

Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina

Spatial-temporal determination of the aggressiveness precipitation index in the Sistema Serrano de Ventania. Buenos Aires Province-Argentina

**Gaspari Fernanda Julia*, Rodríguez Vagaría Alfonso Martín*,
Senisterra Gabriela Elba* y Delgado María Isabel***

Recibido: mayo, 2007 / Aceptado: julio, 2007

Resumen

En este trabajo se analiza el patrón de distribución de las precipitaciones y su agresividad climática por medio de los índices de Fournier, Fournier Modificado y de Concentración de las Precipitaciones en las Sierras Australes Bonaerenses, Argentina. Utilizando métodos geostatísticos se obtuvo la regionalización de las variables de manera que se observaron las diferencias de su distribución espacial y temporal. Del análisis temporal se desprendió un aumento de precipitación anual en la zona sur del área en estudio, sucediendo lo inverso en las estaciones al norte del cordón serrano. Se identificó un cambio espacio - temporal de la concentración de las precipitaciones como indicador de la agresividad de las mismas, inversamente relacionado con la cantidad de lluvia precipitada, para el mismo período. El impacto de este cambio generó cambios en el uso actual del suelo.

Palabras clave: precipitación; erosividad geoespacial; sierras australes.

Abstract

The rain pattern of distribution and its climatic aggressiveness are analyzed in the present work, by using the Fournier's, the Modified Fournier's, and the Precipitation Concentration Indexes, in the Sierras Australes Bonaerenses, Argentina. By using geostatistics methods, a regionalization of the variables was obtained in order to observe the differences of its spatial and temporal distribution. The temporal analysis shows an increase of the annual precipitation in the Southern study area, with exactly the opposite results in the Northern stations of the area. A spatial and temporal change was identified in the concentration of the precipitation as an indicator of its aggressiveness, inversely related to the quantity of rainfall, for the same period of time. The impact of this change produced changes in the current land use.

Key words: precipitation; geospatial erosivity; sierras australes.

* Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Curso de manejo de Cuen-
cas Hidrográficas, La Plata-Argentina, e-mail: corrector@agro.unlp.edu.ar / gasparifernanda@gmail.com;
alfonsovagaría@hotmail.com; gabrielasenisterra@yahoo.com.ar; isadelgado80@yahoo.com.ar

1. Introducción

La determinación de un índice que describa el efecto erosivo de las precipitaciones constituye un problema que ha sido abordado durante años por distintos autores. Existen numerosos trabajos que han desarrollado aproximaciones a este tipo de índices (Wischmeier, 1959; Fournier, 1960; Arnoldus, 1978; Michiels & Gabriels, 1996; Gabriels, 2000) y a su uso en la evaluación del riesgo de erosión.

Para comprender el funcionamiento de los procesos erosivos que tienen lugar en un territorio es fundamental conocer el potencial erosivo de las precipitaciones. Con ese objetivo, W. H. Wischmeier (1959) propuso un índice de erosividad de la lluvia para ser utilizado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), conocido como factor R. Este índice se deduce a partir del producto de la energía cinética liberada por la lluvia (E) y la máxima intensidad de precipitación durante un intervalo de 30 minutos (I₃₀) de la tormenta. El cálculo de este valor es difícil de realizar, ya que se necesita disponer de fajas pluviográficas para poder calcular la energía cinética y la intensidad de las tormentas de forma aislada durante un serie larga de años.

Diversos autores trataron de relacionar el factor R con parámetros más fáciles de obtener y calcular. Entre estos índices se encuentra el formulado por Fournier (1960), denominado índice de agresividad climática o Índice de Fournier, que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía. Este índice ha sido modifica-

do por Arnoldus (1978) que considera las precipitaciones de todos los meses. Otro índice que permite estimar la agresividad de las lluvias es el índice de concentración de las precipitaciones propuesto por Oliver (1980) y utilizado por diversos autores como sustituto (Jordán y Bellinfante, 2000) o complemento (Padrón *et al.*, 1991) de los anteriores.

El objetivo del presente trabajo fue realizar el estudio espacio - temporal de la erosividad de las precipitaciones a partir de datos pluviométricos en las sierras australes bonaerenses, Argentina.

