

IMPACTO DE LA REFORESTACION EN LA SIERRA DE ZAPALINAME SOBRE LAS TASAS DE INFILTRACION

Julián Gutiérrez Castillo¹
Mauro Agur Salazar Cerda²

RESUMEN

Debido al mal manejo de los recursos naturales de nuestro país, grandes áreas boscosas han perdido su cubierta vegetal, lo que ha generado deterioro a la ecología de esas zonas. Con el fin de contrarrestar estos daños, se han estado llevando a cabo reforestaciones tendientes a mejorar esas áreas. Un ejemplo de lo anterior, es la reforestación que desde hace más de 20 años se ha estado realizando en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El presente estudio tuvo como objetivo determinar si la plantación de pinos ha incrementado la infiltración, y conocer su comportamiento a través de la edad de la plantación y de las épocas del año. Para cumplir con este objetivo, se hicieron estimaciones de la infiltración a través del método de los anillos concéntricos, en sitios con árboles de 5, 9 y 14 años de edad, en un área sin reforestar, y durante primavera, verano, otoño e invierno; se utilizó un experimento factorial con un diseño completamente al azar y una comparación múltiple de Duncan. Los análisis realizados mostraron que las tasas de infiltración se han visto incrementadas con la reforestación y se presentaron diferencias entre las edades de la plantación a cualquier inter-

- 1 Ing. M.S. Maestro Investigador del Depto. de Recursos Naturales Renovables, Div. Ciencia Animal, UAAAN.
- 2 Pasante de Ingeniero Agrónomo, Div. de Ingeniería, UAAAN.

valo de tiempo. La infiltración fue mayor en el sitio con árboles de 5 años, seguido por el de 14 y 9 años de edad; las infiltraciones menores se presentaron en el área sin reforestar. Durante los primeros minutos de la estimación, las épocas del año no presentaron diferencias, y se encontraron variaciones hasta después de 30 minutos de iniciadas las estimaciones; las mayores tasas de infiltración se presentaron durante el verano.

INTRODUCCION

Debido al mal manejo que se ha dado a los recursos naturales de nuestro país, áreas que antiguamente eran bosques o pastizales, han perdido la cubierta vegetal en gran magnitud, lo cual ha traído como consecuencia un fuerte deterioro a la ecología de esas zonas, que se ha traducido en un incremento de las tasas de erosión y escurrimiento, una baja en las tasas de infiltración y un descenso de los niveles freáticos.

Con el fin de contrarrestar este tipo de daños a esas zonas, durante las últimas décadas se han llevado a cabo trabajos, tendientes a mejorar los ecosistemas degradados. Un ejemplo de lo anterior, es la reforestación que desde hace más de 20 años se ha estado realizando en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el fin de restaurar las áreas afectadas por el mal uso que se les ha dado a través del tiempo. Dentro de los objetivos iniciales, de dicha reforestación, se incluyó el tratar de incrementar las tasas de infiltración y reducir los escurrimientos, con el fin último de ayudar a reabastecer los mantos acuíferos que se encuentran cercanos a esa zona. Sin embargo, aunque este fue uno de los objetivos iniciales, en la actualidad no se cuenta con datos que señalen si realmente la reforestación ha ayudado a incrementar las tasas de infiltración; se desconoce también la capacidad de infiltración de los suelos no reforestados, ni de los suelos en los que la cubierta vegetal se ha incrementado a partir de la plantación.

Con el presente estudio se pretende generar información sobre los efectos que ha tenido la reforestación sobre el proceso de infiltración, con el fin de conocer si la plantación ha ayudado a incrementar la captación de agua y el contenido de humedad del suelo, durante los eventos de precipitación que ocurren en el área.

Es reconocido que el estudio preliminar de los principales procesos de un sistema, es uno de los pasos iniciales para la identificación de investigaciones estratégicas críticas, para el mejoramiento futuro del sistema (Jame-

son y Medina, 1978). Por ello, es necesario contar con información básica hidrológica, que trate con los procesos de infiltración, evaporación, precipitación y erosión, para mejorar las alternativas de uso del suelo y prácticas de manejo de agua, y producción de otros recursos naturales (Gutiérrez *et al.* 1979).

El conocimiento del comportamiento de la infiltración en la zona de reforestación, es de gran importancia para demostrar la influencia que la plantación de pinos ha tenido sobre este proceso y, consecuentemente, en el abastecimiento de agua al suelo, teniendo en cuenta que la infiltración ayuda a proporcionar humedad para el desarrollo de la vegetación y, en un plazo mayor, a incrementar el nivel de los mantos acuíferos.

