

# IMPACTO DEL SOBREPASTOREO Y DE LA DEFORESTACION SOBRE EL ESCURRIMIENTO Y LA EROSION EN LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

Luc DESCROIX<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

Se presentan los resultados de tres años de muestreo en la Sierra Madre Occidental. Este trabajo sintetiza los estudios hechos por cuatro estudiantes franceses (Poulenard, 1995; Guédez, 1996; Henry, 1997) y cuatro mexicanos (Viramontes, 1995; Rodríguez, 1997; Gómez, 1997), de 1994 a 1996. Se prevee otro año de medición en 1997, pero ya existen resultados interesantes.

## UBICACION

Este estudio se llevó a cabo en la parte subhúmeda de la Región Hidrológica 36 (RH36), o sea en la cuenca alta del Río Nazas. Las mediciones se hicieron en las cuencas experimentales del proyecto CENID-RASPA ORSTOM, en los ejidos de Escobar y Anexos, Boleras, Pilitas y Pitorreal, así como el de La Posta de Jihuites, ubicados en el municipio de Guanaceví, Dgo. (Figura 1).

Se ubica a una altitud de entre 2,100 y 3,000 metros, en una región cuyo substrato está constituido por riolitas, tobas riolíticas y conglomerados provenientes de ambas. La vegetación natural comprende pastizales y sabanas de encinos de 2,000 a 2,300 metros de altitud, bosques de encino (de 2200 a 2400 metros), de encino y pino (2,400 a 2,600), y de pino-encino y pino arriba de 2,600 metros.

## PROBLEMATICA

La sobreexplotación de los recursos forestales en muchas partes de la Sierra Madre Occidental es obvia y muy rápida.

Esta región constituye la zona que abastece más agua en la RH36. Se estima que un 87 por ciento de las aguas de superficie de toda la RH36 vienen de la cuenca del Nazas aguas arriba de la presa El Palmito (18 por ciento de la superficie total). Localmente esta agua es poco aprovechada, ya que en año promedio, con una pluviometría de 600 mm, los pastizales tienen buen rendimiento, y los cultivos también. Esto significa que las aguas de superficie de la alta cuenca del Río Nazas sirven sobre todo al abastecimiento de las zonas más secas, esencialmente el perímetro de riego de la Laguna.

Uno de los objetivos del proyecto es de analizar cómo el desmonte y el sobrepastoreo (Descroix *et al*, 1995 II) pueden amenazar la seguridad de este abastecimiento. Muchos autores (Rougerie, Roose, Cosandey, etc.) demostraron el papel del manto vegetal (bosque o pastizales) en el escurrimiento de las aguas y la erosión de los suelos. Este papel es aún más importante en áreas de montaña.

Los estudios ya realizados permitieron evidenciar un grave sobrepastoreo (Barral y Anaya, 1993; Poulenard, 1994) en casi toda la cuenca alta del Río Nazas, así como un rápido desmonte en las partes más elevadas de ésta (Rodríguez, 1997). Ambos tienen probablemente consecuencias importantes sobre el escurrimiento y la erosión (Descroix *et al* I); estas consecuencias deben ser el tema de la tesis de doctorado de David Viramontes. (Viramontes, 1995).

---

<sup>1</sup> Investigador ORSTOM.

