

DETECCIÓN DE ÁREAS CON DIFERENTE VULNERABILIDAD A EROSIONARSE A PARTIR DE LA MORFODINÁMICA DEL PAISAJE

G. ACKERMAN¹; D. E. DE PIETRI¹ y O. SANTANATOGLIA²

Recibido: 24/11/99

Aceptado: 29/06/00

RESUMEN

Este trabajo propone una aproximación metodológica para la planificación regional a través del análisis de los condicionantes topográficos y del uso de la tierra. Los análisis topográficos presentan la ventaja de evaluar la dirección, acumulación y velocidad relativa de la escorrentía potencial.

El objetivo del trabajo es generar un modelo espacial para caracterizar la morfodinámica del paisaje de la cuenca del Arroyo del Tala de la provincia de Buenos Aires. Se aplicó la técnica de sistemas de información geográfica (SIG) en la cuenca.

Entre los resultados se observó que la densidad de líneas de drenaje es máxima en la porción media e inferior de la cuenca. En la naciente y algunos pocos sectores medios, el drenaje es difuso; sin embargo, esta controlado mediante zanjas. El modelo espacial obtenido integra y jerarquiza una amplia zona de acumulación en el tercio superior de la cuenca, además de la llanura de inundación y a una pequeña zona de acumulación al norte del tercio inferior. La zona por debajo de los 15 m snm representaría el área de acumulación de toda la cuenca.

Palabras clave: paisaje, modelo, drenaje, cuenca, sistema de información geográfico.

DETECTION OF AREAS WITH DIFFERENT EROSION VULNERABILITY BASED ON LANDSCAPE MORPHODYNAMICS

SUMMARY

A methodological approach to regional planning is proposed through the analysis of the topographical conditionants and the land use. The topographical analysis presents the advantage of evaluating the direction, accumulation and relative speed of the potential runoff.

The aim of this work is to generate a spatial model in order to characterize the morphodynamics of the landscape of the Arroyo del Tala's creek which is located in the province of Buenos Aires. In this basin the technique of Geographical Information System (GIS) was applied.

Among the results it was observed that the density of drainage lines is maximum in the middle and lower portion of the basin. At the headwaters and in scarce intermediate sectors, the drainage is diffuse, however it is controlled by means of ditches. The spatial pattern obtained integrates a wide area of accumulation in the upper portion of the basin, a flood plain and a small area of accumulation in the northern portion of the lower basin. The area located below 15 m height above the sea level would represent the area of accumulation of the whole basin.

Key Words: landscape, model, drainage, basin, geographical information system.

INTRODUCCION

Este trabajo propone una aproximación metodológica para la planificación regional a través del análisis de los condicionantes topográficos

y del uso de la tierra en la cuenca del Arroyo del Tala de la provincia de Buenos Aires.

La evaluación y el monitoreo ambiental han adquirido gran importancia en el desarrollo de

¹Ecología Urbano-Regional. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA. diana@bg.fcen.uba.ar

²Cátedra de Manejo de Suelo. Facultad de Agronomía. UBA. Santana@mail.agro.uba.ar.

estrategias para la explotación racional de los recursos naturales. Para el análisis de las propiedades y cualidades de dichos recursos es conveniente considerar la dinámica del paisaje si se pretende realizar una actividad agropecuaria sustentable.

Los principales problema ambientales asociados a la explotación agropecuaria en áreas con pendiente son la pérdida de suelo y la disminución en la calidad del agua, lo que se traduce un empobrecimiento de la tierra y por ende en una disminución de la productividad de la misma y de la rentabilidad económica (S.C. Rai y E. Sharma, 1998).

Similares resultados se observan en la Cuenca del Tala (Santanatoglia *et al.*, 1983, 1996, Chagas *et al.*, 1993 a, b,). La erosión y la contaminación están íntimamente asociados ya que forman parte de un mismo proceso de degradación que se inicia en el transporte de diferentes elementos desde cualquier punto del terreno hacia el cauce del arroyo.

La cantidad de material arrastrado para un tipo y cantidad de precipitación depende de las características y propiedades del suelo, de la cobertura vegetal, y del tipo de explotación. Pero, además, este proceso hidrológico sigue un patrón espacial determinado principalmente por la topografía de la región. Sin embargo, un manejo incorrecto de la cuenca podrá magnificar las limitaciones naturales de drenaje (Toky y Ramakrishnan, 1994; Soranno *et al.*, 1996; Rai y Sharma, 1998).

Los análisis topográficos en una cuenca presentan la ventaja de evaluar la dirección, acumulación y velocidad relativa de la escorrentía (Toy *et al.*, 1999). Existen varios modelos como la "Ecuación Universal de Pérdida de Suelo" que integran los factores que afectan el escurrimiento; sin embargo, estos requieren gran disponibilidad de datos para su desarrollo (Singh, 1991).

