

INFILTRACION Y PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN UN AREA REFORESTADA CON *Pinus halepensis* Mill

Julián Gutiérrez Castillo ¹
Manuel de Luna Romero ²

RESUMEN

El uso indiscriminado de los recursos naturales del país ha causado que disminuya considerablemente la cobertura vegetal, lo cual ha provocado la reducción de la infiltración y un incremento de las pérdidas de suelo. En algunos casos, se ha mencionado que una de las mejores formas para restaurar esos procesos es la reforestación; en base a lo anterior, el objetivo del presente estudio consistió en determinar las tasas de infiltración y la producción de sedimentos en cinco sitios con diferente edad de plantación. Para cumplir tal objetivo se utilizó un simulador de lluvias para aplicar 12 cm. de lluvia sobre parcelas de 1 m², con el fin de estimar las tasas de infiltración, la concentración y la producción total de sedimentos. Los datos fueron analizados en un diseño completamente al azar y con el uso de la prueba de medias de Tukey. Los resultados muestrales señalan que, aunque las mejores infiltraciones y la menor pérdida de suelo se encontraron en el área reforestada de mayor edad, tanto la infiltración como la producción de sedimentos no presentan relación con la edad de la plantación debido a que los sedimentos fueron estimados en los espacios entre el arbolado; los mismos resultados señalan que la cubierta del suelo y el porcentaje de suelo desnudo son los factores que determinan los procesos en estudio.

INTRODUCCION

El incremento en la desertificación causada por la explotación de los recursos por los humanos, se ha transformado en un grave problema. En las regiones áridas del norte de México, la tala inmoderada, los incendios, el sobrepastoreo, así como las sequías, han causado que la cubierta del suelo disminuya considerablemente, lo cual ha provocado la reducción de la infiltración y un incremento tanto de los escurrimientos superficiales, como de la producción de sedimentos.

¹ Ing. M.S. Maestro-Investigador del Depto. de Recursos Naturales Renovables. División de Ciencia Animal UAAAN.

² Tesista

Si no se aplican prácticas de restauración, muchas de esas áreas continuarán disminuyendo su productividad debido a que el deterioro de los ecosistemas resulta en un desbalance del agua, las prácticas de rehabilitación deben estar dirigidas, en primer término, a incrementar la cubierta vegetal para aumentar la infiltración y disminuir los escurrimientos, las pérdidas de agua por evaporación, el radio de precipitación-transpiración y las pérdidas de suelo.

Dado que el período útil de las prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de agua y suelo es muy corta, es imperativo que se establezca y mantenga una cubierta vegetal, pues ello ayudará a mantener tasas altas de infiltración y reducida producción de sedimentos. Muchos estudios señalan que las resiembras y las reforestaciones son una buena opción, para incrementar la cubierta vegetal en aquellas áreas en las cuales es mínima dicha cobertura; sin embargo, hay estudios que señalan de que la infiltración no aumenta en áreas reforestadas, pero si se reduce el agua en los horizontes del suelo debido a la mayor transpiración del arbolado. La contradicción de estos estudios hace necesario el contar con resultados específicos para cada sitio en que se hayan realizado plantaciones.

Dado lo anterior, y en virtud de los resultados obtenidos en estudios previos llevados a cabo en la zona reforestada con pino alepo (*Pinus halepensis* Mill) en el sureste de Coahuila, el objetivo del presente estudio consiste en determinar las tasas de infiltración y la producción de sedimentos en cinco sitios con diferente edad de plantación y en los espacios entre hileras de árboles.

REVISION DE LITERATURA

La simulación de la lluvia es una técnica que consiste en aplicar agua a parcelas experimentales, de una manera similar a las características de la precipitación natural; dicha simulación es una herramienta que ha sido utilizada en las últimas décadas con el fin de realizar estudios relacionados con los procesos de infiltración, escurrimiento superficial, intercepción y erosión. En la actualidad, esta técnica es de las más aceptadas por los estudiosos de la hidrología de bosques y pastizales, ya que con ella se pueden controlar las características de la lluvia natural y su tiempo de aplicación.