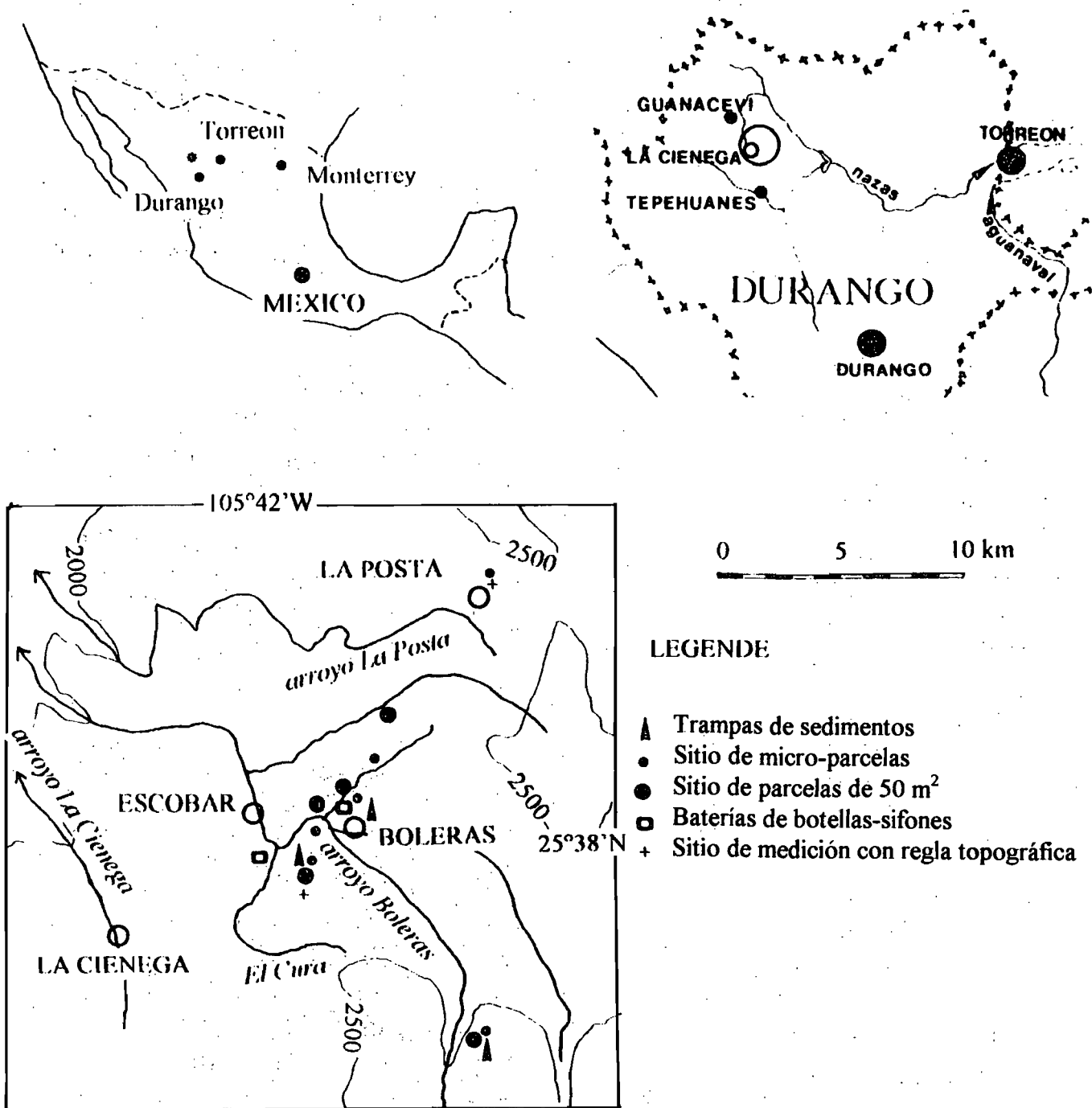


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Existe un debate científico sobre el impacto de la desaparición de la cubierta vegetal y su impacto sobre erosión y escurrimiento. Si es obvio que el desmonte y el sobrepastoreo exageran la erosión (por desaparición de la protección vegetal y la aceleración de los escurrimientos básicos) y el escurrimiento, existe una duda en cuanto al volumen de agua total escurrido a nivel anual en una cuenca. Se supone que el desmonte va a acelerar el escurrimiento instantáneo y la erosión, y de hecho, se exageran las avenidas cuando desaparece la cubierta vegetal; esto se comprobó en muchas partes, particularmente en la cuenca

mediterránea en los dos últimos milenios, en los cuales hubo varias fases de sobrepoblación seguidas por períodos de despoblación. En los Alpes del Sur (Descroix, 1994 y 1996), los documentos históricos y arqueológicos (archivos municipales o parroquianos) coinciden con los datos geomorfológicos (forma de los cauces, dataciones por carbón 14 de yacimientos ocupados, sedimentación diferencial en lagunas y estudios de pólenes), y hoy los experimentos numerosos en estas zonas bien conocidas y estudiadas. Es evidente también que la proporción de agua « perdida » en la parte superficial del ciclo del agua es menor en caso de desmonte: menor infiltración y menor evapotranspiración. Los colonos de origen europeo en Argelia fueron a desmontar a propósito las cuencas de los ríos en los cuales construían presas para asegurar una mayor aportación de agua de la cuenca (Benchetrit, 1967). Pero también aumentó mucho la aportación de sedimentos, y la cuenca mediterránea cuenta centenares de presas totalmente azolvadas, tanto al Norte (España, Francia, Italia, Turquía) como al Sur (África del Norte).

A nivel anual se notó en varios casos que finalmente disminuía el volumen total escurrido después de un desmonte, a la escala de la totalidad de la cuenca. El aumento de la evapotranspiración y de la infiltración es compensado de inmediato por justamente los escurrimientos del subsuelo y subterráneos y tras pocos años por una disminución de la pluviometría en zonas desmontadas por falta de « rugosidad » para frenar y alzar las masas de aire húmedo.

