

# INCREMENTO DE EROSIÓN Y SUELOS DEGRADADOS POR ACCIONES ANTROPOGÉNICAS Y VARIACIONES CLIMÁTICAS, TUCUMÁN

Liliana del Valle NEDER<sup>1</sup>, José BUSNELLI<sup>1,2</sup> y María Marta SAMPIETRO VATTUONE<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> INGEMA – Instituto de Geociencias y Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Naturales e IML. Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205. 4000. Tucumán. Email: ananeder@yahoo.com.ar; jose.busnelli@gmail.com

<sup>2</sup> CONICET

## RESUMEN

Los procesos erosivos son aquellos que reflejan cambios ambientales, eventos climáticos extremos como grandes tormentas, desaparición de la vegetación de forma natural o antrópica y otra causa que genere discontinuidad en el modelado del paisaje. La explotación agrícola irrestricta a expensas del desmonte masivo durante décadas húmedas, ocasionó la degradación de los suelos por aceleración de procesos erosivos debidos a la acción hídrica y pérdida de nutrientes. El cultivo permanente produjo pérdida de la productividad edáfica aún cuando se implementó la siembra directa como un sistema de manejo sustentable en los últimos años. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar y caracterizar los procesos erosivos, avance agrícola y variaciones pluviométricas en la llanura ondulada del departamento Burruyacú al noreste de la provincia de Tucumán. Los procesos erosivos generados por acción hídrica y remoción en masa, son: la erosión mantiforme en los interfluvios convexos y las cárcavas y barrancos por retroceso de cabeceras y paredes laterales en las áreas deprimidas longitudinales. Estas formas de erosión se ven favorecidas por las características limo loésicas de los suelos, de alta erodabilidad en condiciones húmedas. El análisis pluviométrico evidencia dos incrementos del volumen de precipitaciones: en 1950 y 1970 con tendencia al aumento en los años subsiguientes. A partir de 1970 se inicia el desmonte, eliminando el monte chaqueño durante tres décadas e implementando la agricultura. La cartografía morfodinámica se efectuó con fotografías aéreas (1985 y 2001) y se digitalizó con ILWIS.

Palabras clave: *Erosión hídrica, degradación, explotación agrícola, ILWIS, variaciones pluviométricas.*

**ABSTRACT:** *Increase of erosion and land degradation for anthropogenic actions and climatic variations, Tucumán.* Erosive processes reflect environmental changes and extreme climatic events as intense storms. Natural vegetation coverage clearance, carried out by anthropic actions, generates discontinuities in landscape modeling. Unrestricted agricultural exploitation through massive deforestation during humid decades, has promoted soils degradation through erosive processes and nutrients losses decreasing topsoil productivity even though the implementation of direct sow in the last few years. The aims of this research were to analysis erosive processes, agricultural advances, and pluviometric variations at the northeast of Tucumán province. As geoindicators of erosive process acceleration on crop areas are: sheet runoff and erosion in convex surface, headwater erosion and anthropogenic bankfull lateral walls in gullies and ravines. These erosive landforms are favored by silt loessic contents from high erodability soils in humid conditions. Erosive process cartography was done using aerial photographs of 1985 and 2001, and then, all data were digitalized using ILWIS (Integrated Land and Water Information System).

Keywords: *Hydric erosion, land degradation, agricultural exploitation, ILWIS, climatic variations.*

## INTRODUCCIÓN

Los suelos degradados resultan de la acción de múltiples procesos que ocasionan la pérdida o disminución de la productividad y afectan sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas. La agricultura conlleva distintos sistemas de manejo que producen cambios físicos de la estructura en particular, mediante la forma-

ción de compactaciones y encostramientos. La pérdida de nutrientes, salinización, acidificación y la contaminación por fertilizantes y herbicidas, son indicadores de procesos de degradación química que sufren los suelos como consecuencia de variadas prácticas agrícolas. Pero si bien la productividad puede recuperarse en forma parcial con adecuadas estrategias de manejo, la problemática del

suelo erosionado es imposible de revertir. La erosión es un proceso físico por el cual la totalidad o partes del suelo son removidas, transportadas y depositadas en otro lugar por la acción de los distintos agentes como agua, viento, hielo o gravedad. La antropogénesis o morfogénesis antrópica se refiere a la presencia del hombre, como agente de cambios en el paisaje, generando reacciones de adapta-

ción para establecer un nuevo equilibrio (Verstappen y Van Zuidam 1991).