Los modelos de información espacial digital posibilitan la estratificación de las propiedades del paisaje y su cuantificación con precisión, integrando cada punto con su entorno. Este tipo de modelos es actualmente muy utilizado para analizar fuentes de contaminación no puntual, como es el caso de las cuencas de uso agrícola (Young *et al.*, 1986; Vieux, 1991, Oliveira y Maidment, 1999).

El objetivo del trabajo es generar un modelo espacial para caracterizar la morfodinámica del paisaje de la cuenca del arroyo del Tala, provincia de Buenos Aires. Este análisis consiste en una aplicación de la técnica de sistemas de información geográfica (SIG) para discriminar zonas dentro de la cuenca con diferente vulnerabilidad a erosionarse en términos de su ubicación topográfica relativa y la distancia al curso de agua más próximo.

Se espera contribuir al conocimiento regional de las características del paisaje que permitan interpretar la hidrología de la cuenca, posibilitando relacionar los estudios locales sobre pérdida de suelo que se vienen realizando en la zona desde 1993. Esta integración facilitará la comprensión de los procesos que llevan al empobrecimiento del suelo y a la "exportación de contaminantes", imprescindible para la toma de decisiones respecto a estrategias de manejo en la región.

En la provincia de Buenos Aires, cuenca del Arroyo del Tala, se viene realizando un monitoreo de la calidad del agua y degradación de la tierra teniendo en cuenta mediciones de contenido de sólidos totales y determinación de algunas propiedades químicas del agua (ph, contenido de nitratos, fosfatos y cloruros entre otras), estimación de la caudal y velocidad media de escurrimiento (Chagas *et al.*, 1993, 1998; Santanatoglia *et al.*, 1996; Massobrio *et al.*, 1998; Castiglioni *et al.*, 1998).

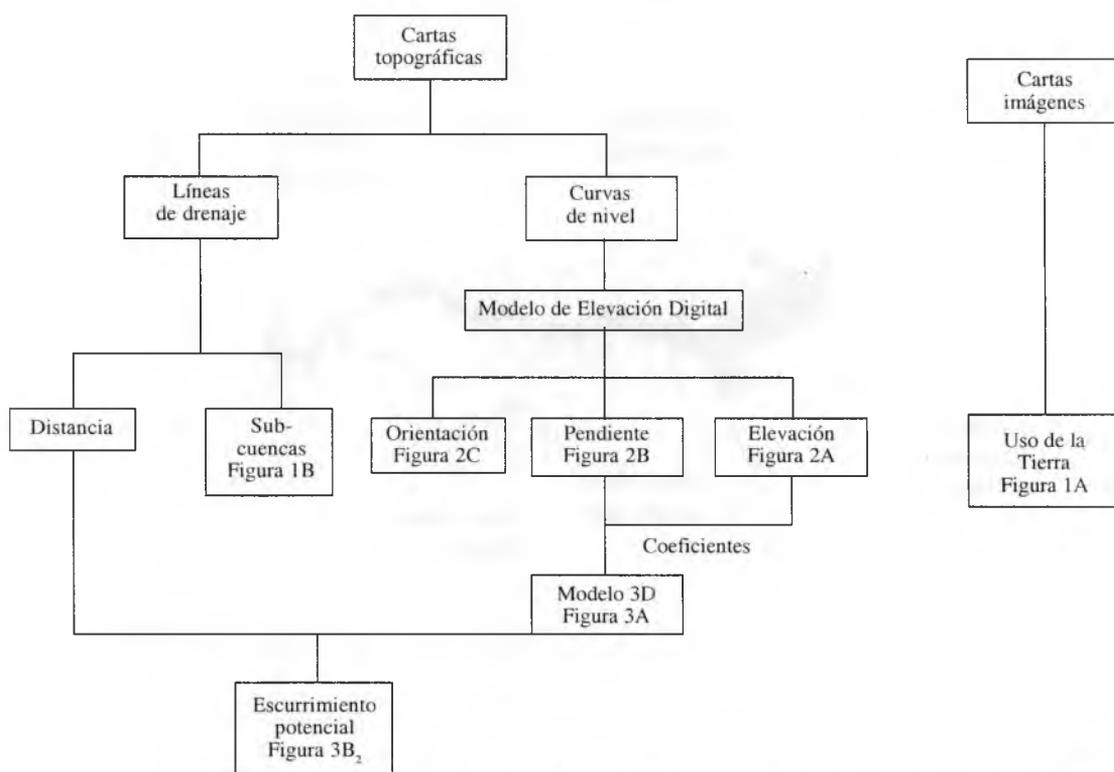
Area de estudio

El Arroyo del Tala se ubica en el sector NE de la provincia de Buenos Aires, a 164 km de la Capital Federal. Ocupa parcialmente los partidos de San Pedro, Ramallo, Bartolomé Mitre y Pergamino. Sus aguas desaguan en el río Baradero, afluente del Paraná. El cauce principal posee una longitud de 71 km.