REVISION DE LITERATURA

El papel que juega la infiltración dentro del ciclo hidrológico, fue señalado por primera vez por Horton (1933). El término infiltración es aplicado al proceso por medio del cual el agua entra en el suelo (Hillel, 1971; Lee, 1980), debe ser considerado estrictamente como un fenómeno superficial (Satterlund, 1972), representa sólo una parte del ciclo hidrológico de una cuenca (Davis y DeWeist, 1966), y juega un papel importante en la recarga de humedad al suelo (Kramer, 1969).

Los factores que influyen en el proceso de infiltración han sido discutidos ampliamente (Branson *et al.* 1981; Hewlett y Nutter, 1969; Kittredge, 1948; Lull, 1964; Moore *et al.* 1979; Musgrave, 1955; Musgrave y Holtan, 1964; Parr y Bertrand, 1960; Satterlund, 1972). En general, existen 2 grupos de factores que controlan las tasas de infiltración en una cuenca hidrológica; éstos son: 1) los factores que determinan qué tan rápido la superficie de un suelo puede absorber el agua, y 2) la tasa a la cual el agua es aplicada a la superficie del suelo (Satterlund, 1972). El primer grupo, por si solo, determina la capacidad de infiltración o la tasa a la cual el agua puede infiltrarse, pero este grupo no necesariamente determina qué tan rápido se infiltra el agua; por lo tanto, la capacidad de infiltración determina las tasas de infiltración que existen, cuando el agua es aplicada con mayor intensidad de la que puede ser absorbida.

El uso del suelo modifica muchos de los factores que controlan las tasas de infiltración; los efectos directos de la utilización del suelo incluyen cambios en la cantidad y tipo de cubierta vegetal, y de la exposición y

compactación del suelo, asociados con las actividades del hombre para obtener los productos de la tierra. Un criterio para evaluar los efectos del uso del suelo en una cuenca hidrológica, es el cambio que se produce en la infiltración como resultado de un uso específico del suelo. Es reconocido que el fuego, la compactación y el troceo, disturban el piso forestal, y usualmente causa marcados cambios en la infiltración; en contraste, existen evidencias de que cuando el piso forestal se mantiene sin movimiento, aunque se remueva la cubierta arbórea o arbustiva, la infiltración no se altera o se afecta mínimamente.

En un estudio realizado por Smith y Leopold (1942), se estimó la infiltración en 3 comunidades vegetales; éstas son: 1) Coníferas, con suelos delgados y pedregosos, y con un alto contenido de materia orgánica; 2) Arbustos desérticos, con suelos limosos, calcáreos y delgados; y 3) Pastizal desértico con suelos calcáreos someros y con textura de migajón arcilloso o arcilloso; los resultados obtenidos indicaron que, conforme aumenta la cubierta vegetal, la infiltración se incrementa; las tasas de infiltración fueron mayores en el pastizal, seguidos por el terreno de coníferas y el terreno arbustivo.

Johnson y Beschta (1980) determinaron los efectos de diversos métodos de explotación maderera, sobre las tasas de infiltración en un bosque de *Pseudotsuga menziesii* asociado con *Pinus ponderosa*, *P. lambertiana* y *Libocedrus decurrens*, utilizando un simulador de lluvias. Los resultados de estos autores indican que la capacidad de infiltración fue muy similar en áreas explotadas y áreas no explotadas; sin embargo, la capacidad de infiltración se vio reducida significativamente, en el bosque que fue explotado con la utilización de un tractor para acarrear las trozas y depositar los residuos de madera, y cuando estos fueron quemados sobre suelos con alto contenido de arcilla. También encontraron que los porcentajes de cobertura vegetal y de suelo desnudo, son los factores más importantes en el comportamiento de las tasas de infiltración.

Las tasas de infiltración en bosques naturales, son por lo regular altas; por ejemplo: en la estación experimental de Coweeta, en el sur de los Apalaches, las tasas de infiltración en un bosque natural, es 10 veces mayor que la máxima intensidad de lluvias, y en los suelos arenosos de Michigan, las tasas de infiltración pueden alcanzar valores hasta de 100 cm/hr. Sin embargo, cuando la hojarasca es removida de suelos con textura fina, se permite que las gotas de lluvia destruyan la estructura del suelo superficial, por lo cual la infiltración desaparece (Spurr y Barnes, 1973).

Johnson (1940) estudió los efectos que produce el remover el mantillo de un bosque de *Pinus ponderosa*, y encontró que la tasa de infiltración constante promedio, de 18 sitios cubiertos con mantillo, fue de aproximadamente 3.86 cm/hr, mientras que en las áreas en que se removió el mantillo, fue de aproximadamente 2.34 cm/hr.