La región analizada se encuentra en la provincia de Tucumán en el departamento Burruyacú situado al noreste de la provincia, donde la actividad agrícola es dominante en los últimos treinta años, a expensas de la extracción del primitivo Monte Chaqueño (Serrano y Semiárido), del cual quedan escasos remanentes en lomadas aisladas. El reemplazo de la cobertura vegetal de monte chaqueño por cultivos, modificó la actividad hídrica superficial, la recepción de las precipitaciones y las características intrínsecas de los suelos (materia orgánica, drenaje, humedad) que se modificaron sustancialmente por el uso del arado y cultivo intensivo durante décadas. El suelo cultivado fue perdiendo paulatinamente los nutrientes naturales y por lo tanto la productividad, aún cuando se implementó en los últimos años el sistema de siembra directa que requiere del aporte de herbicidas y fertilizantes.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar y caracterizar los procesos erosivos, analizando la influencia del uso agrícola y las características climáticas en particular las variaciones pluviométricas en la llanura ondulada del departamento Burruyacú. Este departamento presenta al oeste un sistema montañoso compuesto de oeste a este por las sierras de El Nogalito, Medina, Del Campo y La Ramada. La sierra Del Campo constituye la mayor elevación en el Morro del Derrumbe (2.065 m s.n.m.). Hacia el este se extiende la llanura ondulada que sobrepasa el límite de la provincia de Santiago del Estero.

El área de estudio se ubica en el departamento Burruyacú a 80 km de San Miguel de Tucumán (Fig. 1) y abarca 500 km<sup>2</sup> aproximadamente. Se extiende entre los paralelos 26°20'S y 26°33'S y los meridianos 64°45'O y 64°30'O, desde el piedemonte oriental de la sierra Del Campo hasta el límite de la provincia de Santiago del Estero y al norte desde la latitud de la localidad El Puestito hasta el arroyo Pajas Coloradas al sur (Fig. 1).

El noroeste presenta características de clima subtropical continental, con tempera-

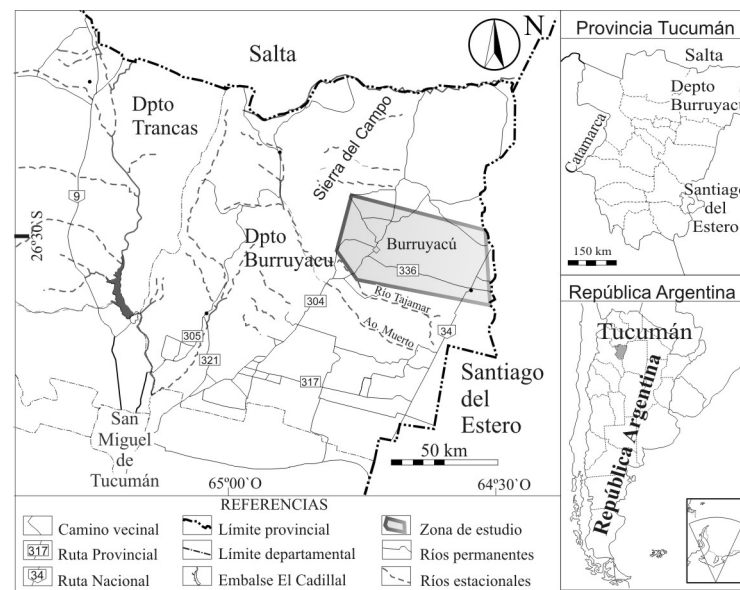


Figura 1: Mapas de ubicación del área de estudio situada en el departamento Burruyacú, Tucumán.

turas medias que oscilan entre 20-25°C en verano y entre 12-15°C en invierno. El régimen de lluvias es estacionalmente contrastado, subhúmedo en verano y semiárido en invierno. La distribución de las lluvias está relacionada con el fenómeno de lluvias orográficas que incrementa el volumen de precipitaciones en las proximidades de la zona montañosa. Los registros totales anuales varían entre 800 y 1000 mm en la ladera (Busnelli 2003), disminuyendo hasta los 600 mm en la llanura oriental.

## GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

El sistema montañoso del departamento Burruyacú constituye la prolongación austral de la provincia geológica de Cordillera Oriental, con un núcleo de rocas metamórficas de bajo grado, depósitos de edad Terciario y una cubierta cuaternaria. Establece su estructura fundamental de anticlinales asimétricos durante la Orogenia Andina, con un estilo típico de plegamiento donde el núcleo está compuesto por rocas metamórficas (pizarras, filitas, metagrauvascas y cuarcitas) de bajo grado intensamente plegadas, de edad Precámbrico Superior – Cámbrico Inferior denominada Formación Medina (Bossi 1969) equivalente a la Formación Puncoviscana (Turner 1960). En discordancia, se apoyan sedimentos

terciarios compuestos por areniscas cuarzosas conglomerádicas y limolitas con intercalaciones de yeso y calizas oolíticas correspondientes a la Formación Río Salí definida por Ruiz Huidobro (1960) en la quebrada de Cañizares en el sector septentrional de la sierra de Medina.

El Cuaternario tiene una gran distribución en el área principalmente en el piedemonte y llanura, donde la secuencia característica está representada por loess, paleosuelos, fanglomerados, arenas fluviales y limos (Neder 2007). Estos sedimentos fueron influenciados por fallamientos pleistocénicos/holocénicos, sufriendo reactivaciones tectónicas de fracturaciones más antiguas (Vega Caro 1999). Así la morfología de la ladera, piedemonte y llanura refleja la influencia del control estructural en la forma casi rectilínea de sus cauces fluviales, diseño angular de la red de drenaje y cambios bruscos de pendiente entre otros (Neder y Ríos 2000, Neder 2007).

## MÉTODOS UTILIZADOS

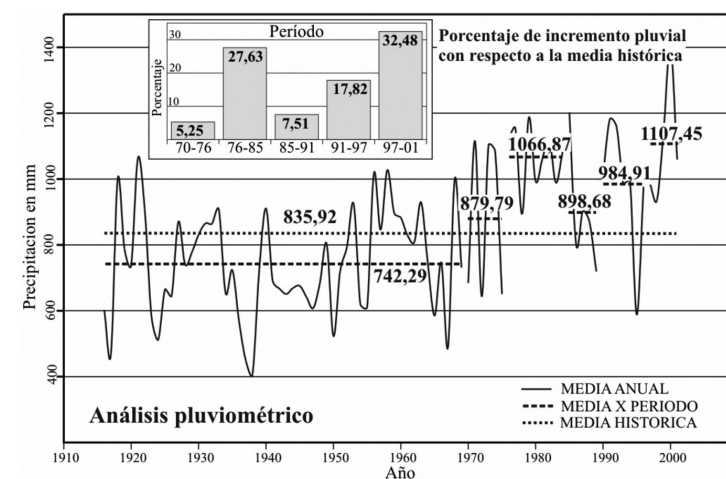
Los procesos erosivos se relevaron por fotointerpretación multitemporal en fotografías pancromáticas de los años 1985-2001 y luego se describieron y caracterizaron en el control de campo. Posteriormente se confeccionó la carto-

grafía temática y se digitalizó con ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*). Los registros de precipitaciones fueron obtenidos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Dirección de Recursos Hídricos de la provincia y Bianchi y Yáñez (1992). Con estos registros se calcularon los promedios pluviométricos anuales para determinar los valores máximos por décadas en localidades representativas del área de estudio: Burruyacú, La Ramada, Benjamín Aráoz, Gobernador Piedrabuena y Gobernador Garmendia. En el análisis de las variaciones pluviométricas anuales se tomaron las subdivisiones temporales coincidentes con el material teledetectado (antes de 1970, 1970-1976, 1976-1985, 1985-1991, 1991-1997 y 1997-2001)

