

Zonificación de la erosión hídrica con fines de planificación de uso: un caso de estudio en las Sierras de Córdoba (Argentina)

Sacchi, Gabriela Andrea

Abril, Ernesto Guillermo

PALABRAS CLAVE

· Erosión hídrica

· SIG

· Bases de datos territoriales

Resumen / El área de estudio comprende un sector del Valle de Calamuchita, en el ambiente de las Sierras Grandes, Córdoba (Argentina) entre los 31°30'-32°30' S y 64°30'-65°00' O. Se plantea para la región un análisis de variables ambientales que definen el riesgo de erosión y que resultan de la integración de datos provenientes de un estudio integral de antecedentes, imágenes satelitales, registros locales y comprobaciones de campo. Para tal fin, se considera la evaluación de tipos de suelo y su uso actual, variedad y densidad de cobertura vegetal, aspectos de relieve y régimen de precipitaciones. La información se analiza en un entorno SIG, obteniéndose como resultado el reconocimiento de unidades ambientales homogéneas y la consecuente zonificación del riesgo a la erosión hídrica. El objetivo es conformar una base de datos multitemática digital, actualizable, que permita monitorear el riesgo de erosión hídrica y planificar su mitigación mediante diseños de estrategias de uso del suelo.

SACCHI, GABRIELA ANDREA

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y

Naturales, Universidad Nacional de Córdoba

Argentina

E-mail: gsacchi@efn.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

La erosión es un componente esencial de los procesos de degradación de suelos, la cual favorece el empobrecimiento y fragilización de los geosistemas. Estos procesos de erosión son causados por la interacción del suelo, precipitaciones, relieve, vegetación y usos humanos. En relación a estos últimos, los conflictos de uso de las tierras se establecen sobre la base de discrepancias entre el uso del suelo y la capacidad utilitaria de los mismos. Estos conflictos han demostrado ser una importante fuente de incrementos de pérdida de suelo, en un escenario con ausencia de conflicto las pérdidas han resultado ser menores que cuando se utiliza la tierra para fines distintos de los determinados por la capacidad (Pacheco et al. 2014). El manejo individual del terreno y el diagnóstico de las condiciones de cada sitio, son fundamentales para determinar los factores que han incidido activamente sobre la producción de los eventos erosivos. Para ello, una herramienta que abarca en su totalidad el manejo de cuencas hidrográficas es el Sistema de Información Geográfica (SIG). Mediante los SIG, se integra la información relevante para la planificación hidrológica con una aplicación que permite la consulta, análisis, enlace con modelos hidrológicos, actualización de la información y la emisión de listados, informes y planos, permitiendo la extrapolación de las conclusiones a otros sitios (Gasparini 2000). El estudio del área de los Valles de Calamuchita y de Santa Rosa de Calamuchita, tiene como objetivo obtener un diagnóstico cualitativo de los conflictos que la erosión hídrica presenta, para implementar un planificación de uso de las tierras con fines de protección y producción aplicando el SIG. A los fines de definir porciones del terreno con similar comportamiento frente a la erosión.

METODOLOGÍA

Para la preparación de la base de datos, se emplearon las Hojas Forestales del Valle de Calamuchita y Santa Rosa de Calamuchita -escala 1:100.000- (Pacheco et al. 1988 y 1990), imágenes satelitales multitemporales del sensor LANDSAT ETM+ (CONAE 1999, 2000, 2001 y 2002), cartas topográficas del IGM N° 3166-36 y 3366-6, modelos digitales de terreno (Abril, 2004), datos del banco de datos topográficos TopoXsat (Fotomap, 2005), datos de estaciones meteorológicas e información de campo que incluyó observaciones del suelo (características morfológicas, posición en el paisaje, relieve), de la vegetación (especies dominantes, densidad, estado) y del uso actual del suelo, con sus condiciones asociadas de erosión. La erosividad de la lluvia fue definida con el Índice de Fournier modificado (Almorox Alonso et al., 1994), estimado a partir de datos de precipitaciones medias mensuales y anuales. Los suelos, clasificados taxonómicamente de acuerdo con el Sistema Americano Soil Taxonomy (USDA, 2014), se caracterizaron según su erosionabilidad, empleando una metodología que evalúa a partir de una fórmula paramétrica la resistencia que opone el suelo a una determinada fuerza erosiva (Sacchi, 2001). La variable vegetación fue analizada tanto en función a su variación altitudinal, condicionada principalmente por el clima y la topografía, como el grado de protección que ofrece al sustrato. El gradiente de pendiente fue el componente evaluado para el relieve, ejerciendo un efecto directo

