

MANEJO SILVÍCOLA, CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN, ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y EROSIÓN

Silvicultural Treatments, Infiltration Capacity, Runoff, and Soil Erosion

José Dueñez-Alanis^{1†}, Julián Gutiérrez[‡], Luis Pérez² y José Nívar¹

RESUMEN

La Sierra Madre Occidental del estado de Durango, México es una zona forestal comercialmente importante que sirve de recarga de agua para las cuencas del Océano Pacífico y del interior del centro norte del país. En esta investigación, se estudió el efecto de cuatro tratamientos silvícolas en la infiltración, escorrentía y erosión en un suelo forestal en Santa Bárbara, Durango, México. Estos procesos hidrológicos se evaluaron en 1998 y 1999 con el uso de un simulador de lluvia portátil, aplicando 10.47 cm h⁻¹ de agua durante 30 min. En el primer año, se encontró mayor infiltración, menor flujo superficial de agua y mayor concentración de sedimentos en el segundo aclareo en contraste con el tercer aclareo y corta de regeneración ($P = 0.0001$). El apacentamiento mostró los mayores efectos en los procesos hidrológicos en contraste con los tratamientos silvícolas ($P = 0.0001$). Para el segundo año no existieron diferencias significativas entre los tratamientos silvícolas pero sí entre el apacentamiento y los tratamientos silvícolas, indicando que la extracción de la trocería sobre la hidrología superficial es considerado un efecto temporal y espacialmente delimitado a las áreas donde se concentra el aprovechamiento forestal. A partir de estos resultados, se observa que el apacentamiento tiene efectos a largo plazo sobre los procesos hidrológicos. Es pertinente recomendar (i) normar los cambios del uso del suelo y la capacidad de carga en los bosques, (ii) reducir los impactos ambientales provocados por la extracción de trocería y (iii) realizar prácticas de conservación de suelo y agua después de aplicar las actividades silvícolas para mantener el ciclo natural del agua en la Sierra Madre Occidental de Durango, México.

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

[†] Autor responsable (jduenezalanis@prodigy.net.com)

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. 67700 Linares, Nuevo León, México.

Recibido: marzo de 2004. Aceptado: noviembre de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 233-240.

Palabras clave: silvicultura, bosques templados, zonas de recarga hidrológica, silvopastoril.

SUMMARY

The Sierra Madre Occidental Mountain range of Durango, Mexico, a forested zone commercially important, is a source of groundwater recharge for the Provinces of the Pacific Ocean lowlands and the interior plains of the Chihuahuan Desert. Forests have been traditionally used for timber harvesting and extensive livestock grazing. In this research we measured the effect of four silvicultural treatments on the soil infiltration, surface runoff and soil erosion in Santa Barbara, Durango, México. These hydrological processes were evaluated in 1998 and 1999 by using a portable rainfall simulator, applying 10.47 cm h⁻¹ of intensity during 30 min. During the first year, the largest infiltration and sediment rates and smaller runoff rates were observed in the second thinning treatments in contrast to the other silvicultural treatments ($P = 0.0001$). Grazing practices in contrast to the silvicultural treatments had the most significant effects on hydrology and soil sedimentation ($P = 0.0001$). For the second year, none of the silvicultural treatments showed significant differences indicating the short temporal and spatial effect of harvesting on soil and hydrological parameters. However, grazing sites continued to have higher runoff and sedimentation rates. The recommendations emerging from these results are i) to control land use changes from forests to grasslands and the carrying capacity on forests, ii) to minimize environmental soil impacts by harvesting operations, and iii) to realize soil and water conservation practices on grasslands and on forest soils immediately after harvesting operations to maintain functioning the water cycle in the western Sierra Madre mountain range of Durango, Mexico.

Index words: silviculture, temperate forest, zone of ground water recharge.

INTRODUCCIÓN

En México, existe poca información y controversia sobre el uso y manejo de los ecosistemas forestales para satisfacer necesidades de la sociedad. Las actividades convencionales de extracción de trocería y apacentamiento conjuntamente con la producción de agua parecen estar contrapuestas. El manejo sustentable de los bosques debe contemplar la satisfacción de las necesidades de desarrollo económico, estabilidad social y conservación de los componentes y funciones de los ecosistemas forestales. Por esta razón, es esencial que el impacto potencial al suelo y al agua por el manejo de un sitio no persista más allá de los periodos de regeneración y recuperación del arbolado y del bosque, ambos para mantener la productividad del sitio y la producción de agua en cantidad y calidad promedio de la cuenca (Croke *et al.*, 2001). Huang (1998) enfatizó que la compatibilidad de uso forestal y pecuario en sistemas silvícolas está en la asignación de áreas y tiempos de interacción de uso para cada actividad. Consideró que los beneficios van más allá desde el punto de vista económico, uso de recursos y reducción de riesgos de plagas e incendios en el bosque. Luo *et al.* (1999) mencionaron que los sistemas silvopastoriles son una actividad tradicional, por ello, es necesario considerar esta relación con una visión integrada a los aspectos social, económico y cultural más que en términos exclusivos de silvicultura o ciencia animal, al ser poco probable aislar estas actividades.

