



**HAL**  
open science

# IMPACTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAZAS: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE DEGRADACIÓN FÍSICA DE UN CUENCA PRODUCTORA DE AGUA

Jose Luis Gonzalez Barrios, Luc Descroix, Rodolfo Jasso Ibarra, Juan Estrada, Arnaud Bollery, Raul Moreno Solis, Ignacio Sanchez Cohen

► **To cite this version:**

Jose Luis Gonzalez Barrios, Luc Descroix, Rodolfo Jasso Ibarra, Juan Estrada, Arnaud Bollery, et al.. IMPACTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAZAS: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE DEGRADACIÓN FÍSICA DE UN CUENCA PRODUCTORA DE AGUA. Avances de investigacion en agricultura sostenible. Bases metodologicas para el manejo integral de cuencas hidrologicas, 2007. hal-02174023

**HAL Id: hal-02174023**

**<https://hal.science/hal-02174023>**

Submitted on 11 Jul 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **IMPACTO DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAZAS: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE DEGRADACIÓN FÍSICA DE UN CUENCA PRODUCTORA DE AGUA**

J. L. González Barrios<sup>1</sup>, L. Descroix<sup>2</sup>, R. Jasso<sup>1</sup>, J. Estrada<sup>1</sup>, A. Bollery<sup>3</sup>, R. Solís<sup>4</sup>, I. Sánchez Cohen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *INIFAP Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA) AP 225-3 ZI Gómez Palacio Dgo. 35071 México. [gonzalez.barrios@inifap.gob.mx](mailto:gonzalez.barrios@inifap.gob.mx)*

<sup>2</sup> *Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Laboratoire de Transferts en Eau et Environnement (LTHE) Grenoble, France*

<sup>3</sup> *Université Joseph Fourier de Grenoble (UJFG) Institut de Géographie Alpine (IGA) Grenoble, France*

<sup>4</sup> *Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) Instituto de Silvicultura y de la industria de la Madera (ISIMA). Durango, México*

## **RESUMEN**

Las actividades agropecuarias y forestales en la cuenca alta del Río Nazas han generado, en las últimas décadas, cambios importantes en el uso del suelo que alteran y transforman el escurrimiento del agua de lluvia hacia las presas. Estas actividades tienen a fin de cuentas un impacto negativo en el volumen y la calidad del agua disponible aguas abajo. Tomando en cuenta que la cuenca alta del Nazas es la principal zona de recepción de agua de lluvia que sirve para el abasto y desarrollo económico de las partes más bajas y áridas de la cuenca, se pretendió valorar el impacto de las actividades productivas (forestales, agrícolas y pecuarias) respecto al agua de escurrimiento que fluye hacia la presa regional Lázaro Cárdenas. Los resultados de estas investigaciones, realizadas en una cuenca experimental, muestran una degradación física importante en la superficie del suelo de la

cuenca y un deterioro de la calidad del agua de escurrimiento por la gran cantidad de sólidos suspendidos que transportan debido al proceso de erosión del suelo.

Este capítulo presenta parte de los estudios de hidrología y edafología realizados en la parte alta del Río Nazas donde se valoró el impacto del cambio de uso del suelo provocado por las actividades productivas.

Diferentes recomendaciones y perspectivas de rehabilitación son propuestas para la conservación del agua y del suelo en un contexto de manejo integrado de la cuenca.

**Palabras clave:** uso del suelo, erosión hídrica, manejo integrado de cuencas.

## IMPACT OF THE PRODUCTIVE SYSTEMS IN THE HIGH WATERSHED OF THE NAZAS RIVER; ANALYSIS OF PHYSICAL DEGRADATION PROBLEM IN A WATER-SUPPLIER BASIN

### **ABSTRACT**

The agriculture and forestry in the high watershed of the river Nazas, have provoked very important changes in the last decades concerning the soil use of productive areas with alteration on runoff water toward dams. These activities have a negative impact on the volume and quality of water available downstream.

Considering that the high Nazas watershed is the main area of reception of rain water used for the economic development of lower and drier areas, the impact of productive activities (such as forestry, agriculture, and livestock) has been valued concerning the runoff water going to the regional dam "Lazaro Cardenas". The result of this research shows an important degradation on soil surface and a deterioration of water quality in the runoff water because of a high solid content related to soil erosion processes.

This chapter presents a part of the hydrological and pedological studies carried on an experimental basin located in the high watershed of the Nazas river.

Different remediation recommendations are proposed for soil and water conservation on the way of integrated basin management.

