E  | % A  | % E  | % A  |               | % E  | % A  |
| Muy bajo      | 33.3 | 60.0 | 81.8 | 94.8 | Baja          | 47.0 | 70.5 |
| Bajo          | 34.8 | 25.0 | 12.1 | 3.9  | Moderada      | 28.8 | 20.7 |
| Moderado      | 18.2 | 11.0 | 6.1  | 1.3  | Alta          | 24.2 | 8.4  |
| Alto          | 10.6 | 3.2  | 0.0  | 0.0  | Muy alta      | 0.0  | 0.4  |
| Muy alto      | 3.0  | 0.9  | 0.0  | 0.0  |               |      |      |

Al prestar atención a los valores se presentaron situaciones similares en término de estaciones y área interpolada; gran parte del área quedó clasificada en niveles bajos de agresividad y pequeñas porciones mostraron valores asimilables con agresividad alta, que corresponden a la zona altiplánica de la región de Arica y Parinacota.

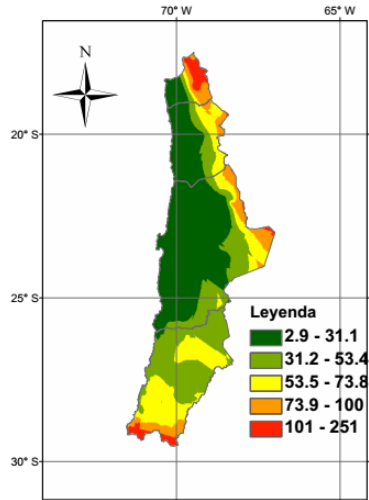
No fue necesario incluir en el análisis a los índices de Fournier anual, ya que se observó que la totalidad de la superficie quedaba clasificada con agresividad leve. Aquí se puede concluir que la agresividad es leve en toda el área de estudio, lo que daría a entender que la precipitación a escala temporal diaria no es agresiva, lo que resultó ser una conclusión errónea considerando el origen convectivo de la lluvia y lo mostrado por los otros índices (IF, IMF e IET). Es posible entonces que la clasificación usada para los índices de Fournier anual no sea aplicable al Norte Grande de Chile.

### Mapas de índices de agresividad por rangos

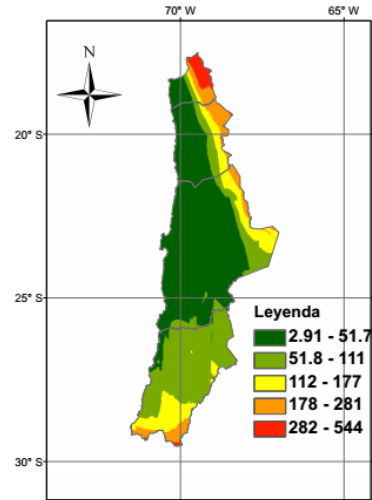
Desde la Figura 3 a la Figura 5 se muestran los mapas de los siete índices de agresividad en estudio, que se clasificaron según el método de las rupturas naturales. En la escala de colores la agresividad aumenta desde el verde a lo rojo.



**Figura 3.** Distribución espacial de índices de agresividad

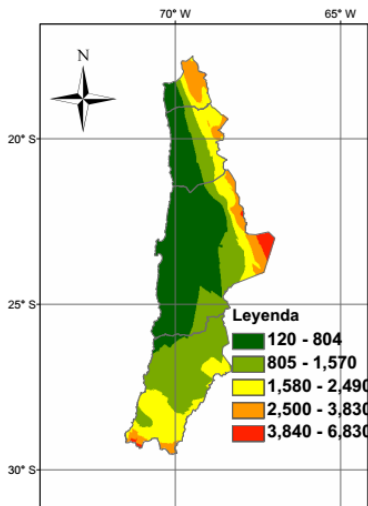


a) F

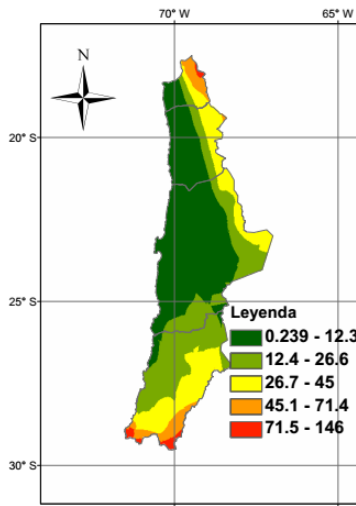


b) IMFM

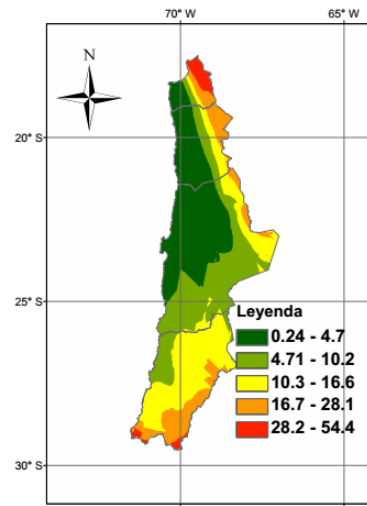
**Figura 4.** Distribución espacial de índices de agresividad



a) IET



b) IFA



c) IFA (variante)

