

Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina)

Sebastián Ignacio Besteiro^{1,2,3}; María Isabel Delgado^{1,2}

¹Cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas. FCAyF, UNLP. Diagonal 113, Nro 469, 3° piso. CP 1900, La Plata, Bs. As., Argentina; ² CONICET; ³ sebastestiro@gmail.com

Besteiro, Sebastián Ignacio & María Isabel Delgado (2011) Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina). Rev. Fac. Agron. Vol 110 (2): 82- 90

El cambio en los usos y ocupación del suelo en la llanura pampeana ha determinado un incremento erosivo en la región. Esto evidencia la necesidad de implementar programas integrados de manejo y conservación de suelos, utilizando a la cuenca hidrográfica como unidad de estudio, a fin de revertir el incremento de erosión hídrica y la consecuente pérdida de producción. En el presente trabajo se analiza el patrón de distribución de las precipitaciones en la cuenca del arroyo El Pescado (provincia de Buenos Aires, Argentina) y su agresividad climática, calculada en función de un conjunto de índices. Se usaron métodos geoestadísticos para la obtención de la regionalización de los índices y, a partir de éstos, se analizaron las diferencias de su distribución espacial y temporal. El análisis temporal evidenció un cambio en la tendencia e intensidad de la precipitación anual, identificándose además un cambio espacio-temporal de la concentración de las precipitaciones. Este fenómeno es un indicador de la agresividad de las precipitaciones y está directamente relacionado con la cantidad de lluvia precipitada para el mismo período. El impacto de este cambio alteró la disponibilidad de agua superficial de la cuenca en estudio.

Palabras clave: agresividad de las precipitaciones, análisis geoestadísticos, cuenca del arroyo El Pescado.

Besteiro, Sebastián Ignacio & María Isabel Delgado (2011). Rainfall aggressiveness in the El Pescado creek watershed, province of Buenos Aires (Argentina). Rev.Fac.Agron. Vol 110 (2): 82- 90

The change in land use and occupation in the pampas has increased erosion in the region. This problem evidence the need to implement integrated programs for management and soil conservation, using the watershed as the unit of study, to reverse the increase in hydric erosion and the consequent loss of production. This paper analyzes the pattern of rainfall distribution in the El Pescado creek watershed (province of Buenos Aires, Argentina) and its climatic aggressiveness, calculated according to a set of indexes. Geostatistical methods were used to obtain the regionalization of the indexes, and from these, we analyzed the differences in spatial and temporal distribution. The temporal analysis showed a change in the trend and intensity of annual rainfall, besides identifying a spatio-temporal change of the rainfall concentration. This phenomenon is an indicator of the aggressiveness of rainfall and is directly related to the amount of rain precipitated in the same period. The impact of this change altered the availability of surface water in the watershed under study.

Key words: rainfall aggressiveness, geostatistical analysis, El Pescado creek watershed.

Recibido: 24/10/2011

Aceptado: 16/11/2011

Disponible on line: 13/08/2012

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCION

El cambio en los usos y ocupación del suelo en la llanura pampeana ha determinado un aumento incremental de la erosión en la región debido al avance de la agricultura en detrimento de las áreas dedicadas tradicionalmente a la ganadería, especialmente con pastizales naturales (Paruelo *et al.*, 2006; Oesterheld, 2008; Tsakoumagkos & Giordano, 2010; Viglizzo *et al.*, 2010). El deterioro de la calidad del suelo debido a su sobreutilización ha provocado un avance de la erosión hídrica (Castiglioni *et al.*, 2006). La escasa cobertura del suelo, el pisoteo por carga vacuna, el avance de la agricultura intensiva, la incorrecta implementación de siembra y la falta de controles y mantenimiento en caminos rurales, son ejemplos del notable empobrecimiento del mismo.

La aplicación de programas integrados de manejo y conservación de suelos en una cuenca hidrográfica se plantea como una necesidad inmediata para revertir el aumento de la erosión hídrica y la pérdida de la producción, resultando imprescindible el avance sobre estudios orientados a enriquecer el conocimiento del ambiente físico-biológico de la llanura pampeana, como así también de las limitantes existentes para el uso y manejo del mismo.

Ramírez *et al.* (2007), en su estudio de erosividad de las lluvias en el Departamento de Caldas (Colombia), indican que la erosión de los suelos es un fenómeno físico multicondicionado, y que puede expresarse mediante el siguiente modelo (1):

$$\text{Erosión} = f^*(\text{activos}, \text{pasivos}, \text{atemperantes}) \quad (1)$$

Explican, además, que los factores activos son la lluvia y la escorrentía, siendo el factor pasivo el suelo y el factor atemperante la vegetación. Es comprensible entonces, que el estudio de la agresividad de las lluvias sea de suma importancia para la zonificación de los procesos erosivos y la potencial planificación de uso y manejo de los suelos, además de una herramienta básica para la toma de decisiones.