El clima es templado cálido, la precipitación anual media, registrada por el INTA San Pedro durante el período 1965-1997, fue de 1070 mm. La temperatura media anual oscila entre 13°C y 17°C.

Forma parte de la provincia fitogeográfica pampeana, distrito oriental, con una vegetación caracterizada por pastizales alterados por la actividad agropecuaria (Cabrera, 1971).

Los suelos correspondientes a las zonas más



Esquema 1: Esquema metodológico de los procedimientos efectuados

elevadas de la cuenca son Argiudoles típicos (Serie Portela y Urquiza) y Argiudoles vérticos (Serie Ramallo). En tanto, en los planos aluviales del arroyo se encuentran Natracuales y Natracualfes típicos.

El uso de la tierra es predominantemente agropecuario, con gran repercusión económica a nivel regional; los asentamientos urbanos son pocos (Pérez Millán, Las Violetas, Doyle y Santa Lucía) y pequeños. La explotación ganadera está dada básicamente por la cría y recría de bovinos y está íntimamente ligada a zonas donde, por su deficiente drenaje, se dificulta la actividad agrícola.

Los cultivos más importantes son el trigo, la soja de 2^{da}, el maíz y el girasol; la producción frutihortícola ocupa un 2% del área. Dichas actividades se desarrollan, en la región, de forma intensiva y a expensas de una gran cantidad de insumos agroquímicos, lo que obliga a realizar estudios de interacciones entre suelo, clima y prácticas de manejo implementadas, para mantener una producción sostenida en el tiempo (Santanatoglia *et al.*, 1996).

El problema de la erosión en la cuenca del arroyo del Tala se traduce en la pérdida de materia orgánica, así como el lavado de nutrientes y fertilizantes, lo cual se ve reflejado en la salida continua y muy alta de sólidos disueltos. Los procesos de erosión hídrica son generalizados y se dan aún donde las pendientes son de escaso gradiente (0,5 a 3%) (Chagasetal., 1993; Santanatoglia *et al.*, 1996).

MATERIALES Y METODOS

El SIG utilizado fue tipo raster (estructura de datos en forma de grilla). Consiste en la subdivisión del área de estudio en celdas regulares; en cada una se registra el atributo o condición de la superficie de la tierra en ese punto. La celda puede tomar valores de identificador, cuantitativos o cualitativos permitiendo realizar predicciones a escala de cuenca partiendo de una escala a nivel de parcela. El soft utilizado fue el IDRISI 4.1. El ingreso de los datos al SIG se realizó por digitalización, mediante el programa Roots. El esquema metodológico de los procedimientos efectuados se presentan en la figura 1.