**Figura 5.** Distribución espacial de índices de agresividad

Al comparar los mapas realizados se observó un comportamiento bastante similar, donde se presentó una franja del color verde abeto que abarcó el extremo norte de la zona de estudio hasta cercanías del límite entre las regiones de Antofagasta y Atacama, y que se extendió desde la zona litoral hasta lugares bien interiores del continente siendo la máxima amplitud al sur de la ciudad de Calama. Luego se tienen las franjas de color verde hoja y de color amarillo, en las tres primeras regiones se ubicaron más cercanas a la zona del altiplano y presentaron menor amplitud espacial que la de color verde abeto mientras que en la región de Atacama, se presentaron desde la zona costera y englobaron casi la totalidad de la superficie, con distintas proporciones para cada uno de los índices.

Las franjas de color naranja y rojo se presentaron en la zona altiplánica con superficies mucho menores respecto a las otras tres mencionadas. En seis de los siete índices comparados el rango caracterizado por una mayor agresividad se ubicó en la zona alta de la región de Arica y Parinacota mientras que en el índice de erosividad total se obtuvo en el extremo este de la región de Antofagasta. La otra zona que presentó superficies de color naranja y roja es el extremo sur de la zona de estudio, donde se observó un aumento de la agresividad debido a la influencia de precipitación de origen frontal.

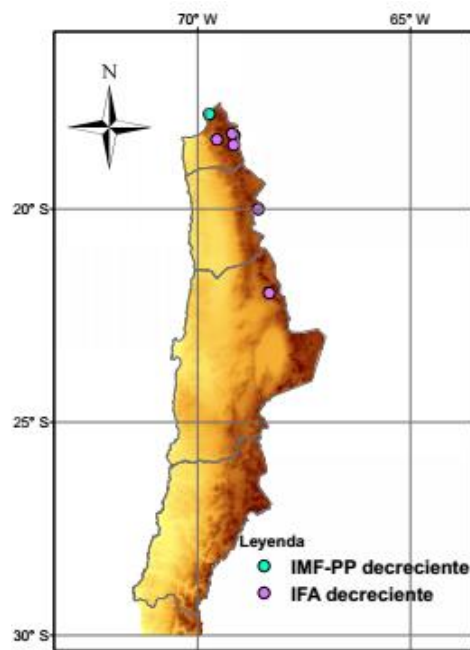
### Análisis de tendencia

En la Tabla 7 se muestran las estaciones en las cuales los índices y las series de precipitación anual presentan tendencia con un nivel de significancia del 0.05.

**Tabla 7.** Series que presentan tendencia según test de Mann Kendall

| Serie    | Tendencia   | Estación                  | Región             |
|----------|-------------|---------------------------|--------------------|
| IMF      | Decreciente | Villa Industrial (Tacora) | Arica y Parinacota |
| IFA      | Decreciente | Chungara Retén            | Arica y Parinacota |
| IFA      | Decreciente | Chungara Ajata            | Arica y Parinacota |
| IFA      | Decreciente | Guallatire                | Arica y Parinacota |
| IFA      | Decreciente | Central Chapiquiña        | Arica y Parinacota |
| IFA      | Decreciente | Huaytani                  | Tarapacá           |
| IFA      | Decreciente | Ojos San Pedro            | Antofagasta        |
| PP anual | Decreciente | Villa Industrial (Tacora) | Arica y Parinacota |

Se decidió generar la Figura 6, que muestra las ubicaciones donde las series presentaron tendencia.



**Figura 6.** Distribución espacial de estaciones con series que presentan tendencia

Las series de agresividad presentaron solo tendencia a la baja y se ubicaron preferentemente en las zonas altas del área de estudio, concluyéndose que la agresividad está disminuyendo en las estaciones donde se obtuvieron los mayores valores de los índices. Esta tendencia no es clara dado que son solo dos índices de un número limitado de estaciones.