Desde el punto de vista de la conservación del suelo y del agua, el manejo y las actividades de extracción de trozas son cuestionados cuando, por la alta intensidad de su aprovechamiento del arbolado y las operaciones de abastecimiento en el bosque, actividades que reducen la vegetación forestal, perturban y exponen el suelo superficial a los efectos de las lluvias, alteran y modifican las propiedades del suelo, reducen la capacidad de infiltración, incrementan la pérdida de suelo por erosión hídrica. Otras actividades forestales, como el tráfico de vehículos, el arrastre de la trocería, las maniobras de carga y transporte, la construcción de caminos de extracción y la remoción y disturbio vegetal de la superficie del suelo, son efectos negativos que reducen la infiltración e incrementan los escurrimientos superficiales y la erosión de suelo (Baharuddin *et al.*, 1996; Croke *et al.*, 2001).

Abeli y Sawe (1999) encontraron que la infiltración se redujo entre 36 y 96% en bosques de Tanzania

perturbados durante las actividades de manejo de las trozas y su extracción. Zang y Zhang (1999) mencionaron que la composición de la hojarasca de diferentes especies de coníferas y hojosas mejora las condiciones del suelo para la infiltración, reduce el escurrimiento y la erodabilidad al absorber, interceptar la lluvia y funcionar como barrera y detención propiciando mayor tiempo al agua para penetrar la superficie del suelo. Arifeen y Chaudhry (1998) señalaron que existe menor escurrimiento y menor erosión en cuencas de uso forestal (16% y 158 kg ha⁻¹ año⁻¹), en contraste con cuencas de uso agrícola-forestal (18% y 332 kg ha⁻¹ año⁻¹), de uso pecuario (21% y 340 kg ha⁻¹ año⁻¹) y de uso agrícola (26% y 332 kg ha⁻¹ año⁻¹). Belsky y Blumenthal (1997) mencionaron, para los bosques y los suelos del oeste de Estados Unidos, cambios estructurales y en composición debido a la supresión al fuego, la corta selectiva y la ganadería, factores que contribuyen a la alteración de la dinámica de la biomasa, la densidad de la vegetación herbácea y la cantidad de combustibles finos. Yates *et al.* (2000) estudiaron los efectos del apacentamiento histórico en terrenos maderables fragmentados de *Eucalyptus salmonophloia*, y encontraron una relación negativa con la declinación de las especies nativas perennes, el incremento de cobertura de exóticas anuales, reducción del mantillo y criptógamas, pérdida de la microtopografía, incremento de la erosión, cambios en la concentración de nutrimentos, degradación de la estructura del suelo, disminución de la infiltración y cambios en el microclima cercano al suelo.

Ge *et al.* (2001) reportaron que las variables hidrológicas en los suelos húmedos con manejo forestal son variables, pero se minimizan cuando prácticas de manejo son adoptadas durante el corte del arbolado, la preparación del sitio y el control del drenaje. Spaeth *et al.* (1996) mencionaron que los efectos del pastoreo de la ganadería en las propiedades hidrológicas de las cuencas por remoción de la cubierta vegetal incrementa el impacto de las gotas de lluvia, decrece la materia orgánica y agregados del suelo, incrementa la compactación, decrece las tasas de infiltración e incrementa la erosión. Además, las interacciones de vegetación, suelo, clima, topografía y el manejo del sitio tienen un efecto sobre el balance hidrológico en la cuenca. En zonas forestales, Spurr y Barnes (1982) consideraron que la topografía, el suelo cubierto por hojarasca, la vegetación secundaria y altos contenidos de humedad son variables intrínsecas de los bosques; estas variables de suelo y vegetación no limitan tener

altas tasas de infiltración dada la alta absorción y transmisibilidad de los suelos forestales (Hewlett, 1982).