La estimación de la erosión por precipitación pluvial ha sido de especial interés en el área de las ciencias agrícolas y forestales debido a los efectos que puede ocasionar en el suelo y como agente fundamental en el proceso de producción de sedimentos en una cuenca. A tal efecto, se han desarrollado varios modelos que describen la relación entre la erosión laminar por efecto de la lluvia y los principales factores que la controlan (Pérez & Mesa, 2002). Uno de los más conocidos es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), desarrollada por Wischmeier & Smith (1958), la cual cuantifica la pérdida de suelo por hectárea y por año.

Dentro de los factores que componen la USLE, el factor de erosividad de las precipitaciones (factor R) es considerado uno de los más importantes para predecir la erosión de los suelos (Hudson, 1982). El mismo, puede ser utilizado para definir la erosividad de eventos pluviales específicos, con el fin de obtener un valor que pueda considerarse un promedio anual representativo de la erosividad. Su cálculo, sin embargo, es muy difícil ya que requiere de fajas pluviográficas diarias para calcular la energía cinética y la intensidad de las

tormentas de forma aislada durante una serie larga de años (Ramírez *et al.*, 2007; Jordán & Bellinfante, 2000). Por este motivo, muchos autores han intentado relacionar el factor R con parámetros más fáciles de obtener y calcular, de una manera simple y aplicable a las condiciones locales, entre los que se destacan:

- el índice de Fournier (IF) (Fournier, 1960), denominado índice de agresividad climática, caracterizado por presentar una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía;
- el índice de Fournier modificado (IFM) (Arnoldus, 1978), que considera las precipitaciones de todos los meses;
- el índice de concentración de las precipitaciones propuesto por Oliver (1980) (ICP), el cual ha sido utilizado muchas veces como sustituto de los anteriores (Gaspari *et al.*, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el patrón de distribución de las precipitaciones y su agresividad climática, caracterizada por diferentes índices, en una cuenca de la llanura bonaerense argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca seleccionada como unidad de estudio es la del arroyo El Pescado, con centroide en la Latitud Sur 35° 02' - Longitud Oeste 57° 52', perteneciente a la región hidrológica "Noreste" de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Sala *et al.*, 1983). Posee una superficie aproximada de 400 km² y una jurisdicción compartida entre el Partido de La Plata y Magdalena (Figura 1).

Físicamente, se puede reconocer que la cuenca se encuentra en un ambiente de llanura con suaves ondulaciones y pendiente regional hacia el noreste con valores de 0,5 a 1% (Laurencena *et al.*, 2002). Se distinguen dos unidades diferenciadas tanto por su génesis como por su forma: la planicie costera y la zona interior (Fidalgo & Martínez, 1983).

El arroyo El Pescado nace en la zona interior, a una cota aproximada de 25 msnm y luego de recorrer 30 km llega a la planicie costera donde es canalizado hacia el Río de La Plata, donde predominan los procesos de infiltración en la cuenca baja y de escurrimiento superficial en la cabecera de la cuenca (Laurencena *et al.*, 2002). En su nacimiento presenta un curso intermitente y sinuoso. Sus afluentes son los arroyos Los Difuntos, del Sauce y del Pino, y además recibe aguas del arroyo Cajaravilla, en el Partido de Magdalena.

El arroyo el Pescado recibe aportes de aguas subterráneas a lo largo de prácticamente todo su recorrido (Kruse *et al.*, 2003a), lo cual destaca la importancia práctica de dos unidades denominadas Arenas Puelches y Sedimentos Pampeanos (Fidalgo *et al.*, 1975). Estas unidades presentan una alternancia de las secciones productivas separadas por sedimentos de menor permeabilidad que permiten establecer la existencia de un único sistema hídrico subterráneo de carácter multiunitario, que incluye a los acuíferos freático, Pampeano y Puelche (Kruse *et al.*, 2003b). Es posible considerar, además, que éstos presentan una continuidad hidráulica a pesar de que existen diferencias verticales de permeabilidad (Sala & Auge, 1973).