2. Materiales y métodos

Para iniciar con el conocimiento del contexto donde aplicar los índices de concentración y agresividad climática, se realizó la recopilación de información regional general, como son cartografía y estadísticas climatológicas. Las técnicas de modelización geoespacial que se aplicaron en el trabajo complementan el enfoque integrador que a través de su simulación permitirá establecer potenciales medidas de mitigación y remediación del sistema. La evolución dinámica de las precipitaciones, que potencialmente induzcan a la modificación de ciertas obras y necesidad de nuevas, se analizó a escala regional y puntual.

El sistema serrano austral está ocupado principalmente por los partidos de Coronel Suárez, Coronel Pringles y Tornquist, ubicados al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, aproximadamente en el meridiano 61° 30' longitud Oeste, y paralelo 37° 30' latitud Sur. El cordón

presenta un desnivel de 600 metros sobre el nivel del mar. Ubicado en una de las regiones más productivas de la República Argentina, su situación es un privilegio, ya que se entrecruzan las rutas que permiten unir los puntos más australes del territorio con la capital del país y el lejano norte, así como también las provincias andinas del oeste con los puertos de la costa atlántica.

El clima regional es templado, sub-húmedo, con temperaturas moderadas y alta variabilidad. Aun cuando la región Pampeana se encuentra encuadrada térmicamente como de clima solar, presentando influencia del sistema serrano de Ventania, y particularmente de la sierra de Pillañhuinco, que altera significativamente el trazado de las isotermas que en forma paulatina pasan de una dirección E-O, típica de los climas solares, a una marcadamente N-S, propia de climas físicos.

Para determinar el potencial erosivo de las precipitaciones en el área serrana del sistema de Ventania, se calcularon el índice de Fournier (IF), el índice de Fournier modificado (IMF) y el índice de concentración de las precipitaciones (ICP), a partir de registros de precipitación mensual.

Para representar la variabilidad espacial y temporal de la región oriental del sistema serrano, se han considerado datos de tres estaciones meteorológicas de la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH), (Figura 1):

- al norte del sistema serrano: Quiniñual (Coronel Pringles), (DPH N° 3530), correspondiente al período 1917-1987, y para el período 1943-1987, de Coronel Suárez (DPH N° 1020),

- al sur de las sierras, en el período comprendido entre los años 1908-1985, la localidad de Tornquist (DPH N° 4180).

El límite de los partidos de Coronel Suárez y Tornquist coincide con las divisorias de agua serrana, en su ladera norte y sur, respectivamente.

A partir de la figura 1 se visualiza que las estaciones de Coronel Suárez y Quiniñual se ubican cercanas a la isoyeta anual de 700 mm, y Tornquist se posiciona próxima a la de 600 mm, según el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1995).

Los índices de concentración de las precipitaciones principalmente ofrecen un resumen anual (de un año en concreto), o de medias de un período de varios años. Recientemente, estos índices se utilizan para obtener distribuciones espaciales de la variable, debido a la mayor accesibilidad a métodos geoestadísticos de interpolación (Creutin y Obled, 1982; Tabios y Salas, 1985). El análisis espacial se realizó con Idrisi Kilimanjaro, donde se expresa la variabilidad por acción de la acción climática, la geoforma y topografía serrana. El método de interpolación espacial utilizado fue Krigging.

El índice de agresividad climática de Fournier se calculó a partir de la ecuación 1.

Ecuación 1

$$IF = p \max^2 / P$$

Donde:

IF: Índice de Fournier

p máx: Precipitación media correspondiente al mes más lluvioso (mm)

P: Precipitación media anual (mm)