Los diferentes simuladores de lluvia de mayor uso han sido agrupados en dos grandes categorías: a) tipo aspersor, los cuales utilizan un sistema a presión (rehiletos, aspersores, etc.) para producir las gotas de lluvia, y b) tipo formadores de gota, en donde la misma se forma en la punta de los materiales utilizados (agujas hipodérmicas, tubos de plástico, goteadores de hilo) hasta que el peso de la gota supera la tensión superficial y cae.

Las ventajas que presentan los simuladores de lluvia son: 1) se obtienen resultados rápidos, 2) las intensidades y duraciones de la lluvia son controla-

bles, 3) el costo por unidad de dato es bajo, si se compara con los costos de un gran experimento que depende de la lluvia natural, 4) se tiene un control máximo sobre dónde, cuándo y cuáles datos deben recolectarse.

La simulación de la lluvia presenta las siguientes desventajas: 1) las áreas tratadas son muy pequeñas y pueden o no ser representativas del área general en estudio, 2) no producen una distribución del tamaño de gotas representativo de un evento natural, 3) la intensidad de la lluvia no presenta variaciones temporales, y 4) en su construcción son muy caros (Kirkby y Morgan, 1984; Neef, 1979).

La infiltración es aquella parte de la precipitación que es absorbida por el suelo mineral; el valor máximo que puede tomar es el valor de la precipitación efectiva, lo cual es muy común en aquellas áreas boscosas que no presentan mucho disturbio y en donde el escurrimiento superficial es casi imperceptible. Las tasas de infiltración de un sitio dependen de muchos factores los cuales han sido señalados en la literatura a través del tiempo, destacando, entre otros, el tipo de vegetación, la cantidad de cubierta, la etapa sucesional de la vegetación así como la actividad microbiana y de la fauna del suelo que se desarrolla alrededor de la vegetación; todos ellos definidos por el uso que se le da al suelo.

El agua que se precipita de la atmósfera y alcanza al suelo puede infiltrarse y quedar disponible para la evapotranspiración, o bien mantenerse sobre el suelo en las depresiones y evaporarse, o escurrirse sobre la superficie. El agua que se escurre sobre el suelo provoca el desprendimiento de sus partículas y la producción de sedimentos; ésta se puede definir como el flujo total de sedimentos en una cuenca hidrológica o una microcuenca en un tiempo dado (Kirkby y Morgan, 1984) e involucra el desprendimiento, transporte y depósito de partículas de suelo (Gutiérrez *et al.* 1988). Dado que la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos son fenómenos asociados, el mismo uso del suelo tiene influencia sobre los tres procesos.

El impacto de las prácticas silvícolas sobre las tasas de infiltración y la producción de sedimentos, han sido reportadas en diversos estudios. La infiltración es similar estadísticamente en áreas con prácticas silvícolas intensivas y extensivas en bosques dominados por *Pinus palustris*, mientras que la producción de sedimentos es mayor en los sitios donde se utilizan prácticas intensivas (Wood *et al.* 1987). Se ha encontrado similitud en ambos procesos en bosques de *Pinus ponderosa* y *P. lambertiana* explotados previamente con diferentes métodos y en áreas no explotadas (Johnson y Bestcha, 1980).

En algunos lugares se ha cambiado la cubierta de árboles para producir mayor agua o forraje; cuando las comunidades de *Pinus monophylla* y *Juniperus* se han transformado a pastizal, no se han presentado cambios significati-

vos en la entrada del agua al suelo, ni en la pérdida del mismo, principalmente, después de que se han reestablecido las características superficiales del suelo, alteradas durante la transformación (Buckhouse y Gifford, 1976; Gifford et al. 1970; Williams et al., 1969).