**Si la importancia del impacto fuera discutido, todos los especialistas admitirían que existe.**

## METODOLOGIA

Este dispositivo incluye principalmente parcelas y cuencas. Más precisamente, se utilizaron los equipos siguientes:

1. Micro-parcelas: de 0.5 m<sup>2</sup> con tanque de 20 litros, permiten captar y almacenar el volumen total del agua escurrida con sus transportes sólidos. Se instalaron 14 micro-parcelas en la zona de sabana (pastizales) y 14 en la zona de bosque de pino; estas parcelas ligeras y fáciles de instalar se pueden multiplicar para tomar en cuenta todos los elementos espaciales que influyan sobre el escurrimiento y la erosión; en este caso se hizo variar pendiente, litología, presencia o no de árbol, presencia o no de mantillo en el suelo;

2. Parcelas de Stem flow: dispuestas al pie de un árbol miden la parte del agua de lluvia captado por el árbol que se escurre a lo largo del tronco. Se instalaron cuatro en la zona de sabana y cuatro en la zona de bosque; se pudo así comparar el comportamiento de los pinos con el de los encinos;

3. Parcelas de 50 m<sup>2</sup>: también se supone que capta el volumen total del agua escurrido en la parcela; pero por cuestión de facilidad de manutención, se limita el volumen almacenable a 1 m<sup>3</sup> lo que tiene como consecuencia que en caso de lluvia superior a 20 mm con intensidad fuerte, pueden desbordar: en tal caso, el observador tiene que estar presente para muestrear el agua que desborde, a fin de no perder el dato; aunque este dispositivo sea más pesado se pudo instalar en 13 de estas parcelas. Tres en zona de bosque (una debajo del árbol, otra sin árbol pero cubierta de mantillo; la última sin árbol y sin mantillo); diez en zona de sabana, con dos litologías diferentes (riolita y conglomerados), dos clases de pendiente, presencia o no de un árbol, y presencia de clausura o no;

4. Micro-cuencas de 400 a 10,000 m<sup>2</sup>, con vertedor triangular en las que no se pretende retener a todo el volumen escurrido pero sí a las partículas sólidas: se pesan éstas después de cada evento; se

instalaron dos micro-cuencas de 1,000 y 10,000 m<sup>2</sup> en zona de sabana (dos litologías) y dos de 450 m<sup>2</sup> en zona de bosque; en este último caso se equiparon dos cuencas colindantes, de igual pendiente y muy comparables en todo (litología, vegetación, etc) y se desmontó una de las dos al centro de la primera temporada de mediciones; luego se comparó la evolución de ambas;

5. Cuencas instrumentadas con limnigrafos en secciones fijas; en éstas se mide el volumen escurrido de manera clásica (transformación de nivel de agua en gasto por una curva de calibración), y se sacan muestras de agua durante las avenidas para conocer su carga sólida; se instrumentaron cinco cuencas:

- La Posta, 8.62 km<sup>2</sup>, en riolita, sobrepastoreada;
- La Manga, 3.1 km<sup>2</sup>, en conglomerados, cubierta de sabana de encinos;
- Pilitas, 52.3 km<sup>2</sup>, en riolitas y conglomerados con bosques y sabanas;
- El Cura, 21.8 km<sup>2</sup>, en riolita, con bosques;
- Esmeralda, 1.5 km<sup>2</sup>, en riolita, con bosque de encino;

Se completó este equipo con:

- Dos baterías de botellas-sifón, en las cuencas Esmeralda y La Manga para sacar muestras de agua al momento de las avenidas sin presencia del observador (inconveniente: sólo sacan muestras a la subida del agua);

- Un intento de medir la erosión eólica en dos sitios (Aguaje y La Posta), con la «regla topográfica» que permite medir la evolución del suelo y la excavación de eventuales cárcavas evento por evento;

También se puede, a menor escala, disponer de los datos de dos batigrafías realizadas desde su creación en 1946, en la presa de El Palmito (cuenca de 18,000 km<sup>2</sup>) para medir su azolve.

A nivel climático se pudo disponer de los datos de CONAGUA (estaciones de Santa María del Oro, San Bernardo, Guanaceví, El Zape, Ciénega de Escobar y Tepehuanes), pero también de nueve pluviógrafos (seis mecánicos y tres electrónicos), cuatro pluviómetros, 53 totalizadores pluviométricos y tres tanques evaporímetros. La red pluviométrica es bastante fina par poder sacar un mapa de isoyetas a nivel diario y a veces a nivel evento (paquete Surfer).

Las muestras de agua y de sedimentos fueron procesadas en el laboratorio del CENID-RASPA. En tres años de medición, se pudieron aprovechar los datos de 3,000 muestras a pesar de que los años 1994 y 1995 fueron muy secos (después de un 1992 muy seco también, y de un 1993 deficitario en un 20 por ciento, a lo del resto de las muestras de la Sierra que fue superior en lluvias en relación con los promedios). El año 1996 fue ligeramente excedentario en volumen de lluvias (5 a 10 por ciento), pero más en escurrimientos, debido a la repartición de las lluvias: más de la mitad de éstas cayó entre el 22 de agosto y el 15 de septiembre, y la saturación del suelo provocó altas tasas de escurrimiento.

Durante cada evento lluvioso se midió en cada parcela, microparcela, cuenca y microcuenca el escurrimiento de agua y la erosión en cada equipo de 1994 a 1996, y se empezó a medir lo de la temporada de 97. Mediante procesamientos estadísticos e informáticos se pudieron determinar los volúmenes escurridos y erosionados evento por evento, y analizar las variables temporales y espaciales que explican ambos fenómenos.