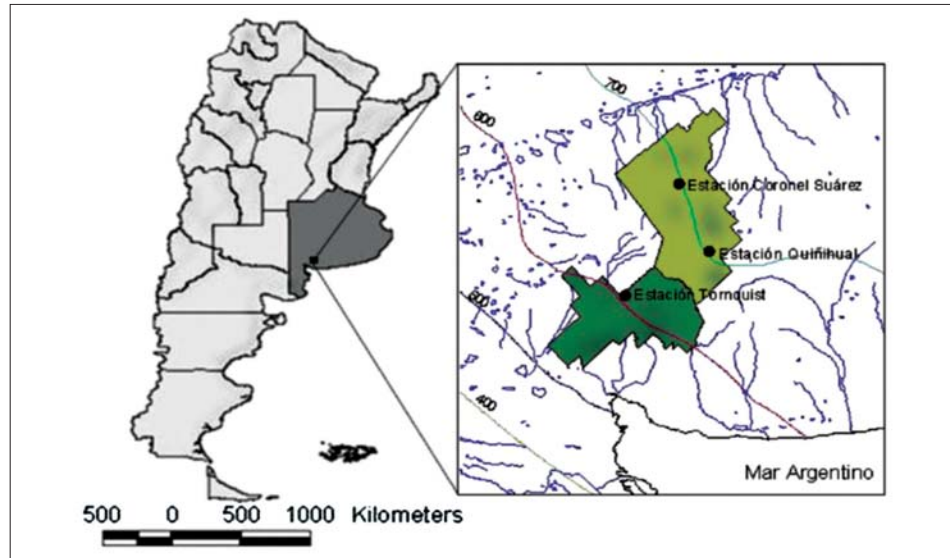


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona en estudio y de isoyetas regionales

El índice de agresividad climática modificado o índice de Fournier Modificado (IMF) se obtuvo a partir de la ecuación 2.

Ecuación 2

$$IMF = \sum p^2 / P$$

Donde:

IMF: Índice de agresividad de la lluvia

p: Precipitación mensual

P: Precipitación anual

El IMF se realiza también con precipitaciones mensuales y anuales, siendo una aproximación rápida al establecimiento de un factor de agresividad de la lluvia. Su cálculo relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales.

Para la representación del IMF se elaboraron figuras con líneas de tendencias de las precipitaciones mensuales de

los períodos correspondientes a cada localidad, para establecer procesos de cambio espacial y temporal en el cordón serrano.

El índice de concentración de las precipitaciones se obtuvo a partir de precipitaciones mensuales y anuales por medio de la ecuación 3.

Ecuación 3

$$ICP = 100 \cdot \sum p^2 / P^2$$

Donde:

ICP: Índice de Concentración de la Precipitación

p: Precipitación mensual en mm (valores medias mensuales de la serie)

P: Precipitación anual en mm (valores media anual de la serie)

Este índice permite evaluar la distribución de la lluvia a lo largo del año, defi-

niendo la estacionalidad de las mismas; además, colabora en la identificación de potenciales medidas de manejo del agua, como el control de riego, la prevención de erosión hídrica y las actividades agrícolas (Soto *et al.*, 2006). Puede presentar valores que se encuentran en el rango de 8,3% (igual precipitación mensual) y 100% (concentración de la lluvia en un único mes), independientemente del volumen de precipitación (Jordán y Bellinfante, 2000).

Se ha realizado un análisis temporal de la evolución anual para el período considerado en cada localidad, representado su resultado con líneas de tendencia.

A partir del índice ICP obtenido se realizó un análisis temporal - espacial para períodos decádicos, entre 1908 hasta 1987, correspondientes a las localidades en estudio del índice de concentración de las precipitaciones.

3. Resultados y discusión

En las tres localidades analizadas, el mes de mayor precipitación de los períodos considerados en el presente trabajo fue marzo. La precipitación media anual para la localidad de Coronel Suárez fue de 695 mm, en Quiñihual de 718 mm y en Tornquist de 623 mm.

Cabe mencionar que del análisis temporal se desprendió un aumento de precipitación anual en la estación Tornquist, y las precipitaciones en las estaciones al norte del cordón serrano disminuyeron su cuantía.

En la figura 2 se visualizan las tendencias mensuales de las precipitaciones

en cada una de las estaciones analizadas. En general, se observa una modificación en la distribución de las lluvias durante el año. En la figura 2 (a y b), los meses de enero y octubre presentaron una tendencia en aumento, mientras que los meses de febrero y marzo, coincidiendo con las mayores precipitaciones, manifestaron una tendencia a la disminución. En Tornquist (c), las precipitaciones de todos los meses presentaron un aumento en la tendencia durante el período evaluado.

La modelización temporal de las precipitaciones anuales, según el presente estudio, permitió un análisis que respondió a la misma tendencia que la valoración mensual. La principal variación se estableció por el cordón serrano, debido a que en las estaciones analizadas, las diferencias más marcadas se expresan geográficamente al norte y sur del mismo.