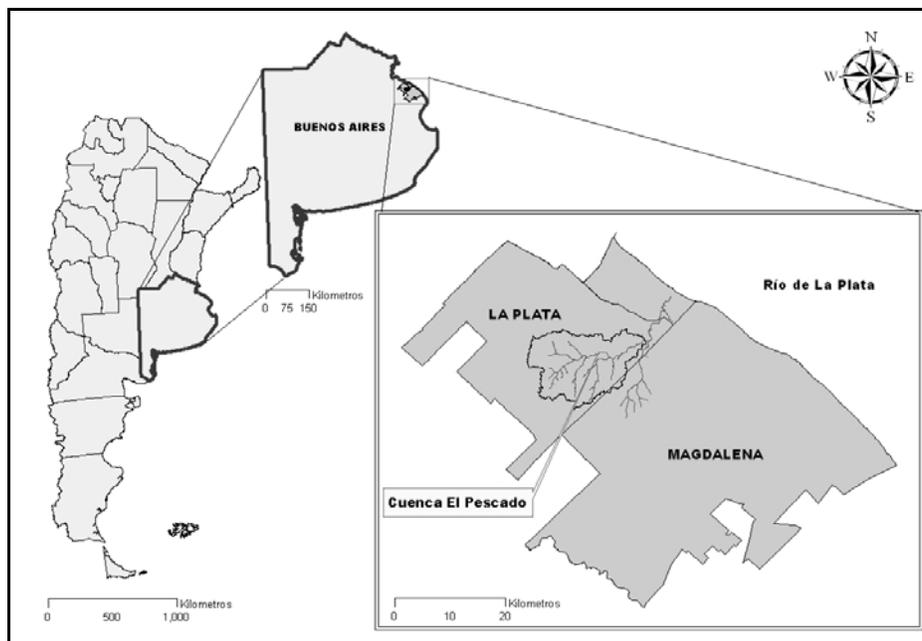


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del arroyo El Pescado, Partidos de La Plata y Magdalena, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Un balance hidrológico general para el período 1901 – 2004, indica una precipitación media de 1060 mm.año⁻¹, una evapotranspiración real (ETR) de 783 mm.año⁻¹, un escurrimiento fluvial de 53 mm.año⁻¹ y una infiltración de 224 mm.año⁻¹ (Laurencena *et al.*, 2005). El balance para el período 1998 – 2009, muestra una precipitación media de 1066 mm. año⁻¹, una evapotranspiración real de 747 mm.año⁻¹, un escurrimiento fluvial de 99 mm.año⁻¹ y una infiltración de 220 mm.año⁻¹ (Besteiro, 2010).

Desde un enfoque conservacionista, es de destacar que el arroyo El Pescado es considerado como uno de los cursos de agua de la zona que se destaca por no estar contaminado. Con el propósito de protegerlo, el Instituto de Planificación y Protección Ambiental impulsó una campaña de estrategia educativa para defender el arroyo El Pescado (11/04/1999). El 28/10/2005 se sancionó la ley 12.247, declarándose Paisaje Protegido de Interés Provincial a la cuenca del arroyo El Pescado, con el objetivo de conservar el arroyo como recurso hídrico libre de contaminación y proteger la integridad del paisaje de su área de influencia, manteniendo sus condiciones naturales actuales (Lentini, 2006).

Morfometría de la cuenca

La delimitación y morfometría de la cuenca se obtuvo a partir del procesamiento de imágenes del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (NASA, 2000), con la extensión ArcSwat del MapWindow GIS ®. Posteriormente, se realizó una verificación a campo y en gabinete con las cartas topográficas de influencia, a una escala 1:50.000 (Tabla 1), provenientes del Instituto Geográfico Nacional.

Tabla 1. Cartas topográficas utilizadas para la delimitación y caracterización morfométrica de la cuenca del arroyo El Pescado.

Carta	Denominación	Número de carta
1	Villa Elisa	3557-13-4
2	La Plata	3557-14-3
3	Punta Blanca	3557-14-4
4	Gómez	3557-19-2
5	Ignacio correa	3557-20-1

Datos climáticos y tratamiento geoestadístico

Para el cálculo de los índices se utilizaron datos diarios de lluvias de 2 estaciones meteorológicas circundantes a la cuenca en estudio, pertenecientes a la estación experimental Ingeniero Agrónomo Julio Hirschhorn (Exp. JH) y en el aeródromo de La Plata (Aéro. LP) (Tabla 2). En la Figura 2 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Tabla 2. Detalle de las estaciones utilizadas para el desarrollo del trabajo.

Nombre	Latitud	Longitud	Períodos
Experimental Julio Hirschhorn	-34°59'	-57°59'	1913 - 2009
Aeródromo La Plata	-34°57'	-57°54'	1961 - 2007