sobre la velocidad de escurrimiento superficial del agua. En cuanto a la Capacidad de uso de las tierras, se determinó en función de la propuesta del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (1977), que reconoce ocho clases divididas en dos grupos definidos como tierras aptas para cultivo (clases I a IV) y no aptas para dicho fin (clases VI a VIII). La definición de la Aptitud forestal se basó en el Manual de Evaluación de Suelos de Storie (1970), que reconoce cinco clases que van desde excelente (clase 1) a no apta (clase 5). Para cada variable ambiental se obtuvo una zonificación, representando cada zona o área una unidad homogénea, admitiéndose una “variación ligera” de la variable analizada. Sin embargo este rango de variabilidad no justifica el reconocimiento de una nueva unidad. La codificación de las unidades fue diseñada para el logro de una carta digital geo-referenciada indicativa de los “niveles jerárquicos” buscados. Cada una de las capas de información lograda, fue geo-referenciada y llevada a resolución de base LANDSAT ETM+ (30m), para lograr la correspondencia de las unidades cartografiadas en formato raster, empleándose como herramienta el software Idrisi Kilimanjaro (Eastman 2005).

CARACTERÍSTICAS GENERALES

El área de estudio se localiza en el ambiente de las Sierras Grandes (Figura 1), definida geológicamente en el Macizo Migmático de Atos Pampa, de naturaleza metamórfica-migmática, que comprende también el Batolito de Achala, de composición general granítica. Hacia el este del área, confinado por los cordones de las Sierras Chica y Grande se ubica el Valle de Calamuchita, con una cubierta de depósitos eólicos y aluviales del Pleistoceno y del Holoceno (Gordillo y Lencinas, 1979). Los suelos dominantes son Argiudoles, Hapludoles, Calciudoles y Udipsammentes (Pacheco y et al., 1988 y 1990). Según la clasificación de Thornthwaite (1948), el clima es sub-húmedo, mesotermal, con deficiencia moderada de agua en invierno (Tipo C2B2'w a'). Los pisos o cinturones de vegetación corresponden al espinal (550 a 750msnm): *Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Celtis spinosa*, *Acacia caven*, *Lippia turbinata*, *Aloysia gratissima*, gramíneas como *Stipa*, *Paspalum*; el bosque serrano (600 a 950msnm): *Lithraea ternifolia*, *Fagara coco*, *Ruprechtia apetala*; el matorral serrano o romerillal (desde los 800msnm): *Heterothalamus alienus* y *Eupatorium bunifolium*, *Baccharis* y el pastizal de altura (a partir de los 1000msnm): *Festuca hieronymi*, *Stipa filiculmis*, *S. tenuissima*, *Paspalum quadrifarium*. A mayores altitudes, la vegetación está más adaptada al clima riguroso y se encuentran *Alchemilla pinnata*, *Muhlenbergia peruviana*, *Azorella biloba* (Pacheco y et al., 1988 y 1990). La actividad económica de la región revela el uso del suelo, dedicado a la actividad silvo-pastoril, con prácticas ganaderas extensivas y forestales en su mayoría, encontrándose los cultivos restringidos a sectores de valle y algunos bolsones. La actividad turística adquiere gran importancia, teniendo un mayor impacto sobre el ambiente durante los meses estivales.

