

LA PROBLEMÁTICA ALUVIONAL EN EL ALTO VALLE DEL RÍO NEGRO, ARGENTINA

• Marta S. Marizza •

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

• Raúl Rapacioli •

Universidad Nacional del Comahue, Argentina

• Luis Vives •

Instituto de Hidrología de Llanuras, Argentina

Resumen

A medida que la presencia del hombre y sus actividades socioeconómicas se extienden sobre la superficie del planeta, la interferencia con la naturaleza y su dinámica son cada vez mayores, tal es el caso de la ocupación de las márgenes y zonas de desbordamiento de los cursos de agua. En zonas áridas y semiáridas, las crecidas causadas por lluvias intensas y de corta duración originan el desprendimiento, transporte y deposición de material aluvional, con consecuencias catastróficas en aquellas cuencas donde aguas abajo existen asentamientos urbanos. En el Alto Valle del Río Negro, Norpatagonia Argentina, las ciudades han sufrido una expansión urbana sin planificación en las últimas décadas, y han ocupado de manera caótica suelos no aptos para el asentamiento humano permanente. Los fenómenos denominados pluvioaluvionales afectan de manera directa la dinámica urbana y social de estas ciudades. Se hace necesario una adecuación de las obras existentes y un plan de manejo de cuenca que haga posible el desarrollo sustentable de las mismas. Con el fin de elaborar tecnologías adecuadas para la protección futura de las ciudades, en este trabajo se presenta un diagnóstico inicial de la degradación de suelos, a partir de la vinculación de un modelo de pérdida de suelo y un modelo lluvia escorrentía, utilizando técnicas SIG.

Palabras clave: escorrentía, erosión, sistema de información geográfica.

Introducción

En muchos países con ambientes semiáridos, la pérdida de suelo por erosión constituye un problema medioambiental grave, por lo que resulta de gran importancia el análisis de los riesgos potenciales que determinen áreas de mayor vulnerabilidad a la erosión, a fin de planificar medidas de control y manejo. En el caso particular de Argentina, el fenómeno se manifiesta principalmente en toda la región árida y semiárida que se extiende al oeste del país, en una franja que va de norte a sur. En la provincia de Mendoza, los aluviones son frecuentes en la región pedemontana y se producen por el escurrimiento generado por lluvias estivales de corta duración

y gran intensidad, pendientes pronunciadas, escasa vegetación y determinadas condiciones edafológicas. Para el control y la corrección de los cauces y sus áreas de inundación se ha realizado un estudio hidrológico aluvional que, valiéndose de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), permite representar la variabilidad espacial del medio físico, simular escenarios y aplicar modelos hidrológicos (Vargas-Aranibar y Burgos, 2004).

En la región del Alto Valle del Río Negro, localizada en el extremo norte de la Patagonia Argentina, con frecuencia ocurren precipitaciones intensas que aportan el 50% o más de la lluvia anual, originando crecidas aluvionales que se desplazan hacia las zonas bajas, donde

generalmente se encuentran núcleos urbanos, produciendo su anegamiento y resultando afectados y/o destruidos puentes, caminos y rutas. Como hecho demostrativo del peligro derivado del fenómeno torrencial, se puede mencionar el gravísimo aluvión de marzo de 1975, que arrasó la mayor parte de la provincia del Neuquén y Alto Valle del Río Negro.

El aumento de la población y la creciente urbanización hacia la zona de bardas en las últimas décadas ha impactado fuertemente en la escorrentía. Las obras de defensa resultan insuficientes y de carácter parcial para la solución del problema aluvional, por lo que es necesario elaborar nuevos planes de manejo de cuencas, en donde se contemple la readecuación de las obras existentes y la ejecución de nuevas obras en sectores de alta vulnerabilidad. Este trabajo presenta una evaluación de la dinámica hídrica de las cuencas aluvionales, determinando los caudales máximos y volúmenes de aporte de sedimentos que pueden impactar en las ciudades debido al escurrimiento pluvioaluvional. Para ello se ha vinculado la ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada, de base empírica, y un modelo de lluvia escorrentía en el medioambiente del SIG; además se utilizó un *Modelo Digital del Terreno (MDT)*. Son numerosos los trabajos que estiman pérdida de suelo relacionando escorrentía, erosión y usando el *MDT*. Algunos autores han trabajado con modelos de simulación (Burrough, 1986; De Roo et al., 1989; Moore et al., 1992, 1993); otros incorporan sistemas especiales y modelos matemáticos (Fernandes, 1997).

Específicamente de los estudios de erosión en cuencas aluvionales se destacan las investigaciones realizadas en Mendoza para la determinación de la sustentabilidad hidrológica de urbanizaciones en pedemontes utilizando *SIG ARC VIEW* y teledetección, conjuntamente con los modelos hidrológicos *ARHYMO* y *HEC-HMS* (Maza et al., 2004), y en la provincia de Neuquén, el estudio

hidrológico de las cuencas aluvionales, a partir del cual se obtuvieron curvas generalizadas para estimar caudales y volúmenes, con el fin de diseñar estructuras de control (Fernández et al., 1980).

Estudios más recientes muestran cómo elaborar cartografía de estados erosivos para la identificación de áreas de especial sensibilidad a la erosión (Rodríguez-Entrena, 2007) o predecir procesos erosivos en áreas montañosas, integrando en el SIG imágenes de satélite, *MDT* y utilizando como factores incidentes, además de los naturales, los factores antropogénicos (Wenfu-Penga et al., 2008).

Dado que el uso del suelo es una variable dinámica, esta investigación pretende evaluar la situación actual y, con base en ella, brindar una medida preliminar de la degradación ambiental.