Una reforestación debe incrementar las tasas de infiltración conforme transcurre el tiempo, ello, con el desarrollo de las raíces al alterar las características físicas del suelo, pero el aumento en sí depende de las características de la vegetación y del suelo que presenta el sitio al hacerse la plantación (Gutiérrez y Dueñez, 1988). Se considera que algunas prácticas que se llevan a cabo antes de hacer una reforestación, reducen la absorción del agua por el suelo, por ejemplo, McNabb et al. (1989) señalan que después de explotar un bosque de *Pseudotsuga menziessi*, al aplicar un fuego controlado para poder llevar a cabo la restauración del arbolado, se presenta una reducción de la infiltración, la cual tiende a aumentar paulatinamente hasta regresar a su capacidad normal en corto tiempo. Ursic y Dendy (1965) señalan que, cuando los sitios se encuentran muy degradados, el tiempo en que se recupera la infiltrabilidad es mayor y para alcanzarla transcurren por lo menos 10 años después de que se ha reforestado el terreno.

El lugar en que se estima la infiltración y la producción de sedimentos dentro de un área reforestada definen las tasas de ambos procesos. Gutiérrez y Dueñez (1988) reportan que la infiltración en un área reforestada con *Pinus halepensis* está en relación con la edad de la plantación cuando estimaron dicho proceso debajo de la copa de los árboles; por otro lado, de acuerdo a Gutiérrez y Salazar (1986) la infiltración en los espacios desprovistos de arbolado en la misma área de pino alepo es estadísticamente diferente a áreas adyacentes sin reforestar, pero los sitios reforestados con pino alepo presentan gran variabilidad en ese proceso hidrológico. Roundy et al. (1978) hacen un señalamiento similar en otras áreas con bosque; estos autores señalan que en un bosque de *Pinus monophylla* y *Juniperus monosperma* la infiltración es mayor en las áreas debajo de los árboles que en los espacios entre ellos.

MATERIALES Y METODOS

La investigación aquí presentada se realizó en la zona de reforestación Zapalinamé, la cual está situada en un clima BWhw (x^1) (e) con régimen de lluvias de verano, presentándose más del 80% entre los meses de mayo y octubre; la precipitación normal anual es de 420 mm.; la temperatura media anual es aproximadamente de 18°C; la evaporación potencial anual supera los 2000 mm. (Gutiérrez y Salazar, 1986; Gutiérrez y Dueñez, 1988; Mendoza 1983).

Los suelos son de origen aluvio coluvial pertenecientes al orden Durostoll, presentan un epipedon mollico, descansando sobre un horizonte petrocálcico, el horizonte superficial presenta colores oscuros que varían de 10 YR 3/2 has-

ta 10 YR 3/4; el pH oscila entre 7.5 y 8.5; la textura varía de franca a franca-arcillosa. la consistencia es suelta en seco, fríasble en húmedo y ligeramente adhesiva y plástica en mojado, la estructura dominante es de bloques subangulares (Gutiérrez y Dueñez, 1988).

Para cumplir con el objetivo planteado, se utilizaron como tratamientos las áreas reforestadas en 1961 (27 años), 1966 (22 años), 1973 (15 años), 1977 (11 años) y un área adyacente sin reforestar. En cada una de las áreas fueron plantados pinos alepo y los suelos estaban cubiertos principalmente por *Bouteloua curtipendula*, *B. gracilis*, *Aristida* sp., *Condalia warnochii*, *Berberis trifoliata*, *Opuntia rastrera*, *Lycurus phleoides* y *Zinnia acerosa*, entre otras.

Para estimar las tasas de infiltración y la producción de sedimentos, se utilizó un simulador de lluvias basado en los principios y características del diseño reportado por Blackburn *et al.* (1974). Las pruebas se llevaron a cabo en seco durante el mes de junio de 1988, aplicando una intensidad de lluvia de 12 cm/hr. en siete parcelas de 1 m² para cada tratamiento, por un período de 60 minutos. En cada corrida de la lluvia se estimó el escurrimiento superficial cada cinco minutos, las tasas de infiltración se determinaron como la diferencia entre la lluvia simulada y el escurrimiento obtenido en cada período. Para el cálculo de la producción de sedimentos se tomó una muestra de 1 lt. del total de escurrimiento recolectado durante la prueba, para posteriormente, en el laboratorio, separar y determinar los sedimentos totales.