Key words: soil use, hydric erosion, integrated basin management

## **INDICE**

### **INTRODUCCION**

### **MATERIALES Y METODOS**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **HIDRO-CLIMATOLOGÍA DE LA CUENCA**

### **SUELOS DE LA CUENCA**

### **VEGETACIÓN DE LA CUENCA**

### **USO DEL SUELO Y CONSECUENCIAS HIDROLÓGICAS**

### **TIPOLOGÍA DE CÁRCAVAS**

### **Cárcavas incipientes**

### **Cárcavas Activas**

### **Cárcavas Activas mixtas**

### **Cárcavas Terminales**

### **CONCLUSION**

### **AGRADECIMIENTOS**

### **LITERATURA CITADA**

## **INTRODUCCION**

Las principales actividades productivas: agrícola, pecuaria y forestal, en la cuenca alta del Río Nazas han generado, en las últimas décadas, cambios importantes en la superficie del suelo que actualmente limitan y condicionan

el escurrimiento del agua superficial hacia la presa regional “Lázaro Cárdenas”. Estos cambios impactan de manera directa e indirecta el volumen y la calidad del agua de escurrimiento al modificarse las características estructurales del suelo y su cobertura vegetal. Los problemas de erosión hídrica estimados en la pérdida de suelo equivalente a una capa de 1mm por año (Descroix *et al*, 2004) en toda la superficie de la cuenca alta del Nazas (17000 km<sup>2</sup>) agravan otro problema mayor que es la cantidad y calidad del agua de escurrimiento, lo cual amenaza el futuro de las principales actividades productivas de esta importante región.

Para aportar elementos de solución a estos problemas, es necesario analizar los componentes tanto naturales como antropogénicos que forman parte de los sistemas productivos.

Este capítulo presenta parte de los estudios de hidrología y edafología realizados en una cuenca experimental localizada en la parte alta del Río Nazas, municipio de Tepehuanes Durango, donde se valoró el impacto del cambio de uso del suelo provocado por la ganadería y la agricultura.

## **MATERIALES Y METODOS**

Las observaciones y mediciones de campo se realizaron en una cuenca experimental representativa de la parte alta del Río Nazas. La cuenca vertiente cuyo nombre es “Ciénega de Escobar” abarca aproximadamente 20 km<sup>2</sup> y está situada en el afluente del Río Sextin que drena una superficie de aproximadamente 8000 km<sup>2</sup> hacia la presa regional “Lázaro Cárdenas” donde se almacenan sus aguas de escurrimiento (Figura 1).

La cuenca “Ciénega de Escobar” pertenece a la gran provincia fisiográfica “Sierras y Montañas” del estado de Durango (Loyer *et al.*, 1993) caracterizada por relieves de 1800 hasta 3200 m de altitud con sinclinales, anticlinales y mesetas formados predominantemente por ignimbritas, riolitas y tobas del terciario, con una pendiente promedio de 14 por ciento y una cubierta forestal en el 78 por ciento de su superficie. Los principales usos del

suelo que se desarrollan actualmente en esta provincia son la explotación forestal y la ganadería.

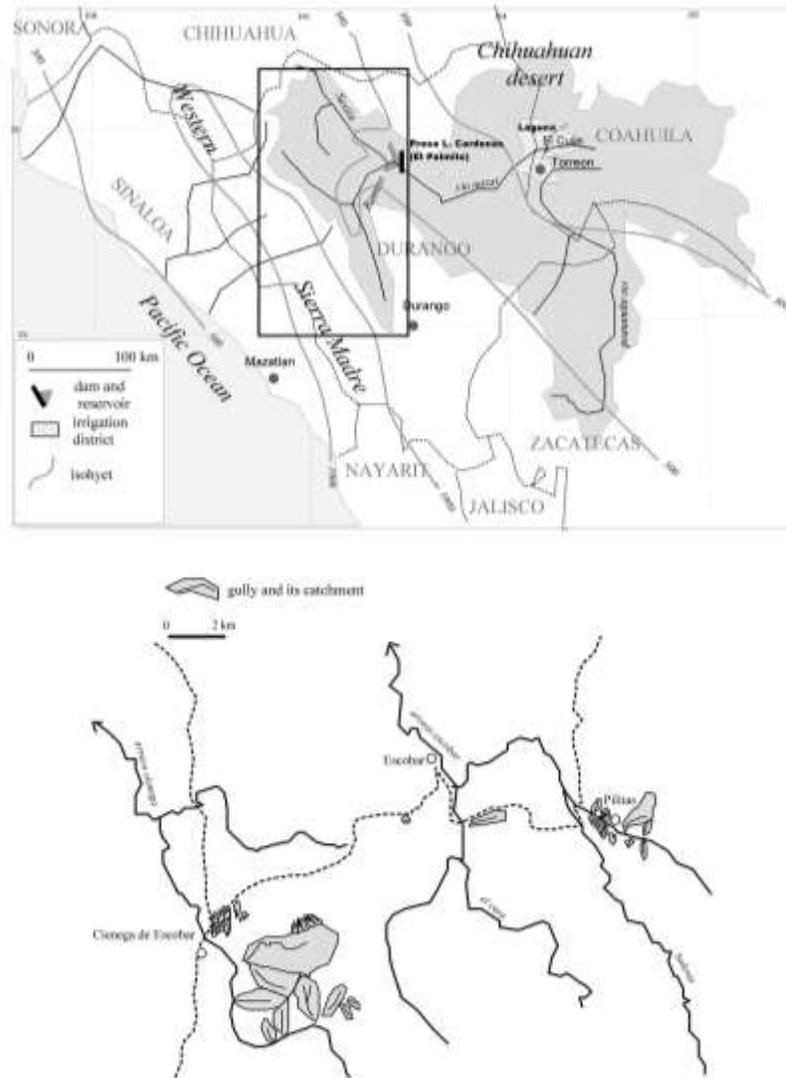


Fig. 1 Localización del área de estudio: arriba parte alta del Nazas, abajo Ciénega de Escobar y cárcavas en estudio (tomado de Descroix *et al.*, 2000)