Descripción del área de estudio

La zona de estudio, denominada Alto Valle del Río Negro, en la Norpatagonia Argentina, se trata de una unidad económica-productiva que abarca partes de las provincias del Neuquén y Río Negro (67° 19' y 68° 06' longitud oeste, y 45', y 39° 07' latitud sur.). Este área, de aproximadamente 2 900 km², incluye las localidades de Allen, Cinco Saltos, Cipolletti, Fernández Oro, General Roca y Stefenelli, en la provincia de Río Negro, y parte de la ciudad de Neuquén, en la provincia del mismo nombre. Se trata de un valle de formación sedimentaria, surcado por los ríos Limay y Neuquén, cuya confluencia da origen al río Negro. El clima es continental, templado y árido, con una precipitación media anual de 188 mm y heladas primaverales. Las precipitaciones son de origen convectivo, caracterizándose por su gran intensidad, corta duración y escasa cobertura areal. Los vientos predominan del cuadrante oeste y sudoeste, con mayor frecuencia en primavera-verano. Los suelos son típicos de desierto; se caracterizan por su baja

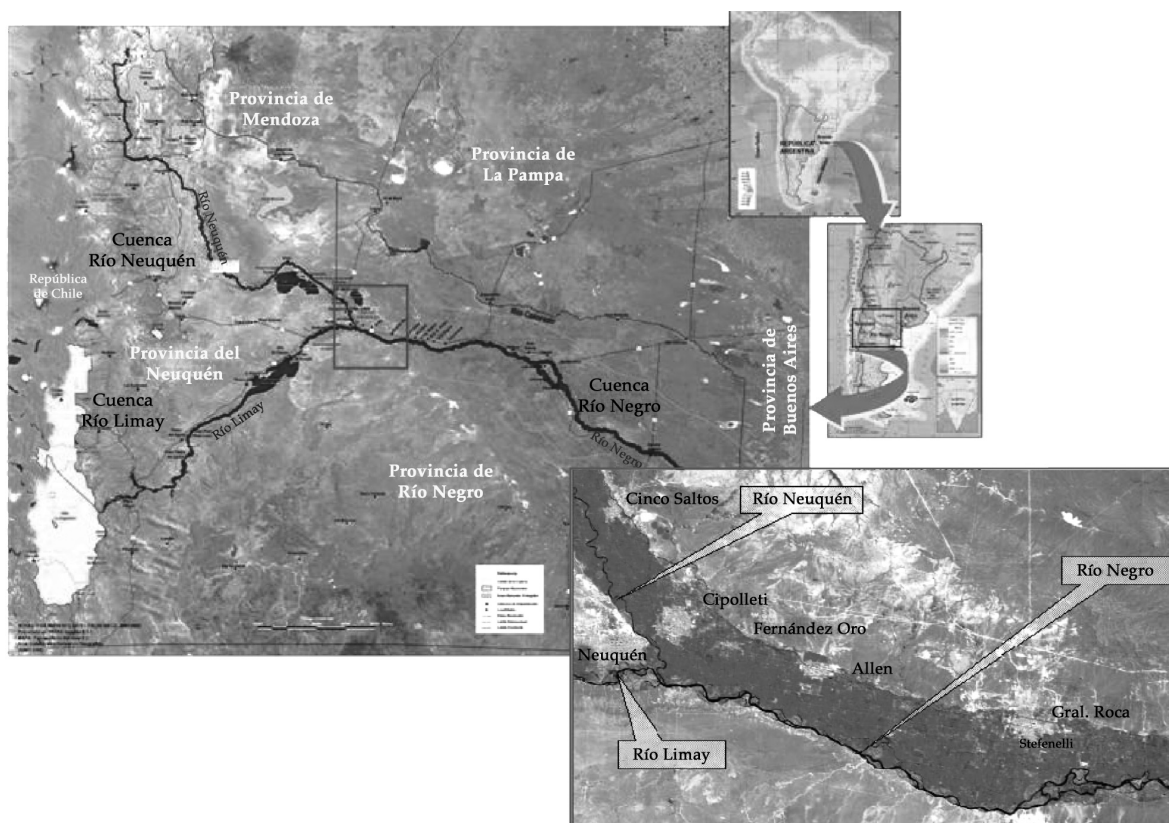


Figura 1. Zona de estudio: Alto Valle del Río Negro, Argentina.

meteorización de origen coluvional, de texturas no muy pesadas, entre arenosos y franco limosos, escasos en materia orgánica (<1%), con velocidad de infiltración media a alta y con un perfil profundo, sin gran desarrollo edáfico. El relieve es mesetiforme, con superficies topográficas escalonadas. Existen zonas escarpadas con relieve abrupto o anguloso. Se distingue la presencia de superficies subhorizontales planas, generadas a partir de la erosión de las sedimentitas cretácicas, hasta alcanzar un nivel de mayor resistencia. Las geformas mayores se presentan con diverso grado de disección, donde se evidencia desde líneas de escurrimiento hasta cárcavas y cursos aluvionales de mayor envergadura.

La vegetación natural predominante son estepas arbustivas xerófilas, sammófilas o halófitas. Solamente en las márgenes de los ríos

se encuentran especies hidrófilas. La figura 1 muestra la localización del área de estudio.

Materiales y métodos

Para este estudio se dispuso del *Modelo Digital del Terreno (MDT)* que el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey) tiene disponible para América del Sur (formato *grid*, paso de malla de 90 m, coordenadas geográficas con *datum* WGS84). El área de análisis comprendida entre los meridianos de 67° 19' y 68° 06' de longitud oeste, y los paralelos de 38° 45' y 39° 07' de latitud sur. El *MDT* se adaptó a la resolución de la imagen formato digital (25 m de resolución) obtenida por el satélite Landsat Thematic Mapper, correspondiente a la órbita 280-087 del 14 de abril de 2004

(imagen IS-4.1). Se dispuso además del *Atlas digital de suelo de la República Argentina* (INTA, 2000). Toda la información digital se proyectó al sistema *POSGAR94-Faja 2*. Los *software ARC VIEW* (ESRI, 2000) y *ERDAS IMAGE* (ERDAS IMAGINE, 2001) se utilizaron como herramientas de análisis.

Aplicación de la ecuación MUSLE

La evaluación de la dinámica hídrica de las cuencas aluvionales se basa en la integración del modelo hidrológico *HEC-HMS* (USACE, 2006) para la determinación de la escorrentía, y la ecuación universal de pérdida de suelo modificada (*MUSLE*) para la evaluación de la producción de sedimentos.

La ecuación empírica universal de pérdida de suelo, *USLE* (Wischmeier et al., 1965) fue desarrollada para estimar la pérdida de suelo anual para pequeñas cuencas. Su versión modificada, *MUSLE*, introduce las características de la escorrentía originada por una tormenta para obtener la producción de sedimentos a la salida de la cuenca; su expresión es la siguiente:

$$Y = 11.78 (VQp)^{0.56} K L S C P \quad (1)$$

donde:

Y = sedimentos producidos por una tormenta aislada (tn).

V = volumen de escorrentía (m³).

Qp = máximo caudal instantáneo (m³/s).