A pesar de esta riqueza en las investigaciones tendientes a determinar el efecto de los tratamientos silvícolas y pecuarios sobre variables hidrológicas y edafológicas y su posible tiempo de recuperación, en el estado de Durango, México no se han estudiado intensivamente en los bosques comerciales, a pesar de ocupar 46% de la superficie del estado y la derrama y dependencia económica que deja esta actividad en el estado y a la población de estas zonas (INEGI, 2004); además, es el principal productor de madera y, recientemente, el manejo del bosque se ha certificado como sustentable en México. Por otro lado, esta zona boscosa sirve de recarga de agua y vierte sus corrientes a las cuencas del océano Pacífico y del interior del centro norte de México, siendo utilizadas en importantes regiones agrícolas. Se supone que, en los bosques del norte de México, las actividades forestales y pecuarias no tienen efectos negativos en la hidrología y pérdida del suelo a través del tiempo. El trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del uso del suelo forestal y pecuario, y los tratamientos silvícolas en los procesos de infiltración, escurrimiento, la concentración de sedimentos y la erosión superficial en bosques comerciales tratados como sistemas silvopastoriles en Durango, México. Se planteó como hipótesis que la escorrentía superficial, la capacidad de infiltración y la erosión del suelo no se modifican por las actividades silvícolas y ganaderas de los suelos forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante 1998 y 1999 en la localidad de la Hacienda Santa Bárbara (Durango, México) a 47 km por la carretera federal No. 40, Durango-Mazatlán, en la región forestal de la sierra Madre Occidental. La posición geográfica del área de estudio es 23° 43' N y 104° 51' O. El área presenta un clima templado, con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y oscilaciones mensuales entre 7 y 18 °C. Por su régimen de lluvias, el clima se caracteriza como el más húmedo de los templados subhúmedos, con una precipitación media anual de 807 mm, con lluvias de verano y coeficiente P/T de 55.0. El tipo de vegetación dominante es un bosque de coníferas de pino (*Pinus cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. durangensis*, *P. ayacahuite* y *P. lumholtzii*) y encino (*Quercus intricata*, *Q. arizonica*, *Q. grisea*,

Q. crasifolia y *Q. rubiaceae*), con áreas de pastizal intermontano de especies nativas e inducidas (*Heteropogon contortus*, *Muhlenbergia monticola*, *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Sporobolus* sp., *Cynodon plectostachium*, *Poa* sp., *Festuca* sp., *Bromus* sp., *Setaria* sp., *Aristida* sp., *Piptochaetium* sp. y *Eragrostis* sp. De acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO, modificada por DETENAL, los tipos de suelos son Cambisol eútrico, Regosol eútrico, Feozem háplico y Litosol (CETENAL, 1976).

Desde el año de 1946, el uso del suelo ha tenido como actividad primaria la explotación ganadera con un sistema de rotación diferido, para producir becerros al destete. A partir de 1987, se realizaron aprovechamientos forestales, los cuales se habían suspendido en 1965. Esta actividad forestal se realiza de manera conjunta con la ganadería en una superficie de 3843 ha de un total de 6560 ha cubierta por bosque de coníferas. El manejo forestal se ha realizado con el Método de Desarrollo Silvícola, en una división dasocrática en rodales, subrodales y series en la aplicación de los tratamientos silvícolas.

En el área de estudio se aplicaron los tratamientos de segundo aclareo (2A), tercer aclareo (3A) y corta de regeneración (CR) en el año de 1997, con un turno de 70 años e intervención de 14 años; la extracción se realizó con malacate montado en un camión grúa, la cual extrae la trocería desde partes altas, arrastrando las trozas del arbolado causando disturbio en la superficie del suelo y la cubierta vegetal. El ganado apacenta en toda el área de manera extensiva con una carga de 16 ha UA⁻¹ (unidad animal), la densidad de carga es de 500 hembras vientre por 32 sementales suplementados para su empadre.

Los tratamientos de estudio se seleccionaron tomando en cuenta el manejo del bosque y del pastizal; el apacentamiento del ganado se realiza mayormente en los espacios abiertos de las áreas con tratamientos silvícolas, utilizando la misma carga animal (16 ha UA⁻¹). El tratamiento silvícola de segundo aclareo con uso del pastizal (2A) consistió de árboles con edades entre 35 y 48 años, eliminando árboles del estrato superior, mal conformados, plagados y enfermos o con alguna característica no deseable, con una superficie de 105.8 ha. El tratamiento de tercer aclareo con uso del pastizal (3A) consistió de árboles entre 49 y 62 años, con arbolado conformado para mejorar el crecimiento y la calidad y cantidad de madera en la siguiente intervención silvícola y con superficie de 129.2 ha.

El tratamiento de corta de regeneración con uso del pastizal (CR) consistió de árboles en una etapa madura con edades mayores que 63 años, donde se extrajo el arbolado, excepto aquellos que producirán la semilla para la regeneración del bosque, con una superficie de 65.8 ha. Debido a que el área de estudio se encuentra bajo manejo silvopastoril, fue seleccionada un área representativa con uso del pastizal y sin vegetación arbórea (PT) para realizar estudios comparativos.