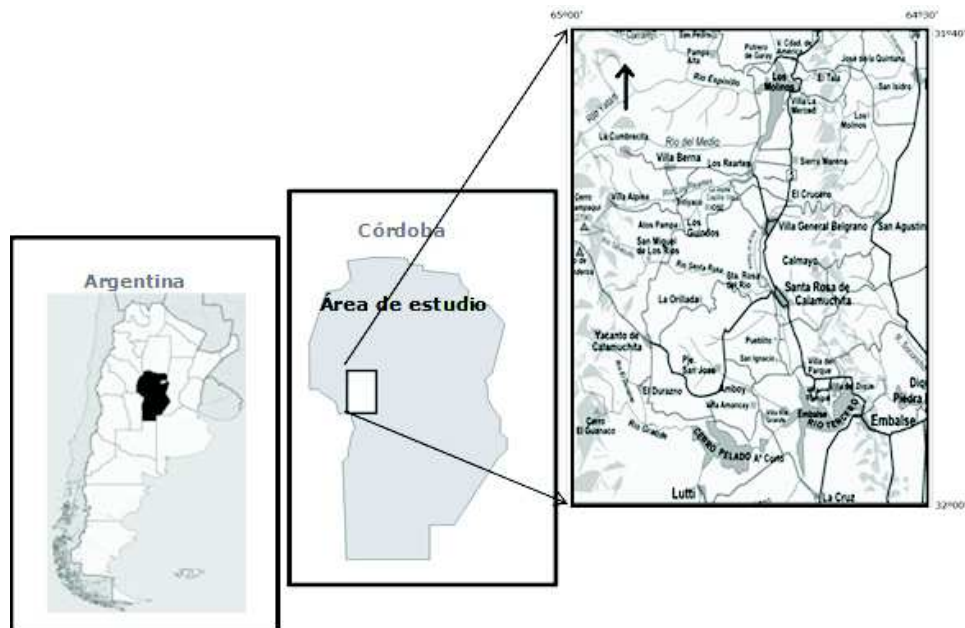


Figura 1: ubicación geográfica del área de estudio

RESULTADOS

Caracterización del clima: La región presenta un régimen de lluvias monzónico, con inviernos fríos y secos. La cantidad de agua que precipita en la localidad de Santa Rosa de Calamuchita es de 936,70mm (período 1971-1990), presentado variaciones interanuales amplias comprendidas entre los 1300mm (1979) y los 527mm (1971). La distribución de las precipitaciones presenta dos estaciones bien marcadas, una húmeda, entre noviembre y marzo, concentrando el 75% del total, y otra seca, con el 25% de las lluvias totales. En el área serrana, las características del relieve, las diferencias altitudinales y los factores de exposición, entre otros, tienen un efecto dominante sobre las condiciones climáticas y la generación de microclimas. En consecuencia, se presenta para la región un aumento de las precipitaciones, un carácter positivo del balance hídrico, y un descenso térmico ocasionado por las condiciones orográficas. El Índice de erosión medio anual estimado es de 130,90mm. La distribución mensual de la erosividad media tiene un comportamiento similar al de las precipitaciones, concentrando los mayores valores de potencialidad erosiva en el período diciembre – febrero (Figura 2).

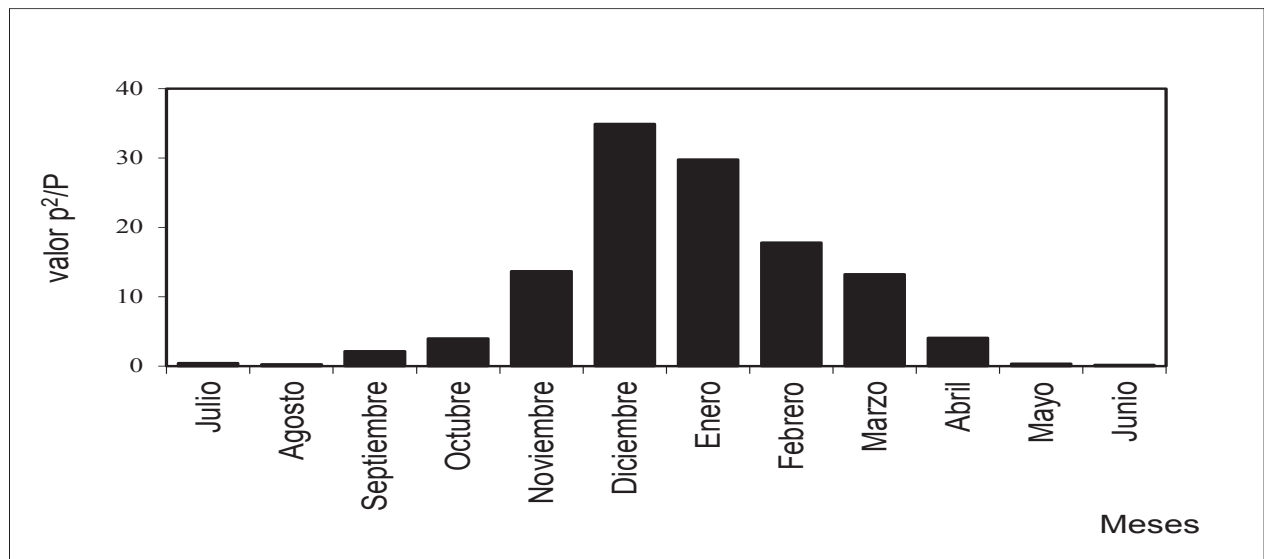


Figura 2: Distribución de la erosividad mensual (Período 1971-1990)

Caracterización de los suelos: Los suelos están desarrollados a partir de materiales autóctonos -rocas graníticas y metamórficas- y de materiales alóctonos -sedimentos loessoides y aluviales-. En el ambiente de rocas graníticas, los gradientes de pendiente oscilan entre 3-10% y 10-25%, dominan Argiudoles y Hapludoles, Haplacuoles y Epiacuentes en sectores con drenaje deficiente. Son suelos someros, con el contacto paralítico entre los 40 y 60cm, con rocosidad de hasta 40% y pedregosidad que supera los 60% en algunos sectores. En el ambiente de rocas metamórficas, las pendientes varían entre 10-25% y 25-45%, siendo dominantes los Udipsammentes y Hapludoles, el contacto paralítico se encuentra entre los 20 y 100cm. Los porcentajes de roca aflorante son menores al 40%. En el ambiente de sedimentos loessoides y aluviales, los gradientes de pendiente oscilan entre 1-3%, el horizonte petrocálcico y el contacto paralítico se encuentran en la mayoría de los casos a una profundidad mayor de 60cm, dominando Argiudoles, Hapludoles y Calciudoles. En ambientes de Pampas serranas y lomas onduladas, la rocosidad varía entre 10 y 20%. Los sedimentos loessoides se encuentran formando la cubierta sedimentaria de rocas metamórficas y graníticas, siendo posible encontrar un contacto paralítico que marca una discontinuidad litológica entre ambos ambientes.