En un estudio en que se comparó la infiltración en un bosque de *Pinus echinata* y una área abandonada, se encontraron tasas de infiltración de 0.89 cm/hr en el bosque, y 0.36 cm/hr en el área que había sido utilizada para cultivo. Las tasas de infiltración fueron atribuidas al buen uso que se le dio al suelo, lo cual contribuye a tener mayor cantidad de materia orgánica, mejor agregación en el suelo y poros con mayor diámetro (Meinzer, citado por Kittredge, 1948).

Algunos estudios han mostrado que los bosques bajos que son incendiados ligeramente, pueden mostrar características hidrológicas muy similares a las áreas en que no se ha aplicado el fuego; sin embargo, si el fuego remueve el mantillo exponiendo al suelo mineral, una reducción en la capacidad de infiltración debe ser esperada con el tiempo. Buckhouse y Gifford (1976), utilizando el método de cadeneo, estudiaron las tasas de infiltración en un bosque de Pino Enebro que fue transformado, resembrado con gramíneas, excluido por 6 años y quemados los restos del arbolado después de esa exclusión; estos autores encontraron que la infiltración se redujo después de haber aplicado el fuego.

En la parte central de Utah, (Willimas *et al.* 1969) se utilizó un simulador de lluvias para estudiar los efectos del cambio de cobertura vegetal en 14 sitios de un bosque de Pino Enebro, al ser transformado con fuego; los resultados mostraron que las tasas de infiltración, a cualquier intervalo de tiempo, no cambiaron significativamente. Por otro lado, Gifford *et al.* (1970) reportan datos de infiltración estimados con un simulador de lluvias, en 14 sitios del Sur de Utah; los resultados indicaron que las áreas cubiertas con Pino Enebro, que fueron aclareadas y resembradas con gramíneas, no mostraron consistencia en el incremento o reducción de la infiltración.

Roundy *et al.* (1978) determinaron los efectos de un incendio controlado, sobre las tasas de infiltración existente en las dunas copice y en los espacios entre dichas dunas, en 2 sitios de *Pinus monophylla* - *Juniperus osteosperma* en el Este de Nevada. Estos autores encontraron que las tasas de infiltración en ambos sitios, fueron mayores en las dunas copice no incen-

diadas cuando el suelo se encontró a capacidad de campo, pero fueron muy similares con el suelo inicialmente seco en las dunas incendiadas y sin incendiar; las dunas copice presentaron infiltraciones similares entre especies arbóreas (pino y enebro), pero diferentes éstas, con respecto a la infiltración en las dunas bajo especies arbustivas. Observaron que también la infiltración presentó valores más altos, inmediatamente después de aplicar el fuego, comparada con la infiltración después de un año de aplicado el fuego.

Un cambio en la capacidad de infiltración debe esperarse, mientras una plantación de árboles se encuentra madurando; sin embargo, el nivel de significancia de esos cambios depende de la cobertura vegetal y de la misma capacidad de infiltración, en el momento de realizar la reforestación; por ejemplo, Ursic y Dendy (1965) reportan que una plantación llevada a cabo en un suelo desnudo con bastante erodabilidad, puede incrementar la capacidad de infiltración en sólo 10 años, hasta un punto en que no se produzca escurrimiento superficial ni erosión.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se llevó a cabo en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, dentro del área reforestada con *Pinus halepensis* Mill. De acuerdo a las modificaciones propuestas por García (1973) al sistema de clasificación de Koppen, esta área puede clasificarse como BWhw (x')(e). El clima del área corresponde al semiárido mexicano y la precipitación media anual es de 420 mm, y se presenta mal distribuida a través del tiempo; puede presentarse en forma de lluvia o nieve, y generalmente, el 80% de ellas se presentan durante los meses de mayo a noviembre. La temperatura media anual es aproximadamente de 18°C y fluctúa grandemente, alcanzando mínimas de -15°C y máximas de 38°C; como en el caso de los climas semiáridos, el verano es cálido y el invierno presenta fuertes heladas, en ocasiones desde fines de septiembre hasta principios de abril.