El trabajo de campo se realizó en 1998 y 1999 durante julio y agosto de cada año. Se utilizó un simulador de lluvias por aspersión portátil de boquilla simple (Wilcox *et al.*, 1986), adaptado para pendientes y acceso a las áreas de estudio. Se simuló la lluvia a una altura de 152 cm durante 30 min sobre microparcels circulares de 1 m de diámetro a una intensidad de 10.47 cm h⁻¹, previa calibración y considerar los eventos máximos de precipitación registrados, asegurar el exceso de escorrentía y la curva de intensidad duración frecuencia obtenida para la estación climática "Hacienda Santa Bárbara", clave 10103. El simulador se abasteció de agua por gravedad. El escurrimiento se recolectó a intervalos de 5 min, con el fin de cuantificar los procesos hidrológicos. El diseño experimental constó de cuatro y seis repeticiones ubicadas al azar en los tratamientos durante 1998 y 1999, respectivamente. El volumen del escurrimiento (cm³) recolectado se midió y se calculó su tasa de escurrimiento (cm h⁻¹) considerando el área de la parcela (cm²). La infiltración (cm h⁻¹) se calculó por la diferencia entre la intensidad de lluvia aplicada y la tasa de escurrimiento, despreciando el agua interceptada. Del volumen de escurrimiento recolectado en cada periodo de tiempo, se extrajo una muestra de 1 L para ser filtrada en campo, secada en estufa de extracción de aire a 65 °C y pesada en una balanza analítica (precisión de 10⁻⁴ g) para determinar la concentración de sedimentos (g L⁻¹). La erosión superficial (Mg ha⁻¹) se determinó de manera proporcional por la relación del producto de la concentración de sedimentos y el volumen de escurrimiento (*I*) para cada periodo de tiempo de 5 min, y dividiéndolo entre la superficie de la parcela (ha) (Wood *et al.*, 1989).

Con la finalidad de complementar la información, se estimaron algunas características del suelo y de la vegetación con métodos convencionales. Éstas son: humedad del suelo (método gravimétrico), pendiente (clisímetro), densidad aparente (extractor de núcleos), textura (hidrómetro de Bouyoucos), materia orgánica

(titulación), cobertura vegetal (transecto de puntos), biomasa en pie (gravimetría) y variables silvícolas (medición directa).

Los datos de infiltración se ajustaron con la ecuación de Kostiakov modificada para incluir la tasa final de infiltración (Navar y Synnott, 2000):

$$y_i = \alpha x^{\beta_0} + i.c.$$

donde: y_i es el valor estimado de la infiltración, α es el valor del intercepto, β_0 es la pendiente, x es el tiempo durante la prueba de simulación de la lluvia, e *i.c.* es la tasa final de infiltración.

Para la erosión y la tasa de escorrentía superficial se ajustó una ecuación de potencia simple, como se describe a continuación:

$$y_i = \alpha x^{\beta_0}$$

donde: y_i es el valor estimado de la tasa de escorrentía, la concentración de sedimentos o la tasa de erosión.

El análisis de covarianza proporciona resultados para las pruebas de hipótesis sobre los parámetros de las ecuaciones en función de los tratamientos. El tiempo de simulación de la lluvia actúa como covariable del modelo. Los dos años de estudio se evaluaron de manera independiente para observar los cambios interanuales en los procesos mencionados.

Las variables de suelo y vegetación se relacionaron con los procesos hidrológicos a través del método de regresión múltiple stepwise.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los valores acumulados totales promedio de las pruebas de infiltración, escorrentía, concentración de sedimentos y la tasa de erosión de suelo se presentan en el Cuadro 1. En el primer año, se observó que los pastizales produjeron las mayores tasas de escorrentía y erosión, y la menor tasa de infiltración. La mayor concentración de sedimentos se observó en áreas tratadas con un segundo aclareo. Sin embargo, estas áreas no registraron las mayores tasas erosivas por sus bajos valores de volumen de escorrentía, lo cual es retenido por la cobertura vegetal asociada y que protege al suelo de la suspensión de partículas.

Para el segundo año, las tendencias fueron similares, aunque, en general, la concentración de sedimentos disminuyó entre 13 y 50%, mientras que la escorrentía

Cuadro 1. Valores acumulados totales promedio medidos después de 30 min de las pruebas de escurrimiento, infiltración, concentración de sedimentos y erosión en sitios forestales de la Sierra Madre Occidental de Durango, México.

Año	Escurrecimiento ----- cm h ⁻¹ -----	Infiltración	Sedimentos g L ⁻¹	Erosión Mg ha ⁻¹
1998				
Segundo aclareo	37.52 a	213.69 a	2.55 a	38.72 a
Tercer aclareo	106.88 bc	144.33 bc	2.16 ab	122.59 b
Corta de regeneración	92.88 ab	158.33 ab	1.60 b	134.54 bc
Pastizal	155.91 c	95.30 c	2.45 a	208.68 c
1999				
Segundo aclareo	120.84 a	255.97 a	1.19 a	27.18 a
Tercer aclareo	109.17 ab	267.64 a	1.79 ab	113.06 bc
Corta de regeneración	133.12 b	243.69 a	1.33 ab	63.20 ab
Pastizal	217.68 c	147.77 b	2.12 b	121.48 c

disminuyó y la infiltración incrementó en casi 150%, y la tasa erosiva se redujo hasta 53%. Los valores de la tasa erosiva disminuyeron en mayor grado en la corta de regeneración y en el pastizal. Lo anterior se debe a la recuperación en vegetación, tanto asociada, como la protectora, del suelo (Abeli y Sawe, 1999; Navar y Synnot, 2000; Croke *et al.*, 2001).