Para estudiar los factores de la erosión y del escurrimiento se hizo un estudio estadístico de los datos de campo recogidos en tres años de mediciones. Se comparó la erosión (en  $\text{g/m}^2$  o en  $\text{ton/ha}$ ) y el escurrimiento (en lámina en mm o en por ciento) con los datos siguientes, evento por evento:

- Las lluvias útiles: es la cantidad de lluvia (en mm, como la precipitación total) caída con una intensidad superior a cierto rango. Llamaremos PU2, por ejemplo, la lluvia útil en 2 mm/h, es decir, la parte de la precipitación que cayó con una intensidad superior a 2 mm/h. Aquí se usaron las lluvias útiles con rangos de : 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 mm/h. Esta información se consigue a partir de pluviogramas de aparatos pluviográficos electrónicos (marca Elsyde, tipo Oedipe) o mecánicos (marca Rossbach, tipo R IV). Estos pluviogramas se digitalizan (o se procesan directamente, si se trata de un aparato electrónico) y se procesan con los paquetes ARES, PLUVIOM, PLUGRAPH y PCE para extraer una información precisa a nivel de evento;

- Las intensidades máximas para ciertos rangos de tiempo. Datos que se consiguen con el paquete PLUGRAPH. Se utilizaron aquí las intensidades máximas en 0 (instantánea), 1, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 y 240 minutos.

- la energía cinética, medida con la fórmula de Wischmeier:

$$Ec = 11.9 + 8.72 \cdot \log(I)$$

con :  $Ec = \text{Energía cinética en Joules/m}^2$

$I = \text{Intensidad de la lluvia en mm/h}$ : se utilizó aquí, para cada clase, el valor del centro de la clase. Ejemplo, para el rango de 5 a 10 mm/h se usa la fórmula con  $\log(7.5)$  y se multiplica el resultado por el número de milímetros caídos con este rango de intensidad.

- El índice de Kolher (IK), también llamado IPA (Índice de Precipitaciones Anteriores) que es una indicación teórica de la humedad del suelo al principio de una precipitación, basada en el tiempo transcurrido desde la última precipitación y la cantidad de ésta. Se formula así :

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha t}$$

con :

- $Ik_n = \text{Índice de Kolher de la lluvia } n$
- $IK_{n-1} = \text{Índice de Kolher de la lluvia } n-1$
- $P_{n-1} = \text{Precipitación de la lluvia } n-1$
- $\alpha = \text{coeficiente de calibración, que se utilizó aquí de } 0.1 \text{ hasta } 0.9. \text{ Ejemplo : } IK1 = IK \text{ con } \alpha = 0.1, \text{ etc..}$
- $t = \text{tiempo en minutos transcurridos entre el final de la lluvia de rango } n-1 \text{ y el principio de la lluvia } n.$

## RESULTADOS

### En zona de bosque:

Los resultados medidos en parcelas de medio metro cuadrado son los que aparecen en los Cuadros 1, 2 y 3; la pluviometría fue de 320 mm en 1995 y de 590 mm en 1996;

CUADRO 1. EROSION EN MICRO-PARCELAS (ton/ha).

Parcela	Pinos	Encinos	P.débil	P.mediana	P.fuerte	Con árbol	Sin árbol
N <sup>o</sup> de parcela	7 parcelas	7 parcelas	6 parcelas	4 parcelas	4 parcelas	6 parcelas	6 parcelas
1995	780	420	230	1200	590	180	1080
1996	700	470	380	1000	480	130	1020

CUADRO 2. ESCURRIMIENTO EN MICRO-PARCELAS (mm).

Parcela	Pinos	Encinos	P.débil	P.mediana	P.fuerte	Con árbol	Sin árbol
1995	23	6	12	24	8	4	23
1996	67	33	48	63	39	42	72

CUADRO 3. PORCENTAJE DE ESCURRIMIENTO EN MICRO-PARCELAS.

Parcela	Pinos	Encinos	P.débil	P.mediana	P.fuerte	Con árbol	Sin árbol
1995	7	1.9	3.75	7.5	2.5	1.25	7.2
1996	11.4	5.6	8.1	10.7	6.6	7.12	12.2

La erosión es ocho veces superior en un lugar no protegido por la copa de un árbol que debajo de éste. El escurrimiento también es menor debajo de un árbol. Se nota que erosión y escurrimiento son más importantes en un bosque de pinos que en un bosque de encinos. En cambio, la pendiente no parece tener un papel preciso.

En las parcelas de 40 m<sup>2</sup> del mismo sitio de la Rosilla, los resultados medidos fueron los que aparecen en los Cuadros 4, 5 y 6:

CUADRO 4. EROSION EN PARCELAS DE 40 m<sup>2</sup>.

Parcela	sin árbol ni mantillo	sin árbol pero con mantillo	con árbol
Erosión en ton/ha			
1995	1173	164	11.7
1996	1492	448	10.5

CUADRO 5. ESCURRIMIENTO EN PARCELAS DE 40 m<sup>2</sup> EN mm.