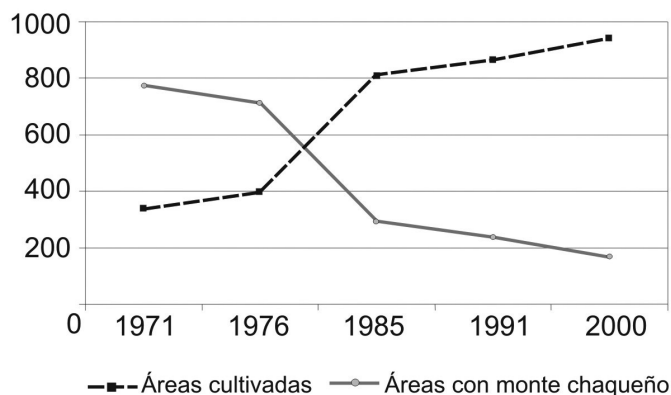
La clasificación aplicada en el relevamiento de la erosión en cárcavas y barrancos se basa en el ancho y profundidad de los rasgos erosivos por acción hídrica. Las cárcavas son los rasgos lineales someros (menores de 3 m de ancho y 2 m de profundidad) y los barrancos son aquellos rasgos de dimensiones mayores (Bergsma 2006, Neder 2007). La morfología predominante de ambos es elongada en dirección NO y subparalelos entre sí. La clasificación de riesgo de erosión en ambos casos es la propuesta por Van Zuidam y Van Zuidam Cancelado (1979) y modificada por Neder (2007) por espaciamiento entre ellos, siendo: Riesgo Severo: cárcavas/barrancos separados < 20m; Riesgo moderado: entre 20-100m y Riesgo ligero cuando el espaciado es >100m.

## RESULTADOS

Los campos cultivados actualmente tienen rotación de cultivos (soja / variedad trigo de invierno) y son manejados con siembra directa sin movimiento de suelo, es decir que se cosecha el trigo y sobre el rastrojo de cosecha se siembra la soja. La siembra de soja se hace a fines de años (con humedad propicia) o a principios de año en temporada de altas precipitacio-



**Figura 2:** Análisis pluviométrico por décadas.



**Figura 3:** Evolución temporal de los desmontes efectuados en el área de estudio.

nes y temperaturas, el cultivo alcanza su máximo desarrollo entre mayo y junio, y se la cosecha en invierno durante la estación seca. En estas condiciones de escasa humedad y bajas temperaturas se siembra el trigo, que alcanza su máximo crecimiento entre octubre y noviembre al inicio de la estación lluviosa.

En el análisis de los registros pluviométricos se observó un incremento pluviométrico a partir de la década del 70, que favoreció la expansión agrícola particularmente en los períodos 1976-1985 y 1997-2001. El mayor incremento en el volumen de lluvias respecto a la media histórica, se produjo entre los años 1976 y 1985: 28 % y entre 1997 y 2001: 32 % (Fig. 2).

Entre 1971 y 1976 los campos cultivados y los sectores poblados eran escasos o muy reducidos en un entorno dominante de monte chaqueño. Cuando se inicia el período de mayor humedad en la década de los años 70, se inició la venta de tie-

rras con monte chaqueño que luego se desmontaron para, implementar el uso agrícola. Hasta 1990 se desmontó casi el 50% de las tierras del departamento Burruyacú. En el año 2000 solo quedaba el 15% de monte en colinas aisladas en el sector distal del piedemonte de la sierra Del Campo (Fig. 3).