Los suelos corresponden a formaciones cuaternarias con asientos balsálticos, y el subsuelo se caracteriza por la presencia de estratos continuos de calizas. Los suelos presentan un epipedon mollico que descansa directamente sobre un horizonte petrocálcico cementado por carbonatos de calcio; el primer horizonte presenta colores muy oscuros que varían desde 10 YR 3/2, hasta 10 YR 3/4; una textura que varía desde franco a franco arcillosa; estructura generalmente en bloques subangulares medios y fuertes;

consistencia suelta en seco, friable en húmedo, y ligeramente adherible y plástica en mojado; su pH oscila entre 7.5 y 8.5; el espesor del suelo varía entre 30 cm y 2 m; de los 50 cm en adelante, es común que se presente un horizonte petrocálcico de color blanco (10 YR 8/2) de estructura masiva, y con una reacción violenta al HCl (Oviedo, 1980).

La presencia de algunos relictos en el área, y la opinión de campesinos originarios de la zona, indican que la Sierra de Zapalinamé anteriormente se encontraba cubierta de masas boscosas, con predominancia de *Pinus cembroides* Zucc. Estas masas fueron desapareciendo con el tiempo, debido principalmente a la sobreutilización del recurso natural, lo cual ha ocasionado altos grados de disturbio, tanto en la Sierra de Zapalinamé como en el Valle de Saltillo.

Debido a tales disturbios, y tratando de darle una solución a los mismos, desde 1960 se han llevado a cabo reforestaciones, en las cuales la especie principal es *Pinus halepensis* Mill. Además de la especie anterior, se han plantado algunas otras como: *Pinus cembroides* Zucc., *P. ayacahuite*, *Cupressus arizonica* Green, *C. sempervirens* Linn, *Melea azedarach* Linn, *Fraxinus* sp. y *Agave* sp.

Estimación de la infiltración

Las tasas de infiltración, en el presente estudio, fueron estimadas con el método de los anillos concéntricos, para lo cual se utilizaron anillos de 23 y 36 cm de diámetro, con una altura de 30 cm; estos anillos fueron enterrados, a una profundidad aproximada de 15 cm, y se procuró tener un disturbio mínimo en el suelo al instalar dichos anillos. Las tasas de infiltración se determinaron en 3 sitios para cada tratamiento; los anillos concéntricos se colocaron en las áreas que se encontraban entre las hileras de árboles, por lo que no se tuvo cubierta arbórea en los sitios.

Para determinar las velocidades de infiltración, se tomaron lecturas del agua que entra al suelo a los intervalos de tiempo de: 5, 10, 20, 30, 60 y 120 minutos, para lo cual, durante el tiempo en que se llevó a cabo el experimento, se mantuvo una carga de agua constante al aplicar una lámina de 100 mm en forma continua durante el trabajo.

Las mediciones de la infiltración fueron llevadas a cabo en cada tratamiento en un período máximo de 5 días; se realizaron estimaciones del 20 al

24 de abril de 1980 para la época de primavera; del 19 al 21 de julio de 1980 para el verano; del 16 al 18 de octubre de 1980 para el otoño; y finalmente, del 12 al 15 de enero de 1981 para representar al invierno.

A los datos de campo obtenidos, al estimar las tasas de infiltración, se les realizaron transformaciones logarítmicas, con el propósito de encontrar las curvas de capacidad de infiltración, para lo cual se utilizó la fórmula de Kostiakov.

Análisis estadístico

Con el fin de obtener la mayor cantidad de información, y estudiar la interacción, edad de la reforestación - época del año, se determinaron las tasas de infiltración en 3 áreas reforestadas con *Pinus halepensis*, y un área sin reforestar, durante las 4 estaciones del año, por lo que se tuvieron 2 factores:

A = Época del año

a₁ = Primavera

a₂ = Verano

a₃ = Otoño

a₄ = Invierno

B = Edad de la reforestación

b₁ = Área sin reforestar

b₂ = Área reforestada de 5 años

b₃ = Área reforestada de 9 años

b₄ = Área reforestada de 14 años

Se parte del hecho de que se utilizaron 2 factores (A y B) en el experimento, $r = 3$ unidades experimentales por tratamiento, y considerando que las plantaciones no tuvieron un patrón definido sino que se realizaron completamente al azar, sin ser definidas por la pendiente del terreno, la profundidad del suelo, la exposición, ni ningún otro factor; se utilizó un experimento factorial en un diseño completamente al azar. Con el fin de definir las diferencias que existen entre tratamientos, se efectuó una comparación de medias mediante la prueba de rango múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con el fin de precisar las diferencias en las tasas de infiltración de las 4 áreas y épocas en estudio, se realizaron análisis de varianza para dicho parámetro después de: 5, 15, 30, 60, 120 y 240 minutos de haberse iniciado las pruebas. Los resultados señalan que 5 minutos después de comenzarse las mediciones, sólo existió diferencia significativa entre tratamientos y para el factor B (edad de la reforestación), mientras que a los 15 minutos esas diferencias se presentaron, además, para la interacción de factores. Para los tiempos restantes se presentaron diferencias altamente significativas entre trata-

mientos, época del año, edad de la reforestación y la interacción de estos 2 últimos; no se presentó diferencia entre bloques.