Parcela	Sin árbol ni mantillo	Sin árbol pero con mantillo	Con árbol
1995	34.2	11.6	6.8
1996	206.2	78.9	21.0

CUADRO 6. PORCENTAJE DE ESCURRIMIENTO EN PARCELAS DE 40 m<sup>2</sup> EN mm.

Parcela	Sin árbol ni mantillo	Sin árbol pero con mantillo	Con árbol
Escurrencimiento en mm			
1995	10.7	3.63	2.13
1996	35	13.4	3.6

En estas parcelas, la erosión parece 100 veces más importante fuera de la copa de un árbol que debajo de éste. El escurrimiento es de cinco a diez veces menor debajo del árbol. También se nota que si el escurrimiento aumentó mucho entre un año seco (1995) y un año normal, la erosión, en cambio, casi no cambió de un año al otro. La parcela intermedia tenía unos árboles que se cortaron en julio de 1995. Su comportamiento evolucionó mucho de un año al otro porque el mantillo se fue descomponiendo poco a poco y con él su efecto protector.

### VARIABLES EXPLICATIVAS DE LA EROSION Y EL ESCURRIMIENTO EN ZONA DE BOSQUE

#### VARIABLES TEMPORALES.

Al nivel del evento lluvioso, los parámetros que mejor explican el escurrimiento son la lluvia útil en dos minutos (variable 1) y la intensidad máxima de la precipitación en una hora multiplicada por un índice de Kolher ( variable 2) en el cual  $\alpha = 0.1$  (Cuadro 7).

CUADRO 7. LAS VARIABLES QUE EXPLICAN EL ESCURRIMIENTO.

Parcela	Variable 1	Variable 2	Constante	R <sup>2</sup>
Esc <sup>0.5</sup>	PU2	IN60*IK1		
PINO	0.0154	0.0022	+ 0.37	0.86
ENCINO	0.0064	0.0031	+ 0.087	0.86
P. DEBIL	0.0082	0.0021	+ 0.126	0.86
P. MED.	0.0108	0.0018	+ 0.284	0.87
P. FUERTE	0.0077	0.0018	+ 0.152	0.88
C/ÁRBOL	0.0087	0.0016	+ 0.052	0.81
S/ÁRBOL	0.0127	0.0028	+ 0.336	0.88

Los que más explican la erosión son (Cuadro 8) la intensidad máxima en cinco minutos (variable 1) y en 60 minutos (variable 2), ambas elevadas al cuadrado:

CUADRO 8. LAS VARIABLES QUE EXPLICAN LA EROSION.

Parcela	Variable 1	Variable 2	Constante	R <sup>2</sup>
Erosión	(15) <sup>2</sup>	(160) <sup>2</sup>		
PINO	0.0055	0.084	1.167	0.87
ENCINO	0.0021	0.138	-1.755	0.67
P. DEBIL	0.003	0.036	-1.6	0.76
P. MED	0.0031	0.061	2.89	0.73
P. FUERTE	0	0.107	-1.08	0.77
C/ARBOL	0.001	0.015	0.166	0.86
S/ARBOL	0.0039	0.181	0.698	0.83

#### VARIABLES ESPACIALES.

Se analizó aquí el papel de los elementos fijos, que no cambian de un evento al otro sino de un lugar a otro; es decir, los parámetros físicos y edáficos.

Se puede observar en el Cuadro 9 que las principales características que provocan el escurrimiento y la erosión son la pedregosidad y la impermeabilidad del suelo. Es ambiguo el papel de la pedregosidad, pues de costumbre se considera que la pedregosidad crea una rugosidad que frena el escurrimiento y la erosión. Pero en este caso, la pedregosidad es debida a la presencia de gravas (de diámetro inferior a 2 cm) que son elementos incluidos en el suelo que fueron liberados por la erosión, y se nota que la pedregosidad está correlacionada con la impermeabilidad, lo que confirma que estas gravas son testigo de la presencia de una costra de erosión muy impermeable, y que no juegan el mismo papel que las piedras (en general de diámetro superior a 5 cm, que sí protegen eficazmente el suelo contra el escurrimiento y la erosión).

La tasa de cobertura de mantillo y el porcentaje de materia orgánica son las variables secundarias explicativas de la erosión y el escurrimiento, claro con un coeficiente negativo, pues disminuyen estas variables dependientes cuando crecen la protección del mantillo y de la materia orgánica.

Al contrario, se puede notar que no juegan ningún papel en la erosión y el escurrimiento, la pendiente y el espesor del mantillo (basta con su presencia para amortiguar la energía cinética de las gotas). Los componentes del suelo (a parte de la materia orgánica) no tienen un papel definido.