La situación geográfica del área de estudio entre el sector montañoso y la llanura chaqueña oriental presenta importantes variaciones de inclinaciones de pendiente entre 2 y 35%, factor que potencia los procesos infiriéndoles velocidad a los caudales fluviales y a los deslizamientos o desplomes en los movimientos de remoción en masa. Ello indica que a mayor diferencia altitudinal se incrementa la probabilidad de ocurrencia de procesos de erosión hídrica, remoción en masa, inundaciones y flujos torrenciales. El factor relieve genera la mayor pérdida de materiales en el sector montañoso, mientras

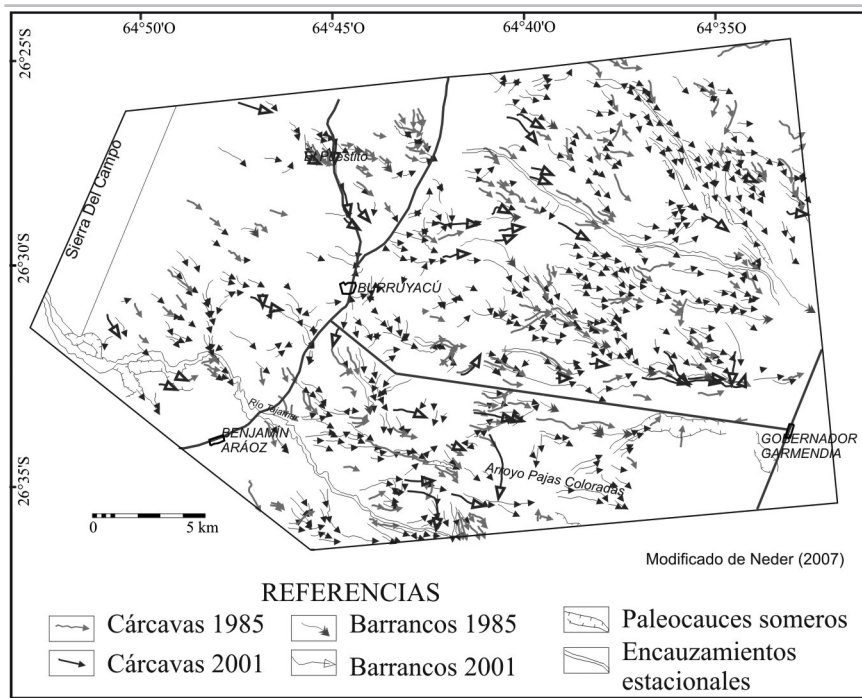


Figura 4: Mapa morfoodinámico de cárcavas y barrancos, evolución temporal período 1985-2001.

que el factor erodabilidad de suelos (condicionado por las características intrínsecas del suelo como estructura, textura, permeabilidad, etc.) es el que favorece la pérdida de suelos en la llanura oriental por las características limoalóssicas de los suelos (Bergsma 1996), donde el limo es el componente textural dominante, en un porcentaje mayor al 60%.

Los suelos actuales presentan el material parental de tipo loésico, en el cual predomina en la textura total, la fracción limo, la fracción arena entre 4 y 36% y la arcilla entre 10 y 26%. Esto responde a la génesis eólica de los depósitos de loess durante el Holoceno superior, donde la intensidad y permanencia de los vientos dominantes provenientes del sur transportaron las partículas por suspensión y saltación, produciendo el desgaste de las mismas, con disminución del tamaño de partícula y predominio de dicha fracción (Sayago *et al.* 1998, Neder 2007).

En el piedemonte y llanura oriental los procesos de remoción en masa actúan en las cabeceras de las cárcavas y barrancos que se desarrollaron en el glacis de erosión (Neder 2007), produciendo el retroceso por remoción en masa aguas arriba,

ya que son las áreas de forma cóncava las receptoras del escurrimiento superficial proveniente de los sectores de mayor altitud. En este punto la caída de agua que escurre por la superficie forma un encharcamiento en la base y salpicamiento en las paredes laterales, las que al humedecerse pierden estabilidad, el material colapsa y se desploma en el fondo. De esta manera la cárcava/barranco crece en longitud aguas arriba por incisión del escurrimiento concentrado. Estos procesos se acentúan en campos con suelos desnudos o con residuos de cosecha, por acción del impacto de la lluvia, erosión mantiforme y cárcavamiento. Los procesos de erosión hídrica están relacionados principalmente a las precipitaciones, siendo la intensidad y duración las características determinantes del tipo de erosión. El volumen de lluvia condiciona directamente el volumen de agua que escurre por la superficie, a una velocidad controlada por la inclinación de la pendiente. La duración de las precipitaciones determina el aumento paulatino del volumen de agua en la superficie y por lo tanto, los procesos relacionados al mismo como humedecimiento de la superficie, satura-