Tomando en cuenta que la cuenca alta del Nazas es la principal zona de captación y abasto de agua de lluvia para el desarrollo agrícola, pecuario e industrial en la parte baja, se pretendió valorar, mediante la investigación

en sitios experimentales, el impacto de las actividades productivas (forestales, agrícolas y pecuarias) respecto a la cantidad y calidad del agua de escurrimiento hacia la presa regional Lázaro Cárdenas.

La caracterización natural y productiva de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar” se realizó mediante numerosas observaciones y mediciones de campo desde 1995 hasta 2005, que abarcaron estudios de hidro-climatología: pluviometría, aforos y muestreos del agua de escurrimiento (Gonzalez Barrios y Descroix, 2000; Descroix *et al.*, 2004; Nouvelot *et al.*, 2004); estudios del suelo y de su material de origen: estado de superficie, perfil edáfico, material geológico (Poulenard, 1995; Poulenard *et al.*, 2004; Gonzalez Barrios *et al.* 2004a); estudios de la vegetación: tipo, cobertura superficial, tipo de mantillo (Rodríguez, 1997; Viramontes, 2000); así como estudios socioeconómicos de las actividades productivas: organización de la producción ganadera, agrícola y forestal y su relación con los flujos migratorios de mano de obra (Inard lombard, 2000; Inard lombard, 2005).

Respecto a las marcas de degradación física más importantes observadas en la cuenca, se realizó una clasificación de las cárcavas de erosión y se instrumentaron seis de ellas para medir la velocidad de avance del proceso erosivo mediante estacas permanentes ubicadas en cuadrados perfectos en el área del cabezal, que sirvieron para disponer una retícula de medición con 42 puntos de control sistemático por cárcava y un registro de fotografías para el seguimiento de su evolución mediante imágenes.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

La cuenca experimental “Ciénega de Escobar” es una cuenca que subyace a materiales geológicos eruptivos de la Era Cenozoica, ricos en rholitas e ignimbritas así como tobas y dacitas que afloran en los relieves más importantes situados al sur y al este de la cuenca. La altitud del terreno

varía desde 2440 metros sobre el nivel del mar (Cerro de los Amoles) hasta 2170 m en el punto más bajo de su desagüe superficial o talweg (Figura 2).



Figura 2. Vertientes de la cuenca experimental “Ciénega de la vaca”; al fondo el Cerro de los Amoles.

#### HIDRO-CLIMATOLOGIA DE LA CUENCA

La pluviometría promedio en la cuenca es de 600 mm anuales con una fuerte variación interanual. Existe un periodo bien definido de lluvias de junio a septiembre en donde ocurre el 80 por ciento de las precipitaciones y un periodo de otoño invierno con menos del 20 por ciento de la precipitación anual. La época seca generalmente va de marzo a mayo.

La duración e intensidad de las lluvias es diferente a lo largo del año ya que en verano las lluvias son de corta duración y de alta intensidad (lluvias convectivas o torrenciales) excepto cuando hay influencia de huracanes. Por el contrario, en las estaciones de otoño e invierno las lluvias son de baja intensidad y larga duración aportando menos del 20 por ciento a la pluviometría anual (Descroix *et al.*, 1997) excepto en periodos con influencia del monzón en los que las lluvias tienen muy larga duración y llegan a contribuir a la pluviometría anual de manera significativa.

El coeficiente de escurrimiento en las vertientes de la cuenca “Ciénega de Escobar” es del orden de 15 por ciento con un escurrimiento superficial promedio anual de 1 a 1.5 millones de metros cúbicos, en el punto de aforos mas bajo de la cuenca. El escurrimiento hidrológico es predominantemente de tipo Hortoniano (Horton, 1933) con una fuerte influencia del contenido de humedad del suelo dejado por la lluvia precedente (índice de Kholer de acuerdo a Kholer y Linsley, 1951; Decroix et al., 2002b); pero en presencia de lluvias de baja intensidad y de larga duración (más de tres días) el escurrimiento hidrológico se realiza en forma de áreas saturadas contributivas, según el modelo Cappus-Hewllett (Cappus, 1960; Hewlett et al., 1969).