K = factor de erosionabilidad del suelo (tn* h/ Newton* ha).

LS = factor topográfico.

C = factor de cultivo y manejo de suelo.

P = factor de prácticas de control de la erosión.

El volumen de escorrentía, V , se estima mediante el modelo de lluvia efectiva basado en el método del Número de Curva (CN) desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (USDA, 1972) y el cálculo del caudal

máximo, utilizando el modelo basado en el hidrograma unitario. El factor de escorrentía $\alpha(VQp)^{\beta}$ representa la energía usada en los procesos de desprendimiento y transporte de las partículas. La variable V está relacionada con los procesos de desprendimiento y Qp define el transporte de sedimentos (Williams y Berndt, 1977).

La escorrentía se obtiene aplicando el modelo *HEC-HMS*, adoptando una tormenta de diseño del modelo de Intensidad de Precipitación para el Alto Valle del Río Negro (Rapacioli y Marizza, 1996), el Método del Número de Curva como método de abstracción y el Método del Hidrograma Unitario Sintético de Clark para la transformación lluvia-caudal (Chow et al., 1994).

El modelo de Intensidad de Precipitación para el Alto Valle del Río Negro fue elaborado recopilando información pluviométrica de la región y teniendo en cuenta consideraciones y metodologías desarrolladas por otros autores (Medina y Moyano, 1975; Fernández et al., 1980; Barros et al., 1983; Ruhle, 1986; Consorcio Inconas Latino Consult, 1988; Rapacioli y Toth, 1994). Se utilizaron registros de precipitaciones máximas anuales con duraciones de entre 5 y 120 minutos, correspondientes a un periodo de 29 años de la estación Cipolletti del Servicio Meteorológico Nacional, incorporando, además, datos de estaciones meteorológicas que posee la Universidad Nacional del Comahue en Allen, Argentina, y en Barda del Medio (Neuquén) hasta el año 1994, inclusive.

Con los datos recopilados de precipitaciones intensas se realizó un ajuste estadístico utilizando la expresión de Gumbel; luego, los datos obtenidos del modelo estadístico se ajustaron según el siguiente modelo:

$$I = \frac{a}{t^b + c} \quad (2)$$

Siendo:

I = intensidad media de precipitación para un periodo de recurrencia dado, en mm/hora.

t = duración de la precipitación, en horas.

a = coeficiente que depende del intervalo de recurrencia, en mm.

b = constante (exponente de t).

c = coeficiente, en horas.

La figura 2 muestra las curvas intensidad-duración-frecuencia obtenidas con el modelo adoptado.

Considerando que el 75% de las tormentas presenta duraciones iguales o menores a cuatro horas y que para duraciones mayores la frecuencia disminuye notablemente (Consortio Inconas Latino Consult, 1988), los valores de precipitación para distintas recurrencias según el modelo de la ecuación (2) se observan en el cuadro 1.

La secuencia metodológica consiste en aplicar al MDT las extensiones *Spatial Analyst*, *Hydro* y *HEC-GeoHMS* (USACE, 2003) del SIG ARCVIEW, para delimitar e identificar

dentro de la zona de análisis las cuencas donde se presenta el fenómeno aluvional y las respectivas redes de drenaje. Este procesamiento permite, además, obtener un conjunto de parámetros morfométricos, físicos de forma y parámetros relativos a la red de drenaje utilizados en la caracterización de las cuencas. Entre ellos se pueden citar coeficiente de Gravelius, coeficiente de masividad, densidad de drenaje, pendiente media del cauce y tiempo de concentración.

Posteriormente se obtuvo el CN requerido para la modelación hidrológica integrando el SIG (ARC VIEW) con el HEC-HMS. El índice CN indica el potencial de escorrentía del suelo; se consideró la condición I de humedad antecedente (suelo totalmente seco) y su determinación se realizó de manera distribuida mediante álgebra de mapas y reclasificaciones digitales de los mapas de cobertura y uso del suelo, grupos hidrológicos de suelos, pendientes y aspectos u orientaciones. Las operaciones se presentan en el diagrama de flujo de la figura 3.

Finalmente se estimaron los factores de la ecuación (1). El coeficiente K de erodabilidad del suelo representa la susceptibilidad de éste a la acción de agentes erosivos y es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como del manejo. Se obtuvo a partir de la multiplicación de factores que consideran los porcentajes de arena, arcilla, limo y materia orgánica (Williams, 1995). El factor topográfico LS comprende el efecto combinando de longitud y pendiente y resultó del producto de

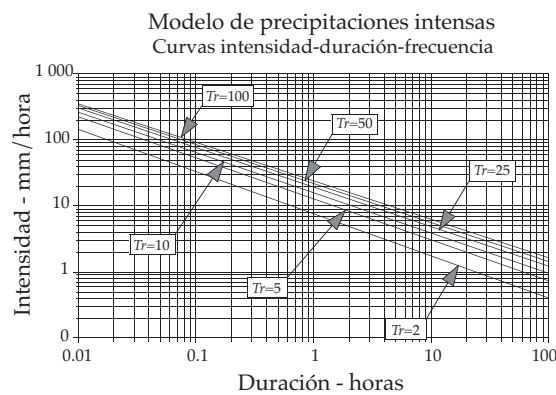


Figura 2. Curvas intensidad-duración-frecuencias para el Alto Valle del Río Negro (Rapacioli y Marizza, 1996).

Cuadro 1. Hietogramas acumulados (mm) de tormenta de 4 h de duración para distintas recurrencias TR.