Las tendencias de las precipitaciones anuales se analizaron desde 1908 hasta 1987, generadas a partir de la interpolación temporal y espacial de datos (Figura 3), con el método de Kriging. Estas tendencias establecen una disminución en la distribución de las precipitaciones con dirección norte - sur.

El índice de Fournier (IF) obtenido fue similar en las tres estaciones. Para ampliar este análisis se calculó el IMF a partir de las precipitaciones de todos los meses, cuyos valores se presentan en el cuadro 1.

Según CORINE-CEC (1992), para el período considerado, las localidades de Coronel Suárez y Quiñihual presentaron un IMF moderado, mientras que en Tornquist la erosividad fue baja.

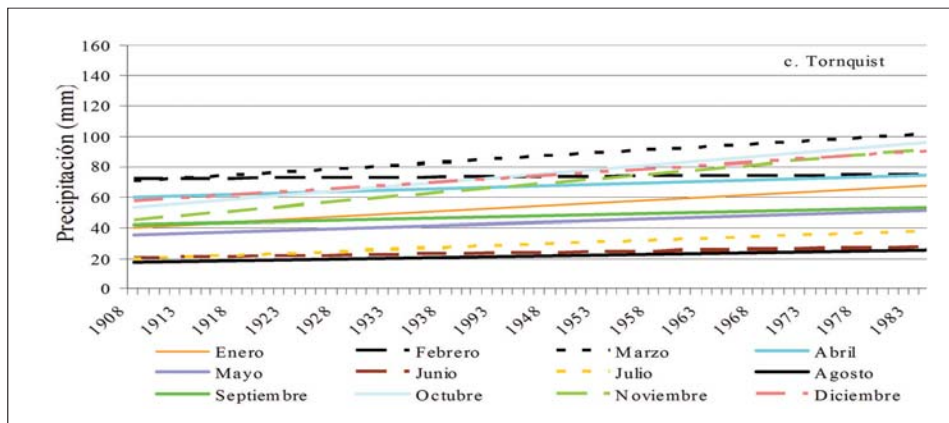
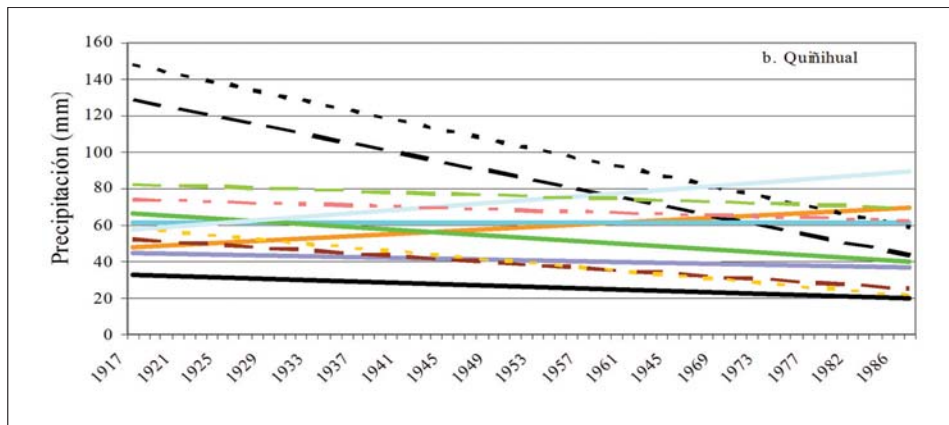
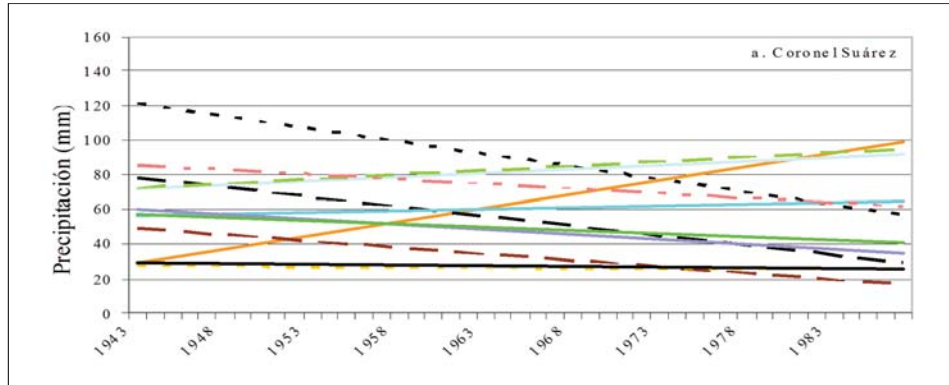


Figura 2. Tendencia de la precipitación mensual en las tres localidades. a) Período: 1943-1987; b) Período: 1917-1987 y c) Período: 1908-1985.