Durante las avenidas de verano, las aguas de escurrimiento de la cuenca “Ciénega de Escobar” transportan una carga de suelo con un rango de 0.8 a 1.1 kg m<sup>-3</sup>, lo cual permitió estimar una perdida anual de suelo por erosión de entre 6000 y 13000 toneladas es decir entre 300 y 650 ton km<sup>-2</sup>. Esta cantidad es similar a la estimada por Descroix y colaboradores (400 toneladas por kilómetro cuadrado aproximadamente de acuerdo a Descroix et al, 2001 y a Descroix et al., 2002a) en un área vecina pero veinte veces mayor a la cuenca “Ciénega de Escobar”.

## SUELOS DE LA CUENCA

Los suelos de la cuenca “Ciénega de Escobar” son de tipo fersialítico característicos del material geológico y del régimen hidro-climatológico de la Sierra Madre Occidental con algunas variantes de suelos azonales e intrazonales. Esquemáticamente, los cerros y laderas de la cuenca están cubiertos por suelos someros de tipo Leptosol (FAO, 1994), con menos de 30cm de profundidad; en cambio los Cambisoles crómicos, de 0.6 a 2 m de espesor se desarrollan en piedemontes y bajadas con pendientes suaves; finalmente los Feozems, háplicos y vérticos, se encuentran en las zonas mas

planas, a los lados del eje de escurrimiento, llegando a tener seis metros de profundidad (González Barrios *et al.*, 2003).

El perfil representativo de los suelos más comunes de esta cuenca (suelo tipo Cambisol crómico) presenta tres horizontes distintivos (Fig. 3): un horizonte superficial de 20 a 30 cm de espesor de color oscuro, rico en materia orgánica, bien estructurado, con actividad biológica evidente, seguido de un horizonte mineral mas claro, de 30 a 120 cm de espesor, de naturaleza menos orgánica y mas frágil que el primero. Finalmente un tercer horizonte de alteración de la roca madre, de espesor variable, caracterizado por su riqueza en elementos gruesos (piedras, guijarros y bloques) provenientes de la desagregación y evolución *in situ* del material geológico parental.



Figura 3. Perfil representativo del suelo más común (Cambisol crómico) de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar”.

El Cuadro 1 presenta las características granulométricas de los dos primeros horizontes superficiales del Cambisol crómico, comparado con las características promedio de los suelos de otras cuencas experimentales vecinas. Es evidente la mayor riqueza de limo en los suelos de la cuenca “Ciénega de Escobar”, lo cual ayudara a explicar, porqué estos suelos son más frágiles a los procesos de erosión y más propensos a la formación de cárcavas.

Cuadro 1. Características granulométricas en tres horizontes superficiales

	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clasificación textural	Materia orgánica
HSO	55	17	28	Franco (limo-areno-arcilloso)	1.1
HSC	45	24	31	Franco (limo-arcillo.arenoso)	0.9
SOC	80	5	15	Arenoso (areno-arcilloso)	1.0

HSO = horizonte superficial oscuro

HSC = horizonte subyacente claro

SOC = Suelo de otras cuencas (características promedio de acuerdo a Poulénard, 1995)

## VEGETACION DE LA CUENCA

La vegetación actual de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar” es diferente de la que existía hace menos de cien años cuando había un bosque de pino que cubría sus vertientes (de acuerdo a los testimonios de antiguos habitantes de la cuenca). A mediados del siglo XX, la deforestación casi total de la cuenca arrasó con los pinos para su venta en el mercado de la madera. Un cambio de uso del suelo dio origen a la importante actividad agrícola y ganadera que provocó la sustitución del bosque por las grandes áreas de pastizal y de cultivos agrícolas que se encuentran ahora. En algunos cauces de escurrimiento hay todavía relictos del bosque de pino que existió y que junto con otras especies leñosas, como el encino (*Quercus spp*) y táscate (*Juniperus spp*), forman actualmente la vegetación arbórea de la cuenca (Figura 4).



Figura 4. Aspecto de la vegetación actual en la cuenca experimental “Ciénega de Escobar”

#### USO DEL SUELO Y CONSECUENCIAS HIDROLOGICAS

El uso del suelo en la cuenca experimental “Ciénega de Escobar” tiene desde hace décadas un componente esencialmente ganadero y agropecuario (José Escarpita, comunicación personal): los suelos de las laderas y piedemontes (60% de la superficie) son utilizados para la ganadería extensiva de bovinos con ganado criollo y cruza de las razas Herford, Salers, Charolais, Limousin, (Figura 5); los suelos de las planicies, mas profundos y ricos en materia orgánica (30% de la superficie) son cultivados con maíz y avena para producir forraje para el ganado. Esta producción agrícola cuenta con un grado relativamente alto de mecanización por el uso de maquinaria e implementos agrícolas (Figura 6).



Figura 5 Ganadería en las vertientes de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar”



Figura 6 Producción de cultivos forrajeros en las partes más planas de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar”

La producción de forrajes salvajes (pastos navajita, banderita, etc.) o cultivados (avena y maíz) es muy variable a lo largo de los años en función

de la temporada de lluvias. Esto hace que la presión por conseguir alimento para el ganado sea también variable.