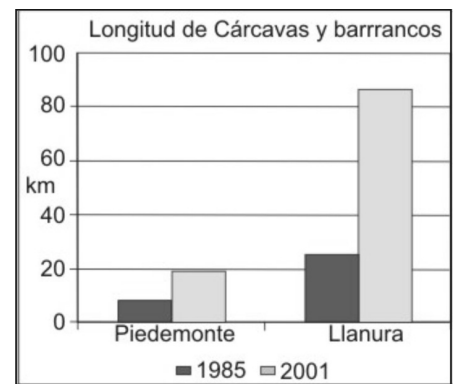


Figura 5: Incremento de la longitud de los rasgos lineales en el período 1985-2001 en toda el área analizada.

ción y encharcamiento hasta inundación. La pendiente controla la relación infiltración – escurrimiento, en pendientes bajas predomina la infiltración sobre el escurrimiento, el volumen de agua que se infiltra es mucho mayor al que escurre y si el material subsuperficial es de naturaleza limoarcillosa lo disuelve. Cuando la pendiente aumenta, es escaso el volumen de agua que infiltra predominando el escurrimiento, que alcanza mayor velocidad desprendiendo y arrastrando las partículas del suelo. Este proceso se produce principalmente durante la estación lluviosa. En los planos interfluviales de la llanura ondulada oriental (Neder 2007), los campos de cultivos se incrementaron notablemente ya que las pendientes son muy suaves y los suelos aptos para uso agrícola. Sin embargo hay una relación directa entre el incremento de los procesos erosivos hídricos de tipo mantiforme y de cárcavas y barrancos, con el aumento de tierras dedicadas a la agricultura. En el mapa de procesos morfoodinámicos donde se representó la evolución temporal de cárcavas/barrancos en el período 1985-2001, se observa mayor densidad de rasgos lineales en los sectores deprimidos longitudinales, que actúan como colectores del flujo superficial y se denominaron valles fluviales de origen antrópico (Fig. 4). Son rasgos lineales de orientación NNO que alcanzan casi 10 km de longitud, de fondo plano con varios ciclos de exondaciones que llegan a 6 m de profundidad. Durante la estación llu-

viosa actúan como cauces fluviales y generan inundaciones en los sectores laterales por desborde y erosión lateral de cauce. Se llevó a cabo una comparación entre las longitudes medidas de los rasgos lineales (cárcavas y barrancos) en 1985 y las dimensiones que alcanzaron en el año 2001, en las áreas de piedemonte y llanura oriental, dada la gran diferencia de uso de suelo en ambos sectores. Los resultados representaron un gran incremento en ambas áreas, pero es mucho más significativo en la llanura debido al uso agrícola intensivo en detrimento de las áreas con monte chaqueño (Fig. 5).

El área afectada por los procesos de erosión laminar muestra una gran coincidencia con los rasgos lineales en cuanto al incremento, ya que antes del año 1985, cuando la agricultura no estaba tan expandida, alcanzaba 176,97 km<sup>2</sup>. En el año 2001 el área afectada por erosión laminar se incrementó a 222,85 km<sup>2</sup> principalmente en el sector oriental del área de estudio. Es decir que aumentó 45,88 km<sup>2</sup> en un periodo de 16 años, lo cual coincide con el aumento de tierras dedicadas a la agricultura, la disminución del monte y el incremento pluviométrico. Sin embargo, hay sectores no afectados por procesos erosivos (aproximadamente 286,9 km<sup>2</sup>) que en su mayoría no son aptos para los cultivos de soja/trigo. Estos sectores representan remanentes de glacia cubiertos, definidos por Neder (2007) como lomadas aisladas que presentan una cobertura clástica de 2 m de espesor, que en algunos casos se desmontaron para cultivos de citrus.