TR (años)	1ª hora	2ª hora	3ª hora	4ª hora
2	6	19	20	21
5	10	34	38	39
10	12	43	49	50
25	15	54	61	64
50	16	60	71	75
100	21	73	84	85

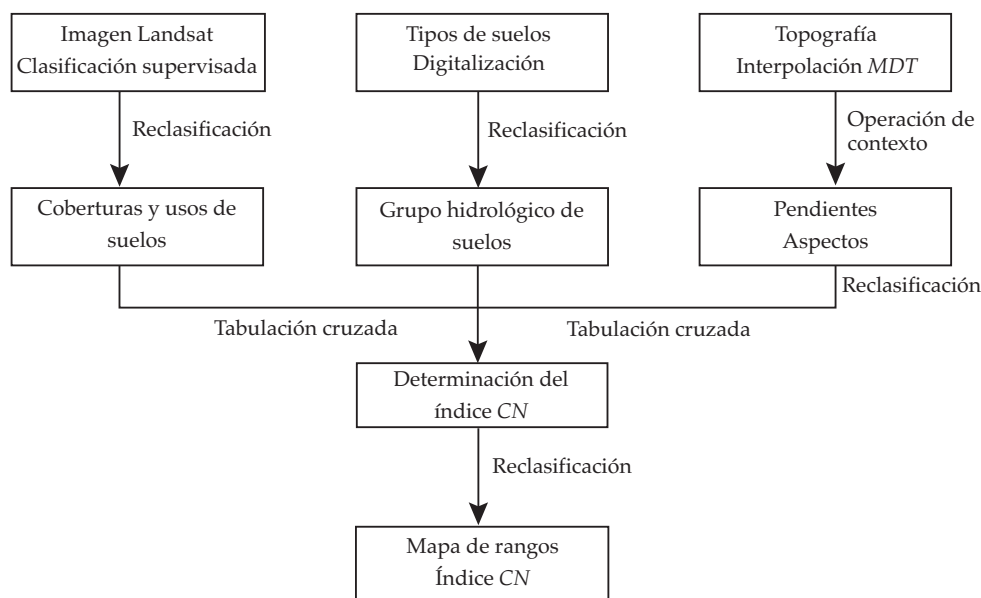


Figura 3. Esquema para la obtención del potencial de escorrentía. Número de curva.

ambos (Wischmeier *et al.*, 1978). El valor de C se consiguió a partir de los valores del índice $NDVI$ (Chao-Yuan *et al.*, 2002). Este índice muestra la alta correlación con la biomasa sobre el terreno y varía entre -1 y 1 . A partir de una imagen Landsat de la zona de análisis, este índice se calculó con la clásica expresión:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

Donde NIR corresponde a la banda 4 (infrarrojo cercano) y R a la banda 3 (rojo).

En consecuencia es posible vincular el $NDVI$ con el factor C del siguiente modo:

$$\text{Factor } C = \frac{(1 - NDVI)}{2} \quad (4)$$

El factor C tiene su mínima expresión en abril, indicando la menor cobertura vegetal. Para cada cuenca se estimó como el valor medio ponderado de acuerdo con la superficie de la

misma. El factor de prácticas de control de erosión P indica la relación entre la cantidad de suelo perdido utilizando prácticas de conservación y el producido sin ellas. Sin prácticas de conservación, P se considera la unidad.

Se evaluó además la fragilidad hidrológica definida por un índice que combina los efectos que pueden producir los cambios en algunas variables como el índice CN , la pendiente del terreno y la cercanía a cauces naturales (Cazorzi, 2002). El mismo queda expresado por la ecuación:

$$FH = \frac{(100 - CN) + (100 - DC) + Pd}{3} \quad (5)$$

Siendo:

FH = índice de fragilidad hídrica (de 0 a 100).

CN = índice número de curva.

DC = distancia a cursos de la red hidrográfica (m).

Pd = pendiente del terreno (%).

El índice FH se obtiene generando un mapa distribuido a partir del mapa de pendientes (Pd) (derivado del mapa de altitudes o MDT), el mapa de distancia a cursos (DC), y del mapa distribuido de CN .

Resultados y discusión

La metodología fue aplicada a la región del Alto Valle del Río Negro, delimitando 21 cuencas aluvionales (ver figura 4) y sus respectivas redes de drenaje, a partir de las cuales se calcularon los parámetros morfométricos, físicos de relieve y relativos a la red de drenaje como lo muestra el cuadro 2, tal como se describe en la sección anterior.

La aplicación del modelo $HEC-HMS$ se basó en un modelo de cuenca obtenido a partir del $HEC GeoHms$ sobre la base del MDT , considerando cada cuenca de

manera independiente, con un valor de CN ponderado de acuerdo con el área de la misma y obtenido a partir de la figura 4. No se consideró flujo base, puesto que interesaba conocer el flujo superficial que aporta el mayor volumen de escorrentía. Se obtuvieron los hidrogramas de crecidas, de donde se desprenden los valores de V y Qp para recurrencias $T= 2, 5, 10, 25, 50$ y 100 años. A modo de ejemplo, las figuras 5 y 6 muestran los hidrogramas con caudales pico para $TR=100$ años de 464.65 y 235.22 m^3/s para las cuencas 7 y 12, respectivamente.

El factor C distribuido obtenido a partir del $NDVI$ se observa en la figura 7. Se adoptó un valor de 1 para el factor P , dado que en las cuencas aluvionales no se practican actividades de conservación (Rapacioli, 2007). La producción de sedimentos para cada cuenca y recurrencia se observa en el cuadro 3.