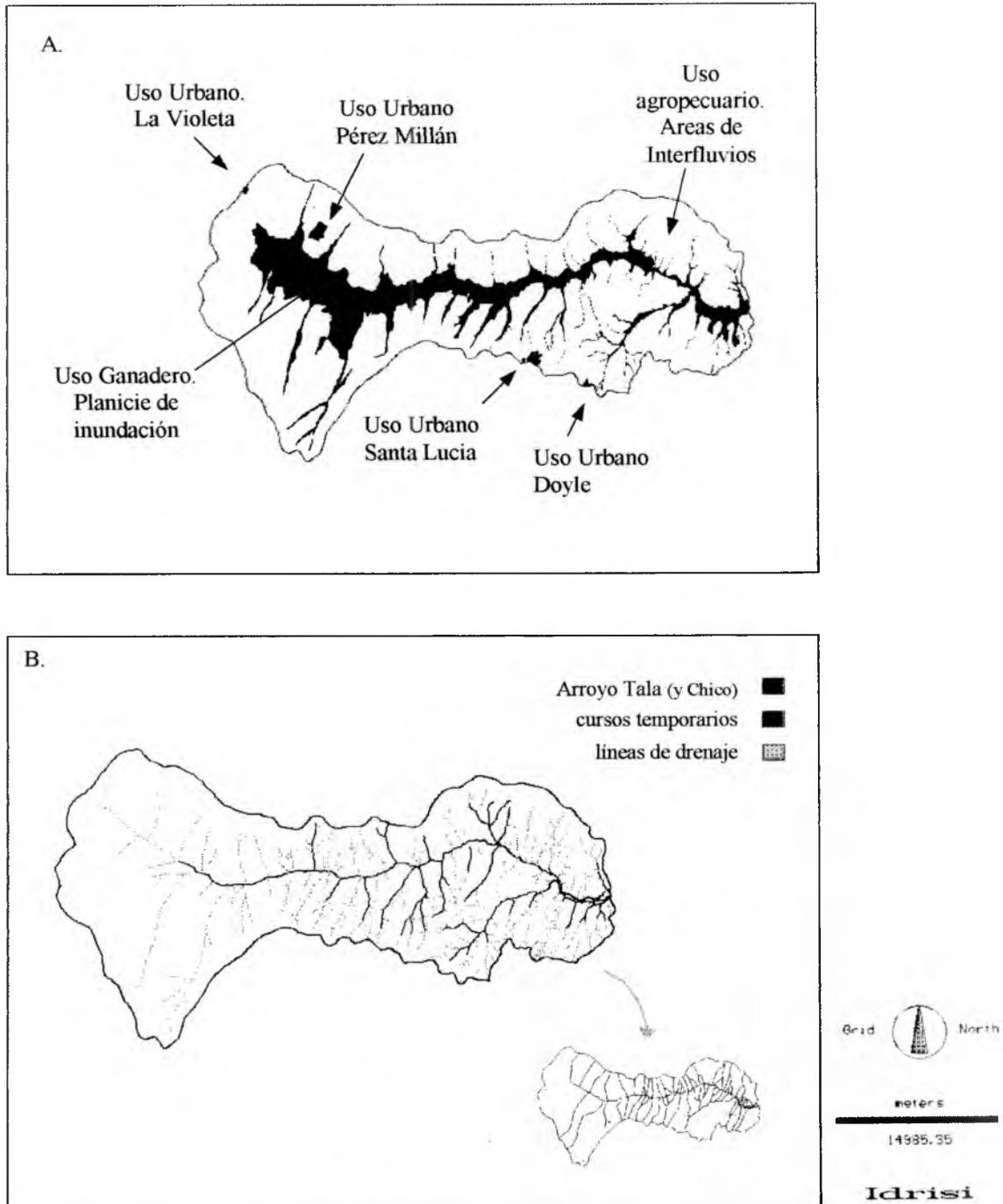


Figura 1 **A)** Uso de la tierra cuenca del arroyo Tala, en uso urbano (se indican los asentamientos humanos), uso ganadero (la planicie de inundación) y el uso agropecuario (areas de interfluvio).

B) Líneas de drenaje de la cuenca del arroyo Tala y esquema de las subcuencas del arroyo.

El área total fue subdividida en celdas que representan 100 x 100 m en el terreno. Se ingresó la siguiente información:

a) se extrajeron las curvas de nivel y las líneas de drenaje de 6 cartas topográficas, escala aprox. 1: 50.000 del IGM (Instituto Geográfico Militar) correspondientes a las localidades de Pérez Millán, San Pedro, Los Patricios, Santa Lucia, Ireneo Portela y Viña.

b) se interpretó el uso de la tierra a partir de las cartas imágenes del IGM. La información perteneciente a las localidades Pérez Millán, San Pedro, Los Patricios y Santa Lucia se obtuvo de cartas imagen en escala 1:50.000, mientras que para Ireneo Portela y Viña la escala fue de 1:100.000.

Se determinó el límite de la cuenca y de las sub-cuencas considerando la divisoria de aguas. Se identificaron sub-cuencas principales, secundarias y zonas de drenaje difuso a partir de las líneas de escurrimiento y las orientaciones.

El uso actual de la tierra se determinó a partir de la interpretación de tonos, texturas y configuraciones para lograr una discriminación entre zonas de uso extensivo, dedicadas básicamente a la ganadería y zonas de uso intensivo; dentro de éstas se diferenciaron los asentamientos urbanos y las parcelas destinadas al uso agrícola.

Se generó un modelo de elevación digital (DEM) por interpolación entre curvas de nivel. A partir del DEM se obtuvieron los mapas de pendiente, elevación y orientación. Los dos primeros fueron divididos en clases para luego combinarlas. La división consistió, para ambos casos, en la definición de 5 clases a partir de la media y el desvío estándar. La combinación se realizó mediante tabulación cruzada de todas las clases de cada mapa. El nuevo mapa con 25 categorías fue agrupado de modo a facilitar su interpretación a 12 clases. El criterio fue representar con un coeficiente el retraso relativo que podría tener el drenaje de un área debido a efectos de la pendiente y la elevación. Los valores bajos de coeficiente simbolizan combinaciones de pendientes y/o elevaciones relativas altas representando mínimo retraso.

Por último, se aplicó un algoritmo "COST" para calcular la distancia de recorrido desde cada punto en el terreno hasta la zona más baja (en la desembocadura) incorporando la rugosidad, fricción o retraso generada por la superficie.