Con el fin de evaluar el efecto de la edad de la plantación sobre las tasas de infiltración en períodos de tiempo definidos y la producción de sedimentos totales, se utilizó un análisis de varianza en un diseño completamente al azar y una prueba de medias utilizando el método de Tuckey.

Se utilizó el método de cubierta área propuesto por Daubenmire (1959) para estimar un total de 12 variables de cobertura del suelo; en el laboratorio se analizaron los componentes de textura del suelo; la densidad aparente del suelo fue estimada con el método de excavación; el contenido de humedad, a través del método gravimétrico, y la pendiente del terreno con un clisímetro. Se utilizaron regresiones para relacionar todas estas variables con los resultados de infiltración y producción de sedimentos, y explicar sus diferencias.

RESULTADOS Y DISCUSION

El comportamiento de las tasas de infiltración en los 5 tratamientos se muestra en la Figura 1; en ella se observa que la entrada del agua en el suelo, al inicio del estudio, es estadísticamente similar ($P \leq 0.05$) en todas las áreas. Sin embargo, después de 10 minutos y hasta el término de la lluvia simulada, la infiltración presenta un comportamiento sostenido, observándose las tasas mayores en el área en que fueron plantados los pinos en el año 1961, lo cual con-

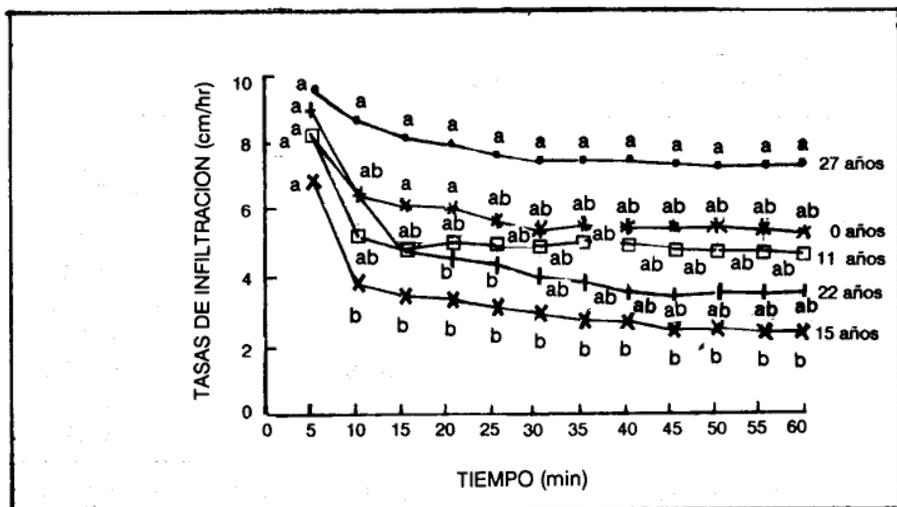


Figura 1. Tasas de infiltración (cm/hr) en suelos secos a diferentes intervalos de tiempo en cinco áreas de diversas edades de plantación en la zona reforestada Zapalinamé. Junio 1988.

cuerda con Gutiérrez y Dueñez (1988) y Gutiérrez y Salazar (1986). Por otro lado, los resultados del estudio señalan que el sitio sin reforestar presenta mayores infiltraciones que las restantes áreas con arbolado, lo cual se antepone a lo reportado por los últimos autores, pero confirma lo señalado por Roundy *et al.* (1978) y Gutiérrez y Dueñez (1988) en el sentido de que la infiltración de los suelos reforestados depende, en principio, del lugar en que se estima y de las condiciones del área antes de la plantación.

Los análisis estadísticos ($P \leq 0.05$) muestran que, después de 10 minutos de aplicar la lluvia simulada, el área cuya plantación se realizó 15 años antes es estadísticamente diferente en su infiltración al área reforestada con 27 años de anterioridad; ambas áreas no son diferentes en ningún tiempo a los otros tres sitios sometidos a estudio; lo anterior confirma lo señalado por Gutiérrez y Salazar (1986) en el sentido de que la infiltración de los espacios desprovistos de arbolado en un área reforestada no cambia significativamente su infiltración.