**CUADRO 9. MATRIZ DE CORRELACION DE LA EROSION Y DEL ESCURRIMIENTO CON LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL SUELO EN ZONADE BOSQUE.**

VAR	ESC	ERO	PEN	CVG	PED	IMP	ESM	TCM	ARE	ARC	MOR	DEN
ESC	1											
ERO	0.85	1										
PEN	-0.13	0.08	1									
CVG	-0.35	-0.47	-0.61	1								
PED	0.87	0.97	-0.01	-0.45	1							
IMP	0.85	0.80	-0.22	-0.22	0.78	1						
ESM	-0.25	-0.26	0.63	-0.18	-0.29	-0.33	1					
TCM	-0.60	-0.63	0.19	0.09	-0.64	-0.54	0.54	1				
ARE	0.10	0.35	0.05	-0.01	0.37	0.24	-0.08	-0.12	1			
ARC	0.23	-0.08	-0.29	0.01	-0.03	-0.06	-0.21	-0.34	-0.76	1		
MOR	-0.55	-0.48	0.24	0.1	-0.54	-0.41	0.37	0.79	0.02	-0.41	1	
DEN	0.15	0.15	-0.53	0.59	0.17	0.17	-0.34	-0.16	0.15	0.08	-0.19	1

**En zona de sabana.**

La erosión y el escurrimiento tales como fueron medidos se presentan en los Cuadros 10 y 11.

**CUADRO 10. ESCURRIMIENTOS Y EROSION MEDIDOS EN ZONA DE SABANA.**

Sitio	Manga (conglomerados)	Aguaje Palomas (riolita)
Esgurrimiento (% , prom. 5 parcelas)	24.3	25.3
Erosion (ton/ha, prom. 5 parcelas)	25.2	37

**CUADRO 11. ESCURRIMIENTO Y EROSION, SEGUN CATEGORIAS DE MEDIOS.**

1996	Riolita	Conglo	P con árbol	P sin árbol	P clausurada	P. débil	P. fuerte
Coficiente K (%)	25.28	24.35	19	34	19	31	21
Erosión en T/ha	37	25	26	45	12	42	29

De estos cuadros se puede concluir:

- Que los coeficientes de escurrimiento son a final de cuentas bastante elevados, con promedios, a la escala de una parcela de 50 m<sup>2</sup>, de 25%;
- Que no es muy diferente con substrato riolítico que con conglomerados;
- Que sí importa mucho el tipo de cobertura vegetal: se incrementan de 80 por ciento erosión y escurrimiento cuando el suelo de la sabana no está protegido por los encinos; una parcela sin árbol

pero protegida del pastoreo por una clausura está aún mejor protegida de la erosión que la que está pastoreada pero ubicada bajo un árbol; y al nivel escurrimiento se comporta como las zonas con árboles;

- Que la erosión es también muy elevada con promedios de 25 a 37 toneladas por hectárea;

- Que la pendiente no juega un papel claro, puesto que aquí disminuyen erosión y escurrimiento con el incremento de la pendiente. Esto ya se explicó como pudiendo ser una consecuencia de la disminución de la energía cinética con la pendiente y de la ley de la « inmunidad de las pendientes fuertes ».

## VARIABLES EXPLICATIVAS DE LA EROSION Y EL ESCURRIMIENTO EN ZONA DE SABANA

### VARIABLES TEMPORALES.

En el sitio de La Manga, constituido por conglomerados, las variables temporales explicativas del escurrimiento fueron la PU18 (lluvia útil caída con intensidad superior a 18 mm/h) y la I5 (Intensidad máxima en 5 minutos).

En el sitio de El Aguaje de las Palomas (en riolita), las variables que mejor explicaron la varianza del escurrimiento fueron la precipitación multiplicada por un índice de Kolher, y la precipitación total.

En cuanto a la erosión:

En el sitio de La Manga se pudo correlacionar para cada parcela la erosión con la intensidad máxima en cinco minutos, elevada al cubo ( $I5^3$ ).

Y en el sitio del Aguaje de las Palomas también se pudo explicar la erosión con una sola variable, aquí la lluvia útil con intensidad arriba de 14 mm/h, elevada al cuadrado:

### VARIABLES ESPACIALES.

Las características del suelo también aquí influyen mucho el escurrimiento y la erosión.

En el caso de las micro-parcelas se pudo averiguar el papel de cada elemento. En el Cuadro 12, donde se exponen los datos de erosión y escurrimiento en estos dispositivos.

CUADRO 12. EROSION Y ESCURRIMIENTO EN LAS MICROPARCELAS.

Parcelas	Riolita	Conglo	P. débil	P. med	P. fuerte	Veg> 17%	Veg< 17%	PV	No PV	Pis	No Pis
Erosión kg/ha	434.2	256.4	464.3	89.4	422.9	54.85	490.3	667.6	74.9	897.8	71.93
Escurrem K %	16.7	20.78	17.83	8.4	31	8.67	25.2	34.86	6.67	42.6	8.27

(Según Poulenard, 1995)

El Cuadro 12 muestra de manera obvia:

- Que la litología influye de manera ambigua en erosión y escurrimiento: la erosión es más importante en zonas de riolita, al contrario del escurrimiento, que es más importante en zonas de conglomerado;

- Que la pendiente, como se vio también en la zona de bosques, no tiene un papel bien claro: son más importantes la erosión y el escurrimiento en pendientes débiles (de 0 a 11°) que en pendientes medianas (de 12 a 19°), y al contrario crece mucho al pasar de pendientes medianas a fuertes (de 20 a 40°). Como en las pendientes medianas eran en zona de bosques las que producían mayor erosión y escurrimiento, se puede concluir que la pendiente no juega ningún papel determinante en la formación de ambos.