Al analizar las diferencias entre tratamientos con la prueba de Duncan, con una probabilidad de 0.05, se observó que las tasas de infiltración a los 5 minutos presentaron poca variación estadística; un comportamiento similar se observó a los 15 y 240 minutos de haber principiado las estimaciones, y una gran variación de las tasas de infiltración se presentó a los 60 y 120 minutos principalmente (Cuadro 1). En todos los casos, las diferencias fueron causadas en forma primordial por el tratamiento que incluye a un sitio reforestado de 5 años y la época de verano; las menores infiltraciones se presentaron en el sitio en que no se ha realizado plantación; esta tendencia se observó con mayor claridad en los últimos intervalos de tiempo. Con la probabilidad de 0.01 (Cuadro 2), el comportamiento se presentó muy similar al anterior, o sea, poca variación al inicio y al término de las pruebas, y mayor diferencia a los tiempos intermedios.

Los datos señalan que la mayor infiltración se presentó en la reforestación llevada a cabo en 1975, seguida por la plantación de 1966, continuando con la reforestación de 1971 y finalmente el testigo; la infiltración no presentó tendencia alguna a través del año. Específicamente, el tratamiento que incluye el sitio con árboles de 5 años de edad y la época de verano, presentó las más altas tasas de infiltración; esto se debió a que el suelo en ese lugar aún se encontraba disturbado fuertemente a causa de las prácticas mecánicas aplicadas al llevar a cabo la reforestación, y a que la cubierta del sitio no había alcanzado los niveles suficientes que permitieran controlar el movimiento de las partículas finas del suelo, por lo cual la textura del lugar fue la más gruesa de los cuatro sitios (Cuadro 3); por otro lado, durante el verano el suelo presentaba poco contenido de humedad, dado que por lo menos 2 semanas antes de la prueba, no se había presentado ningún evento de precipitación y la insolación era bastante fuerte.

De las 3 áreas reforestadas, el lugar con árboles plantados en 1971 presentó las menores infiltraciones, debido a que la textura es más arcillosa, existen pocas huellas del disturbio causado al suelo durante la plantación y poco movimiento del suelo, ya que el sitio se localiza en una superficie cóncava lo cual, aunado a la presencia de árboles, ha permitido tener una acumulación muy marcada de partículas pequeñas de suelo provenientes de partes altas, lo que ha reducido grandemente la porosidad e incrementado la densidad aparente, produciéndose con ello un movimiento más lento del agua.

Cuadro 1. Tasas de infiltración estimadas a diferentes intervalos de tiempo y comparaciones múltiples con una probabilidad de 0.05. Buenavista, Saltillo, Coah. 1980-1981.

Tratamiento	Tiempo (minutos)					
	5	15	30	60	120	240
A ₁ B ₁	26.7 a	16.1 a	12.3 a	9.2 a	6.8 a	5.0 a
A ₂ B ₁	30.1 a	18.1 a	13.2 ab	9.6 ab	7.0 a	5.1 a
A ₃ B ₁	30.1 a	18.2 a	13.2 ab	9.6 ab	7.0 a	5.1 a
A ₄ B ₁	24.7 a	19.4 abc	16.6 abc	14.3 abc	12.3 abc	10.5 abc
A ₁ B ₂	56.8 ab	36.4 def	27.5 de	20.9 cdef	15.8 bcd	12.0 bc
A ₂ B ₂	70.8 b	50.4 g	40.2 g	32.8 h	26.4 f	21.6 a
A ₃ B ₂	44.0 ab	32.8 def	26.7 de	22.0 def	18.0 bcd	14.9 bc
A ₄ B ₂	55.6 ab	42.7 fg	36.3 fg	30.6 gh	25.9 ef	21.3 d
A ₁ B ₃	48.0 ab	30.3 bcde	22.6 cd	15.8 abcde	12.6 abc	9.4 ab
A ₂ B ₃	38.8 ab	26.1 abcd	20.3 bcd	16.9 bcde	12.3 abc	9.6 ab
A ₃ B ₃	34.7 ab	24.9 abcd	20.3 bcd	16.5 abcde	13.0 abcd	10.9 abc
A ₄ B ₃	23.9 a	19.6 abc	17.3 abc	15.3 abcd	13.5 abcd	11.9 bc
A ₁ B ₄	53.7 ab	31.0 cdef	21.9 cd	15.5 abcde	11.0 ab	7.8 a
A ₂ B ₄	43.6 ab	32.3 def	27.4 de	22.9 ef	19.1 cde	16.0 ca
A ₃ B ₄	57.8 ab	40.2 efg	32.0 ef	25.4 fg	20.2 def	16.1 ca
A ₄ B ₄	23.0 a	18.9 ab	16.6 abc	14.7 abcd	13.0 abcd	11.4 abc

Nota: Los valores con letra igual entre columnas indican que no existe diferencia entre tratamientos.