Zonificación: la erosionabilidad se caracterizó en función de la sumatoria de las siguientes propiedades edáficas: profundidad del solum y del horizonte impermeable, clase de erosionabilidad según la textura tanto del horizonte superficial (18cm) como del subsuperficial (Bt, Bw o AC), susceptibilidad al encostramiento, consolidación y/o unión de los horizontes subsuperficiales, contenido de materia orgánica, permeabilidad, clase y grado de estructura, pedregosidad en los horizontes superficiales y pedregosidad y/o rocosidad (Sacchi, 2001). En general, la susceptibilidad de los suelos a erosionarse no presentó diferencias significativas, infiriéndose que los suelos estudiados tienen un similar comportamiento frente a los procesos de erosión hídrica. Los perfiles con menor

erosionabilidad, con valores entre 27 y 29, son suelos profundos con un horizonte impermeable a una profundidad mayor a 150cm, con una moderada susceptibilidad al encostramiento y erosionabilidad del horizonte superficial, con texturas franco arcillo limosas dominantes. Los suelos más erosionables, con valores mayores a 30, son muy someros (<25cm) a someros (25-50cm), con un horizonte superficial altamente susceptible y texturas franco limosas y franco arenosas. Los suelos de la región son parte fundamental en el sistema hídrico regional ya que, junto a las estructuras rocosas aflorantes y subyacentes, participan de una dinámica de retardo que posibilita disponer de agua en las épocas del año en las que no se registran precipitaciones significativas.

Caracterización de la vegetación: La vegetación presenta una variación altitudinal en sentido oeste-este, que determina la presencia de pisos que se encuentran alterados por una importante intervención antrópica traducida en tala, incendios y actividades agrícola-ganaderas, entre otras. El llamado espinal, coincide en general con las unidades de suelos con material parental loessoide – aluvial, siendo el área donde se acentúan las actividades agrícola-ganaderas, lo que implica que la cubierta vegetal se encuentre más modificada. Es común encontrar solamente relictos aislados de vegetación nativa, intercalados con sectores cultivados. El bosque serrano es definido como un bosque abierto en las Sierra Chica y en el faldeo occidental de las Sierras Grandes. Esta unidad biótica está sometida a tala y es reemplazada en los valles por actividades agrícolas, siendo la ganadería la principal actividad que contribuye a degradarla. En particular, sobre el faldeo oriental de las Sierras Grandes, parte de la vegetación natural ha sido reemplazada por forestaciones con especies exóticas tales como *Pinus elliotii*, *Pinus Taeda* y *Pinus Radiata*. El matorral serrano o romerillal está definido como una comunidad de reemplazo, consecuencia de la intervención humana sobre el bosque serrano y el pastizal de altura. Este último piso corresponde a los sectores más altos de las sierras.

Zonificación: La cobertura vegetal actúa disminuyendo la velocidad de impacto de la gota de lluvia y del escurrimiento superficial, favoreciendo a su vez la infiltración. Se realizó una síntesis de la vegetación, resultando representada por un estrato arbóreo, otro arbustivo y un tercero inferior (pasturas), a los que se suman áreas dedicadas a la forestación y los cultivos. No se han considerado las mezclas, ya que éstas se encuentran contempladas en la prevalencia de cada tipo. De las consideraciones expuestas se extrae el mapa digital correspondiente (Figura 3), sintetizándose a los fines propuestos en cuatro clases, progresivamente designadas según su mayor incidencia negativa sobre los procesos de erosión hídrica (Tabla 1):