El análisis de covarianza mostró que, en 1998, el escurrimiento superficial fue estadísticamente mayor ($P = 0.0001$) en el pastizal que en el rodal tratado con un segundo aclareo (2A). Los rodales tratados con tercer aclareo (3A) y corta de regeneración (CR) tuvieron menores tasas de escurrimiento que el pastizal (PT), aunque no son estadísticamente significativas.

En los valores promedio de la tasa de escurrimiento en el segundo año (Figura 1), los rodales tratados con CR y PT se recuperaron en cuanto al flujo superficial y

se aproximaron más a los Tratamientos 2A y 3A, aunque el PT continuó siendo estadísticamente diferente al Tratamiento 2A ($P < 0.0001$).

En 1998, los valores promedio de la tasa de infiltración fue estadísticamente mayor ($P = 0.0001$) en el rodal 2A que el pastizal. Los sitios tratados con 3A y CR también tuvieron mayores tasas de infiltración que PT, pero sin tener diferencias estadísticas. En 1999, los rodales tratados con 3A y CR tuvieron una infiltración comparable con el año anterior (Figura 2) y similar con el Tratamiento 2A ($P = 0.21$) en comparación con el sitio PT, el cual continuó tuvo la menor infiltración ($P = 0.0001$).

En 1998, la erosión superficial fue estadísticamente mayor ($P = 0.0028$) en el pastizal que el Rodal 2A, aunque no al inicio en los primeros minutos. Los rodales tratados con 3A y CR mostraron menor pérdida de suelo que

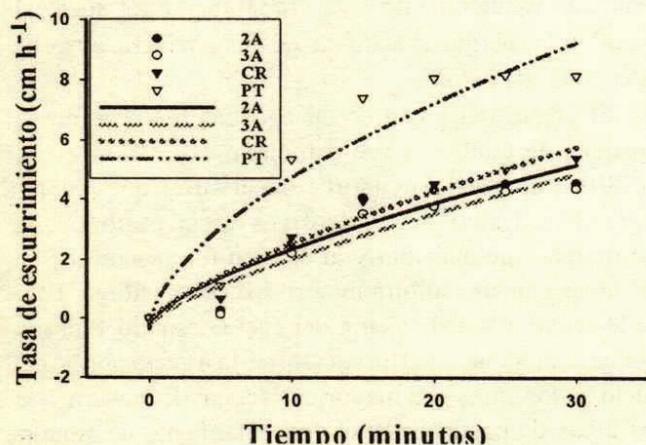


Figura 1. Tasa de escurrimiento (cm h⁻¹) en tratamientos silvícolas con uso del pastizal en 1999.

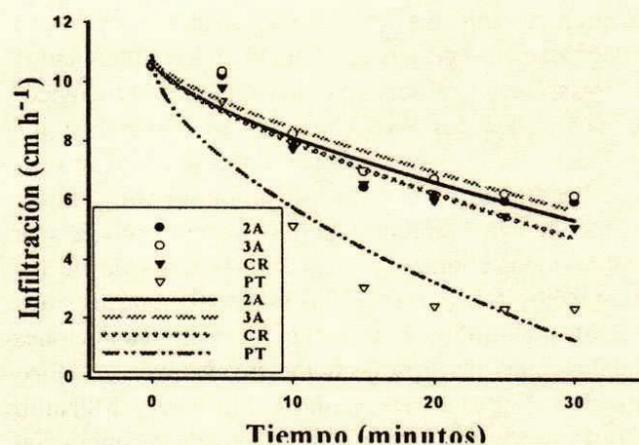


Figura 2. Infiltración (cm h⁻¹) en tratamientos silvícolas con uso del pastizal en 1999.