Por ejemplo, durante los años secos o con lluvias mal distribuidas en la temporada de lluvias, no se puede contar con una buena disponibilidad de forrajes y de agua para el ganado. Esto hace que la oferta natural de pasto y agua se agoten rápidamente en las superficies de pastoreo de la cuenca y que tengan que invertirse considerables sumas de dinero para comprar alimento y llevarle agua al ganado.

En años con abundante agua en la temporada de lluvias, los forrajes y el agua durarán más tiempo y el desembolso será menor para la compra de forrajes y pollinaza, así como para el acarreo de agua en tanques cisterna para los bebederos.

En años críticos para otras regiones, los precios del mercado ganadero provocan aquí una sobre carga de vacas en los potreros, llegando a ser hasta cuatro veces mayor a la capacidad natural de carga de los agostaderos que es de 5 a 6 ha por unidad animal (González Barrios *et al.*, 2004b); con la intención de aumentar las utilidades de la engorda y venta de ganado, esto provoca una presión productiva muy fuerte al suelo, lo cual agrava las marcas de degradación que generalmente son irreversibles (Figura 7).

Esta intensificación productiva se refleja en el medio físico y va dejando huellas de larga duración. Tal es el caso de la formación de terracitas o senderos por donde pasa el ganado (Figura 8) y de las costras impermeables en la superficie del suelo desnudo (Figura 9) originados por el sobre pastoreo y la erosión hídrica (con una pérdida de 300 a 650 toneladas de suelo por km<sup>2</sup>) en la mayor parte de la cuenca.



Figura 7 Sobre carga de ganado en áreas forrajeras



Figura 8 Formación de terracitas por la actividad ganadera



Figura 9 Costras en la superficie del suelo desnudo

Mas aún, en las vertientes norte y noroeste de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar”, donde hay terrenos “blandos” y ricos en limos, desarrollados sobre dacitas y tobas, se observan otro tipo de marcas de erosión más espectaculares aunque relativamente raras en la parte alta del Río Nazas; se trata de cárcavas de erosión de diferentes tamaños tipos y estadios de evolución (González Barrios, *et al.*, 2003; González Barrios, *et al.*, 2005). Desde algunos metros (5 a 10) hasta varios kilómetros (5 a 10) de largo y desde algunos decímetros (2 a 7) hasta casi ocho metros de profundidad, estas cárcavas de erosión dejan al descubierto la roca madre en numerosos sitios de la cuenca y constatan la fragilidad del suelo frente a su cambio de uso.

#### TIPOLOGIA DE CARCAVAS

Se identificaron cuatro tipos de cárcavas en las vertientes de la cuenca experimental “Ciénega de Escobar” de acuerdo a los siguientes criterios morfológicos y de estadio evolutivo (González Barrios *et al.*, 2003):

**Cárcavas Incipientes:** Son cárcavas cuyos bordes apenas son distinguibles en el terreno y cuya velocidad de avance es generalmente lenta (Figura 10).

**Cárcavas Activas:** Son cárcavas cuyos bordes avanzan rápidamente por el derrumbe del suelo, originando un proceso de erosión regresiva (Figura 11).

**Cárcavas Activas Mixtas:** Son cárcavas con marcas de erosión superficial regresiva y de erosión sub-superficial en túneles con la formación de agujeros en la superficie del suelo por efecto del derrumbe del techo de los túneles (Figura 12).

**Cárcavas Terminales:** Son cárcavas cuyos bordes han alcanzado ya la roca madre (toba y/o dacita) impidiendo con ello su avance rápido.



Figura 10. Cárcava incipiente



Figura 11. Cárcava activa



Figura 12. Cárcava activa mixta

Las seis cárcavas que fueron instrumentadas en 2003 para determinar su velocidad de avance y su funcionamiento, se localizan en la vertiente noroeste de la cuenca “Ciénega de Escobar”: De estas seis cárcavas, tres se consideran activas en una toposecuencia de 500 m de longitud ubicadas en: las bajadas superior e inferior y en la planicie; dos cárcavas se consideran incipientes en la bajada inferior; y una cárcava considerada como activa mixta se ubica en la bajada inferior de un sector de la vertiente ligeramente más al norte.

Los resultados de los últimos tres años de seguimiento permiten determinar que es al inicio de la época de lluvias donde se presenta un mayor avance, sobre todo en los cabezales de las cárcavas activas, con velocidades de erosión por derrumbe de 1 a 2 metros lineales por año lo cual representa de 1.1 a 1.4 toneladas de suelo por metro cuadrado (Figura 13). La velocidad de avance en la cárcava activa mixta es más fácil de apreciar en el techo del túnel de socavamiento que se derrumba a medida que avanza la cárcava hacia un estadio final de acanalamiento de la superficie de la vertiente (Figura 14). Las cárcavas incipientes presentaron las velocidades de avance menos rápidas (inferiores a 10 cm lineales por año a nivel de cabezal) en el periodo de seguimiento.