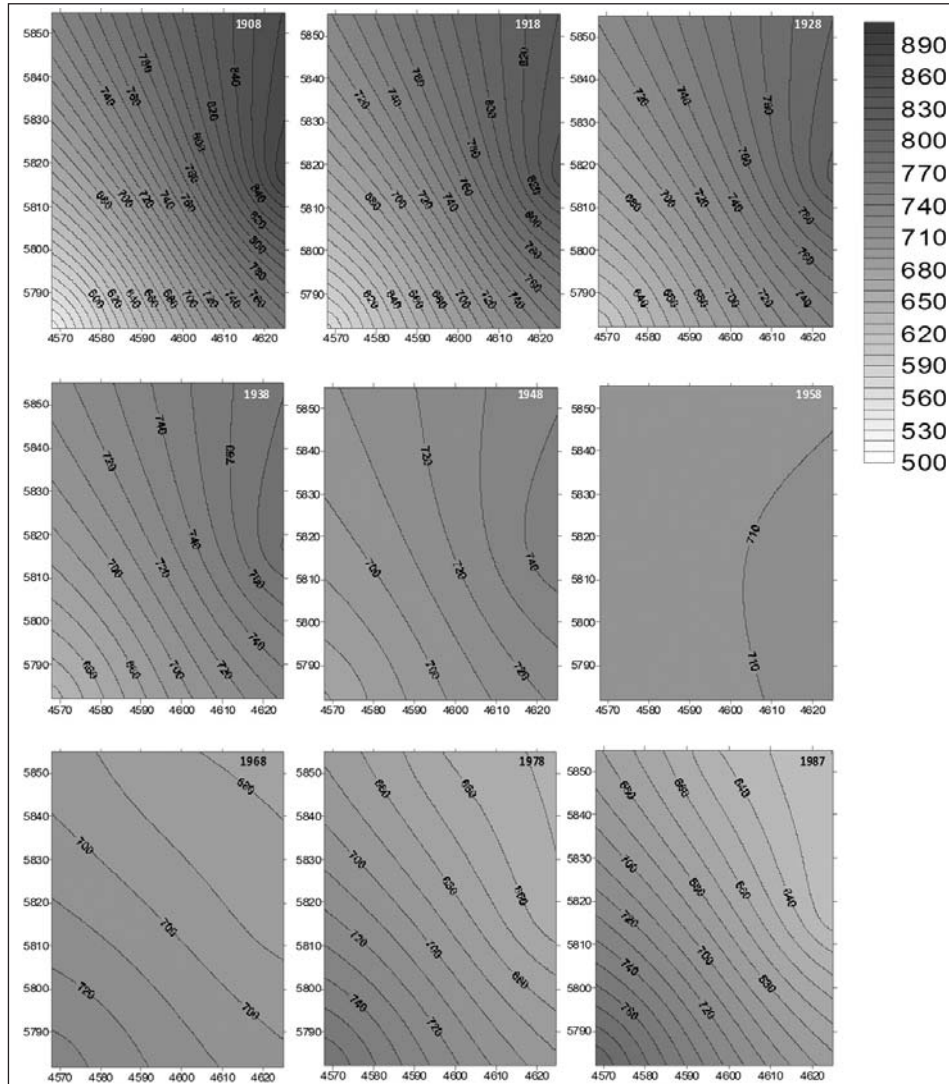


Figura 3: Tendencia geoespacial de las precipitaciones anuales (mm)

El índice de concentración de las precipitaciones (ICP) indicó la erosividad por localidad, a través de un mapa de tendencia geoespacial para los períodos decádicos entre 1908 hasta 1987. Estos expresan su evolución temporal.