Tabla 1: Clases de vegetación

Clase	Tipo de vegetación
1	Monte
1	Monte y Arbustal

1	Forestaciones
2	Arbustal y Pastos
3	Pastos de altura - Pastos y Suelo expuesto - Suelo expuesto
4	Cultivos

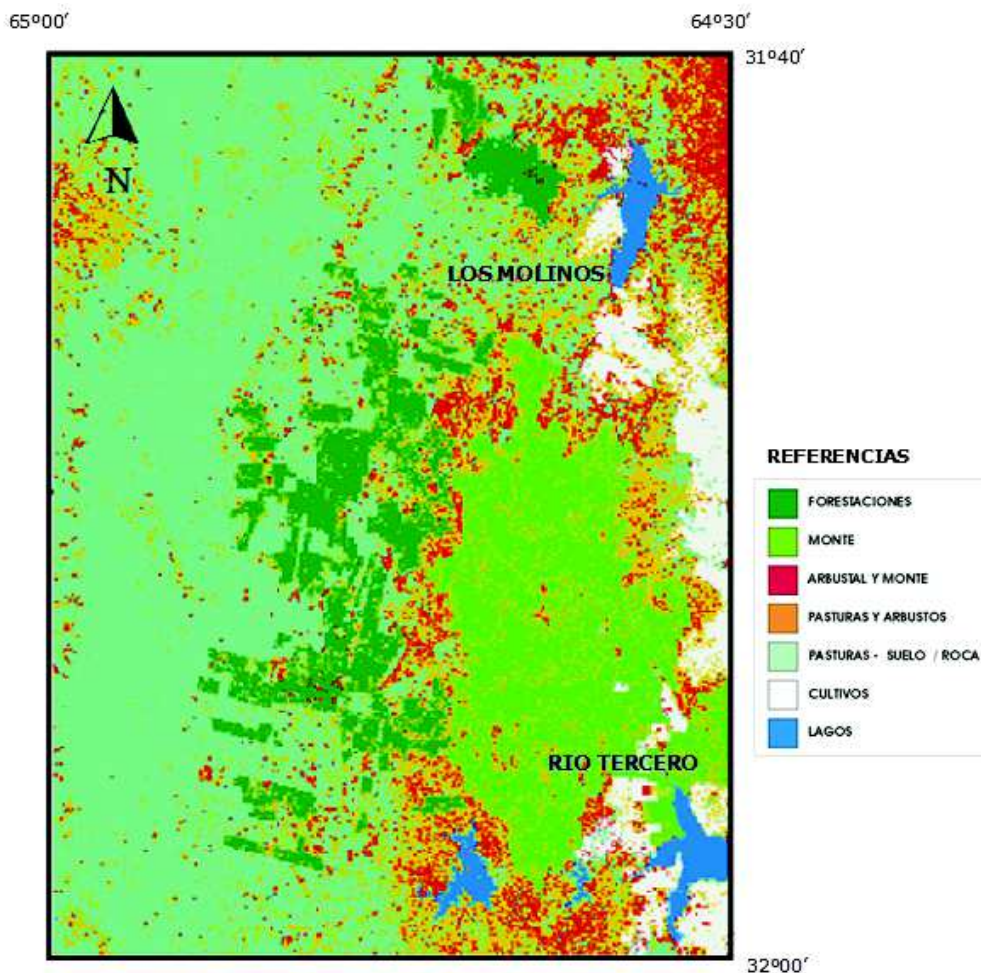


Figura 3: Distribución de las clases de vegetación

Caracterización del relieve: Para evaluar el relieve se empleó su componente gradiente de pendiente. En el caso estudiado, se consideró como punto de partida para generar el correspondiente Mapa de pendientes (Figura 4), un Modelo Digital de Terreno previamente generado (Abril, 2004), habiendo sido disminuida la resolución para obtener superficies significativas para el nivel de una cartografía regional. Los gradientes de pendiente fueron jerarquizados de acuerdo con lo propuesto por Etchevehere (1976), quien define seis clases a partir de sus correspondientes umbrales (Tabla 2):

Tabla 2: Clases de pendiente

Clase	Pendiente (%)	Calificación
1	0 – 1	Muy suavemente a suavemente onduladas
2	1 – 3	Suavemente a moderadamente onduladas
3	3 – 10	Fuertemente onduladas o inclinadas
4	10 – 25	Fuertemente inclinadas o colinadas
5	25 – 45	Escarpadas o muy colinadas
6	> 45	Muy escarpadas o montañosas

Los grandes ambientes geomorfológicos del área se encuentran perfectamente delimitados en el mapa de pendientes (Figura 4). De esta forma, en un corte esquemático con dirección oeste-este se definen: a) un área de sierras altas, caracterizado por relieves de fuerte pendiente, b) un área intermedia o de transición, con sierras bajas y ambientes ondulados de pampas de altura serranas, c) un área de lomas onduladas y de valle propiamente dicho, ya casi fuera del área de estudio y escasamente representado el ambiente de la Sierra Chica.