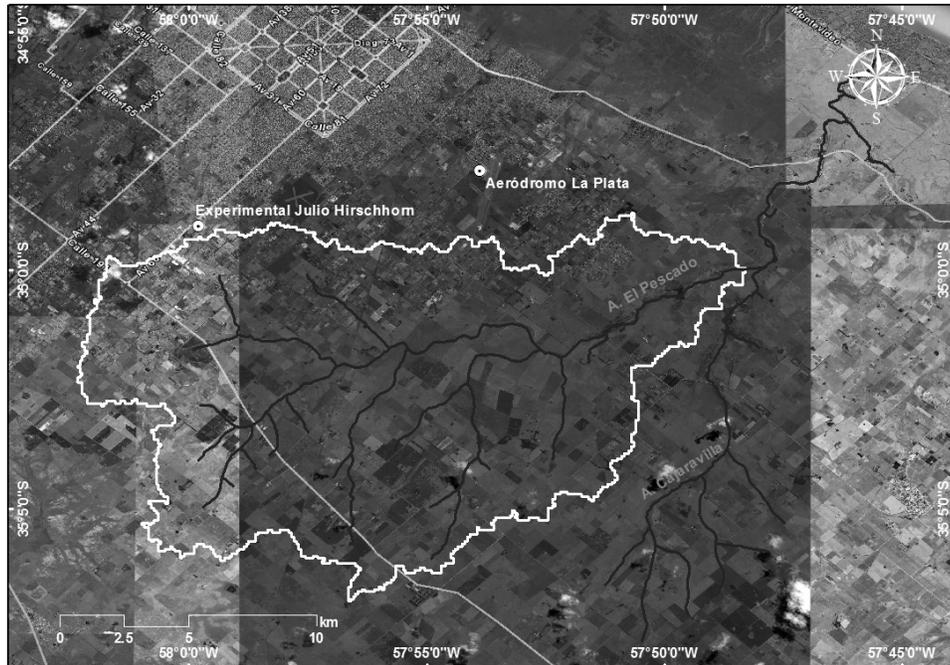


Figura 2. Ubicación de las dos estaciones meteorológicas

Los datos obtenidos de las estaciones fueron utilizados para calcular cada uno de los índices, tanto anual como mensualmente. Los índices calculados de esta manera fueron interpolados mediante distintas técnicas de aplicación estadística y con la ayuda del SIG MapWindow®, con el fin de lograr la regionalización de los mismos. Estas técnicas de interpolación son variadas y se utilizan para completar o rellenar los espacios vacíos de un archivo de imagen raster (mapa de distribución espacial en el que cada píxel posee un valor atributivo), resultante, en este caso, de los datos climáticos utilizados de carácter puntual. De los métodos de interpolación más comunes (lineal, splines, polígonos de Thiessen, métodos polinomiales y Kriging), el de interpolación lineal fue el elegido como más representativo para ser utilizado en este trabajo.

Índice de Fournier

Fournier (1960) estableció un modelo de estimación de la producción de sedimentos que considera elementos en suspensión y acarreos, no teniendo en cuenta la relación causa – efecto, sino simplemente la correlación existente entre las características de la cuenca y los sedimentos emitidos por ésta mediante un análisis de sistemas de tipo caja negra. Como parámetro representativo del factor climático, se utilizó el índice de agresividad climática, expresado en la ecuación (2):

$$IF = \frac{p^2}{P} \quad (2)$$

Siendo p la precipitación acumulada del mes más húmedo del año y P la precipitación acumulada anual, ambas expresadas en mm.

Este modelo, fue aplicado inicialmente en cuencas de más de 2000 km², pero en la práctica puede utilizarse en cuencas de menor superficie, que posean la característica de ser lo suficientemente homogéneas y representativas del contexto regional en el que se encuentran (Castillo *et al.*, 1996).

Índice de Fournier modificado

El índice de Fournier modificado (IFM) (Arnoldus, 1978), se aplica también a precipitaciones anuales y mensuales, y se presenta como una aproximación rápida al establecimiento de un factor de agresividad de la lluvia. Su cálculo relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales y está representado por la ecuación (3):

$$IFM = \sum \frac{p^2}{P} \quad (3)$$

Siendo p la precipitación acumulada mensual y P la precipitación acumulada anual, ambas expresadas en mm.

Índice de concentración de las precipitaciones

Con el fin de determinar la variación temporal de la distribución de las lluvias, se calculó el índice de concentración de las precipitaciones (ICP) mediante la ecuación (4):

$$ICP = 100 * \sum \frac{p^2}{P} \quad (4)$$

Siendo p la precipitación mensual (valores medios mensuales de la serie) y P la precipitación anual (valores medios anuales de la serie), ambas expresadas en mm.

El ICP se estimó para cada año y posteriormente se obtuvo un valor medio para cada estación meteorológica.

Este índice varía entre valores de 8,3 % y 100 % y permite evaluar la distribución de la lluvia a lo largo del año, definiendo la estacionalidad de las mismas. De esta manera, se podría decir que entre un extremo de valores de 8,3 a 10, la distribución de las lluvias es considerada homogénea durante todos los meses del año, mientras que con valores superiores, cercanos a 100, indicaría que la precipitación se concentra durante sólo un mes del año.

Los tres índices fueron procesados de forma individual y analizados estadísticamente mediante la dispersión de datos pareados de ambas estaciones meteorológicas. Posteriormente fueron ajustados por medio de líneas de tendencia, buscando el máximo coeficiente de ajuste R^2 . Esta comparación permitió seleccionar el índice más adecuado para la realización del análisis geoestadístico. Una vez seleccionada la función de tendencia a utilizar, se procedió a la interpolación de los valores puntuales del índice anual para cada estación, utilizando para ello el SIG MapWindows® y obteniendo de esta manera una imagen de tipo raster, en la que cada píxel adopta el valor de dicha interpolación.

Obtenida esta imagen, se procesó la cartografía generada, aplicando para cada uno de los valores de la imagen la ecuación exponencial correspondiente a la línea de tendencia del índice anual seleccionado. A partir de ello, se obtuvo una nueva imagen que representa espacialmente la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del arroyo El Pescado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de los datos de lluvia diarios de las dos estaciones, se desprende que la mayor precipitación fue en otoño, considerándose ésta como la estación húmeda con un valor promedio de 90 mm media mensual. La estación seca se desarrolla durante el invierno con medias mensuales aproximadas de 60 mm. La precipitación media anual es de 969 mm, evidenciándose una tendencia ascendente para ambas estaciones (Figura 3).

Los resultados obtenidos de la aplicación de los tres índices se muestran como índices medios para cada estación meteorológica (Tabla 3).

En la Figura 4, se presenta la dispersión del IF anual pareado de ambas estaciones.

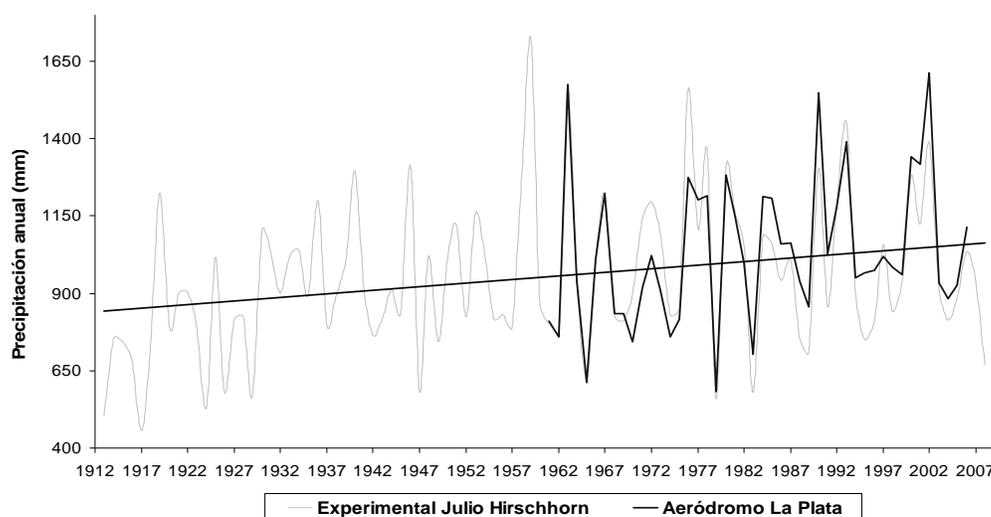


Figura 3. Tendencia lineal para los valores de precipitación acumulados anuales.

Tabla 3. Índices medios por estación

Índices	Aeródromo La Plata	Experimental Hirschhorn
IF	41,95	41,90
IFM	123,69	117,79
ICP	11,97	12,26

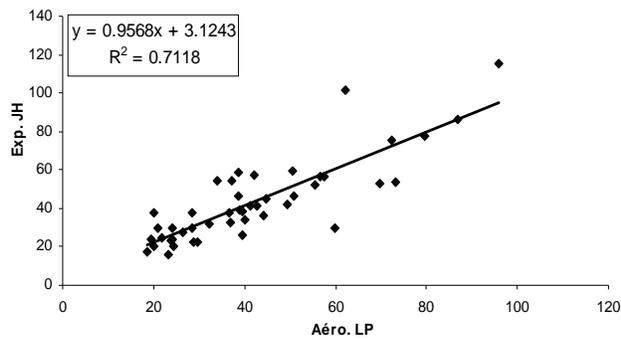


Figura 4. Dispersión del índice IF anual, con tendencia de tipo lineal.

Junto con la dispersión del índice medio pareado de ambas estaciones (Aéro. LP y Exp. JH), se observa la función de ajuste correspondiente a una recta con pendiente de 0,96 y un R^2 de 0,71. En la Figura 5, se esquematiza la dispersión del IFM anual pareado de ambas estaciones.

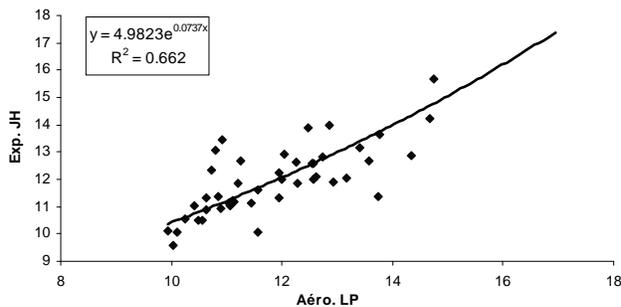


Figura 5. Dispersión del índice IFM anual, con tendencia de tipo potencial.

La función que mejor ajusta para la dispersión del IFM es de tipo potencial, con un R^2 de 0,74, siendo éste el mejor ajuste logrado entre los tres índices usados y por lo tanto, es considerado el índice más representativo. En la Figura 6, se representa la dispersión del ICP anual pareado de ambas estaciones.

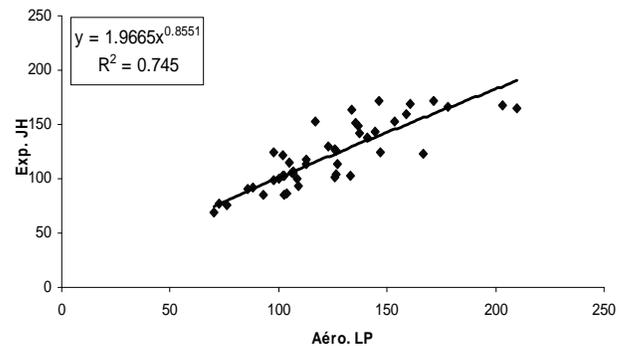


Figura 6. Dispersión del índice ICP anual, con tendencia de tipo exponencial.

La función de ajuste para la dispersión de valores de ICP es de tipo exponencial, con un R^2 que no supera los de los índices anteriores (0,66).

Una vez seleccionado el índice IFM como el más representativo, se presenta en la Figura 7 la imagen de tipo raster, resultante de la interpolación lineal de los valores anuales correspondientes a cada estación meteorológica.

En esta imagen, cada punto de la cuenca adopta valores de IFM anual resultantes de la interpolación lineal en base SIG de los datos puntuales de las estaciones. El color más oscuro de la imagen se corresponde con los valores más altos (120,7) y los más claros con los más bajos (116,3), indicando un aumento de la agresividad de las precipitaciones cuenca abajo.

En la Figura 8 se representa espacialmente la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del arroyo El Pescado, a través del índice IFM seleccionado. Como puede observarse, en la Figura 8 se han graficado las líneas de igual potencial de agresividad, con valores que van desde 116,5 en la cabecera de la cuenca a 120,5 en el cierre de la misma. La equidistancia presente entre las isoerodentas es de 0,5 y su interpretación se presenta a través de la clasificación propuesta por Lobo *et al.* (2005) (Tabla 4).

De esta clasificación se desprende que el potencial erosivo de las lluvias para la cuenca del arroyo El Pescado y para el período de lluvias analizado, es considerado de moderado a alto, llegando a valores altos sólo en el cierre de la cuenca.

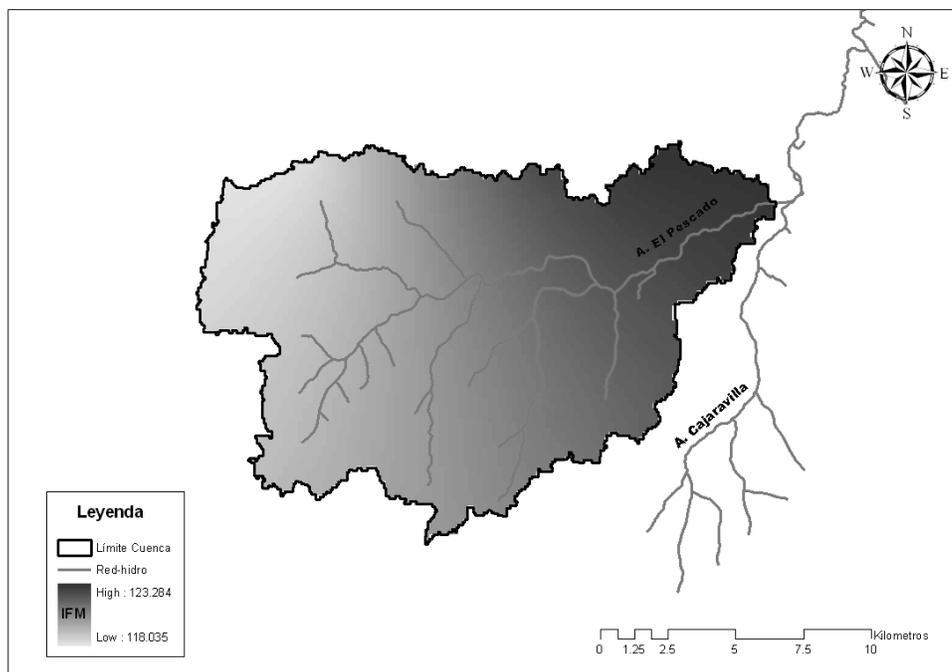


Figura 7. Imagen resultante de la interpolación del IFM anual de ambas estaciones meteorológicas.