Cuadro 2. Tasas de infiltración estimadas a diferentes intervalos de tiempo y comparaciones múltiples en una probabilidad de 0.01. Buenavista, Saltillo, Coah 1980-1981.

Tratamientos	Tiempo (minutos)					
	5	15	30	60	120	240
A ₁ B ₁	26.7 abc	16.1 a	12.3 a	9.2 a	6.8 a	5.0 a
A ₂ B ₁	30.1 abcd	18.1 ab	13.2 a	9.6 ab	7.0 a	5.1 a
A ₃ B ₁	30.1 abcd	18.2 ab	13.2 a	9.6 ab	7.0 a	5.1 a
A ₄ B ₁	24.7 ab	19.4 ab	16.6 ab	14.3 abc	12.3 b	10.5 bc
A ₁ B ₂	56.8 df	36.4 d	27.5 de	20.9 def	15.8 bc	12.0 bcd
A ₂ B ₂	70.8 f	50.4 f	40.2 g	32.8 g	26.4 e [*]	21.6 e
A ₃ B ₂	44.0 abcd f	32.8 cd	26.7 de	22.0 ef	18.0 bc	14.9 cd
A ₄ B ₂	55.6 bcdef	42.7 df	36.3 fg	30.6 g	25.9 de	21.3 e
A ₁ B ₃	48.0 abcd f	30.3 c	22.6 cd	15.8 cd	12.6 b	9.4 ab
A ₂ B ₃	38.8 abcd	26.1 bc	20.3 bc	16.9 cde	12.3 b	9.6 ab
A ₃ B ₃	34.7 abcd	24.9 abc	20.3 bc	16.5 cd	13.0 b	10.9 bc
A ₄ B ₃	23.9 a	19.6 ab	17.3 abc	15.3 c	13.5 b	11.9 bcd
A ₁ B ₄	53.7 bcdf	31.0 cd	21.9 bcd	15.5 cd	11.0 ab	7.8 ab
A ₂ B ₄	43.6 abcd f	32.3 cd	27.4 e	22.9 f	19.1 c	16.0 d
A ₃ B ₄	57.8 df	40.2 d	32.0 ef	25.4 f	20.2 cd	16.1 d
A ₄ B ₄	23.0 a	18.9 ab	16.6 ab	14.7 bc	13.0 b	11.4 bcd

Nota: Los valores con letra igual entre columnas indican que no existe diferencia entre tratamientos.

Cuadro 3. Características físico-químicas de los suelos de las 3 áreas reforestadas con *Pinus halepensis* y del área testigo durante el desarrollo del estudio. Buenavista, Saltillo, Coah. 1980-1981.

Característica	Año de reforestación			
	1966	1971	1975	Testigo
Arcilla (‰)	28.6	31.5	32.8	27.3
Limo (‰)	29.0	30.0	21.0	32.0
Arena (‰)	41.4	38.5	55.2	40.7
D.A. (gr/cm ³)	1.31	1.36	1.29	1.46
M.O. (‰)	6.4	5.65	4.5	5.6
N (‰)	0.32	0.33	0.39	0.41
CaCO ₃ (‰)	24.8	18.1	7.0	20.0
K (kg/ha)	900	720	920	185
P (kg/ha)	47.0	46.6	44.0	35.9
C.E. (mmhos/cm)	0.45	0.41	0.58	0.49
pH	8.2	8.3	8.4	8.4

Ahora bien, en la plantación llevada a cabo en 1966, se presentaron infiltraciones bajas comparadas con la reforestación efectuada en 1975, debido a la ausencia de suelo disturbado, ya que a través de los años el suelo ha estado estructurándose, y el desorden provocado en el sitio, al momento de la plantación, se ha vuelto casi imperceptible, además de que ha habido mayor acumulación de suelo, lo que ha permitido una textura más fina.