A partir de este modelado se discriminan sitios con diferente potencial de erosión. Es decir, que los sitios más alejados a un curso de agua, con mayor pendiente y más elevados tendrán un potencial de erosión mayor que aquellos llanos, bajos y próximos al curso de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La zonificación de la cuenca por el uso de la tierra se observa en la Figura 1A Como resultado del análisis e interpretación de las cartas topográficas

se obtuvieron las líneas de escurrimiento de la cuenca, quedando subdividida en 65 sub-cuencas (Figura 1B). Las mismas abarcan un total de 79.402 ha, siendo la de menor tamaño de 47 ha (al 0,06% de la superficie total de la cuenca) y la mayor de 13.420 ha (16,9% de la cuenca).

La densidad de líneas de drenaje es máxima en la porción media e inferior de la cuenca. En la naciente y algunos pocos sectores medios, el drenaje es difuso; sin embargo, está controlado mediante zanjas artificiales.

La cuenca se subdividió en 5 clases de elevación que variaron entre 61,9 m y 5 m snm, ubicándose las zonas más elevadas a la altura de Pérez Millán y La Violeta y las más bajas en la desembocadura en el arroyo Arrecifes (entre San Pedro e Ireneo Portela) (Figura 2A, Cuadro N° 1).

El 55% del área de estudio se encuentra bajo influencia de escasas pendientes, entre 0,07 y 0,41% siendo la máxima de 2,54% (Figura 2B, Cuadro N° 2).

Cuadro N° 1. Clases de elevación en la cuenca del arroyo del Tala.

Clases de elevación	Rango (m s.n.m.)	Superficie (ha)	Superficie relativa (%)
1	< 15,6	3055	3,85
2	15,7 – 28,5	10685	13,46
3	28,6 – 41,4	21367	26,91
4	41,5 – 54,3	32039	40,34
5	54,4 – 67,2	12256	15,44

Cuadro N° 2. Clases de pendiente en la cuenca del arroyo del Tala.

Clases de pendiente	Rango (%)	Superficie (ha)	Superficie relativa (%)
1	0,01 – 0,07	6462	8,15
2	0,08 – 0,41	43938	55,34
3	0,42 – 0,75	17107	21,54
4	0,76 – 1,09	7934	9,99
5	> 1,09	3961	4,98

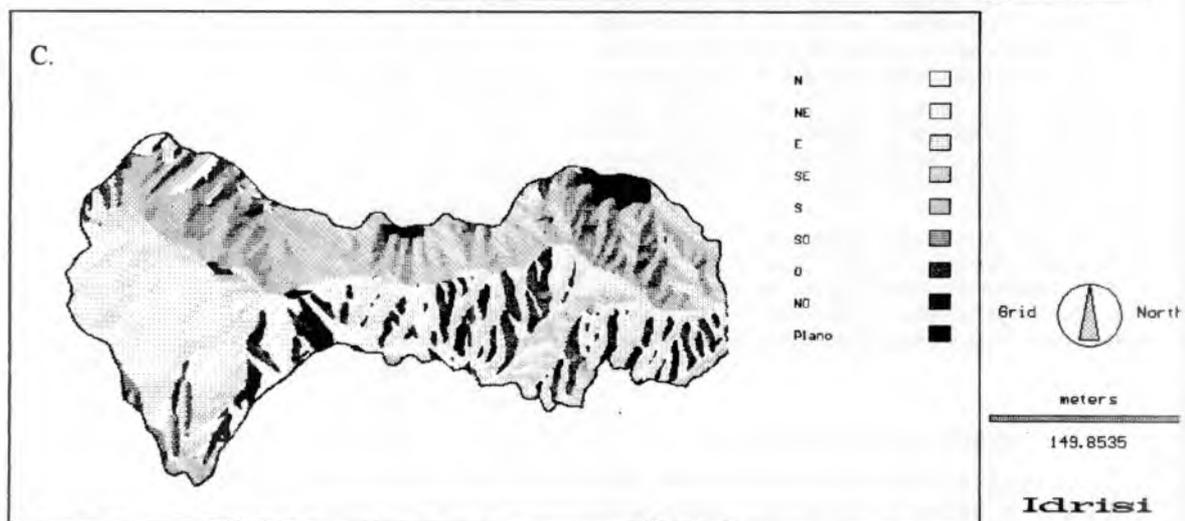
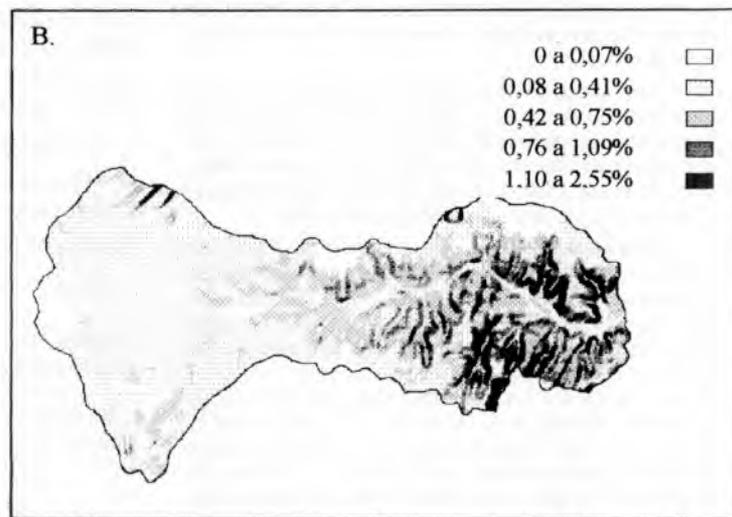
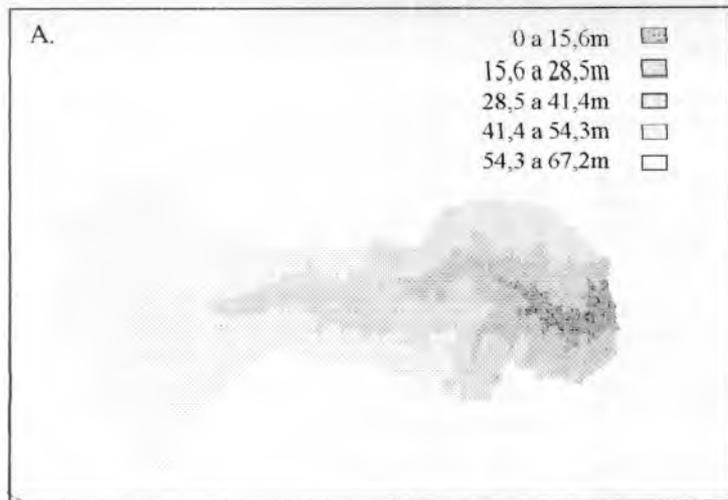