El contenido orgánico en el estudio de la degradación de los suelos es un indicador muy importante, ya que a mayor tiempo desde el desmonte menor es el contenido de materia orgánica y carbono orgánico, esenciales para el desarrollo de la vegetación. Las áreas cercanas al límite con Santiago del Estero, con más de 30 años de desmonte están colonizadas por vegetación secundaria de tipo xerófila y halófila que refleja las condiciones ambientales semiáridas-subhúmedas actuales con tendencia a la desertificación y con escaso contenido orgánico (Fig. 6).

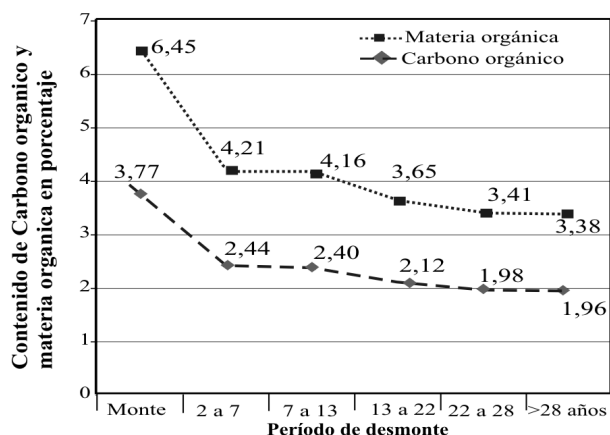


Figura 6: Relación entre la disminución del porcentaje de materia orgánica y el tiempo de desmonte.

Una de las características del horizonte superficial del suelo que favorece el accionar de los procesos erosivos es el encostramiento superficial. El encostramiento superficial es una estructura que se forma cuando la superficie del suelo se calienta y el movimiento del agua es de abajo hacia arriba, se evapora en la superficie y precipita el material sólido que obtura los poros y cementa las partículas de mayor tamaño. Esta costra alcanza a veces hasta 10 cm de espesor y disminuye la porosidad e impide el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se encontró en sectores del este en campos de cultivos cercanos a la localidad de Gobernador Garmendia casi en el límite con la provincia de Santiago del Estero, en la unidad geomorfológica de planos interfluviales con pendientes entre 1 y 2% están relacionadas al uso agrícola prolongado del suelo y al régimen de precipitaciones ya que las mismas disminuyen notablemente transformándose las características climáticas en semiáridas.

## CONCLUSIONES

La degradación física de los suelos debido a la deforestación y al cultivo irrestricto a lo largo de los años, esta ampliamente distribuida en el área de estudio, en diferentes grados. El deterioro de las tierras se encuentra en función del tiempo transcurrido desde el desmonte, siendo más intenso en suelos cultivados sin prácticas conservacionistas, lo cual se manifiesta en el decrecimiento de materia orgánica

del horizonte superficial.

La disminución del contenido de carbón orgánico de los suelos es rápida en los primeros años después del desmonte, lo cual indica que el aporte de materia orgánica proveniente del monte chaqueño fue importante mientras estuvo presente. La eliminación de la cubierta vegetal produjo la pérdida acelerada del contenido de materia orgánica en un corto período.

El piedemonte de la sierra Del Campo presenta riesgo moderado de erosión en cárcavas mientras que en la llanura oriental ondulada el riesgo de erosión en cárcavas es severo debido a que están separadas menos de 20 m, particularmente en los sectores donde la pendiente cóncava actúa como receptora del flujo superficial y lo canaliza. La remoción en masa se presenta combinada con los procesos de erosión hídrica en el retroceso de cabezeras y paredes laterales. El concepto de riesgo aplicado expresa la intensidad y distribución espacial alcanzada en cada proceso, que podrían atenuarse con prácticas conservacionistas o agravarse si no se las aplica.

El reconocimiento mediante fotointerpretación del tipo e intensidad de los rasgos erosivos, contribuye a la elección del manejo y a la planificación de prácticas de conservación de los suelos para mejorar la producción agrícola, disminuir la pérdida de suelo y minimizar la degradación edáfica.