En Tornquist y Quiñihual, el ICP se mantuvo constante a lo largo del período, clasificándose como moderadamente estacional (Soto *et al.*, 2006). En Coronel Suárez se visualizó un cambio acentuado de los valores del ICP, en un rango de

Cuadro 1. Índices de erosividad para cada localidad

| Índices | Localidades | | |
|---------|----------------|-----------|-----------|
| | Coronel Suárez | Quiñihual | Tornquist |
| IF | 12,44 | 14,53 | 11,20 |
| IMF | 95 | 108 | 87 |
| ICP | 16 | 15 | 13 |

11, en 1908, y 27, en 1987. Esta variación cambió la estacionalidad de las precipitaciones de moderadamente estacional al comienzo del período a altamente estacional en la actualidad (Figura 4).

Las aplicaciones geoespaciales presentan diferencias temporales - espaciales de sus valores. Cabe destacar que

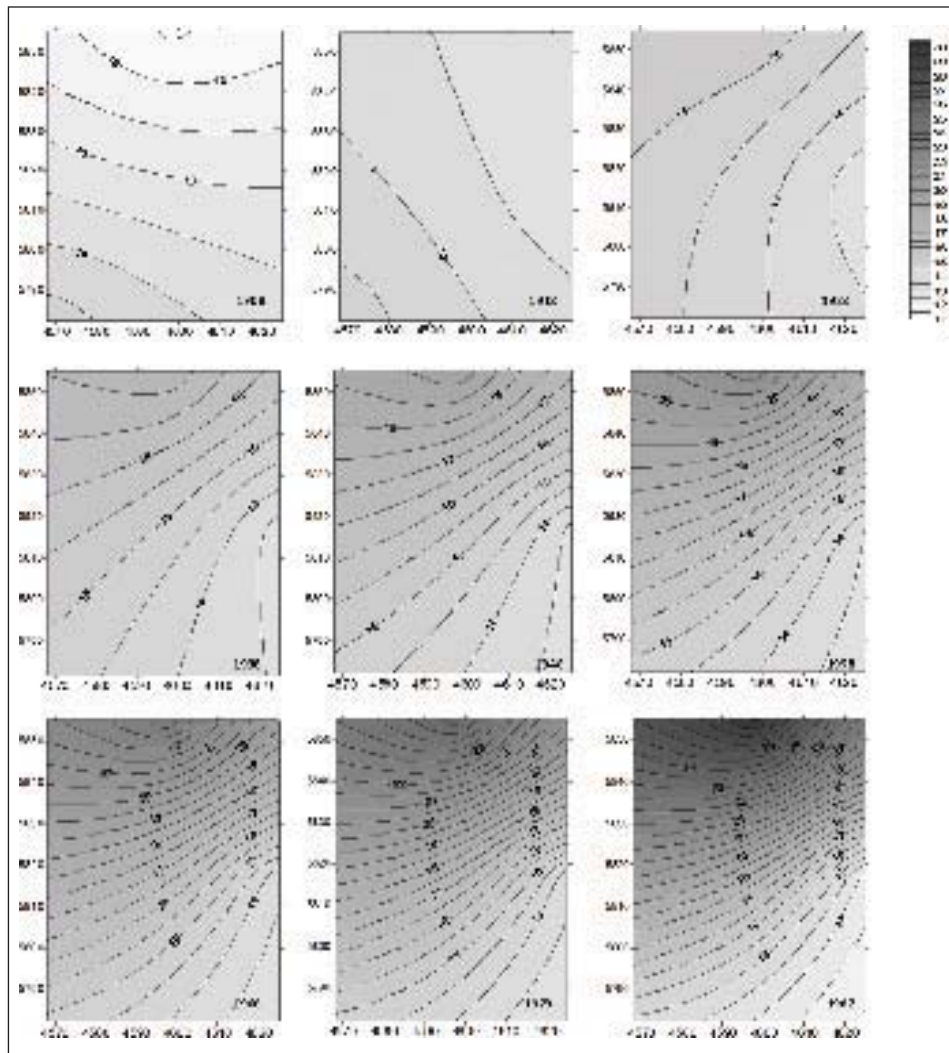


Figura 4. Tendencia geoespacial y temporal del ICP para las estaciones Coronel Suárez, Quiñihual y Tornquist

este estudio identificó un cambio espacio - temporal de la concentración de las precipitaciones, inversamente relacionado con la cantidad de lluvia precipitada, para el mismo período.