Figura 13 Cárcava activa de la planicie con mayor velocidad de avance



Figura 14 Techo de túnel en cárcava activa mixta

La intensidad de erosión observada tiene actualmente una inercia natural agravada por la falta de obras de remediación y de control de la erosión.

El cambio de uso del suelo de forestal a ganadero ha provocado un aceleramiento en la formación y avance de cárcavas cuyos estadios son en muchos casos irreversibles con la consecuente pérdida del suelo que es el patrimonio productivo de la comunidad enclavada en la cuenca.

Aun y cuando el número de habitantes en la cuenca “Ciénega de Escobar” ha disminuido por emigración hacia los Estados Unidos de América o hacia núcleos de población mexicana con mayor actividad económica (INEGI, 2000), la presión productiva se mantiene constante ya que los migrantes generalmente no cortan los lazos económicos con su comunidad de origen y envían remesas de dinero para que los familiares que se quedaron en la cuenca realicen actividades productivas (Inard Lombard, 2000). Esto incluye la compra de sementales de razas con mayor calidad productiva y/o el beneficio de programas gubernamentales de fomento y mejoramiento del hato ganadero; así como la compra de insumos y maquinarias agrícolas que permiten mantener en producción la porción de tierra y el rebaño que poseen. Este fenómeno es diferente en otras regiones del mundo donde el éxodo rural definitivo, ha propiciado la recuperación del

medio biofísico especialmente de la vegetación y el suelo (Descroix, 2003). Más aún, desde 1992, los cambios en la tenencia de la tierra de propiedad comunal a propiedad individual parecen mitigar un poco la degradación de las áreas antes comunes (Descroix et al., 2004a). La repartición de la tierra ejidal a sus miembros individuales contribuye a mejorar el estado de los potreros y de la superficie del suelo, desacelerando el proceso de deterioro por un uso más racional de los recursos ahora propios.

Así pues, los factores naturales (geomorfología, tamaño de la vertiente, hidrología y tipo de suelo en la cuenca) se combinan fuertemente con los factores inducidos (cambio de uso del suelo) a lo largo del tiempo para provocar el aceleramiento de la erosión en cárcavas cuya forma de replicarse y velocidad de avance están ligadas a la cohesión mecánica de los diferentes horizontes del suelo. Si la cárcava al profundizarse alcanza un horizonte más blando y frágil entonces ocurre una sobre excavación y erosión regresiva por avance de la incisión de lo bajo a lo alto de la vertiente. En el caso de la cárcava mixta, el flujo de escurrimiento hipodérmico o sub-superficial que se aprecia en el túnel de socavamiento, juega un papel muy importante para la ampliación y réplica del proceso erosivo a nivel de la vertiente. Así, en esos horizontes frágiles, ricos en limo y arena, provenientes de la toba *in situ*, el agua sub-superficial encontrará menor resistencia a su paso y socavará el suelo hasta derrumbarlo produciendo grandes canales paralelos al eje de mayor pendiente del terreno. Este tipo de erosión de las cárcavas mixtas (superficial y subsuperficial) no había sido reportado antes en la cuenca alta del Nazas.

El suelo interviene en las transferencias de agua en la cuenca, mediante propiedades hidráulicas que tienen estrecha relación con sus características fisicoquímicas (textura, estructura, porosidad, contenido de materia orgánica, etc.); sin embargo, el impacto de las actividades productivas puede modificar enormemente estas transferencias de agua y provocar cambios importantes en la superficie de las vertientes.

Diferentes propuestas pueden ser citadas aquí con el objeto de mitigar el problema de erosión en cárcavas mediante obras de remediación. Por citar algunos ejemplos y de acuerdo a las directrices de CONAFOR (2004):

1) El cabeceo de cárcavas incipientes permitiría detener el avance de la erosión regresiva;

2) El afino de taludes en cárcavas terminales permitiría la retención de suelo y la recolonización de vegetación en los sitios en donde se ha dejado al descubierto ya la roca madre;

3) El relleno de cabezales de cárcavas activas, por ejemplo con llantas de desecho, permitiría reducir el avance de la erosión al tiempo de dar un uso útil a ese residuo de caucho que abunda en sitios urbanos;

4) La construcción de pequeñas presas de gaviones en los cauces de las cárcavas mixtas permitiría reducir el flujo superficial y sub-superficial que socava los horizontes blandos y derrumba la superficie del suelo convirtiéndolo en áreas acanaladas.

Por último, es necesario implementar una regulación más estricta de la presión productiva en la cuenca, para integrar todos los factores de orden natural, productivo y sociocultural puestos de manifiesto con estas investigaciones. El manejo integrado de la cuenca no podría soslayar ninguno de estos aspectos que hacen que el cambio de uso del suelo tenga un fuerte impacto en la cuenca alta del Río Nazas.