En el año 2003 las áreas ocupadas por los remanentes de monte chaqueño corresponden al 10% de las relevadas en 1970,

con disminución del contenido de la materia orgánica e incremento de los procesos de erosión hídrica: cárcavas (25,29%) y barrancos (37,77%). Estos procesos se desarrollaron principalmente en la llanura ondulada donde el desmonte, el uso agrícola intensivo y la erosividad de los suelos compuestos por materiales limo-lóésicos, favorecieron la evolución en longitud de los rasgos lineales por retroceso de cabeceras y ampliación del ancho del cauce. Los sectores donde se incrementó la longitud, actúan como colectores del flujo superficial proveniente de los interfluvios de pendientes muy bajas (1-3%). La implementación de la siembra directa y rotación de cultivos para una explotación sustentable, con el aporte de fertilizantes y herbicidas, favorece la producción de los cultivos pero altera las condiciones químicas naturales del suelo. Estos procesos se manifiestan en un severo cuadro de degradación del paisaje con sectores abandonados y cubiertos de matorrales. Además, en los sectores cercanos a la provincia de Santiago del Estero se observaron indicadores de procesos de desertificación como encostramientos en campos abandonados, grietas de desecación, salinización entre los más importantes.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló con instrumental y materiales del INGEMA (Instituto de Geociencias y Medio Ambiente) y con el subsidio del Proyecto del CIUNT 26/G440-2.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bergsma, E. 1996. Terminology for soil erosion and conservation. ISSS, ITC, ISRIC. 313pp.

- Bianchi, A.R. y Yáñez, C.E. 1992. Las precipitaciones en el noroeste argentino. INTA-EEA. 383 p. Salta.
- Bossi, G.E. 1969. Geología y estratigrafía del sector sur del valle de Choromoro. *Acta Geológica Lilloana* 10: 17-64, Tucumán.
- Mon, R. y Mansilla, N. 1998. Estructura geológica del territorio de la Provincia de Tucumán. En Gianfrancisco, M.E., Puchulu, J., Durango de Cabrera, M. y Aceñolaza, G.F. (eds.) *Geología de Tucumán*, Colegio Graduados Ciencias Geológicas de Tucumán, Publicaciones Especiales: 147-153.
- Neder, L. 2007. Geología del Cuaternario y evolución paleoambiental del piedemonte oriental de la sierra Del Campo y llanura. Burruyacú, Tucumán. Argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, inédita, 299 p., Tucumán.
- Neder, L. y Ríos, R. 2000. Evaluación del riesgo sísmico a partir de rasgos geomorfológicos de Sierras Subandinas tucumanas, Dpto. Burruyacú, Provincia de Tucumán, Argentina. 15° Congreso Geológico Peruano, Actas 199-204, Lima.
- Ruiz Huidobro, O. 1960. El horizonte calcáreo-dolomítico en la Provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana* 3: 147-171, Tucumán.
- Sayago, J.M., Neder, L. y Puchulu, M.E. 1998. Suelos. En Gianfrancisco, M.E., Puchulu, J., Durango de Cabrera, M. y Aceñolaza, G.F. (eds.) *Geología de Tucumán*, Colegio Graduados Ciencias Geológicas de Tucumán, Publicaciones Especiales: 275-284, Tucumán.
- Turner, J.C.M. Estratigrafía de la sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Boletín Academia Nacional de Ciencias*. Boletín 41(2): 163-196, Córdoba.
- Van Zuidam, R. y Van Zuidam Cancelado, F.I. 1979. Terrain analysis and classification using aerial photograph. ITC Textbook VII-6, 309 p., Enschede.
- Vega Caro, A.C. 1999. Rasgos neotectónicos de las sierras del noreste de Tucumán, Departamento Burruyacú. Tucumán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales e IML, Universidad Nacional de Tucumán, inédita, 128 p., Tucumán.
- Verstappen, H.T. y Van Zuidam, F.I. 1991. The ITC system of geomorphologic survey. ITC Publication 10, Second edition, 89 p., Enschede.

Recibido: 17 de Noviembre, 2009  
Aceptado: 25 de Marzo, 2010