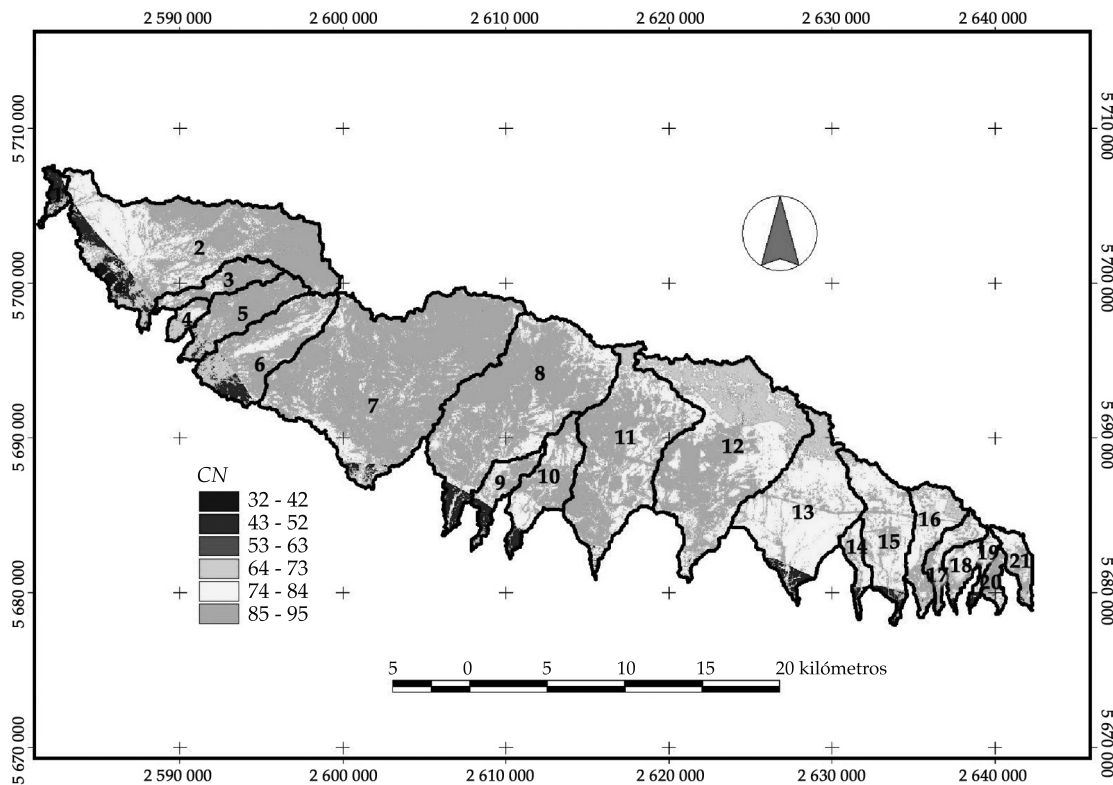


Figura 4. Mapa con los valores de CN y el número de zonas (en negritas).

Cuadro 2. Principales parámetros de las cuencas aluvionales.

Cuenca	Superficie S (km²)	Pendiente media Im (%)	Coefficiente Gravelius Cg	Coefficiente masividad Cm	Coefficiente orográfico CO	Densidad drenaje Dd	Tiempo de concentración Tc (h)
1	3.55	2.77	1.82	99.16	34 934.81	2.78	1.27
2	84.78	2.21	1.86	4.04	1 384.68	3.46	4.74
3	10.60	2.13	1.95	32.07	10 904.30	3.52	2.30
4	4.01	2.32	1.32	76.27	23 332.66	3.17	1.02
5	18.27	2.87	1.69	18.67	6 370.72	3.40	2.30
6	30.59	3.00	1.46	11.23	3 855.36	3.62	2.44
7	115.44	3.11	1.49	3.08	1 096.47	3.45	3.32
8	79.22	2.78	1.53	4.60	1 677.58	3.53	4.02
9	9.53	2.23	2.00	30.94	9 126.68	3.20	2.03
10	19.55	2.35	1.70	16.03	5 025.65	3.42	2.71
11	59.88	2.65	1.65	5.86	2 058.39	3.50	2.84
12	82.04	2.96	1.70	4.59	1 725.57	3.32	4.26
13	48.74	3.38	1.56	7.23	2 547.63	3.39	2.91
14	5.64	3.85	1.87	54.12	16 529.76	3.26	1.11
15	25.84	3.45	1.69	13.16	4 477.85	3.53	2.51
16	15.60	2.75	1.76	20.74	6 707.33	3.28	1.84
17	7.82	3.14	1.96	40.17	12 609.65	3.12	1.59
18	6.00	3.64	1.45	48.73	14 249.83	4.19	0.97
19	3.09	3.72	2.06	101.85	32 028.82	3.31	0.60
20	3.83	4.71	1.57	73.06	20 452.05	3.13	0.73
21	6.53	4.84	1.68	48.57	15 412.96	2.90	1.13

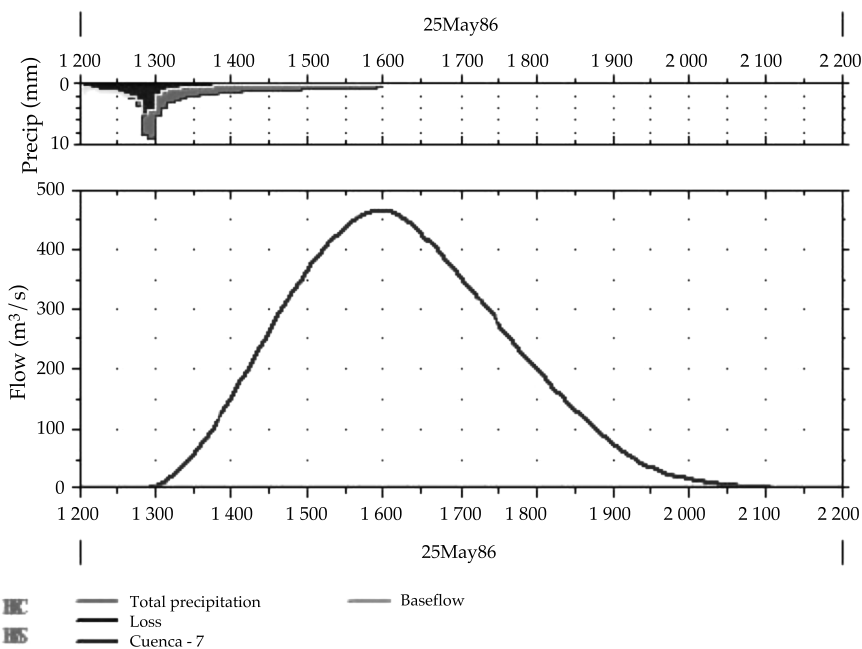


Figura 5. Hidrograma de crecida para cuenca 7 (Allen), T=100 años.

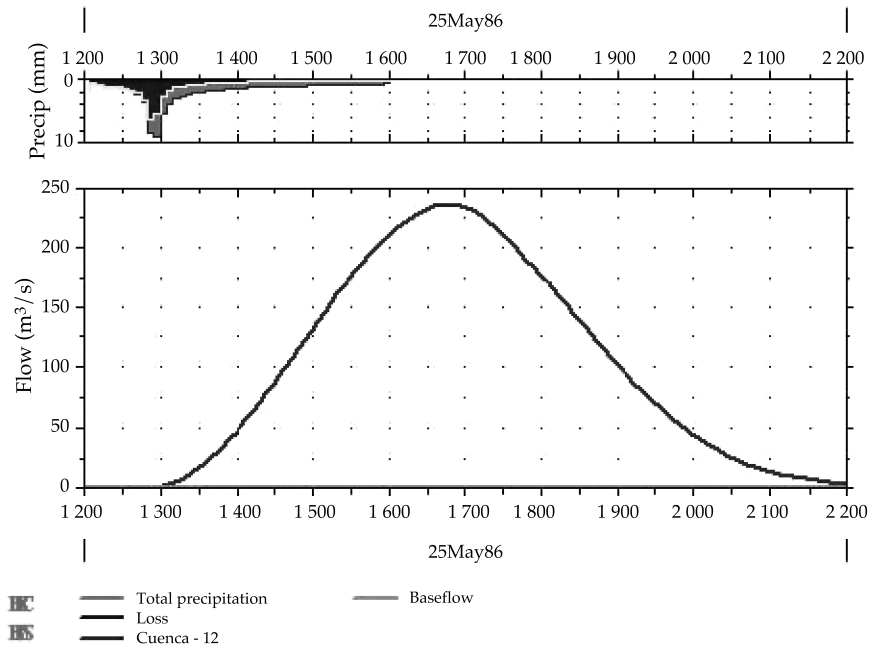


Figura 6. Hidrograma de crecida para cuenca 12 (Gral. Roca), $T=100$ años.