## **CONCLUSION**

La deforestación de cuencas como la “Ciénega de Escobar” y su giro hacia actividades ganaderas y agropecuarias, han sido detonantes de la erosión del suelo actual en la cuenca alta del Río Nazas, cuyas características revelan una fragilidad natural ligada a la intensidad del uso de los recursos agua, suelo y vegetación. La fuerte presión productiva forestal y

agropecuaria ha impulsado los procesos erosivos en manto y en cárcavas con la irreparable pérdida del suelo que es patrimonio productivo.

Aun cuando la población de la cuenca se ha mantenido con bajo crecimiento por la migración de su fuerza de trabajo hacia el extranjero o hacia ciudades importantes de México, la presión productiva se ha mantenido por la conexión inherente entre migrantes y residentes de la cuenca. Esto es diferente en otras regiones del mundo donde el éxodo rural ha propiciado la recuperación del medio biofísico especialmente de la vegetación y el suelo.

En la perspectiva de lograr un manejo racional e integral de la cuenca, es importante recomendar urgentemente la realización de obras de conservación de la vegetación el suelo y el agua, que serán diferentes según el tipo y el estadio del problema a tratar; sin embargo, lo más importante es disminuir la presión productiva de la actividad ganadera, agrícola y forestal con el fin de poder regularlas integrando los factores natural, productivo y sociocultural puestos de manifiesto en estas investigaciones. El manejo integrado de la cuenca no podrá soslayar ninguno de estos aspectos para revertir el fuerte impacto del cambio de uso del suelo en la cuenca alta del Río Nazas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al programa ECOS-ANUIES del CONACYT y al INIFAP por el apoyo brindado para la realización y el financiamiento de estos trabajos mediante los proyectos “M01-U01 Impacto de las modificaciones inducidas al medio ambiente físico en una cuenca hidrológica de la Sierra Madre Occidental” (CONACYT-ANUIES-ECOS NORD, 2001); “Manejo Integrado de cuencas: tres casos en la regiones tropical húmeda, templada y semiárida” (INIFAP CENAPROS, 2002) y “Estudio integral de los sistemas de producción agrícola, pecuario y forestal y de los recursos naturales de la

región hidrológica 36, cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval” (INIFAP-CENID RASPA, 2003).

## **LITERATURA CITADA**

Cappus, P. 1960. Etude des lois de l'écoulement; application au calcul et à la prévision des débits. La houille Blanche A, 493-518.

CONACYT-ANUIES-ECOS NORD. 2001. Impacto de las modificaciones inducidas al medio ambiente físico, en una cuenca hidrológica de la Sierra Madre Occidental. M01 U01. Protocolo de proyecto SEP-CONACYT ANUIES ECOS Francia. México. D. F. 70p

CONAFOR. 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT, México 212p

Descroix, L. J.F. Nouvelot, J. Estrada. 1997. Geografía de las lluvias en una cuenca del norte de México: Regionalización de las precipitaciones en la región hidrológica 36. Folleto científico No. 8 INIFAP-ORSTOM. Gómez Palacio Dgo., México 59p

Descroix, L., S. Dignonnet, J.L. González Barrios, D. Viramontes, A. Bollery and B. Inard Lombard. 2000. Local factors controlling gully or areal erosion in the Western Sierra Madre (Northern Mexico) In: Transactions of the international symposium on gully erosion under global change. European Society for Soil Conservation. Leuven Belgium april 2000.

Descroix, L., D. Viramontes, M. Vauclin, J.L. González Barrios and M. Esteves. 2001. Influence of features and vegetation on runoff and soil erosion

in the western Sierra Madre (Durango, North-west of Mexico). *Catena* 43-2: 115-135

Descroix, L., J.F. Nouvelot, and M. Vauclin. 2002a. Evaluation of an antecedent precipitation index to model runoff in the western Sierra Madre (North-west, Mexico). *Journal of Hydrology*, 263:114-130

Descroix, L., J.L. González Barrios, J.P. Vandervaere, D. Viramontes and A. Bollery. 2002b. Variability of hydrodynamic behaviour on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico). *Journal of Hydrology*, 266 :1-14

Descroix, L. 2003. Les conséquences hydrologiques de l'évolution des usages des sols. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Université Joseph Fourier-Grenoble I. Grenoble France 80p + annexes

Descroix, L., J.L. González Barrios, y J. Estrada Avalos (Ed). 2004a. La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Ediciones INIFAP IRD. Gómez Palacio Dgo., México 300p

Descroix, L., J.L. González Barrios, D. Viramontes and M. Esteves. 2004b. Gully Erosion and Land Use Changes on the Hillslopes of the Western Sierra Madre. Chapter 12. 163-174 In: Y. Li, J. Poesen, Ch. Valentin (Ed) *Gully Erosion Under Global Change*. Chihuan Science and Technology press. Chengdu, China.