- Que la cobertura vegetal sí es un factor determinante : su presencia (densidad superior a 17 por ciento) disminuye muy sensiblemente la erosión (dividiéndola por nueve y el escurrimiento dividido por tres);

- La presencia de porosidad vesicular aumenta considerablemente erosión (multiplicada por ocho) y escurrimiento (multiplicado por cinco por su presencia). Según Casenave y Valentin (1989), la porosidad de un suelo se debe dividir en porosidad funcional y porosidad no funcional: la primera corresponde a porosidades que se comunican entre sí y permiten incrementar la infiltración. Las porosidades no funcionales son pequeñas cavidades más o menos esféricas que resultan de burbujas de aire encarceladas en los micro-horizontes. Estos autores llaman a este segundo tipo de cavidades porosidad vesicular, y demostraron que su existencia podía tener una influencia considerable en la infiltración: « Estas porosidades no funcionales constituyen uno de los elementos primordiales de las descripciones de los estados de superficie (se refieren a los suelos del Sahel). Forman un índice muy bueno de las condiciones desfavorables a la infiltración ». Este elemento fue tomado en cuenta por Poulenard (1995) y se pudo comprobar que aquí también tenía esta porosidad una importancia muy grande al correlacionarse con el escurrimiento la erosión y la presencia de pisoteo de ganado.

- En fin, también se puede notar en el Cuadro 12 que la presencia de pisoteo de ganado hace incrementar de un factor doce a la erosión y de un factor cuatro al escurrimiento. Definitivamente, el sobrepastoreo sí daña considerablemente los pastizales de la Sierra Madre y tiene un impacto fuerte sobre el balance hídrico.

Aquí se tomaron en cuenta para explicar escurrimiento (ESC) y erosión (ERO), los elementos siguientes: la pendiente (PEN), la cobertura vegetal (CVG), la porosidad vesicular del suelo (POR), la presencia de pisoteo (PIS), la pedregosidad (partículas superiores a 5 cm de diámetro) (PEG), la proporción de arcilla (ARC), de materia orgánica (MOR), el elemento estado de superficie expresado por  $K_i$  (coeficiente de infiltración determinado por Casenave y Valentin, 1989) (COR), la razón  $MOR \cdot 100 / ARC$  (MOA) y el coeficiente de escurrimiento (COE).

CUADRO 13. MATRIZ DE CORRELACION DE LA EROSION Y DEL ESCURRIMIENTO CON LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL SUELO EN ZONA DE SABANA.

VAR	ESC	ERO	PEN	CVG	POR	PIS	PEG	ARC	MOR	CRO	MOA	COE
ESC	1											
ERO	0.84	1										
PEN	0.45	0.07	1									
CVG	-0.75	-0.7	-0.41	1								
POR	0.77	0.66	0.09	-0.56	1							
PIS	0.97	0.86	0.43	-0.74	0.76	1						
PEG	0.17	0.02	0.68	-0.36	-0.16	0.18	1					
ARC	-0.03	-0.12	0.13	-0.12	-0.05	-0.16	0.23	1				
MOR	-0.02	-0.24	0.51	-0.17	-0.08	0.02	0.6	0.44	1			
CRO	-0.02	-0.1	-0.38	-0.06	0.49	-0.02	-0.32	0.16	-0.09	1		
MOA	0.31	0.6	0.09	-0.36	0.15	0.35	0.34	-0.03	0.06	-0.44	1	
COE	0.94	0.72	0.46	-0.61	0.78	0.89	0.04	0.04	0	0.04	0.1	1

En el Cuadro 14 aparecen los coeficientes de escurrimiento para cuatro de las cinco cuencas experimentales; se notan diferencias sensibles entre ambas, pero sobre todo entre el año 1995 que fue muy seco, y 1996, cuya pluviometría fue un poco superior a la normal.

Al nivel de las cuencas hidrográficas de gran superficie, la erosión se puede estimar con el azolve de la presa El Palmito: se midió por batimetría la sedimentación al fondo de esta presa: el promedio de erosión fue de 5.42 ton/ha de 1946 a 1971 y de 5.01 de 1971 a 1991. Estos valores se aproximan a los que se observan en los Alpes, en zonas mucho más boscosas pero mucho más erosionadas, y con pendientes mucho más fuertes (ejemplo 8.5 ton/ha para la cuenca del Río Durance en Serre Ponçon, cuenca de 5,000 km<sup>2</sup>, Descroix, 1994. El coeficiente de escurrimiento medio en 50 años en la cuenca de Palmito fue de 13 por ciento.