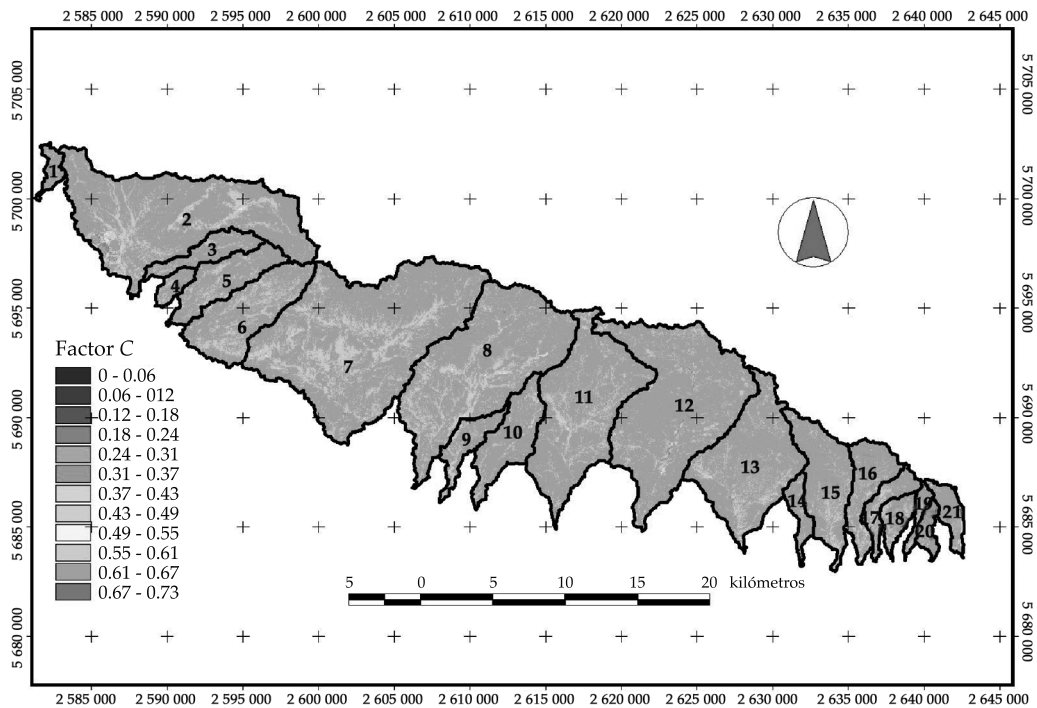


Figura 7. Mapa con zonas de Factor C de cultivo y manejo del suelo.

Cuadro 3. Producción de sedimentos para diferentes recurrencias, en toneladas.

Cuenca	Y2 (T)	Y5 (T)	Y10 (T)	Y25 (T)	Y50 (T)	Y100 (T)
1	1.33	34.41	77.80	161.25	248.19	342.15
2	1 767.43	11 327.69	20 258.76	34 099.56	46 502.22	58 726.00
3	405.77	2 111.72	3 637.01	5 946.02	7 978.30	9 959.88
4	55.35	397.78	761.79	1 359.04	1 919.11	2 480.84
5	822.86	4 392.88	7 624.93	12 547.75	16 896.39	21 154.64
6	1 060.38	6 653.82	12 031.36	20 506.07	28 166.87	35 781.52
7	10 969.97	53 254.39	89 163.55	142 212.25	188 196.40	232 632.77
8	4 093.89	21 420.09	36 514.02	59 110.38	78 871.29	98 073.00
9	136.36	974.11	1 830.78	3 224.19	4 515.69	5 811.62
10	653.72	3 695.48	6 481.67	10 758.93	14 561.01	18 296.35
11	3 236.73	16 727.11	28 611.42	46 489.75	62 161.65	77 438.19
12	2 584.81	16 272.31	29 001.19	48 693.08	66 321.91	83 674.88
13	2 129.55	13 707.67	24 708.94	41 984.22	57 607.04	73 076.11
14	228.66	1 561.21	2 938.44	5 163.77	7 225.08	9 280.55
15	1 303.34	7 845.59	14 021.01	23 649.25	32 301.91	40 848.98
16	501.97	3 127.58	5 680.50	9 697.46	13 318.84	16 918.52
17	413.39	2 404.44	4 289.52	7 221.37	9 848.36	12 440.50
18	327.68	2 030.60	3 696.47	6 307.73	8 685.94	11 028.60
19	94.06	719.68	1 420.22	2 584.74	3 698.50	4 820.94
20	240.61	1 530.11	2 807.00	4 812.74	6 636.59	8 451.35
21	531.22	3 263.36	5 922.82	10 096.52	13 875.31	17 595.57

Las precipitaciones intensas de recurrencia de 10 años o más generan crecidas aluvionales de gran magnitud, movilizand o grandes cantidades de sedimentos que se depositan en la parte inferior del sistema de cuencas, cambiando con frecuencia la fisonomía del sector. De acuerdo con las simulaciones, la dinámica hídrica de las cuencas 7 y 12 impacta fuertemente en los núcleos urbanos de las ciudades de Allen y General Roca, respectivamente. La magnitud de los sedimentos que se movilizan queda explícita en la cuenca número 7, que afecta la ciudad de Allen. La figura 8 muestra que para una crecida de 25 años de recurrencia con $Q_{m\acute{a}x}$ de 298.86 m³/s, se movilizan 209 336 toneladas de sedimentos.

El factor *LS* influye notablemente en la pérdida de suelo en cuencas que, teniendo aproximadamente la misma área y similares

valores de *CN* (cuencas 2, 7 y 12), el potencial erosivo de aquellas con pendientes pronunciadas es sustancialmente mayor y crece con la recurrencia.