FAO, 1994. World Reference Base for Soil Resources. ISSS-AISS-IBG, ISRIC, FAO, Wageningen/Rome. 161 p

González Barrios, J.L. et L. Descroix. 2000. Bilan et perspectives de la ressource en eau dans le bassin du Nazas-Aguanaval (Nord Mexique). *Revue de Géographie Alpine*, No. 2 Tome 88 : 115-128

González Barrios, J.L., L. Descroix, J. Poulénard, D. Viramontes, C. Boyer, A. Bollery, B. Inard Lombard y S. Digonnet. 2000. Los suelos de la sierra. Implicaciones en el transporte y el almacenamiento del agua. Memorias del seminario internacional "Uso y manejo del agua en las cuencas hidrográficas del norte de México. IRD-INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio Dgo., México

González Barrios, J.L., J. Estrada Avalos, G. González Cervantes, L. Descroix y R. Jasso. 2003. Textura del suelo y erosión en una cuenca vertiente de la Sierra Madre Occidental (Durango, México). 291-298. In: Memorias del XII Congreso Nacional de Irrigación, Zacatecas, México. Mesa 4. Gestión de recursos naturales en cuencas

González Barrios, J.L., L. Descroix, D. Viramontes, J. Poulénard, A. Plenecassagne, L. Macías, C. Boyer, A. Bollery, y R. Jasso. 2004a. Condiciones que favorecen la erosión y el escurrimiento en manto. 161-178. In: Descroix, L., J.L. Gonzalez, J. Estrada (Editores) La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Ediciones INIFAP IRD. Gómez Palacio Dgo., México

González Barrios, J.L., J. Estrada Avalos, y R. Jasso. 2004b. Manejo Integrado del agua por cuenca. Memoria del curso de capacitación INIFAP CENID RASPA 59 pp

González Barrios, J.L., J. Estrada Avalos, G. González Cervantes, R. Jasso, I. Sanchez Cohen, L. Descroix. 2005. Erosión en cárcavas en la cuenca alta

del río Nazas, impacto del cambio de uso del suelo. In: Memorias del XIII Congreso Nacional de Irrigación, Acapulco, México. Mesa 1. Hidrología y manejo integrado de cuencas.

Hewlett, J.D., H. W. Lull, K.G. Reinhart. 1969. In defence of experimental watersheds. *Water Resour. Res.*, 5(1):306-316

Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. Am. Geophys. Union* 14, 446-460

Inard Lombard, B. 2000. Les causes et conséquences de l'émigration de la population de quatre communautés rurales de la Sierra Madre Occidentale (Nord Mexique). Mémoire de maîtrise en géographie . Université Joseph Fourier de Grenoble, France. 118p

Inard Lombard, B. 2005. Une montagne en voie d'abandon ? 65-82 In : Descroix, L. J. Estrada, J.L.Gonzalez, D. Viramontes (Editeurs). *La Sierra Madre occidentales, un château d'eau menacé*. Editions latitude 23 IRD Paris.

INIFAP-CENAPROS. 2002. Manejo Integrado de cuencas: tres casos en la regiones tropical húmeda, templada y semiárida. Protocolo de proyecto de investigación No 8032. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. CENAPROS, Morelia, México

INIFAP-CENID RASPA. 2003. Estudio integral de los sistemas de producción agrícola, pecuario y forestal y de los recursos naturales de la región hidrológica 36, cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval. Protocolo de proyecto de investigación No 1025676M. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. CENID RASPA, Gómez Palacio, México

INEGI, 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. México. Información disponible en la liga de Internet: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

Kholer, M.A., and R.K. Linsley. 1951. Predicting the runoff from storm rainfall. Weather Bureau, U.S. Department of Commerce. Research paper No. 34 Washington, 9p

Loyer, J.Y., J. Estrada, R. Jasso y L. Moreno (editores) 1993. Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la región hidrológica 36. Proyecto INIFAP-ORSTOM. Publicación No. 1 Gómez Palacio Dgo.367p

Nouvelot, J.F., L. Descroix, y J. Estrada. 2004. El clima y la variabilidad pluviométrica en el norte de México. 117-132. In: Descroix, L., J.L. Gonzalez, J. Estrada (Editores) La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Ediciones INIFAP IRD. Gómez Palacio Dgo., México

Poulenard, J. 1995. Surpâturage et érosion dans la Sierra Madre Occidentale. Memoria de licenciatura ISTOM, Cergey Francia. 82p

Poulenard, J. 2004. Un encostramiento de los suelos que limita la infiltración. 145-160. En: Descroix, L., J.L. González Barrios, J. Estrada Avalos (Ed). La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Ediciones INIFAP IRD. Gómez Palacio Dgo., México.

Rodríguez M.G. 1997. Determinación de la cobertura vegetal en la sierra madre occidental para su calibración por percepción remota. Tesis de licenciatura Escuela de ciencias forestales Universidad Juárez del estado de Durango. Durango, México 60p

Viramontes, D. 2000. Comportement hydrodynamique du milieu dans le haut Bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). Causes et conséquences de son évolution. Tesis doctoral Université Joseph Fourier. Grenoble Francia. 449p