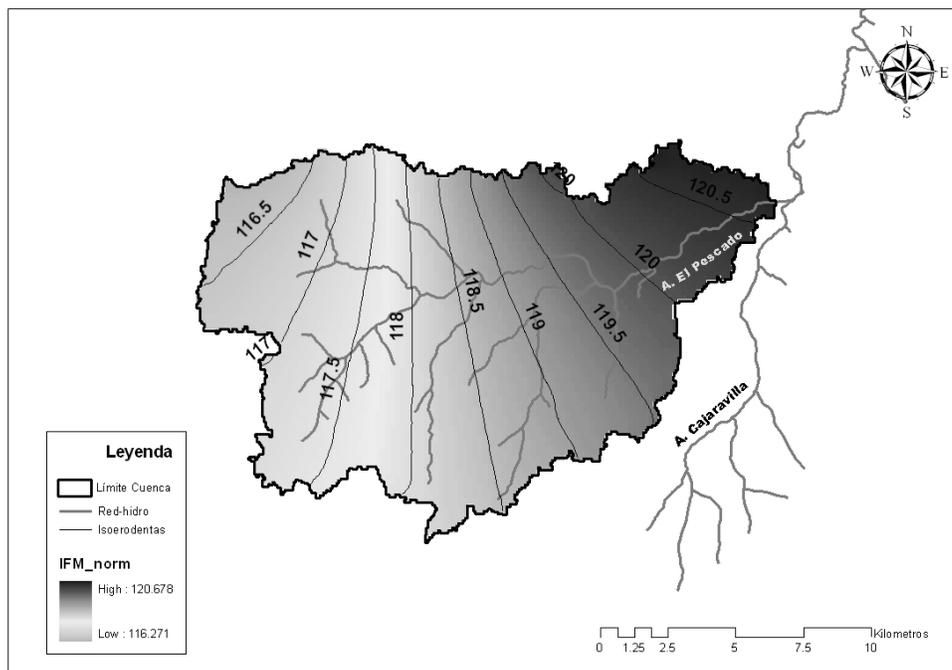


Figura 8. Mapa de agresividad de las precipitaciones de la cuenca del arroyo El Pescado, según el índice IFM.

Tabla 4. Clasificación del IFM para Latinoamérica.

Clase	Rango	Clasificación
1	< de 60	Muy bajo
2	60 a 90	Bajo
3	90 a 120	Moderado
4	120 a 160	Alto
5	> de 160	Muy alto

CONCLUSIONES

El estudio de la agresividad de las precipitaciones para la cuenca del arroyo El Pescado, en la Provincia de Buenos Aires (Argentina), permitió caracterizar la variabilidad de las lluvias en el período 1961 – 2007 y el potencial aumento de impacto erosivo de las mismas, representado por valores de IFM anual que oscila entre 120,7 a 116,3. Este período surge de la correspondencia entre los datos estudiados de las series de las dos estaciones.

Se identificó un cambio espacio-temporal de la concentración de las precipitaciones. Este fenómeno es un indicador de la agresividad de las precipitaciones y está directamente relacionado con la cantidad de lluvia precipitada para el mismo período.

Del análisis temporal puede distinguirse un cambio ascendente en la tendencia e intensidad de la precipitación anual, mientras que del análisis espacial, se interpreta una disminución de los indicadores de agresividad de las precipitaciones en la cabecera del arroyo El Pescado, coincidente con las áreas de recarga de la cuenca y desarrollo de la producción agrícola ganadera. Esto indicaría que la cobertura herbácea actúa como un atemperante del efecto erosivo de las lluvias. En contraste, aguas abajo de la cuenca se observan los mayores índices de agresividad, cuyas condiciones de anegamiento, agravadas en los períodos húmedos, se encuentran vinculadas a la saturación de la capa freática aflorante, pendientes prácticamente nulas y ausencia de una cobertura vegetal que atenúe los excesos hídricos.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado durante la estancia doctoral en la Cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP, y financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, proyecto “Pautas del manejo de recurso agua en ambientes de llanura” (PICT 7-38256). Se agradece al Ingeniero Agrónomo Marcelo Asbornio de la experimental “Ing. Agr. Julio Hirschhorn” por brindar no sólo los registros de la estación meteorológica sino también por su predisposición y experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

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. John

Wiley y Sons, Inc. Chichester – Gran Bretaña. pp:127 – 132.

Besteiro, S. I. 2010. Incidencia de la cobertura forestal sobre la dinámica del agua en la cuenca alta del arroyo El Pescado, partido de La Plata. Mg. Sc. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UN La Plata, Argentina. 125 pp.

Castiglioni, M. G., C. I. Chagas, M. J. Massobrio, O. J. Santanatoglia & A. Buján. 2006. Análisis de los escurrimientos de una microcuenca de Pampa Ondulada bajo diferentes sistemas de labranza. *Cienc. suelo.* 24 (2). pp: 169-176.

Castillo, A., R. W. Martín & R. Osorio. 1996. Erosión hídrica en la cuenca del río Guadalfeo (Granada); estudio comparativo de las metodologías de la USLE y Fournier. *Geogaceta*, 19. pp: 142-145.