Los resultados obtenidos para la fragilidad hidrológica indican que la mayoría de las cuencas presentan fragilidad media (cuadro 4).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados alcanzados, las localidades ubicadas en la zona de análisis

Cuadro 4. Degradación por erosión (FAO, 1980).

Fragilidad hídrica	Porcentaje de ocupación (%)
Baja	0.26
Media	99.74
Alta	0.00

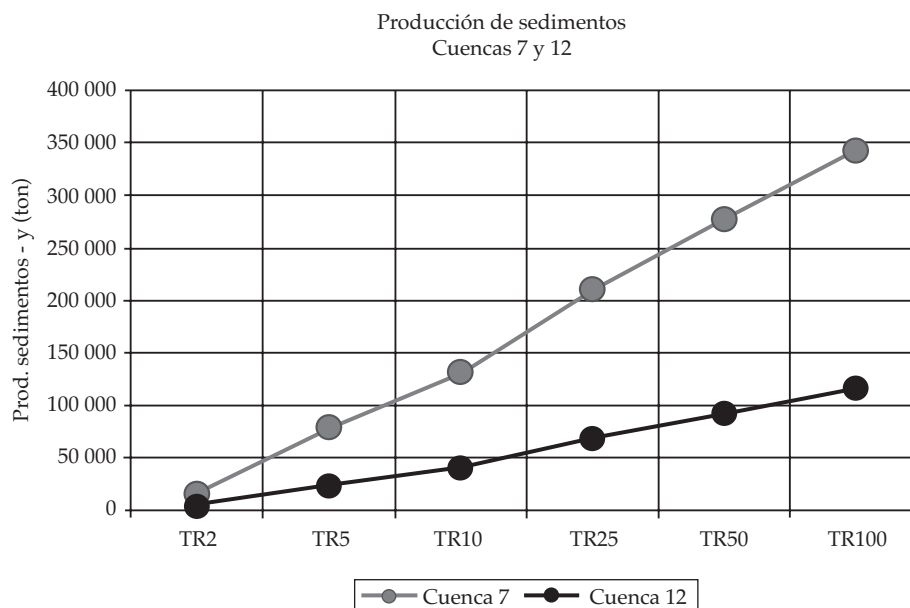


Figura 8. Producción de sedimentos en toneladas para distintas recurrencias en las cuencas de Allen (cuenca 7) y General Roca (cuenca 12).

asentadas en los lechos de deyección del sistema de cuencas aluvionales identificadas poseerían un potencial riesgo de ser afectadas por la dinámica hídrica.

El alto coeficiente de masividad (C_m) presente en cuencas con similar pendiente media y escasa superficie indica una mayor susceptibilidad a fenómenos de torrencialidad. Los valores del índice CN predominantes, superiores a 85, manifiestan que un gran porcentaje de la precipitación que cae sobre el sistema de cuencas escurre superficialmente, contribuyendo al transporte de sedimentos. Estos eventos naturales encierran un cierto grado de peligrosidad, ya que la creciente urbanización ha alterado la configuración de las cuencas, originado un aumento de las áreas bajo riesgo. La obras existentes no han recibido mantenimiento y otras, que están parcialmente ejecutadas y datan de la década de los ochenta (terraplenes y conducciones), no cumplen hoy con los objetivos para los cuales fueron diseñadas.

Un adecuado manejo de la escorrentía y de la erosión hídrica podría conseguirse estableciendo la pendiente de compensación (pendiente con la cual se alcanza el equilibrio en el transporte de sedimentos) menor que la pendiente del cauce principal de la cuenca. De este modo se podrían atenuar los caudales máximos y, por ende, la producción de sedimentos.

Los resultados obtenidos proporcionan un diagnóstico preliminar de la degradación ambiental, que deberán contrastarse con información obtenida de registros de aportes sólidos y líquidos movilizados por cada precipitación en las cuencas urbanas, mismos que no se disponen al momento. Si bien este trabajo constituye un producto inicial, demuestra la necesidad de desarrollar planes de manejo de cuenca acordes con una normativa urbana que permita alcanzar la sustentabilidad hidrológica de las urbanizaciones ubicadas en las cuencas aluvionales de la región.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a las doctoras Leticia Rodríguez y Virginia Venturini del Centro de Estudios Hidroambientales (CENEHA) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas perteneciente a la Universidad Nacional del Litoral, Argentina, por el tiempo y apoyo en la preparación de este artículo.