Lo otro relevante que se observó es que sólo en una estación de las 66 en estudio demostró tendencia en la precipitación anual por lo que se concluyó que no existe tendencia opuesta entre monto anual de precipitación y agresividad. Es posible concluir que la tendencia a la disminución de la agresividad se debe a un efecto sinérgico de la disminución de concentración y monto anual de precipitación.

## **5. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

En la aplicación de los índices de agresividad en el Norte Grande de Chile se observó que los índices abarcaron las distintas categorías planteadas en la bibliografía. La gran mayoría de las estaciones, desde 47 % hasta 93.9% según los distintos índices, y gran porción del área de estudio (sobre el 90%) quedó clasificada con agresividad baja. La fracción de la zona de estudio que quedó clasificada con agresividad alta se debe a la mayor magnitud de los índices en las estaciones que se ubican en cercanías del Lago Chungará, lo que es explicado por el origen convectivo de las precipitaciones que incide en montos importantes de lluvia sobre el altiplano en los meses de enero y febrero.

Por otro lado, en los mapas de los índices, según el método de rupturas naturales, se observó el patrón de agresividad, donde los mayores cambios se ubicaron en el sentido oeste-este. Los índices mostraron una amplia zona homogénea de baja agresividad en la zona litoral, que va aumentando hacia el este donde las rupturas de clases denotaron un crecimiento rápido de la agresividad siendo máxima y relativamente homogénea en el altiplano de la región de Arica y Parinacota. Este patrón espacial se asemeja bastante con el régimen pluviométrico que presenta la zona de estudio, yendo desde valores nulos en la zona litoral hasta más de 300 mm anuales en la zona altiplánica. Esto da a entender que la cuantificación de la agresividad está mayormente influenciada por la cantidad de precipitación, por sobre la concentración.

La vinculación entre agresividad y precipitación anual que se realizó a través de la aplicación del test de Mann-Kendall mostró que no existe tendencia temporal opuesta entre ambas. Solo se exhibió una pequeña disminución de los índices de agresividad en la zona altiplánica, donde se concluyó que se debe a un efecto sinérgico de la disminución de la concentración y del monto de precipitación.

Se concluye que las precipitaciones agresivas ocurren con cierta frecuencia y no hay indicios claros sobre una posible tendencia en su comportamiento. Por lo tanto, la preocupación incipiente por los fenómenos wadis debe considerar toda la información histórica para intentar correlacionar catástrofes naturales con precipitaciones importantes registradas.

## REFERENCIAS

- Angulo-Martínez, M., S. Begueria. 2009. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 379 (1), 111-121.
- Caloiero, T. 2014. Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 72 (2), 389-404.
- 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*, 328 (83), 28-40.
- Chatterjee, S., A. Khan, H. Akbari y Y. Wang. 2016 Monotonic trends in spatio-temporal distribution and concentration of monsoon precipitation (1901 – 2002), West Bengal, India. *Atmospheric Research*, 182, 54-75.
- De Luis, M., J.C. González, J. Raventós, J.R. Sánchez y J. Cortina. 1997. Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la comunidad valenciana. *Cuaternario y Geomorfología*, 11 (3-4), 33-44.
- 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*, 11 (5), 1259-1265.
- DMC, 2010. *Climatología de Chile*, Dirección Meteorológica de Chile-DMC
- ESRI, 2010. *ArcGIS. Version 10.1*. Environment System Research Institute.
- Ferro, V y P. Porto. 1999. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences*, 44 (1), 3-24.
- García-Barrón, L., J.M. Camarillo, J. Morales y A. Sousa. 2015. Temporal analysis (1940–2010) of rainfall aggressiveness in the Iberian Peninsula basins. *Journal of Hydrology*, 525, 747-759.
- Lobo, D., D. Gabriels, F.Ovalles, F. Santibañez, M.C. Moyano, R. Aguilera, R. Pizarro, C. Sanguenza y N.Urra. 2005. *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas,semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*. CAZALAC. Unesco.
- MOP – DGA, 1987. *Balance Hídrico de Chile-1987*. Departamento de Hidrología, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Olivares, C. 2009. *Determinación del comportamiento de las precipitaciones y de su agresividad climática, en las regiones del Bío-Bío y de la Araucanía*. Memoria de título Ingeniero Forestal. Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca, Talca.

Salas, J. D. 2000. Hidrología de zonas áridas y semiáridas. *Ingeniería del agua*, 7(4), 409-429.

Sen, Z. 2008. *Wadi Hydrology*. CRC Press, New York.

Vega, M. B. y J.M. Febles. 2008. La agresividad de la lluvia en áreas rurales de la provincia La Habana como factor de presión en la sostenibilidad agroambiental. II Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en espacios rurales Iberoamericanos. *Sostenibilidad e Indicadores*, Almería, España.