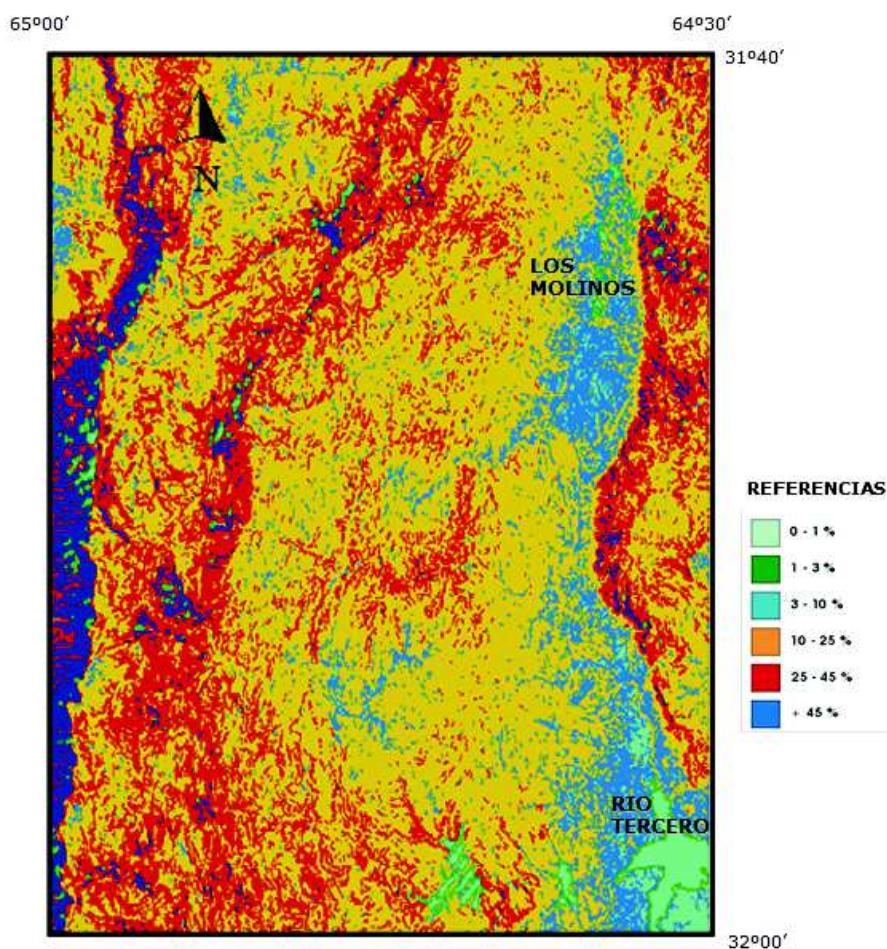


Figura 4: Zonificación de gradientes de pendiente

Capacidad de uso de los suelos – Aptitud forestal: La Capacidad de uso y la Aptitud forestal de los suelos fueron utilizadas para delinear las estrategias de ocupación de las tierras en función de atemperar el riesgo de erosión detectado. En el área de estudio, la Capacidad de uso varía entre las clases III y VIII y la Aptitud forestal entre 1 - 5 (Pachecoy et al., 1988 y 1990). Los suelos agrícolas presentan Capacidades de uso IIIec – IVec y IVes. Sus limitaciones son la erosión hídrica (e), de índole climático (c) y la presencia de toscas, carbonatos y material parental con texturas franco-arenoso (s). Estas unidades presentan una Aptitud forestal excelente (clase 1), no obstante, estos suelos son utilizados para actividades agrícolas y agrícola-ganaderas. En los suelos agrícola-ganaderos s.s. evaluados como clases VIes – VIsc – Vles, es necesario aumentar la calidad y cantidad de prácticas tendientes tanto a la conservación del suelo como del agua. A las limitaciones de erosión, se suman los problemas referidos a la zona radicular en referencia a su profundidad efectiva, siendo estos rocosidad y presencia de capas masivas carbonáticas. Los suelos con Capacidad de uso VII, son definidos como campos naturales de pastoreo, con pendientes pronunciadas, suelos someros y pedregosidad. En estas unidades, las limitantes anteriores se intensifican. Los suelos sin utilidad agrícola-ganadera, tipificados como clase VIII, presentan una aptitud forestal clase 5. Por encima de los 1800msnm, los suelos tienen aptitud forestal clase 5 (no aptos) y coinciden con áreas con Capacidad de uso VIII/VII, siendo tierras sin ninguna utilidad productiva. Presentan limitaciones graves por erosión, profundidad de enraizamiento, pedregosidad/rocosidad y gradientes de pendiente. El mayor porcentaje del área restante, ubicada en alturas que van entre 750 – 1800msnm, presenta clases de aptitud forestal 2 y 3 (buena-regular). Los valores de erosionabilidad con relación a la Capacidad de uso y Aptitud forestal de los suelos están resumidos en la Tabla 3.

Tabla 3: Relación entre la capacidad productiva de los suelos y su erosionabilidad

Aptitud forestal	Capacidad de uso	Erosionabilidad de los suelos
1. Excelente	IVe – IIIe	29,0 – 32,5
2. Buena	VIIes – VIII	30,0 – 31,8
3. Regular	Vles – VIII	29,0 – 33,0
4. Baja	VIIes – VIII	30,0
5. No apta	VIII – VIIes	27,5 – 33,0

Zonificación de la erosión hídrica: Los ambientes con similar problemática ambiental y capacidad utilitaria se representaron en la Figura 5, siendo definidos de la siguiente manera: Áreas Tipo 1: con suelos desarrollados a partir de sedimentos loessoides y aluviales, con pendientes dominantes clase 2 y 3, con vegetación de monte intensamente modificada por actividades antrópicas. Los procesos de erosión hídrica dominantes son de tipo laminar y, en sectores localizados, en cárcavas. La susceptibilidad a la erosión de los suelos depende principalmente del material parental a partir del cual se