Por otro lado, la infiltración en la plantación de 14 años es mayor que en el sitio con árboles de 9 años, debido, en primer lugar, a que la textura del primer sitio es más gruesa, pues tiene una menor acumulación de material fino; además, la cubierta de gramíneas y herbáceas es mayor (Cuadro 4) y las raíces de estas plantas han permitido que haya una mayor porosidad y una menor densidad aparente del suelo, lo que permite una mejor entrada del agua al suelo; aunada esa presencia de plantas con la mayor existencia de hojarasca, permiten a la vez que exista una menor compactación de la superficie del suelo, con lo cual se incrementa la velocidad de infiltración.

El sitio no reforestado presenta tasas de infiltración muy bajas comparadas con las áreas reforestadas, debido a que en el área testigo no existe suelo profundo, pues no va más allá de 15 cm; la cubierta, tanto de especies de gramíneas como de herbáceas, es mínima, por lo cual presenta una fuerte com-

Cuadro 4. Porcentaje de las variables de la cubierta del suelo en los 3 sitios de reforestación y el área testigo durante el desarrollo del estudio. Buenavista, Saltillo, Coah. 1980-1981.

	Año de reforestación			Testigo
	1966	1971	1975	
Gramíneas	21.1	22.3	33.6	12.9
Herbáceas	5.9	1.8	1.3	0.7
Arbustivas	1.0	2.1	2.2	13.2
Hojarasca	50.8	26.3	7.0	8.8
Microflora	0.2	0.0	0.0	5.3
Roca y grava	7.6	9.5	20.7	21.2
Suelo desnudo	13.4	38.0	35.2	37.9

pactación de la superficie del suelo. Debido a la ausencia de plantas, la cantidad de raíces es mínima y consecuentemente la porosidad del suelo se presenta menor que en las áreas con árboles, al mismo tiempo se puede decir que la densidad aparente del suelo es mayor, debido a la falta de material orgánico dentro del suelo; por otro lado, sobre la superficie del suelo se puede observar una gran cantidad de rocas y grava, lo cual ve reducida la superficie de entrada del agua al suelo.

Los resultados de las pruebas de Duncan para las tasas de infiltración estimadas a los 30, 60, 120 y 240 minutos después de haber iniciado las pruebas, indican una diferencia altamente significativa entre las estaciones del año, las cuales se ven reducidas gradualmente conforme transcurre el tiempo. En general, no se ve una tendencia de alguna época del año para mostrar los datos más altos de infiltración; solamente se puede observar que el invierno presentó las menores tasas de infiltración en las 3 áreas con árboles y en el testigo; este comportamiento se debe al contenido alto de humedad presente en el suelo durante el estudio, ya que eventos frecuentes de precipitación, antes y durante el desarrollo de las pruebas, mantuvieron al suelo saturado, lo cual redujo considerablemente la infiltración.

La poca variación observada entre primavera, verano y otoño, principalmente en los primeros minutos, se debe al poco contenido de humedad presente en el suelo en esas 3 épocas del año; esto se traduce como una alta disponibilidad de espacio dentro del suelo que incrementa, por ello, la entrada del agua al suelo.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las observaciones llevadas a cabo, y a los análisis estadísticos realizados, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. La plantación de *Pinus halepensis* llevada a cabo en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha incrementado la capacidad de infiltración del suelo.
2. Durante la estimación de la infiltración, las áreas reforestadas presentaron tasas mayores que el sitio sin plantación a cualquier intervalo de tiempo.
3. El incremento de las tasas de infiltración no presentó relación con la edad de la plantación.
4. Durante los primeros años de la plantación las tasas de infiltración se incrementan grandemente, debido a la plantación y al disturbio causado al suelo.
5. La infiltración no presenta patrones definidos con respecto a la época del año.
6. La interacción verano-5 años de edad de la plantación, presenta las más altas tasas de infiltración.
7. La interacción invierno-área sin reforestar, presenta las más bajas tasas de infiltración.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones encontradas en el presente estudio, los autores consideran importante realizar las siguientes recomendaciones:

1. Continuar realizando investigaciones que permitan complementar la información presentada en este estudio, en relación a la capacidad de infiltración de los suelos del área reforestada.

2. Realizar investigaciones que permitan definir si existe relación entre las tasas de infiltración de los suelos y la edad de la plantación, a través de estimaciones en mayor número de áreas reforestadas e incrementando el número de repeticiones durante los estudios.
3. Llevar a cabo estudios que permitan definir cual o cuales factores del suelo y/o de la vegetación, son los que contribuyen a incrementar la infiltración en los suelos de la reforestación.
4. Realizar estudios de otros procesos hidrológicos, con el fin de incrementar la información al respecto y para poder estudiar el balance del agua en la zona de reforestación.