Figura 2. Mapas temáticos generados a partir del modelo de elevación digital. A) clases de elevación. B) clases de pendiente. C) orientación.

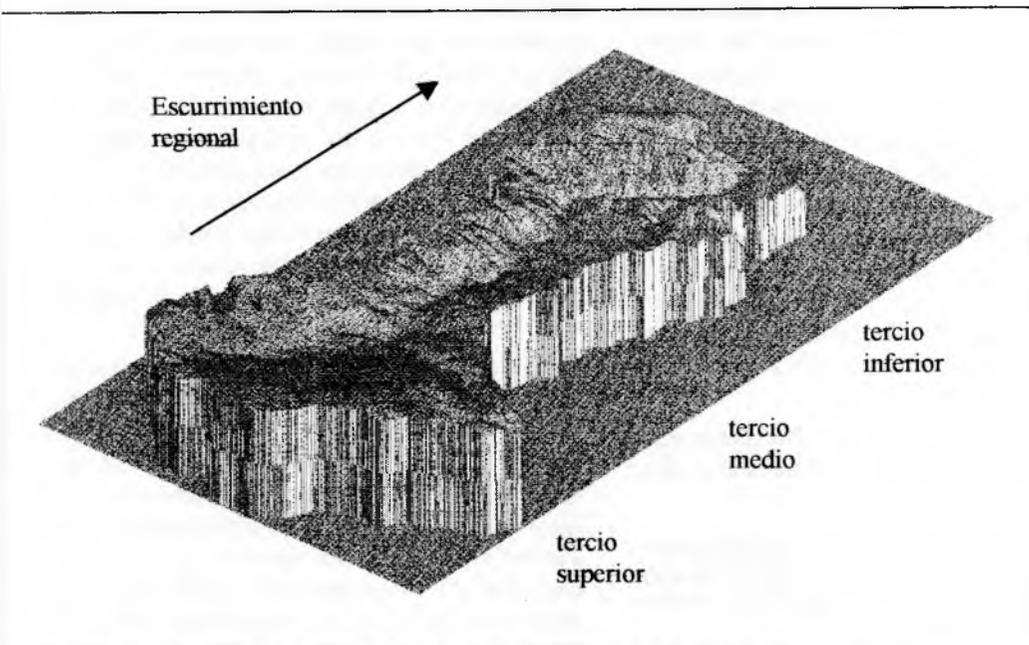


Figura 3. Modelo de elevación digital (3D) de la cuenca del arroyo Tala.