encuentran desarrollados, en consecuencia, los sedimentos loessoides presentan un perfil con horizonte superficial con texturas erosionables y una moderada susceptibilidad al encostramiento. Las actividades agrícolas son las dominantes, siendo por lo tanto necesario incorporar una planificación de los cultivos, es decir prácticas de rotación, mantenimiento del suelo cubierto (en especial durante las épocas de preparación de la cama de siembra), dirección de siembra perpendicular a las pendientes y reducción de tareas de remoción del suelo para la siembra, entre otras. La vegetación natural se encuentra confinada a relictos aislados constituidos por un monte degradado, bajo y abierto. Áreas Tipo 2: con clases de pendiente entre 4 y 5, la erosionabilidad de los suelos depende fundamentalmente de su escasa profundidad efectiva, es decir de la posición en el perfil de los horizontes denominados Cr y R. El mayor problema está relacionado tanto con su actual afectación por los procesos de erosión hídrica como a su susceptibilidad a ella, la cual está en función de un factor modificable como es uso del suelo. En este ambiente se localiza la mayor parte de las forestaciones. De tal forma, las actividades antrópicas que se desarrollan deben relacionarse tanto a atemperar las actuales situaciones de erosión como a disminuir su susceptibilidad. Por tal razón, es necesario realizar un manejo adecuado del pastoreo, de las pasturas implantadas y forestaciones, ejerciendo un control en la zona de cabecera de las actuales cárcavas, protegiendo la vegetación natural y reforestando, entre otras actividades. En estos sectores es necesario compatibilizar el desarrollo socio-económico con la protección paisajística y ambiental. Los principales problemas se encuentran referidos a la tala, el fuego y el pastoreo. Áreas Tipo 3: con clases de pendiente mayores a 4 (> 25%), que localmente llegan hasta 70%. La erosionabilidad de los suelos, al igual que en las áreas tipo 2, depende de su profundidad efectiva, siendo dominante la vegetación de pastos con alternancia de suelo desnudo. La susceptibilidad a la erosión de la misma depende fundamentalmente del factor relieve y en especial de los porcentajes de gradiente. Corresponde a las cabeceras de cuencas, siendo los sitios más susceptibles a la erosión y los que requieren mayor protección y cuidado. Se recomienda dejar estas tierras como áreas de recreación y conservación de la vida silvestre, siendo conveniente mantener las condiciones naturales del medio. Si las mismas han sido alteradas, es recomendable restablecer el equilibrio mediante la restauración de la vegetación natural con reimplantación de especies de rápido crecimiento y la re-ubicación del ganado, en particular en las áreas sometidas a importantes procesos de erosión. Las características ambientales inherentes las definen como “áreas de alta peligrosidad”, por lo que se necesita mantener el suelo con una importante cubierta vegetal para así lograr condiciones hídricas favorables para el funcionamiento de la cuenca en su integridad. Al tratarse de áreas económicamente improductivas, deben constituirse en el centro de atención, donde se realicen los mayores esfuerzos para proteger los recursos bióticos, paisajísticos e hídricos, ya que en la cuenca alta es donde se inicia el escurrimiento hídrico. Las recomendaciones apuntan a procurar la disminución de la velocidad de las aguas superficiales y la cantidad de sedimentos en tránsito en los cursos de agua.