BIBLIOGRAFIA

- Branson, F.A., G.F. Gifford, K.G. Renard and R.F. Heady. 1981. Rangeland hydrology. A publication of the Society for Range Management. Dubuque, Iowa, USA. Kendall/Hunt Publ. Co. Range Science Series No. 1. pp. 47 - 72.
- Buckhouse, J.C. and G.F. Gifford. 1976. Sediment production and infiltration rates as affected by grazing and debris burning on chained and seeded pinyon-juniper. J. Range Manage. 29:83-85.
- Davis, S.N. and R.J.M. DeWiest. 1966. Hydrology. New York. USA. John Wiley and Sons Inc. 463 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koopen. México. UNAM. Instituto de Geografía. 246 p.
- 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. 23:402-406.
- Gutiérrez C., J., F.M. Smith y J.G. Medina T. 1979. Caracterización hidrológica de la cuenca San Tiburcio, Zacatecas. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monogr. Técnico-Científica. 5(4):212-327.

- Hewlett, J.D. and W.L. Nutter. 1969. An outline of forest hydrology. Athens, Georgia. USA. University of Georgia Press. 137 p.
- Hillel, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. New York. USA. Academic Press. 275 p.
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Am. Geophys Union Trans. 14:446-460.
- Jameson, D.A. y J.G. Medina T. 1978. Organización de la información experimental y conceptual para el manejo de los recursos. In: Nava, C.R. (Ed.) Planeación de los Recursos Naturales, en las Zonas Áridas de México. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (Inédito).
- Johnson, W.M. 1940. Infiltration capacity of forest soils as influenced by litter. J. Forestry. 38:520-522.
- Johnson, M.G. and R.L. Beschta. 1980. Logging. Infiltration capacity and surface erodability in western Oregon. J. Forestry. 78:334-337.
- Kittredge, J. 1948. Forest influences. The effect of woody vegetation on climate, water and soil. New York. USA. Dover Publications Inc. 394 p.
- Kramer, P.J. 1969. Plant and soil water relationships. A modern synthesis. New York. USA. Mc Graw-Hill Book Company. McGraw-Hill Series in organismic Biology. 482 p.
- Lee, R. 1980. Forest hydrology. New York, N.Y. USA. Columbia University Press. 341 p.
- Lull, H.W. 1964. Ecological and silvicultural aspects. In: Chow V.T. (Ed.) Handbook and applied hydrology. A compendium of water-resources technology. New York. USA. Mc Graw-Hill Book Co. Section 6:1-30.
- Moore, E., E. Jones, F. Kinsinger, R. Pitney and J. Sainsbury. 1979. Livestock grazing management and water quality protection (State of the art reference document) EPA 91019-79-67. Denver, Co., USA. U.S. Bureau of Land Manage. 147 p.

- Musgrave, G.W. 1955. How much rain enters the soil. pp. 151-159. In: A. Stefferud (Ed.). Water. The year book of agriculture, 1955. Washington, D.C. USA. U.S. Govt. Printing office.
- and H.N. Holtan. 1964. Infiltration. In: Chow V.T. (Ed.) Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology. New York., USA. McGraw-Hill Book Co. Section 12:: 1-30.
- Oviedo R., J.L. 1980. Inventario de las alternativas de transformación de especies forestales de la Sierra de Zapalinamé. Tesis Profesional. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 88 p.
- Parr, J.F. and A.R. Bertrand. 1960. Water infiltration into soils. Adv. Agron. 12:311-363.
- Roundy, B.A.; W.H. Blackburn and R.E. Eckert Jr. 1978. Influence of prescribed burning on infiltration and sediment production in the pinyon-juniper woodland, Nevada. J. Range Manage. 31(4):250-253.
- Satterlund, D.R. 1972. Wildland watershed management. New York, USA. The Ronald Press Company. 370 p.
- Smith, H.L. and L.B. Leopold. 1942. Infiltration studies in the Pecos River Watershed, New Mexico and Texas. Soil Sci. 53:195-204.
- Spurr, S.H. and B.V. Barnes. 1973. Forest ecology. 2nd ed. New York, USA. The Ronald Press Company. 571 p.
- Ursic, S.J. and F.E. Dendy. 1965. Sediment yields from small watersheds under various land uses and forest covers. In: Proc. Fed. Inter-Agency Sedimentation Conf. 1963. USDA. Misc. Publ. 970 pp. 47-52.
- Williams G., G.F. Gifford and G.B. Coltharp. 1969. Infiltrimeter studies on treated vs. untreated pinyon-juniper sites in central Utah. J. Range Management. 22:110-114.