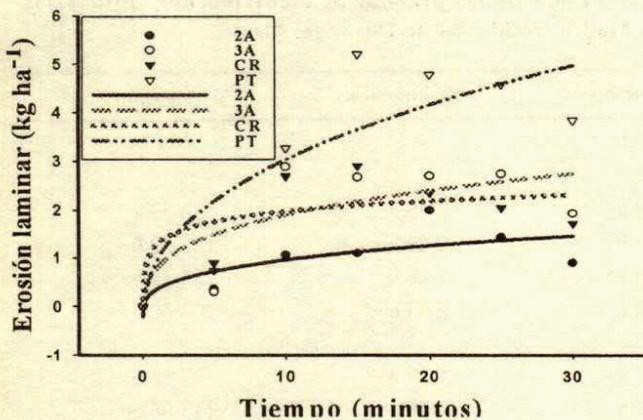


Figura 3. Erosión laminar (kg ha^{-1}) en tratamientos silvícolas con uso del pastizal en 1999.

el sitio PT, aunque no son estadísticamente diferentes. En el segundo año de evaluación, los rodales 2A y PT difirieron significativamente ($P = 0.0026$) en su relación dinámica con el tiempo (covariable) ($P = 0.0486$), pero no al inicio en los primeros minutos ($P = 0.1179$). Los sitios silvícolas 3A y CR no difirieron estadísticamente ($P = 0.4693$) y fueron semejantes al sitio de PT [$P = 0.273$ y $P = 0.174$, respectivamente (Figura 3)].

En forma generalizada, el sitio del pastizal exhibió los mayores valores, siendo más significativas sus diferencias en escurrimiento, infiltración y erosión superficial con respecto a los rodales con segundo aclareo, tercer aclareo y corta de regeneración.

En esta investigación, se observan efectos de las variaciones interanuales en los tratamientos silvícolas a los procesos hidrológicos-erosivos. La variación temporal pudo haber sido explicada por los cambios climáticos como puede ser la precipitación anual y las tormentas de alta intensidad que se presentan en estas zonas de manera recurrente, los cuales producen diferentes grados de degradación o desgaste del suelo en los tratamientos silvícolas, como se observó en los parámetros hidrológico-erosivos en los dos años consecutivos. Otros factores asociados con el tiempo pueden deberse al lavado del suelo disgregado por el disturbio durante el primer año y este fue un factor limitativo para el segundo año para su recuperación, como se observa en la mayoría de los tratamientos. Croke *et al.* (2001) señalaron que los sitios forestales australianos se recuperan a las condiciones iniciales antes del aprovechamiento después de cinco años de haber sido intervenidos. Startsev y McNabb (2000) observaron este mismo efecto de recuperación de la superficie del suelo después de tres años en bosques boreales canadienses.

Las características de suelo y vegetación de los sitios en ambos años de estudio se muestran en el Cuadro 2. Las variables relacionadas positivamente con los procesos hidrológicos fueron las referidas a la cobertura vegetal y biomasa de gramíneas, herbáceas y mantillo y, de forma inversa, al suelo desnudo. Es probable que, en los sitios con altas tasas de infiltración, bajas tasas de escurrimiento y menor erosión, los efectos negativos debido a la densidad aparente (aun cuando presenta valores altos), la textura y la materia orgánica sean minimizados con la protección del suelo por vegetación y el mantillo (Spaeth *et al.*, 1996; Zang y Zhang, 1999). Las variables silvícolas de mayor influencia fueron la densidad de arbustos y renuevos. Esto se atribuye a su presencia después del aprovechamiento forestal y el pastoreo continuo en el área. Además, es de considerar el tiempo posterior a las actividades del uso forestal-pecuario que el bosque ha recobrado sus condiciones hidrológicas.

Las áreas silvícolas y el pastizal no muestran interacción entre tratamientos, dada su diferenciación estadística desde la intercepta y las pendientes, esto es, que desde el inicio y su tendencia de los valores de los procesos a través del tiempo no muestran semejanzas estadísticas. Esta diferencia parece estar asociada con el tipo de cobertura y con el tipo de disturbio en el bosque y en el pastizal. Es decir, los efectos de perturbación del suelo son diferentes en los tipos de cobertura y los efectos del pisoteo por el ganado son, en general, amortiguados por el mantillo orgánico que se presenta en los bosques. En este sentido, Zang y Zhang (1999) mencionaron que la hojarasca de diferentes especies (coníferas y hojosas) mejora las condiciones del suelo para la infiltración y reduce el escurrimiento y la erodabilidad del suelo al absorber la energía de la lluvia, de igual manera, absorbe la energía del pisoteo.

El efecto del pastoreo en agostaderos cercanos a bosques de coníferas fue estudiado por Wood *et al.* (1989). Estos investigadores observaron que, en los tratamientos silvícolas extensivos y sin pastorear, la infiltración fue más alta y la erosión fue menor que en las áreas con silvicultura intensiva o con pastoreo. Esto se atribuyó a la exposición del suelo desnudo causado por la remoción y perturbación de la vegetación y del suelo en los sitios con mayor extracción de madera y en las áreas de pastizal por el apacentamiento de ganado bovino; a la remoción del mantillo y de la cobertura de biomasa total de la vegetación en los tratamientos

Cuadro 2. Valores promedio de las características de suelo y vegetación estimadas en los tratamientos silvícolas con uso de pastoreo durante los años 1998 y 1999 en Santa Bárbara, Durango, México.