Los resultados de la infiltrabilidad de los suelos encontrados en el presente estudio son definidos, en principio, por la cobertura de la vegetación presente en los sitios y expresado por el inverso de la misma, o sea, el suelo desnudo; esta variable muestra una relación negativa con la infiltración (Cuadro 1) y concuerda con lo reportado por Gifford (1984), Roundy *et al.* (1978) y Wilcox *et al.* (1988). Además, la cubierta total de gramíneas, herbáceas, arbustos, hojarasca y microflora, presentan una relación positiva en la infiltración, explicando los comportamientos de este proceso hidrológico y coincide con lo señalado por Gutiérrez *et al.*, (1988), Striddels *et al.* (1988) y Wilcox *et al.* (1988).

Cuadro 1. Porcentaje de los diversos tipos de cubierta encontrados en las diferentes etapas de reforestación durante la estimación de la infiltración. Junio, 1988.

Tipo de Cubierta	Edad de la Reforestación (años)				
	0	11	15	22	27
Gramíneas	25.61	26.01	18.50	24.50	19.99
Herbáceas	8.90	9.60	13.40	4.35	4.15
Arbustos	4.40	4.75	7.34	2.55	3.10
Hojarasca	20.00	19.38	12.24	21.45	40.75
Microflora	16.31	13.66	15.68	16.20	11.95
Pedregosidad	19.75	21.75	20.05	18.25	13.75
Suelo Desnudo	4.93	4.75	12.79	12.30	6.21

Es conveniente mencionar que la absorción del agua por el suelo también se vio afectada por el contenido de humedad del mismo al inicio de las pruebas, ya que en el sitio de 15 años de edad de la plantación, el contenido presentó el valor más alto (11.21%) seguido del área con edad de 22 años (7.82%), presentando el resto de los tratamientos valores muy similares (3.85 a 4.20%); el efecto del contenido de humedad de un suelo fue señalado en estudios previos (Gifford, 1984).

La concentración media de sedimentos por litro de escurrimiento presenta diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre el área de mayor edad y el área de cero, 11 y 22 años de plantación (Figura 2), aunque las concentraciones de se-

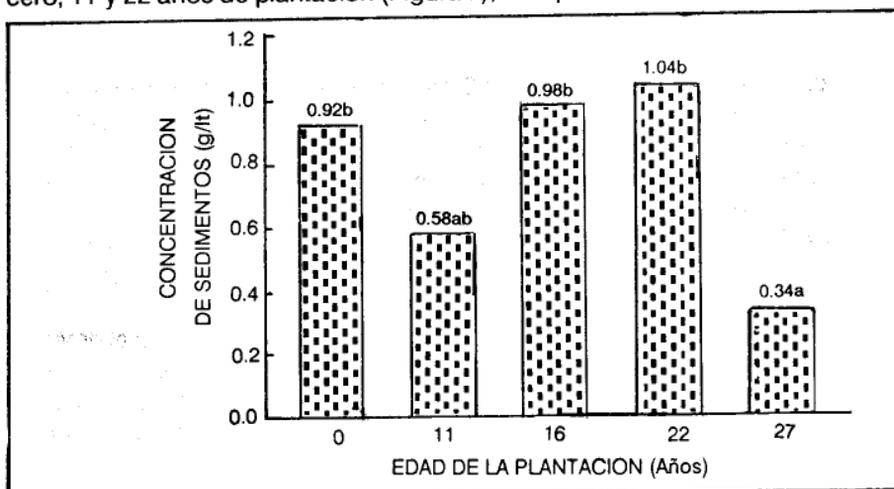


Figura 2. Concentración de sedimentos (gr/lit) en suelos secos en cinco áreas de diferente edad de plantación en la zona reforestada Zapalinamé. Junio 1988.

dimentos fueron muy similares en los tratamientos, con excepción del área de 27 años, el escurrimiento medio total fue algo variable. Durante el período de estudio, se aplicó un total de 12 cm de lluvia simulada para todos los tratamientos, obteniéndose 6.14 cm de escurrimiento superficial en el área plantada 11 años antes, 8.77 cm en el área reforestada de 15 años de edad, 7.46 cm entre el arbolado de 22 años y sólo 4.25 cm en la mayor edad. La producción total de sedimentos se muestra en la Figura 3, en la cual se puede destacar el efecto del agua escurrida; en este caso, la mayor producción se observa en la edad de 15 años, a diferencia de la concentración, que fue mayor en el área de 22 años.