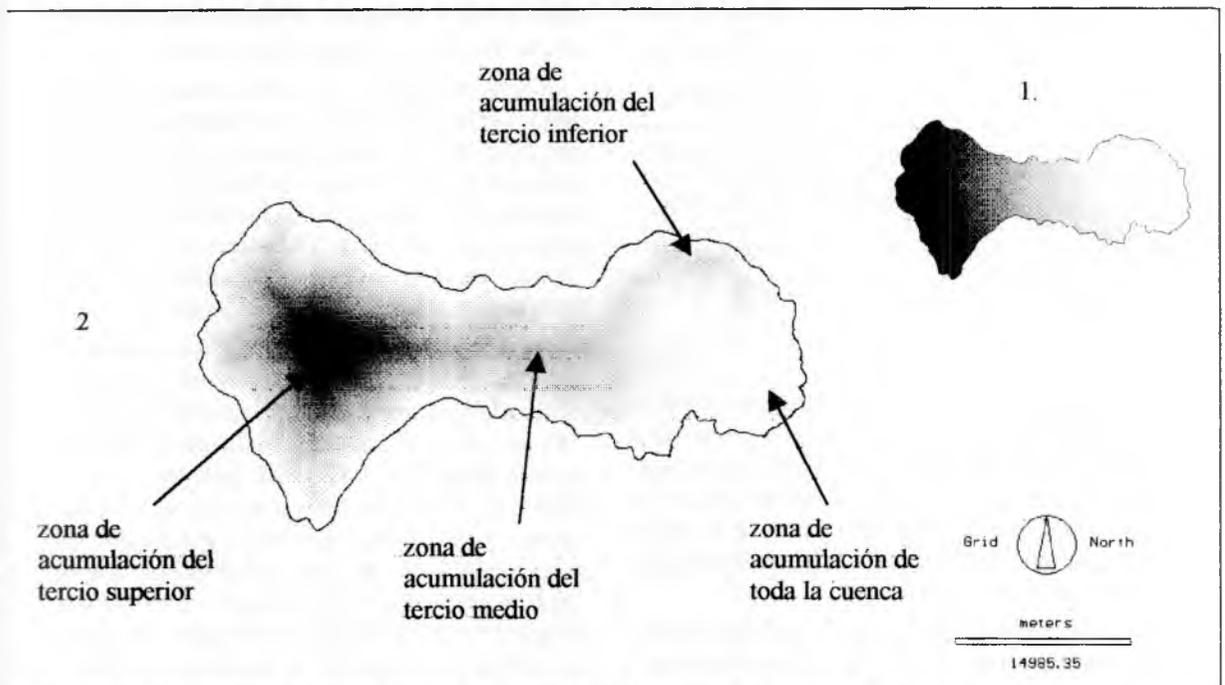


Figura 3B. Gradiente de susceptibilidad a la erosión en la cuenca del arroyo Tala. 1) Modelo de escurrimiento considerando la distancia desde cada punto hasta la zona más baja suponiendo una superficie lisa. 2) Escurrimiento desde cada punto hasta la zona más baja considerando la rugosidad del terreno. Zonas más susceptibles a la erosión se muestran en tonos claros (salvo la zona baja -en blanco).

El modelo de elevación en tres dimensiones facilita observar la combinación de la elevación y la pendiente en todo el área de estudio, cuya cuantificación se muestra en el Cuadro N° 3.

El modelo 3D generado facilita la visualización del relieve de la cuenca (Figura 3A), observándose en líneas generales dos niveles potenciales de escurrimiento. Uno regional que atraviesa toda la cuenca en dirección NO-SE y numerosas líneas de escurrimiento potenciales locales transversales al primero. Además, se evidencia la presencia de una extensa área cóncava en el tercio superior de la cuenca.

Los estudios realizados hasta el momento en la cuenca discriminaron diferencias puntuales en cuan-

Cuadro N° 3. Coeficientes de fricción para representar la rugosidad del terreno. Los valores más altos indican mayor fricción. Se indica entre paréntesis la superficie en hectáreas.

P E N D I E N T E	ELEVACION				
	1	2	3	4	5
1	12 (2383)			11 (4079)	
2	10 (2334)		9 (32796)		8 (8808)
3	7 (920)	6 (11514)		5 (4673)	
4	4 (4144)		3 (3790)		
5	2 (2320)		1 (1641)		

to al material arrastrado y propiedades químicas del agua en el primer, segundo y tercer tercio de la cuenca (Massobrio *et al.*, 1998). En el tercio superior de la cuenca presenta una muy baja dinámica geomorfológica, con una gran cubeta de acumulación que retardarían el traslado de los sedimentos a las zonas bajas de la cuenca.

A partir de este análisis espacial dichos resultados podrán ser analizados dentro de un funciona-

miento más integrado de toda la cuenca, lo que permitirá además extrapolar resultados a otros puntos con características topográficas semejantes y establecer áreas de mayor vulnerabilidad para la pérdida de suelo. Estos resultados coinciden en parte con los hallados anteriormente a nivel local. Los mismos mostraron que el mayor transporte de todos los elementos analizados correspondía al tercio inferior y se atribuyó el resultado al uso más intensivo de la tierra en dicho sector (Santanatoglia *et al.*, 1999).