Propiedades	1998				1999			
	2A [†]	3A	CR	PT	2A	3A	CR	PT
Humedad del suelo (%)	25.4	24	19.9	30.6	22.8	24.1	22.9	25.7
Pendiente (%)	6.4	16.3	8.5	5.1	5	7.5	7.7	5.3
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	1.3	1.39	1.43	1.42	1.34	1.27	1.39	1.41
Arcilla (%)	26.7	21.7	22.7	33.2	23.5	20.2	22.8	23.2
Limo (%)	34	28.5	27.5	31	31.5	28.3	31.7	22.7
Arena (%)	39.3	49.8	49.8	35.8	44.8	51.5	45.5	54.1
Textura	M	M	MAA	MAA	M	M	M	MAA
Materia orgánica (%)	4.65	2.65	3.6	3.29	3.82	2.9	3.3	2.09
Cobertura de gramíneas (%)	51.8	28.8	37.3	61.5	44.8	35.5	34.2	35.6
Cobertura de herbáceas (%)	12.8	15.5	44.9	20	13.6	13.8	24.7	38.6
Cobertura de arbustos	6.8	6.8	0.3	0.1	6	3.2	0.5	1.3
Cobertura de mantillo (%)	28.3	39.5	13.6	12.5	34.5	39.3	33.6	18.6
Cobertura de microflora (%)	0.1	1.9	1.4	2.3	0.4	1.8	2	2.2
Cobertura de pedregosidad (%)	0.3	5.1	0.4	1	0.3	2.5	1.4	1.5
Cobertura de rocas (%)	0	0	0	0	0	0.3	0	0
Suelo desnudo (%)	0.1	2.5	2.3	2.6	0.7	3.8	3.7	2.2
Peso seco de gramíneas (g m ⁻²)	89	29.4	46.3	43.4	74.6	27.6	23.3	40.8
Peso seco de herbáceas (g m ⁻²)	3.3	15.5	38.4	15.4	10.4	14.2	10	30.8
Peso seco de arbustos (g m ⁻²)	10.2	21.8	0.4	0	5.8	4.4	3	6.1
Peso seco de mantillo (g m ⁻²)	755.1	446.2	335.2	29.1	339.4	218.1	317.1	109.3
Peso seco biomasa total (g m ⁻²)	857.6	512.9	420.3	87.9	430.2	264.3	353.4	187
Densidad de pinos (ind ha ⁻¹)	150	88	43	2.5	173	197	53	0
Diámetro promedio de pinos (m)	0.24	0.25	0.34	0.5	0.22	0.19	0.35	0
Área basal (m ² ha ⁻¹)	8.1	4.5	4.4	0.001	7.9	6.9	5.4	0
Densidad de renuevos (ind ha ⁻¹)	238	370	30	23	283	315	62	37
Densidad de encino (ind ha ⁻¹)	130	200	50	5	183	88	58	30
Densidad de táscate (ind ha ⁻¹) [‡]	0	20	0	5	5	20	0	1
Densidad de madroño (ind ha ⁻¹) [‡]	0	230	0	0	0	38	0	0
Densidad de acacia (ind ha ⁻¹) [‡]	0	170	0	0	0	32	7	0
Densidad de arbustos (ind ha ⁻¹) [‡]	33	155	13	3	31	30	11	1
Profundidad del suelo (m)	0.9	0.53	0.6	0.52	0.93	0.61	0.54	0.52

[†] 2A = segundo aclareo, 3A = tercer aclareo; CR = corta de regeneración y, PT = pastizal sin vegetación arbórea.

[‡] Encino = *Quercus* spp., táscate = *Juniperus* sp., madroño = *Arbutus* sp. y acacia = *Acacia* sp.

silvícolas intensivos; y a la remoción de la cobertura y biomasa de zacates en los tratamientos pastoreados.

La erosión superficial mostrada en los sitios silvícolas se reduce durante el segundo año. Esto puede atribuirse a la recuperación de la cobertura vegetal en los tratamientos que protegen al suelo del efecto de las gotas de lluvia y a la remoción de partículas de suelo. En contraste con el área de pastizal que, a través de los años, es sometido al uso pecuario, a los efectos del pisoteo y a la remoción de partículas que desprende suelo y que son lavadas con el flujo de agua superficial, lo cual concuerda con lo señalado por Belsky y Blumenthal

(1997), Abeli y Sawe (1999) y Ballenger (2001). Además, esta menor erosión está relacionada con la recuperación que exhibió la tasa de escurrimiento y su asociación directa al flujo de sedimentos en el escurrimiento colectada en los sitios de estudio.