Fidalgo, F. & R. Martínez. 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina.* Buenos Aires, Argentina. XXXVIII (2). pp: 263 - 279.

Fidalgo, F., F. De Francesco & R. Pascual. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. *Relatorio VI Congreso Geológico Argentino.* Bahía Blanca. pp:103 – 138.

Fournier, F. 1960. Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Ed. Presses Universitaires de France. Paris. 201 pp.

Gaspari, F. J., A. M. Rodríguez V., G. E. Senisterra & M. I. Delgado. 2007. Determinación espacio temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires – Argentina. *Revista Geográfica Venezolana.* 49 (1). pp: 57 – 66.

Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Barcelona. Ed. Reverté S. A. 335 pp.

Jordán, A. & N. Bellinfante. 2000. Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología.* 7-3. pp: 83-92.

Kruse, E., P. Laurencena, M. Deluchi, L. Varela, L. Albina & E. Rosales. 2003a. Relación hidroquímica superficial – subterránea en cuencas de llanura. Noreste de la provincia de Buenos Aires. III Congreso de Hidrogeología. I Seminario Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología subterránea. Rosario, Argentina. Tomo II. pp: 461 – 471.

Kruse, E., L. Varela, P. Laurencena, M. Deluchi, A. Rojo & E. Carol. 2003b. Modificaciones del ciclo hidrológico en un área del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Argentina. Simposio sobre El Agua y la Ciudad sostenible: Hidrogeología Urbana. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Barcelona: pp: 30 - 36.

Laurencena, P. V., E. Kruse, A. Rojo & M. Deluchi. 2002. Características de las variaciones freáticas en un área del noreste de la provincia de Buenos Aires. XXXII IAH & VI ALSHUD Congreso “Aguas subterráneas y Desarrollo Humano”, Mar del Plata. Argentina. 176 pp.

Laurencena, P. V., E. Kruse, A. Rojo, M. Deluchi & E. Carol. 2005. Variaciones de niveles freáticos en la cuenca del arroyo El Pescado (provincia de Buenos Aires). IV Congreso Hidrogeológico Argentino y II Seminario Hispano – Americano sobre temas actuales

de Hidrología Subterránea. Río IV, Córdoba, Argentina. pp: 77 – 84.

Lentini, R. M. C. 2006. Estrategia educativa para proteger el Arroyo El Pescado. Congreso de Zoonosis, Mesa redonda sobre Bioseguridad. 10, 11 y 12 de Mayo - La Plata, Argentina.

<http://cnia.inta.gov.ar/helminto/Antiparasitarios/Bioseguridad5.htm>. (Consulta, febrero de 2009)

Lobo, D., D. Gabriels, F. Ovalles, F. Santibañez, M. Moyano, R. Aguilera, R. Pizarro, C. Sanguesa & N. Urrea. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. [Online]. http://www.cazalac.org/documentos/Guia_Mapa_ZA_AL_C.pdf. (Consulta, Julio de 2011)

NASA. 2000. Shuttle Radar Topography Mision (SRTM). Jet Propulsion laboratory, California Institute of Technology. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spanish.htm>. (Consulta, junio de 2009)

Oesterheld, M. 2008. Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas: fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. *Ecol. Austral* [online]. 18 (3). pp: 337-346.

Oliver, J. E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer*. 32 (3). pp: 300 – 309.

Paruelo, J. M., J. P. Guerschman, G. Piñeiro, E. G. Jobbágy, S. R. Verón, G. Baldi & S. Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*. X (2). pp: 47 – 61.

Pérez A., J. D. & O. J. Mesa S. 2002. Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia. Simposio Latinoamericano de Control de Erosión. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga-Sociedad Colombiana de Geotecnia. pp: 18 - 22.

Ramírez O., F. A., E. Hincapié G., S. Sadeghian Kh. & U. Pérez G. 2007. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé*. 58 (1). pp: 40 – 52.

Sala, J. M. & M. Auge. 1973. Presencia de capas filtrantes en el noreste de la Provincia de Buenos Aires. Su determinación. *Actas V Congreso Geológico Argentino*, Buenos Aires. Tomo V. pp: 185 – 194.

Sala, J. M., N. González & E. Kruse. 1983. Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. Coloquio sobre Hidrología de Grandes Llanuras. PHI – UNESCO. Olavaria. II. pp: 973-1009.

Tsakoumagkos, P. & A. Giordano B. 2010. Productores agropecuarios, pampa ondulada y problemáticas edáficas: un estudio de caso en el noreste bonaerense. *Mundo Agrario*. 11 (21). 19 pp.

Viglizzo, E. F., F. C. Frank, L. V. Carreño, E. G. Jobbágy, H. Pereyra, J. Clatt, D. Pincén & M. F. Ricard. 2010. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. Blackwell Publishing Ltd, *Global Change Biology*. 15 pp.

Wischmeier, W. H. & D. D. Smith. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geophys Union*. 39. pp: 285-291.