El modelo espacial obtenido integra y jerarquiza una amplia zona de acumulación en el tercio superior de la cuenca además de la llanura de inundación y a una pequeña zona de acumulación al norte del tercio inferior. Estas zonas se representan en tonos oscuros en la figura 3B₂, simbolizando zonas donde el gradiente de la pendiente es menor, por lo tanto el escurrimiento potencial es lento. Por consiguiente, el gradiente de susceptibilidad se representa con tonos grises oscuros a grises claros (máxima potencialidad a erosionarse). La zona por debajo de los 15,6 m snm (en color blanco) representaría el área de acumulación de toda la cuenca.

Dado lo anterior, se podría pensar que los aportes de los distintos sectores de acumulación, en particular del superior, estarían definido por un comportamiento discreto dependiente de su condición antes del inicio de la precipitación. De sobrepasar un cierto umbral de acumulación, a partir del cual la zona no tendría mayor capacidad de retención, esta drenaría a favor de pendiente.

Este modelo es una primer aproximación al estudio de la cuenca, un análisis con mayor resolución incluiría la incorporación de información local como las condiciones del suelo (determinantes de la erodabilidad), intensidad, duración y distribución de la precipitación y manejo de la zona, temas en los cuales ya se está trabajando. La incorporación de estos datos permitirá calibrar el modelo espacial para cuantificar las diferentes zonas con respecto a la pérdida de suelo y describir las características locales relacionadas con ellas.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, A., L.** Fitogeografía de la Republica Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, Vol. XIV N° 1-2, 1:42, Buenos Aires, 1971.
- CHAGAS, C., O. SANTANATOGLIA, M. MASSOBRIIO; M. CASTIGLIONI; y A. BUJÁN,** 1998. Influencia de las lluvias previas sobre el comportamiento hidrológico de una microcuenca de Pampa Ondulada. La Plata, Argentina 18 al 20 de 1998.
- CHAGAS, C.; O. SANTANATOGLIA y E.A. RIENZE,** 1993. Análisis del escurrimiento de una microcuenca utilizando distintas metodologías. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal.* 8 (2) : 177-190.
- MASSOBRIIO M.J., M.G. CASTIGLIONI, C.I. CHAGAS, y O.J. SANTANATOGLIA.** 1998. Análisis de sensibilidad de un modelo predictivo distributivo de producción de sedimentos y nutrientes asociados en una microcuenca del Arroyo Tala, Argentina. *Revista TERRA.* 16 (4) : 371-377. Mexico.
- OLIVEIRA, F. and MAIDMENT, D.** 1999. Geographic information system (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing. *Water Resource Research,* 35 (4) : 1155-1164.
- RAI, S.C. and SHARMA, E.** 1998. Hydrology and nutrient flux in the agrarian watershed of the Sikkim Himalaya. *Journal of Soil and Water Conservation,* 53, (2) : 125-132.
- SANTANATOGLIA O.J., C.I. CHAGAS, E.A. RIENZI, M.G. CASTIGLIONI y R. SBATELLA.** 1996. Características de los sedimentos producidos por erosión hídrica en una microcuenca del Arroyo del Tala. Buenos Aires. *Ciencias del Suelo* 14: 42-46
- SINGH, R.B.,** 1991 Application of digital image processing and GIS technology for land use mapping and monitoring land degradation hazard in U.P. Himalaya. *Environmental Monitoring: Application of Remote Sensing and GIS.* Ed R.B. Singh, Hong Kong: Geocast int Center.
- SORANNO, P.A., S.L. HUBLER AND S.R. CARPENTER y R.C. LATHROP,** 1996. Phosphorus loads to surface waters: a simple model to account for spatial pattern of land use. *Ecological Applications,* 6 (3) : 865-878.
- TOKY, O.P. and P.S. RAMAKRISHNAN,** 1994. Watershed-based participatory development strategy in Sikkim, pp. 178-194. Sikkim: Society, Polity, Economy and Environment (Mahendra P. Lama, ed.). Indus Publishing Company, New Delhi.
- TOY, T.J; G.R. FOSTER y K.G. RENARD,** 1999. RUSLE for mining, construction and reclamation lands. *Journal of Soil and Water Conservation.* 54, (2) : 462-467.
- VIEUX, B.E.,** 1991. Geographic information systems and non-point source water quality and quantity modeling. *Hydrol. Proc.* 5 : 101-113.
- YOUNG, R.A.; C.A. ONSTAD; D.D. BOSH and W.P. ANDERSON** 1986. Agricultural Nonpoint Source Pollution Model: A watershed Analysis Tool. USDA Agricultural Research Service, Morris, Minnesota.