CONCLUSIONES

- Los suelos que pasan de uso forestal a uso pecuario poseen las características de incrementar la escurrimiento superficial, la erosión del suelo y reducir la capacidad de infiltración en contraste con los suelos forestales sujetos

a aclareos o cortas de regeneración. Los tratamientos tercer aclareo y corta de regeneración mostraron tasas de infiltración bajas y tasas altas de erosión y escorrentía superficial altas en contraste con el segundo aclareo, pero sólo para el año inmediatamente después del disturbio forestal. Para el segundo año, las variables hidrológicas y la erosión fueron similares en los suelos con diferentes tratamientos silvícolas. Éstas fueron diferentes que aquellas de los suelos dedicados a la ganadería. Las actividades silvícolas, aunque sólo modifican temporalmente la capacidad de infiltración, escorrentía y erosión de los suelos, deberían de ejecutarse con cuidado, además se deben realizar las prácticas de conservación de suelo y agua necesarias inmediatamente después de la aplicación del aclareo.

- Los cambios de uso del suelo de forestales a ganaderos podrían alterar significativamente el régimen hidrológico y la erosión en las cuencas forestales con repercusiones en la recarga de los mantos acuíferos y la regulación del ciclo hidrológico.

- En los pastizales dentro de los bosques, se recomienda aplicar las cargas animales adecuadas al sitio, como es el reducir 50% la carga animal en sitios con uso combinado, para evitar sobrepastoreo y compactación del suelo, lo cual se ha demostrado en diversos estudios en áreas forestales con ganado.

LITERATURA CITADA

- Abeli, W. S. y C. T. Sawe. 1999. The influence of logging and animal grazing on the litter layer and water infiltration rate of soils in plantation forests. *J. Trop. For. Sci.* 11: 438-445.
- Arifeen, S. Z. y A. K. Chaudhry. 1998. Effect of different land uses on surface runoff and sediment yield in moist temperate zone. *Pakistan J. For.* 48(1-4): 97-101.
- Baharuddin, K., A. M. Mokhtaruddin y M. Nik-Muhamad. 1996. Effects of logging on soil physical properties in Peninsular Malaysia. *Land-Husbandry* 1(1-2): 33-41.
- Ballenger, C. 2001. The impact of grazing on soil physical properties in a sandy open woodland, Central Australia. Technical Bulletin 289. Department of Primary Industry and Fisheries, Northern Territory of Australia. Alice Springs, Australia.
- Belsky, A. J. y D. M. Blumenthal. 1997. Effects of livestock grazing on stand dynamics and soils in upland forests of the interior west. *Conservation Biol.* 11: 315-327.
- CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional). 1976. Presa Guadalupe Victoria. Carta de Uso del Suelo 1:50 000. F13B11. Secretaría de la Presidencia. México, D. F.
- Croke, J., P. Hairsine, P. Fogarty y R. T. Brooks. 2001. Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion and delivery rates with time. *For. Ecol. Manage.* 143(1-3): 3-12.
- Ge, S., S. G. McNulty, P. Shepard, D. M. Amatya, H. Riekerk, N. B. Comerford, W. Skaggs y L. Swift. 2001. Effects of timber management on the hydrology of wetland forest in the southern United States. *Forest Ecol. Manage.* 143(1-3): 227-236.
- Hewlett, J. D. 1982. Principles of forest hydrology. University of Georgia Press. Athens, GA, USA.
- Huang, M. D. 1998. Forest grazing match to silvicultural system. *J. Anim. Ind. Res.* 4: 21-26.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2004. Anuario estadístico del estado de Durango. INEGI-Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes. México.
- Luo, X. P., Z. P. Jiang, W. F. Xiao y D. H. Zhang. 1999. Forest grazing for sustainable forest management in arid zones. *World For. Res.* 12(3): 29-33.
- Návar, J. y T. J. Synnott. 2000. Soil infiltration and land use in Linares, N.L., Mexico. *Terra* 18: 255-262.
- Spaeth, K. E., T. L. Thurow, W. H. Blackburn y F. B. Pierson. 1996. Ecological dynamics and management effects on rangelands hydrologic processes. pp. 25-51. *In: Spaeth, K. E., F. B. Pierson, M. A. Weltz y R. G. Hendricks. Society for Range Management. Denver, CO, USA.*
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT Editor. México, D. F.
- Startsev, A. D. y D. H. McNabb. 2000. Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 80: 617-624.
- Wilcox, B. P., M. K. Wood, J. M. Tromble y T. J. Ward. 1986. A hand portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes. *J. Range Manage.* 39: 375-379.
- Wood, J. C., W. H. Blackburn, H. A. Pearson y T. K. Hunter. 1989. Infiltration and runoff water quality response to silvicultural and grazing treatments on a longleaf pine forest. *J. Range Manage.* 42: 378-381.
- Yates, C. J., D. A. Norton y R. J. Hobbs. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in south-western Australia: implications for restoration. *Austr. Ecol.* 25: 36-47.
- Zang, T. L. y J. C. Zhang. 1999. Function of forest litter in soil and water conservation. *J. Nanjing For. Univ.* 23: 81-84.