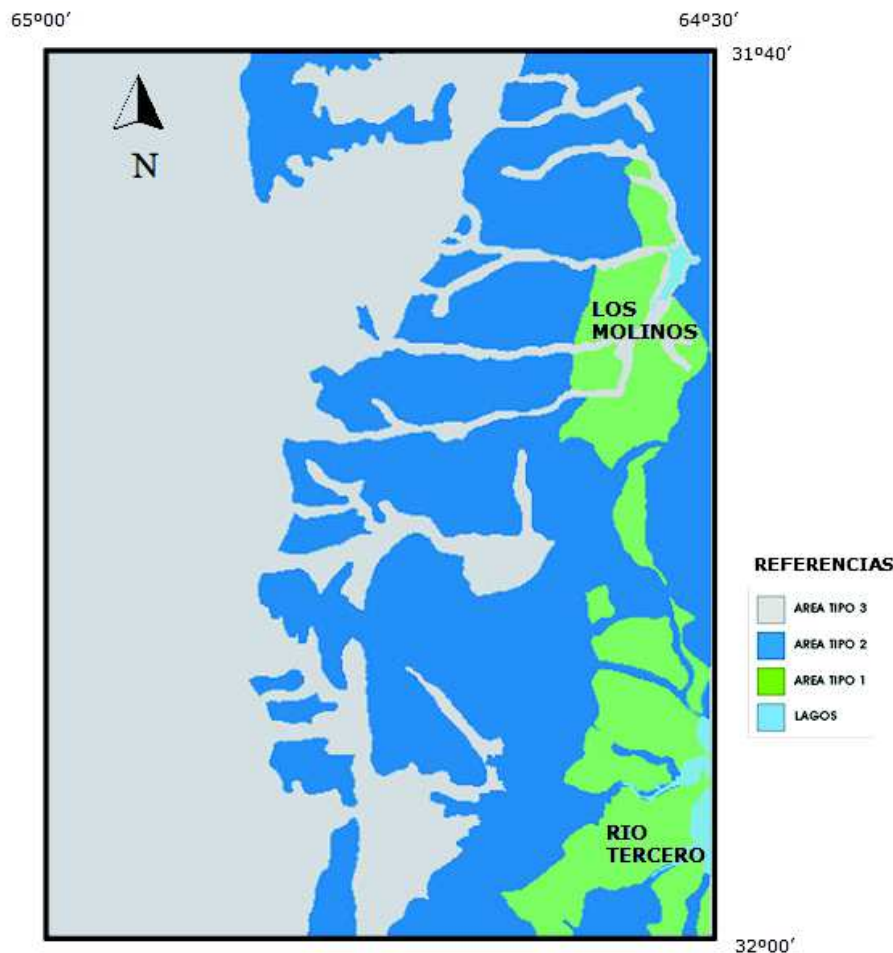


Figura 5: Áreas con similar problemática ambiental

CONCLUSIONES

En el área de estudio, los procesos de erosión hídrica, se encuentran relacionados con las actividades antrópicas que se desarrollan, ya sea por un mal manejo del recurso natural al utilizar tierras sin capacidad potencial para soportar tales actividades o por una sobre explotación con uso irracional e indiscriminado del medio. El comportamiento de los suelos en los sectores cultivados está condicionado por la distribución anual de las precipitaciones, encontrándose más expuestos a erosionarse cuando ocurren las últimas lluvias de primavera y las estivales. En los sectores con vegetación natural, el grado de deterioro por actividades antrópicas es la variable que condiciona la pérdida de suelo, siendo un problema de destacar, ya que la actividad turística se incrementa en este período favoreciendo la mayor degradación del medio a través de la tala indiscriminada, incendios por descuidos humanos, quema de residuos, etc. La preservación del suelo, como soporte de la vegetación y como interfase de infiltración y de retención del agua, es una prioridad. De esta manera, la remoción de la cubierta vegetal original genera un desequilibrio de base muy importante. A esta situación se agregan la presión del sobre-pastoreo, el pisoteo de los animales y la práctica corriente de la quema de pastos para rebrote, situaciones particulares que inciden en la agudización

del problema. Actualmente, los suelos se encuentran sometidos a sobre-explotación, lo cual incrementa los niveles de erosión en este frágil ecosistema de altura que, por sus condiciones naturales, presenta una alta susceptibilidad a la actuación de dichos procesos. La actualización de la base de datos con la incorporación de información temática proveniente de satélites, permite acceder a un modelo dinámico a partir del cual monitorear la variación del riesgo de erosión en las distintas cuencas según el comportamiento de las variables y se constituye en un medio eficiente y preciso para ensayar situaciones que permitan generar recomendaciones para un uso productivo del suelo, en el marco del diseño de estrategias de mitigación.

REFERENCIAS

Abril E. 2004. Caracterización geomorfológica para las regiones de estudio de los proyectos forestal y de biodiversidad. Informe interno CREAN, FCA. Universidad Nacional de Córdoba.

Porta Casanellas J, López-Acevedo Reguerín M, Roquero de Laburu C. 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3ª. Edición. Mundi-Prensa. Madrid. España.

Eastman J. 2005. Idrisi Kilimanjaro. George Perkins Marsh Institute, Clark University. Clark Labs, Worcester.

Etchevehere P. 1976. Normas de reconocimiento de suelos. Segunda edición actualizada. INTA, Dpto. de Suelos. Publicación 152.

Gaspari F. 2000. Plan de Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas Degradadas utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). (Tesis de doctorado). Universidad Internacional de Andalucía. Sede Iberoamericana Santa María de la Rábida.

Gordillo C, Lencinas A. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Apartado de Geología Regional Argentina. Vol.I. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba: Argentina. p. 577-638.

Moody A, Woodcock C. 1995. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology* 10 (6): 363-379.

Pacheco F, Varandas S, Sanches Fernandes L, Valle Junior, R. 2014. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of the Total Environment* 485–486: 110–120.

Pachecoy V, Jarsún B, Espil H. 1990. Hoja 3166-36. Valle de Calamuchita. Segunda

Parte (Área Norte). Convenio IFONA-MAG y RR.

Pachecoy V, Jarsún B, Espil H, Zamora E. 1988. Hoja 3366-6. Santa Rosa de Calamuchita. Primera Parte (Área Central). Convenio IFONA-MAG y RR.

Sacchi G. 2001. Dinámica de erosión hídrica y de degradación física y química de suelos en las cuencas de los ríos Santa Catalina y Ascochinga. Córdoba. Argentina. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.

Servicio de Conservación de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1977. Manual de conservación de suelos. Limusa. p. 332

USDA. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington.

Storie R. 1970. Manual de evaluación de suelos. UTEHA. p. 225.

Thorntwaite C. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94.

Wilkie D, y Finn J. 1996. Remote Sensing Imagery for Natural Resources Monitoring. Methods and cases in Conservation Science. M.C. Pearl. Columbia University Press. New York. p. 295.

Woodcock C, Collins J, Jupp D. 1997. Scaling remote sensing models en Scaling-up. From Cell to Landscape. P.R. Van Gardingen, G.M. Foody y P.J. Curran. p. 61-77.