Al comparar la producción de sedimentos, se tiene que el área con la plantación más antigua es estadísticamente ($P \leq 0.05$) diferente a las dos anteriores, pero similar al sitio sin reforestar y al de plantación de menor edad; nuevamente se observó una mayor protección de pérdidas de suelo en el arbolado más antiguo.

Las diferencias en pérdidas de suelo, expresadas a través de la producción de sedimentos, se puede explicar por las variaciones en la cubierta del suelo, ya que las propiedades internas del mismo como la textura, densidad aparente, estructura y materia orgánica, fueron similares en los tratamientos, mientras que la cubierta de hojarasca y la cubierta de biomasa en pie presentan relación inversa con la pérdida de suelo, tal como lo reporta Gifford (1984) y Wilcox *et al.* (1988).

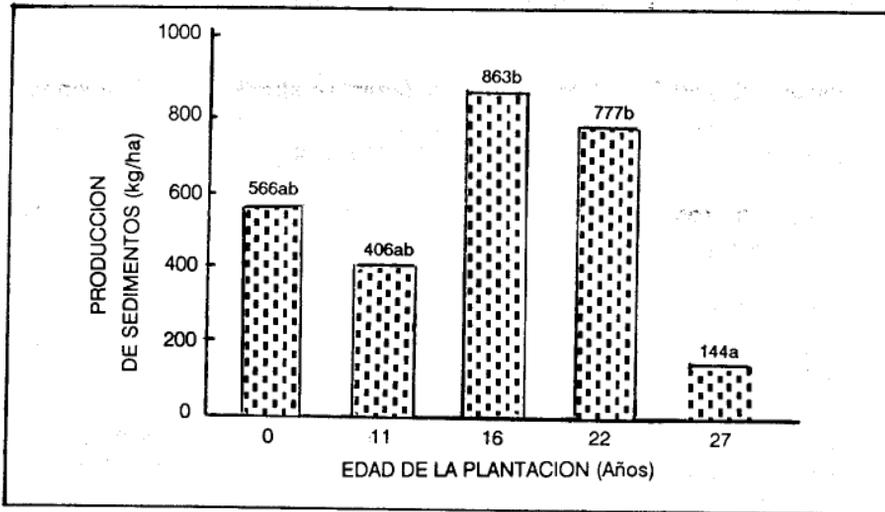


Figura 3. Producción total de sedimentos (kg/ha) en suelos secos en cinco áreas con diferente edad de plantación en la zona reforestada Zapalinamé. Junio 1988.

CONCLUSIONES

En base a las observaciones realizadas en la zona reforestada con pino alepo y a los análisis estadísticos llevados a cabo a través de la presente investigación, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. El sitio donde se estima la infiltración, los escurrimientos superficiales y la pérdida de suelos dentro de una área reforestada, definen el grado de eficiencia de la misma.
2. La infiltración y la producción de sedimentos en los espacios entre árboles no presentan relación con la edad de la plantación.
3. Las condiciones de erodabilidad de un suelo, antes de llevarse a cabo una reforestación, determinan el grado de restauración de las tasas de infiltración y la producción de sedimentos en un área reforestada.
4. El porcentaje de cubierta de un suelo y de suelo desnudo en los espacios entre árboles del área reforestada con pino alepo, determinan las tasas de infiltración y la producción de sedimentos.