La concentración de las precipitaciones, según el índice de Oliver (1980), presenta una disposición en bandas, con valores mínimos al principio del estudio (entre 11 y 14), alcanzando máximos de 27 en la franja norte, al final del período estudiado.

Al sur-este, el ICP mantiene valores cercanos a 14, donde su distribución superficial no muestra gran variabilidad, lo que hace suponer, en principio, que la precipitación en esta zona tiene una componente homogénea a lo largo del año y, también, en el espacio.

4. Conclusiones

El estudio temporal - espacial de la erosividad de las precipitaciones a partir de datos pluviométricos en las sierras australes bonaerenses (Argentina), permitió caracterizar en el período 1908 - 1987 la variabilidad de las lluvias y el potencial aumento de impacto erosivo de las mismas.

Se verificó una tendencia en disminución de las precipitaciones en las localidades de Quiñihual y Coronel Suárez, al norte del sistema serrano, inversamente relacionado con el aumento de la erosividad de las mismas obtenido con los índices de agresividad de Fournier y de concentración de las precipitaciones.

En la localidad de Tornquist, al sur de las sierras, aumentó la precipitación anual y se mantuvo uniforme su erosividad.

Esta situación se representa de manera apropiada a nivel geoespacial y temporal.

5. Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con el financiamiento del PICTO 2003 N° 07-13.741. SECyT. Se agradece al Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional, Comando Regiones Aéreas de la Fuerza Aérea Argentina, especialmente a la SUP.II A.T. Gómez, por el acceso a la información pluviográfica de la Estación Meteorológica en Coronel Pringles, provincia de Buenos Aires, cuyo expediente de tramitación es el N° 99.833.

6. Referencias citadas

- ARNOLDUS, H. M. 1978. *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*. De Boodst, M. y Gabriels, D. (Eds.). **Assessment of erosion**. 127-132. John Wiley y Sons, Inc. Chichester-Gran Bretaña.
- CORINE-CEC. 1992. *CORINE soil erosion risk and important land resources. An assessment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk*. **Office for official publications of the European Communities**. EUR 13233. Luxemburgo.

- CREUTIN, J. D. and J. D. OBLED. 1982. *Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison*. **Water Resources Research**, 18 (2): 413-431.
- FOURNIER, F. 1960. **Climat et érosion**. Ed. Presses Universitaires de France. Paris.
- GABRIELS, D. 2000. *Rain erosivity in Europe*. Rubio, J. L.; Asins, S.; Andreu, V.; de Paz, J. M. and Gimeno, E. (Eds.). **ESSC III Int. Congress. Key Notes. Man and Soil at the Third Millennium**. Valencia. 31-43.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 1995. *Atlas de suelos de la República Argentina*. INTA. Buenos Aires. Versión CD.
- JORDÁN A. y N. BELLINFANTE. 2000. *Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz)*. **Edafología**. Volumen 7(3): 83-92.
- MICHIELS, P. and D. GABRIELS. 1996. Rain variability indices for the assessment of rainfall erosivity in the Mediterranean region. Rubio, J. L. and Calvo, A. (Eds). **Soil degradation in Mediterranean environments**. Geofoma Ediciones. Logroño. 49-70.
- OLIVER, J. E. 1980. *Monthly precipitation distribution: a comparative index*. **Professional Geographer**, 32(3): 300-309.
- PADRÓN, P. A.; GONZÁLEZ SOTO, M. C.; HERNÁNDEZ, L. A.; JIMÉNEZ, C. C.; ORTEGA, M. J.; RODRÍGUEZ, A.; TORRES, J. M. y G. E. VARGAS. 1991. Erosividad de las lluvias en las Islas Canarias Occidentales. *Actas XVIII Reunión Nacional de Suelos*. 459-470. Universidad de La Laguna. Tenerife-España.
- SOTO, G; SANTIBÁÑEZ, F. y K. VERBIST. 2006. Zonación de los regímenes hídricos de América Latina y el Caribe desde una perspectiva climática. *IV Foro Mundial del Agua*. México. 28pp.
- TABIOS, G. Q. and J. D. SALAS. 1985. *A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation*. **Water Resources Research**, 21 (3): 365-380.
- WISCHMEIER, W. H. 1959. *A rainfall erosion index for a Universal Soil-Loss Equation*. **Soil Science Society Proceedings**, 23: 246-249.