Recibido: 11/09/2008
Aprobado: 11/05/2009

Referencias

- BARROS, V.R., CORDON, V.H., MOYANO, C.L., MÉNDEZ, R.J., FORQUERA, J.C. y PIZZIO, O. *Cartas de precipitación de la zona oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén*. Cinco Saltos, Argentina: CONICET, Centro Nacional Patagónico-Universidad Nacional del Comahue-Facultad de Ciencias Agrarias, 1983.
- BURROUGH, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment Monograph on Soil and Resources Survey no. 12*. Oxford: Oxford Science Publications, 1986, 50 pp.
- CAZORZI, F. *Woditem HyGrid2k2-Guida de referimento*. Udine, Italia: Università Degli Studi di Udine, 2002.
- CHAO-YUAN, L. WEN-TZU, L. and WEN-CHIEH, C. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil & Tillage Research*. Vol. 68, 2002, pp. 143-152.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. and MAYS, L.W. *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill, 1994.
- CONSORCIO INCONAS LATINOCONSULT. *Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro*. Convenio Agua y Energía S.E. Pcia. de Río Negro. Préstamo BID. Contrato núm. 746 SF-AR, Viedma, Provincia de Río Negro, Argentina, 1988.
- DE ROO, A.P.J., HAZELHOFF, L. and BURROUGH, P.A. Soil modelling using Answers and geographical information systems. *Earth Surf. Proces. Landf.*, Vol. 14, 1989, pp. 517-532.
- ERDAS IMAGINE. *Tour Guides*. Atlanta: Erdas Inc., 2001.
- ESRI. *ARC VIEW GIS version 3.2a. User's Guide and Tutorial Exercises*. New York: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2000.
- FAO. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma: FAO, 1980.
- FERNANDES, E.N. *Sistema Inteligente de Apoio ao Processo de Avaliação de Impactos Ambientais de Atividades Agropecuárias*. MG (Tese Doutorado). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- FERNÁNDEZ, P., SEGERER, C.D., FERNÁNDEZ, J.M., DE SEGERER, E.C., DELGADOS, C. and BUK, E.M. *Estudio hidrológico de cuencas aluvionales en la Provincia del Neuquén y curvas generalizadas para el cálculo hidráulico de estructuras viales*. Buenos Aires: INCYTH-CRA, 1980.
- INTA. *Atlas de suelos de la República Argentina*. Castelar, Provincia de Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2000.
- MAZA, J.A., BURGOS, V., LÓPEZ, P. y VENEGAS, V. *Sustentabilidad hidrológica de urbanizaciones en pedemonte*. Informe Técnico IT núm. 51-CRA. Mendoza, Argentina: INA-CRA, 2004.
- MEDINA, D.L. y MOYANO, M.D. *Estudio piloto de lluvias intensas en la República Argentina*. Buenos Aires: INCYTH, 1975.
- MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A. and PETERSON, G.A., Terrain analysis for soil specific crop management. *Soil Specific Crop Management: A Workshop o Research and Development Issues*. Minnesota Extension Service. Minneapolis: University of Minnesota (Agriculture), 1992, 23 pp.
- MOORE, I.D., TURNER, A.K., WILSON, J.P., JENSON, S.K. and BAND, L.E. GIS and land subsurface process modeling. *Environmental Modeling with GIS*. Goodchild, M.F., Parks, B.O. and Steyaert, L.T. (editors). New York: Oxford University Press, Inc., 1993, pp. 213-230.
- RAPACIOLI, R. y TOTH, A.E. *Metodología para evaluar caudales de diseño en pequeñas cuencas de las ciudades de Cipolletti, Neuquén, Plottier, Centenario, Cinco Saltos y Fernández Oro*. Nehuquén, Argentina, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, 1994.
- RAPACIOLI, R. y MARIZZA, M. *Determinación de un modelo de precipitaciones intensas para la región del Alto Valle del Río Negro y de curvas caudal-área-frecuencia en zona de meseta al norte de la ciudad de Cipolletti*. XVI Congreso Nacional del Agua, Neuquén, Argentina, 1996.
- RAPACIOLI, R. *La problemática aluvional en el desarrollo urbano de la región del Alto Valle del Río Negro*. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. Neuquén: Universidad Nacional del Comahue, 2007.
- RODRÍGUEZ-ENTRENA, M. Potencialidad de las técnicas SIG para la gestión medioambiental: aplicación al estudio de la erosión. Junta de Andalucía. *Revista Electrónica de Medioambiente*. Núm. 3, 2007, pp. 76-89.
- RUHLE, F.G.O. *Determinación de Precipitaciones Intensas de Poca Duración en Regiones sin Información Pluviográfica, a los Fines del Dimensionamiento de Obras de Arte*. Buenos Aires: Dirección General de Vialidad de la Nación, 1986.
- USACE. *HEC-GeoHMS, version 1.1, Geospatial Hydrologic Modeling System Extension. User's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers Civils. Davis, USA: Hydrologic Engineering Center, 2003.
- USACE. *HEC-HMS Hydrologic Modeling System, version 3.1.0. User's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers Civils. Davis, USA: Hydrologic Engineering Center, 2006.

- USDA. SCS *National Engineering Handbook*. Section 4. Hydrology (NEH-4). Washington, D.C.: Soil Conservation Service, 1972.
- VARGAS-ARANIBAR, A. y BURGOS, V. *Estudio Hidrológico aluvional área pedemontana de Ugarteche, Provincia de Mendoza* [en línea]. Disponible en World Wide Web: www.imd.uncu.edu.ar/contenido/skins/www_imd/download/08.ppt.pdf, 2004.
- WENFU-PENGA, B., ZHOUB, J., ZHENGWEI, H. and CUN-JIAN, Y. *Integrated use of remote sensing and GIS for predicting soil erosion process*. XXI Congress. Beijing China [en línea]. Disponible en http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/4_pdf/288.pdf, 2008.
- WILLIAMS, J.R. and BERNDT, H.D. Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrologic. *Transactions of the ASAE*. Vol. 20, no. 6, 1977, pp. 1100-1104.
- WILLIAMS, J.R. The EPIC Model. Chapter 25. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch, USA: Water Resources Publications, 1995, pp. 909-1000.
- WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agriculture Handbook*. No. 282. Washington, D.C., 1965.
- WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, USDA. *Agriculture Handbook*. No. 537. Washington D.C., 1978, pp. 58.

Abstract

MARIZZA, M.S., RAPACIOLI, R. & VIVES, L. *The alluvional phenomenon in the high valley of the Río Negro River, Argentina. Water Technology and Sciences, formerly Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish). Vol. I, no. 1, January-March, 2010, pp. 21-34.*

As human socio-economic activities on the Earth's surface intensify, interferences with nature and its dynamics increase. Examples of this are increasing settlements on river banks and flood plains. In arid and semi-arid regions, convective storms produce flush flooding that causes soil erosion, and sediment transport and deposition. The consequence of this common situation is catastrophic in those basins with many human activities and settlements. In the High Valley of the Río Negro River, in North Patagonia, Argentina, cities expanded without any planning in the last decades. These cities have occupied, in a chaotic way, regions that are unsuitable for permanent human settlements. Thus, flush floods are affecting the urban and social dynamics of these cities. Hence, it is necessary to modify the basin management plan in order to make sustainable development of the basin possible. In order to come up with the appropriate technology for future protection, this paper presents an initial diagnosis of soil degradation by linking a soil erosion model with a rainfall-runoff model using GIS techniques.

Keywords: runoff, soil erosion, Geographical Information System.

Dirección institucional de los autores

Dra. Marta S. Marizza

Profesora adjunta
Centro de Estudios Hidroambientales (CENEHA)
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Paraje el Pozo
3000 Santa Fe, Argentina
teléfono: + (54) (342) 4575 233
mmarizza@fich.unl.edu.ar

MSc. Raúl Rapacioli

Profesor adjunto
Hidráulica, Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400
8300 Neuquén, Argentina
teléfono: + (54) (299) 4488 303
raulrapacioli@yahoo.com.ar

Dr. Luis Vives

Profesor asociado
Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires
Instituto de Hidrología de Llanuras
República de Italia 780
B7300, Azul, Buenos Aires, Argentina
teléfono: + (54) (228) 1432 666
lvives@faa.unicen.edu.ar