BIBLIOGRAFIA

- Blackburn, W.H.; R.O. Meewing and C.M. Skau. 1974. A mobile infiltrometer for use on rangeland. *J. Range manage.* 28(4): 322- 323. U.S.A.
- Buckhouse, J.C. and G.F. Gifford. 1976. Sediment production an infiltration rates as affected by grazing and debris burning on chained and seeded pinyon juniper. *J. Range Manage* 29(1): 83-85 U.S.A.
- Daubenmire, R. 1959. A canopy-coverage method of vegetational analysis. *Northwest Science* 33(1): 43-64 U.S.A.
- Gifford, G.F. 1984. Vegetation allocation for meeting site requirements. In: Developing strategies for rangeland management, National Research Council/National Academy of Sciences Westview Press. pp. 35-116. U.S.A.
- Gifford, G.F.; G. Williams and G.B. Coltharp. 1970. Infiltration and erosion studies on Pinyon-Juniper conversion sites in south Utah. *J. Range Manage* 23(5) 402-406 U.S.A.
- Gutiérrez C.J. y A. Dueñez 1988. Relación de tasas de infiltración-Edad de la plantación en la zona reforestada Zapalinamé. *Revista Agraria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* 4(2): 158-179. Saltillo, México.

- Gutiérrez C.J. y M.A. Salazar C. 1986. Impacto de la reforestación Zapalinamé sobre las tasas de infiltración. *Revista Agraria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* 2(2): 286- 302. Saltillo, México.
- Gutiérrez C.J.; A. Zárate L.; L.A. Natividad B., J.A. Díaz G. y J.G. Medina T. 1988. Infiltración y producción de sedimentos en tres unidades de suelo ocupadas por pastizal mediano abierto. *Revista Manejo de pastizales SOMMAP* 2(1): 23-26 México.
- Johnson, M.G. and R.L. Beschta. 1980. Logging, infiltration capacity and surface erodability in Western Oregon. *J. Forestry* 78(3):334-337 U.S.A.
- Kirkby, M.J. y R.P. Morgan. 1984. *Erosión de los suelos*. Ed. Limusa. México. 375 p.
- McNabb, D.H; F. Gaweda and H.A. Froehlich. 1989. Infiltration, water repellency and soil moisture content after broadcast burning a forest site in southwest Oregon, *J. Soil and Water Cons.* 44(1):87-90 U.S.A.
- Mendoza H, J.M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN. Depto. de Agrometeorología Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 616 p.
- Neff, E.L. 1979. Why rainfall simulation. In: *Pro of the rainfall simulators workshop*. USDA. Sci. Review and Manuals A.R.M.-W-10.85 p. U.S.A.
- Roundy, B.A., W.H. Blackburn and R.E. Eckert. 1978. Influence of prescribed burning on infiltration and sediment production in the pinyon-juniper woodland, Nevada. *J. Range Manage.* 31(4) 250-253. U.S.A.
- Sánchez C., I. 1987. Uso de simuladores de lluvia como herramienta en estudios de agricultura de temporal. *Seminarios Técnicos. PRONAPA - INIFAP SARH.* 4(4): 84-124. Durango, México.
- Striddeless B., G.R; J. Dueñez A. y J. Gutiérrez C. 1988. Efecto del complejo vegetación-suelo sobre las tasas de infiltración. Resúmenes de 4º Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales. Zacatecas, México p. 7.
- Ursic, S.J. and F.E. Dendy. 1965. Sediment yields from small watersheds under various land uses and forest cover In: *Proc. Fed. Inter-Agency Sedimentation Conf.* 1963. USDA. Mis. Publ. 970. pp 47-52 U.S.A.
- Wilcox, B.P; M.K. Wood and J. Tromble. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J. Range Manage.* 41(3): 197-206 U.S.A.

Williams G., G.F. Gifford y G.B. Coltharp. 1969. Infiltrometer studies on treated vs. untreated pinyon juniper sites in central Utah. J. Range Manage 22(2): 110-114. U.S.A.

Wood, J.C.; W.H. Blackburn, H.A. Pearson, T.K. Hunter and R.W. Rnight. 1987. Assesment of silvicultural and grazing treatment impacts on infiltration and runoff water quality of long leaf - slash pine forest Disatchie National Forest, Lousiana.