CUADRO 14. ESCURRIMIENTOS MEDIDOS EN LAS CUENCAS EXPERIMENTALES.

Cuenca	El Cura	La Manga	Esmeralda	Pilitas
Superficie en km <sup>2</sup>	21.84	3.1	1.5	52.1
Litología	riolita	conglomerados	riolita	conglo + riolita
Precipitación 1995	280	201	248	324
Precipitación 1996	644	490	652	536
Lámina escurrida 1995	7.36	0.5	1.8	1.84
Lámina escurrida 1996	133.3	64.2	174.2	97.5
Coefficiente K 1995	2.63	0.25	0.72	0.57
Coefficiente K 1996	20.7	13.1	26.7	18.2

### CONCLUSIONES

Este estudio sobre parcelas, microparcels y cuencas demuestra el papel del sobrepastoreo y del desmonte. Cada vez, escurrimiento y erosión son sensiblemente más elevados en las zonas desmontadas o sin árbol, y en las zonas sobrepastoreadas o pisoteadas por el ganado.

Conociendo la gran extensión de las zonas sobrepastoreadas en las áreas de sabana (hasta 2,400 metros de altitud) y el rápido desmonte de las zonas de bosque (altitud superior a 2,400 metros), se plantea a corto plazo el riesgo de que esta sobreexplotación del medio ambiente provoque modificaciones en el balance de agua de la Sierra Madre Occidental, particularmente en la cuenca alta del Nazas.

Esta evolución es preocupante, debido a que esta cuenca provee de agua un importante perímetro de riego, el de la Laguna, y que es ésta su mayor fuente de aguas renovables y de buena calidad.

De hecho, parece urgente modificar el manejo del espacio en esta área para asegurar el futuro de esta región. Esto es aún más importante porque las cuencas vecinas y una mayor parte del Norte de México conocen el mismo problema de degradación del medio debido a sobreexplotación.

### BIBLIOGRAFIA

- Barral, H. y E. Anaya. 1995. Evolución de los pastizales, Proyecto Inifap-Orstom, Gomez Palacio, 60p.
- Benchetrit, M. 1967. L'érosion des sols en Algérie du Nord. Prenez de l'Université de Poitiers; 210 p.
- Casenave, A., C. Valentin. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration. ORSTOM, coll. Didactiques, 1989, Paris, 229p.
- Descroix, L., 1994. L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud. Tesis de doctorado de geografía, Université Lumière-Lyon II, Lyon.
- \_\_\_\_\_. 1996. Méthodes de mesure de l'érosion actuelle: applications dans les Préalpes du Sud (Alpes, France) et dans la Sierra Madre Occidentale (Mexique) Journées Erosion 1996, Le Pradet-Grenoble-Montpellier, 10p.
- Descroix, L.; J. Poulénard. 1995 I. Les formes d'érosion dans la Sierra Madre Occidentale (Nord Ouest du Mexique): vers une cartographie de l'érosion, Bull. Labo. Rhô. Géom., N° .33-34, Lyon, Francia

- Descroix, L.; S. Moriaud. 1995 II. Evolución de la cobertura vegetal en la Sierra Madre Occidental (Norte de Durango) de 1972 a 1992, VII simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Puerto Vallarta, Nov. 1995, pp.17-24
- Gómez V., A. 1997. Evaluación del escurrimiento y la erosión hídrica en la subcuenca Sardinias de la Región Hidrológica 36. Tesis de ingeniería, UAAAN, Unidad Laguna, Torreon, 53p.
- Guedez, P.Y. 1996. Déforestation et érosion dans la Sierra Madre Occidentale. Reporte de trabajo de campo, Istom, Paris, 95p.
- Henry, O., 1997. Les facteurs de l'érosion et du ruissellement en milieu forestier dans la Sierra Madre Occidentale. Reporte de trabajo de campo, Istom, Paris, 86p.
- Poulenard, J. 1995. Surpâturage et érosion dans la Sierra Madre Occidentale. Reporte de trabajo de campo, Istom, Paris, 82p.
- Poulenard, J., L. Descroix, J.L. Janeau. 1996. Surpâturage et formation de terrassettes sur les versants de la Sierra Madre Occidentale (Nord-Ouest du Mexique). Revue de Géographie Alpine, t.84, N° 2, pp 77-86, Grenoble, Francia
- Rodriguez C., M.G.1997. Determinación de la vegetación en la Sierra Madre Occidental para la calibración de imagenes de satélite » tesis de licenciatura, Escuela de Ciencias Forestales, UJED, Durango, 60p.
- Viramontes P., D. 1995. Caracterización de los suelos y la vegetación en la parte alta de la cuenca del Nazas. INIFAP-ORSTOM, 42p., Gómez Palacio, Dgo.

1  
9  
7  
2

1  
9  
9  
7

# 25 Aniversario del CENID-RASPA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DISCIPLINARIA  
EN RELACION AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

**inifap**  
PRODUCE 

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES  
FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS