

## EVAPORACIÓN DE AGUA DEL SUELO EN BOSQUE DE PINO ALEPO EN EL SURESTE DE COAHUILA

## SOIL WATER EVAPORATION IN AN ALEPPO PINE FOREST IN SOUTHEAST COAHUILA, MEXICO

Julián Gutiérrez Castillot  
Telma M. Arredondo Valdés<sup>2</sup>

† In Memoriam.

Publicado posterior al fallecimiento del primer autor.

<sup>2</sup>Licenciada en Ciencias Naturales.

Laboratorio de Manejo de Cuencas Hidrológicas,

Departamento de Recursos Naturales Renovables.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

### RESUMEN

En zonas áridas y semiáridas, la evaporación del agua del suelo es un proceso hidrológico de gran importancia que se debe considerar en la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales; sin embargo, muy pocos estudios incluyen este proceso. Los objetivos de este estudio consistieron en estimar la evaporación en áreas reforestadas con pino alepo (*Pinus halepensis* Mill) de diferentes edades de plantación (6, 11 y 15 años), en las cuatro estaciones del año (1994-1995) y estudiar las variables del tiempo atmosférico concurrentes. La evaporación se midió durante siete días por medio de microlisímetros a partir de suelos totalmente saturados. La evaporación fue muy similar entre los sitios de estudio y fluctuó de 8 a 11 mm en el primer día y de 1 a 2 mm en el séptimo, durante las estaciones: primavera, verano y otoño. En invierno, la evaporación varió de 5.2 a 8.2 el primer día y de 2 a 3 mm en el séptimo. Se concluye que no existe diferencia en evaporación del agua entre sitios de reforestación pero si en cuanto a las estaciones del año y que la humedad relativa, la velocidad del viento, la temperatura máxima y la radiación solar influyen de manera importante.

**Palabras clave:** *Pinus halepensis* Mill, hidrología de bosques, evaporación, estaciones del año.

## ABSTRACT

The successful management of plant natural resources in arid and semi-arid lands requires the inclusion of soil water evaporation into the decision-making process. This research was aimed to estimate evaporation on areas with a reforestation of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill) at different plantation ages (6, 11 and 15 years old) during the four seasons (1994-1995). Also, weather variables were observed on their influence to soil water evaporation. Measurements were made during seven days, each season, by using microlysimeters in soil samples totally water saturated. Evaporation quantifications were very similar for sites practiced during spring, summer and fall; figures were 8 to 11 mm for first day and 1 to 2 mm the seventh day, however, the winter season quantities were lower than those during the first five days, but higher than the last two trial days. Soil water evaporation had affected mainly by year seasons and the weather conditions of relative humidity, wind velocity, temperature and solar radiation.

**Key words:** *Pinus halepensis* Mill, forest hydrology, evaporation, year seasons.

## INTRODUCCIÓN

La dispersión de las poblaciones humanas en el planeta incluye la adaptación a zonas áridas y semiáridas; el crecimiento demográfico en estas regiones durante el presente siglo ha evidenciado la falta del recurso agua. En este contexto, el conocimiento de la hidrología de esas regiones es un elemento estratégico para entender y manejar mejor el agua, reduciendo pérdidas. La evaporación es la pérdida neta de agua a partir de una superficie acuosa como resultado de su tránsito de líquido a vapor y la transferencia neta de éste a la atmósfera. La evaporación en una área depende de la diferencia de presión de vapor entre la atmósfera y el cuerpo acuoso, condiciones del sitio, profundidad del suelo, disponibilidad de agua en el mismo, además de la cubierta vegetal, que es un factor importante al reducir la insolación y la velocidad del viento sobre el suelo.

Aunque se menciona continuamente que la evaporación es un proceso que juega un papel primordial en las cuencas semiáridas, pocos estudios han estimado las pérdidas de agua del suelo. La evaporación representa la mayor pérdida de agua en esas regiones (Jury, 1979; Rodier, 1985), resaltando su importancia por la escasa y errática precipitación que incide en ellas. Gifford (1975) reporta que de 65 a 99% de la precipitación media anual retenida en el

suelo se pierde por evapotranspiración. Branson (1976) señala que 96% de la precipitación regresa a la atmósfera como evapotranspiración, y Sammis y Gay (1979) afirman que la evaporación constituye 90% de la precipitación media anual. Estas altas pérdidas de agua por evaporación se deben al aire seco y caliente que se mueve sobre la superficie terrestre, proporcionando calor latente al agua de los horizontes superficiales del suelo y creando un déficit de vapor de agua en la atmósfera (Sosebee, 1976; Dunne y Leopold, 1978).

El uso de lisímetros y de métodos indirectos tales como el balance de energía y el método aerodinámico para estimar la evaporación son costosos y, por lo tanto, poco utilizados (Wight, 1971); además, la estimación de la evaporación es más difícil para una cuenca hidrológica que para un punto (Rodier, 1985). El cálculo de la evaporación de agua a través de microlisímetros y de un aspersor de neutrones presentan resultados similares (Wight, 1971) y son adecuados en estudios de hidrología de pastizales y bosques. Paruelo *et al.* (1991) estimaron la evaporación con los procedimientos: balance de energía, método de Ritchie y microlisímetros, con resultados muy similares.

Las medidas de evaporación utilizando el método de microlisímetros lo consignan tanto Gutiérrez *et al.* (1979), quienes determinaron la evaporación en diferentes tipos de vegetación de una zona semiárida, encontrando una reducción constante de tal manera que un suelo saturado puede perder casi la totalidad de agua por evaporación en siete días, como Lascano y Hatfield (1992), quienes concluyeron que la evaporación incrementa su variabilidad conforme disminuye la evaporación en un suelo, datos que pueden ser comprobables con otros métodos.

La estimación directa de la evaporación es importante para evaluar las prácticas de manejo del suelo (Lascano y Hatfield, 1992); sin embargo, los estudios de evaporación en áreas con vegetación natural han estado dirigidas hacia el estudio del proceso en sí y el diseño de modelos hidrológicos (Morton, 1984; van de Griend y Owe, 1994). La evaporación del agua del suelo no es constante y cuando éste se encuentra a capacidad de campo, la evaporación es similar a la de un cuerpo de agua; Kimball y Jackson (1971) encontraron que la evaporación durante el verano tomó valores de 9 mm día<sup>-1</sup> en suelos saturados, mientras que a siete días la evaporación en esos suelos fue de sólo 2 mm día<sup>-1</sup>.

La redistribución del agua dentro del perfil del suelo es muy importante en las áreas boscosas de zonas semiáridas; por ello, el desconocimiento de la magnitud de la evaporación puede afectar algunas decisiones y políticas que determinan el manejo de la vegetación. La evaporación en suelos saturados con

cobertura permanente de plantas puede generar un buen inicio para estudios de evapotranspiración y ser útiles para propósitos prácticos (Rodier, 1985). Además, una mejor comprensión del proceso de evaporación en los bosques y en áreas reforestadas es necesario para planear y realizar un manejo más efectivo de los recursos naturales.

Tomando en cuenta lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: 1) determinar la evaporación del agua del suelo en áreas con plantaciones de pino alepo de diferentes edades durante las cuatro estaciones del año y, con la información de una estación climática aledaña al área de reforestación, 2) estudiar las variables del tiempo atmosférico que influyen la evaporación del agua en suelos reforestados con pino alepo en cada estación del año.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Reforestación

El presente estudio se llevó a cabo en la zona de reforestación Zapalinamé, ubicada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, 100°59'57" longitud Oeste y a 25°23'42" latitud Norte, propiedad de la UAAAN. El clima del área se clasifica como BWhw(x)(e); la temperatura media anual es de 18°C; la precipitación media anual es de 350 mm, donde el 75% se presenta entre los meses de mayo y octubre; la evaporación potencial anual es mayor a los 2000 mm, y los vientos dominantes provienen del norte y noroeste. Los suelos presentan un epipedon mollico, descansando sobre un horizonte petrocálcico cementado con carbonatos de calcio, con textura de franco a franco-arcillosa, pH de 7.5 a 8.5, estructura en bloques subangulares, colores oscuros y consistencia suelta en seco, y plástica en húmedo.

Anteriormente, el área estaba cubierta con pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc) y en la actualidad está ocupada por pino alepo (*Pinus halepensis* Mill) acompañado con otras especies arbóreas y con algunas gramíneas en el estrato bajo (Mathus y Castañeda, 1975; Gutiérrez y Salazar, 1986; Gutiérrez y Dueñez, 1988; Gutiérrez y De Luna, 1989).

**Sitios de estudio.** Del área de Zapalinamé, se seleccionaron para realizar la presente investigación tres sitios plantados con pino alepo cuya reforestación tenía aproximadamente 6, 11 y 15 años de edad; además, se utilizó un área no arbolada, dominada con gramíneas, la cual sirvió como testigo; por lo anterior, el trabajo incluyó tres tratamientos representado por cada uno de los

sitios de pino mas el testigo. Dada la influencia de los tratamientos en el área de estudio, se describen a continuación las características particulares de cada uno de ellos:

**Sitio de seis años.** Se localiza a una altitud de 1890 msnm, exposición Oeste, con pendientes de 15 a 20 % y un relieve general convexo, de suelo somero que varía de 2 a 35 cm de profundidad, con textura migajón arcillo-arenoso y materia orgánica entre 6 y 7 %, un pH entre 8.2 y 8.4, con abundante pedregosidad en la superficie. Las especies asociadas más comunes desarrolladas durante los años de plantación de *Pinus halepensis* son gramíneas como *Bouteloua gracilis*, *B. hirsuta*, *Aristida longiseta*, *Eneapogon desvauxi*, *Licurus phleoides*, y las arbustivas *Mimosa biuncifera*, *Agave lecheguilla* y *Opuntia leptocaulis*.

**Sitio de once años.** Se localiza a una altitud aproximada de 1840 msnm, con una configuración convexa y pendientes desde 8 a 15 %, el suelo presenta profundidades desde .05 m hasta 1 m, su textura varía de migajón a migajón-arcilloso, materia orgánica entre 4.9 y 6.4 % y en la superficie una pedregosidad aproximada del 9 %. La vegetación asociada a la plantación que se ha desarrollado está constituida principalmente por *Aristida sp.*, *Erioneurum pulchellum*, *Scleropogon brevifolius*, *Setaria macrostachya*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia leptocaulis*, *Agave asperima* y algunas especies de la familia compositae.

**Sitio de 15 años.** Se localiza a una altitud de 1850 msnm, exposición Noroeste, con pendientes de 5 a 10 %, la profundidad del suelo varía de 0.1 m hasta 1 m, textura de migajón arcilloso y materia orgánica de 4 a 5.2 %, con un pH de 8.1 a 8.3 y una pedregosidad superficial del 10 %. La vegetación asociada que se ha desarrollado con la vegetación arborea de *Pinus halepensis* es *Aristida sp.*, *Stipa comata*, *Bouteloua curtipendula*, *Eneapogon desvauxi*, *Eragrostis sp.*, *Scleropogon brevifolius*, y algunas especies de compuestas.

**Sitio testigo.** Se encuentra localizado a una altitud aproximada de 1950 msnm, exposición Oeste, exhibe pendientes de 15 y 20 %, suelo somero con profundidades no mayores de 10 cm, textura migajón arcillo-arenoso, materia orgánica que fluctúa entre 5 y 8 %, pH entre 8.2 y 8.5, y abundante piedra y grava en la superficie. La vegetación es principalmente constituida por *Bouteloua curtipendula*, *Aristida longiseta*, *Erioneuron pulchellum*, *Stipa clandestina*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia rastrera*, *Agave lecheguilla*, *A. asperima* y *Opuntia imbricata*.

## Estimación de la Evaporación

La evaporación de agua del suelo se determinó en cuatro épocas (abril, julio, octubre, 1994, y enero 1995) tomados como tiempos representativos de las cuatro estaciones del año; las medidas se obtuvieron utilizando 50 microlisímetros con una capacidad de 350 cm<sup>3</sup>, colocados dentro de un área de 2,500 m<sup>2</sup> para cada sitio. El microlisímetro fue llenado con suelo del mismo sitio tratando de disturbarlo lo menos posible; los microlisímetros se saturaron con agua y se secaron en tres ocasiones para estabilizar el suelo; posteriormente, se pesaron en seco, se volvieron a saturar y después se pesaron cada 24 horas durante 7 días consecutivos, determinando la pérdida de agua por evaporación, de acuerdo a los pasos seguidos por Gutiérrez *et al.* (1979).

## Medición de Elementos del Tiempo Atmosférico

Para cumplir el segundo objetivo de la presente investigación se utilizaron los datos obtenidos en la estación meteorológica ubicada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, sede en Saltillo, Coahuila, los cuales se refieren a las siguientes variables: temperaturas máxima, mínima y media (°C); humedad relativa (%); precipitación diaria (mm); velocidad del viento (m seg<sup>-1</sup>); radiación solar (Cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>); evaporación potencial (mm); duración del día (hs); y nubosidad calificada como: despejado, seminublado, nublado.

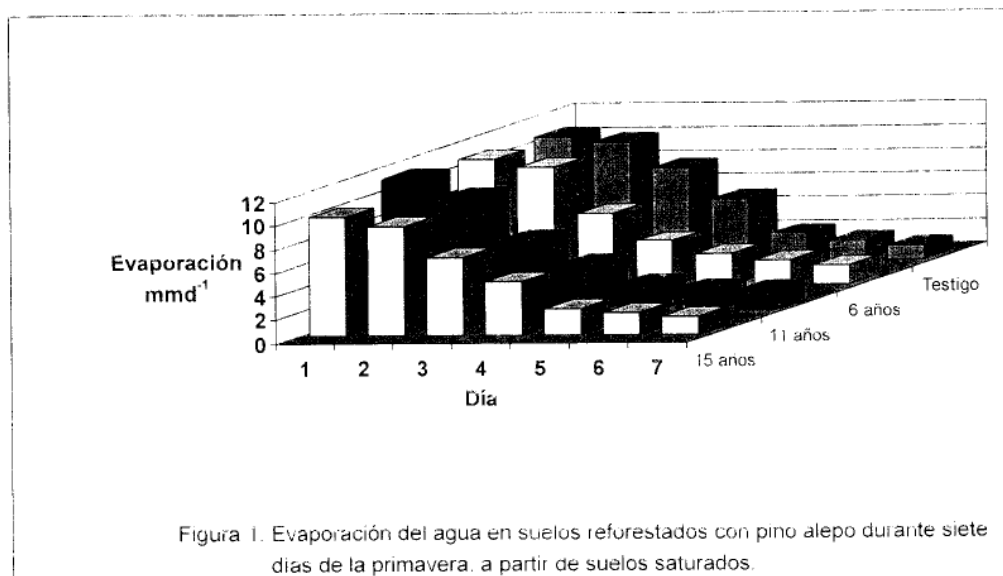
## Análisis de Datos

Para saber si existían diferencias significativas entre los sitios de plantación, los datos de campo obtenidos se analizaron a través de un diseño completamente al azar, abordando separadamente los datos para cada estación del año; la evaporación media diaria para cada sitio se sometió a un análisis de separación de medias utilizando la prueba de Tukey (Kirk, 1982). Para determinar las variables del tiempo atmosférico que tienen mayor influencia sobre la evaporación, se realizaron pruebas de correlación parcial y de regresión múltiple entre la evaporación y los elementos del tiempo atmosférico registrados los días en que se llevó a cabo el presente estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Primavera.** La evaporación del agua del suelo registrada durante la primavera, muestra valores que fluctúan entre 11.2 y 10.1 mm día<sup>-1</sup> inmediatamente después de que el suelo fue saturado; conforme transcurre el

tiempo, las tasas de evaporación se reducen paulatinamente en todos los sitios de estudio hasta llegar a valores que van de 1.7 a 1.2 mm día<sup>-1</sup> durante el séptimo día de estudio (Fig. 1). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Kimball y Jackson (1971), Jackson (1973); y Gutiérrez *et al.* (1979) quienes señalan máximas evaporaciones inmediatamente después de saturado el suelo y mínimas siete días después.



Por otro lado, los análisis estadísticos señalan que no existe diferencia ( $P < 0.05$ ) entre sitios en ninguno de los días de estudio. Las diferencias en evaporación entre días fueron mayores al inicio del estudio debido a la saturación del suelo y, por ende, de la alta disponibilidad de agua, disminuyendo dicha variación conforme se reduce la humedad. Además, la evaporación total registrada durante los siete días de estudio señala que en el área con plantaciones de 15 años de edad se perdieron en total 35.8 mm de agua, en el área de 11 años 36.1 mm, en el sitio de 6 años 37.4 mm y en el sitio sin cubierta arbórea 39.1 mm; con estos datos se observa una tendencia de mayor evaporación a menor cubierta arbórea. Efectos de este tipo fueron señalados por Gifford (1975); Dunne y Leopold (1978); Gutiérrez *et al.* (1979); y Sammis y Gay (1979).

arbórea. Efectos de este tipo fueron señalados por Gifford (1975), Dunne y Leopold (1978); Gutiérrez *et al.* (1979); y Sammis y Gay (1979).

Al llevar a cabo el análisis de correlación parcial entre diversos elementos del clima observados en la estación durante el estudio y la evaporación, los coeficientes obtenidos fueron muy bajos debido a que durante este período, en ese año, las condiciones del tiempo permanecieron estables; al realizar los análisis de regresión múltiple para cada uno de los sitios de estudio, tampoco se detectó efecto alguno (Cuadro 1). Dicha estabilidad del tiempo atmosférico pudo ser la causa de que la evaporación se redujera paulatinamente con el transcurso del tiempo y sin mayores variaciones entre sitios. Con esta observación puede asentarse que la variación de la evaporación entre sitios debe atribuirse más que todo a la disponibilidad de agua en el suelo.

Con el fin de expresar alguna relación climática en el área reforestada se llevaron a cabo los análisis de regresión usando los datos de evaporación de agua, de las cuatro áreas de estudio registrados durante la primavera, generando el siguiente modelo:  $\hat{Y} = 34.24 - 1.2X_1 - 0.16X_2$ , con una  $R^2 = 0.46$ , y donde  $\hat{Y}$  es evaporación de agua,  $X_1$  la temperatura mínima y  $X_2$  el porcentaje de humedad relativa. Esto puede explicar de alguna manera que la estabilidad del tiempo atmosférico durante este periodo refleje escasa influencia de los elementos del clima sobre la pérdida de agua en los suelos reforestados con pino alepo.

**Cuadro 1. Coeficientes de determinación parcial para las variables del tiempo atmosférico registradas en las cuatro estaciones del año.**

| Estación             | Edad de la plantación (años)                                   |      |      |         |
|----------------------|----------------------------------------------------------------|------|------|---------|
| Variable             | 6                                                              | 11   | 15   | Testigo |
| Primavera            | Ninguna variable del tiempo mostró efecto sobre la evaporación |      |      |         |
| Verano               |                                                                |      |      |         |
| Humedad relativa     | -.80                                                           | -.83 | -.87 | -.81    |
| Otoño                |                                                                |      |      |         |
| Radiación solar      | .51                                                            | .46  | .42  | .54     |
| Velocidad del viento | .20                                                            | NS   | NS   | .19     |
| Invierno             |                                                                |      |      |         |
| Temperatura máxima   | NS                                                             | NS   | .68  | .77     |
| Humedad relativa     | -.56                                                           | -.78 | NS   | NS      |

Verano. La evaporación registrada inmediatamente después de haber saturado el suelo en el verano fue relativamente menor a la registrada en primavera, ya que los valores máximos fluctuaron de 10.4 a 9.9 mm día<sup>-1</sup>, mientras que para el cuarto día las tasas de evaporación fueron entre 2.5 y 1.8 mm día<sup>-1</sup> (Fig. 2), resultados concordantes con Jackson (1973) y Gutiérrez *et al.* (1979) en estudios realizados en cuencas hidrológicas semiáridas. Por lo regular, la evaporación fue menor en la reforestación de más edad y mayor en el área sin arbolado; sin embargo, de acuerdo a los análisis estadísticos, las diferencias no fueron significativas. Durante los siete días de estudio, la evaporación de agua alcanzó un total de 36.4 mm en el área sin arbolado, 35.6 mm en el área cuyos árboles tenían seis años de plantados, 34.7 mm en aquellos suelos cubiertos con árboles de 11 años, y 32.6 mm en los de 15 años.

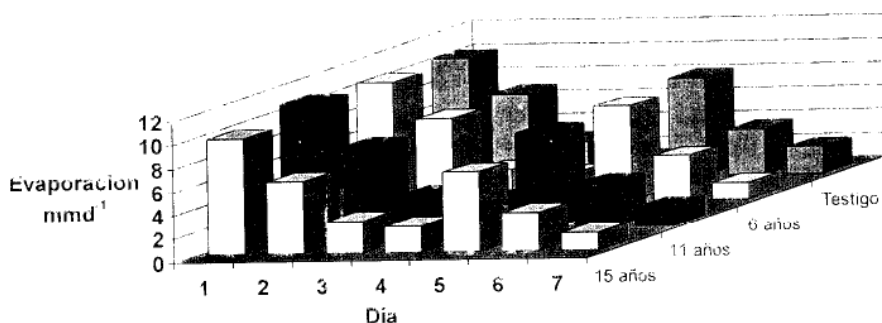


Figura 2. Evaporación del agua en suelos reforestados con pino alepo durante siete días del verano, a partir de suelos saturados.

De las observaciones climáticas, las temperaturas máximas, mínimas y medias, así como la radiación solar y la velocidad del viento tuvieron poca variación. Sin embargo, las condiciones imperantes durante los días de estudio presentaron variación en la humedad relativa, la cual fluctuó entre 52 y 82%, presentándose su valor máximo en el cuarto día. Cabe señalar que los primeros cuatro días, el cielo estuvo despejado, mientras que los últimos tres tuvieron nubosidad por la tarde, acompañada en dos ocasiones por lluvia, lo cual hizo

variar las condiciones evaporativas de la atmósfera. Al realizar los análisis de correlación y regresión mostraron el efecto de la variación de la humedad relativa; esta variable pudo explicar más del 80% de la variabilidad de la evaporación en los cuatro sitios de estudio (Cuadro 1). Además, entre la cuarta y la quinta determinación de la evaporación se presentó una lluvia de 14 mm, por lo cual, en el quinto día se registró un aumento en la medida de evaporación con respecto al día anterior debido al incremento del agua en el suelo (Fig. 2).

Los análisis de regresión con los datos de evaporación de agua de las cuatro áreas en esta estación del año permitieron derivar la ecuación  $\hat{Y}=2.1+0.8X_1+0.69X_2-0.5X_3$ , con una  $R^2=0.91$  y donde  $\hat{Y}$  representa la evaporación estimada de agua del suelo,  $X_1$  la temperatura máxima,  $X_2$  la temperatura mínima,  $X_3$  el por ciento de humedad relativa.

Otño. La evaporación media de agua en los suelos registrada durante esta estación se presenta en la Fig. 3. La evaporación aquí fluctuó de 8.4 a 8.2 mm día<sup>-1</sup> durante el primer día, reduciéndose paulatinamente durante los siete días de estudio hasta alcanzar valores de 2.1 a 1.4 mm día<sup>-1</sup>. En este período se observó que las condiciones del tiempo permanecieron muy estables, lo cual permitió que la evaporación disminuyera paulatinamente con los días, comportamiento de la evaporación señalado previamente por Dunne y Leopold (1978); y Chanzy y Buncher (1993). El sitio con 15 años de plantación presentó una pérdida de agua total por evaporación de 34.6 mm; el área de 11 años de edad presentó un total de 31.7 mm; el área de 6 años perdió 32.4 mm en los siete días y el área sin arbolado 34.5 mm.

De los datos climáticos, en los análisis de correlación parcial y regresión sólo la radiación solar y la velocidad del viento presentaron relación con la evaporación, reflejándose este efecto en el análisis de regresión múltiple (Cuadro 1), donde puede observarse que de 42 a 54% de la variación en la evaporación fue explicado por la radiación en los cuatro sitios de estudio, 19% por la velocidad del viento en el área testigo y 20% por esa velocidad en la plantación de 6 años.

De esta manera, los análisis de regresión múltiple usando todos los datos de evaporación de agua de las cuatro áreas de estudio proporcionaron el modelo siguiente:  $\hat{Y}=30.61+0.28X_1+2.77X_2+1.97X_3$ , con una  $R^2=0.83$ , donde  $\hat{Y}$  representa la evaporación estimada del agua,  $X_1$  la temperatura media del día,  $X_2$  la velocidad del viento y  $X_3$  la temperatura mínima.

Invierno. La evaporación de agua en el suelo ocurrida durante esta época fue muy baja comparada con las otras estaciones (Fig. 4); cuando el suelo estaba

totalmente saturado, la evaporación diaria fluctuó entre 6.9 y 5.6 mm mientras que en el quinto día de estudio la evaporación sólo alcanza valores de 0.6 mm. Esta reducción en pérdidas de agua por evaporación, fueron señaladas previamente por Kimball y Jackson (1971) y se deben principalmente a la falta de calor y al exceso de humedad en el ambiente, lo cual reduce el déficit de vapor de agua en la atmósfera y la evaporación en el cuerpo acuoso (Van de Griend y Owe, 1994).

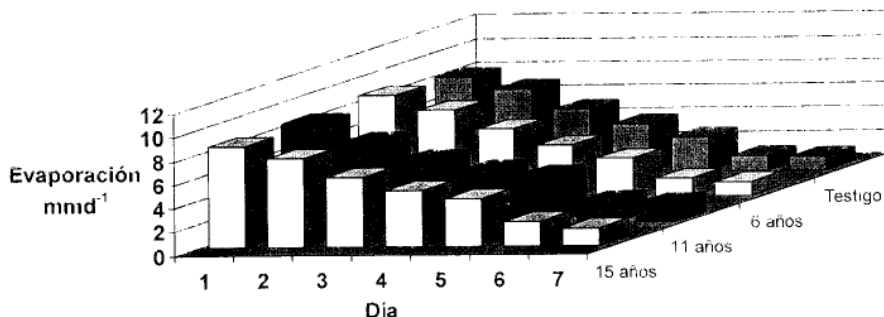


Figura 3. Evaporación del agua en suelos reforestados con pino alepo durante siete días del otoño, a partir de suelos saturados.

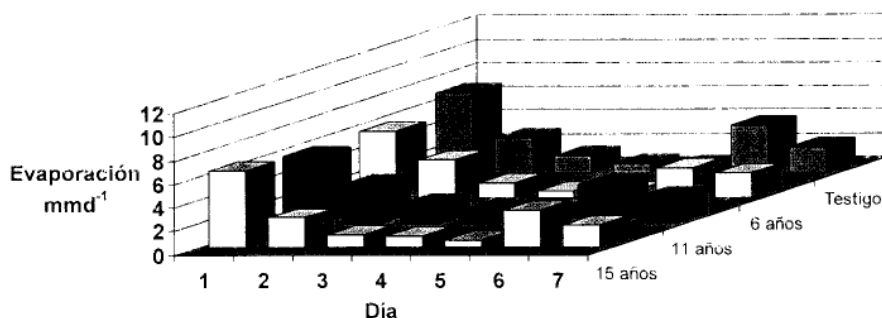


Figura 4. Evaporación del agua en suelos reforestados con pino alepo durante siete días del invierno, a partir de suelos saturados

Durante el período de estudio se tuvieron pérdidas totales de agua por evaporación de 6.6 mm en el sitio con árboles de 15 años de plantación; 17.1 mm en el de 11 años, 16.5 en el de 6 años, y 19.4 mm en el área sin arbolado.

Durante este período del año se presentaron condiciones muy variables del tiempo atmosférico lo cual incluyó la evaporación de agua en los diferentes suelos; esta influencia se reflejó en los análisis de correlación parcial y de regresión múltiple (Cuadro 1). La temperatura máxima varió desde 17°C el primer día hasta 6°C el quinto día de estudio, y la temperatura mínima fluctuó entre 12°C y 1°C en el mismo lapso de tiempo.

Por otro lado, la humedad relativa alcanzó valores desde 74% hasta 100% en el primer y quinto día respectivamente, mientras que el cielo estuvo despejado el primer día y totalmente nublado durante el quinto día. Por ello, se relacionó la temperatura máxima en 77% con la variación en la evaporación del área testigo y 68% en el área de 15 años de edad, la humedad relativa lo hizo en 56% y 78% para las áreas de 6 y 11 años, respectivamente. Debido a la ocurrencia de precipitación de 5 mm, registrado entre las quinta y sexta toma de datos, se propició un incremento en la lámina de agua perdida por evaporación en el sexto día.

Los análisis de regresión múltiple usando todos los datos de evaporación de agua de las cuatro áreas de estudio proporcionaron el siguiente modelo:  $\hat{Y} = 6.19 + 0.13X_1 - 0.07X_2$  con una  $R^2 = 0.85$ , donde  $\hat{Y}$  representa la evaporación estimada del agua,  $X_1$  la temperatura máxima y  $X_2$  el porcentaje de humedad relativa.

## CONCLUSIONES

La evaporación del agua del suelo fue de magnitud similar en áreas con plantaciones de pino alepo, cuyas edades de reforestación son menores de 15 años.

En áreas reforestadas con pino alepo la evaporación es similar a la evaporación potencial cuando el suelo está saturado, disminuyendo conforme se seca el suelo.

La evaporación en sitios reforestados con pino alepo difieren con la estación del año, como resultado de las condiciones del tiempo atmosférico imperantes en ellas.

En el área de estudio, la humedad relativa se relacionó mayormente a la evaporación en el verano; la radiación solar y la velocidad del viento explican la evaporación en el otoño; y la temperatura máxima y la humedad relativa explican la evaporación en invierno.

### LITERATURA CITADA

- Branson, F.A. 1976. Water use on rangelands. Watershed management on range and forest lands. 5th U.S.-Austr. Rangelands Panel. Boise, Idaho, USA. pp. 193-209.
- Chanzy, A., L. Buncher. 1993. Significance of soil surface moisture with respect to daily bare soil evaporation. Water Resour. Res. 29: 1113-1125.
- Dunne, T., L.B. Leopold. 1978. Water in Environmental Planning. W.F. Freeman and Company. San Francisco, CA., USA. 898 p.
- Gifford, G.F. 1975. Approximate annual water budgets of two chained pinyon-juniper sites. J. Range Manage. 27:73-74.
- Gutiérrez C., J., F. M. Smith, J. G. Medina T. 1979. Caracterización hidrológica de la cuenca San Tiburcio, Zacatecas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monogr. Tec. Cient. 5:213-327. Saltillo, Coahuila, México.
- Gutiérrez C., J., M. A. Salazar C. 1986. Impacto de la reforestación en la sierra de Zapalinamé sobre las tasas de infiltración. Agraria 2(2):286-302.
- Gutiérrez C., J., J. Dueñez A. 1988. Relación tasa de infiltración-edad de la plantación en la zona reforestada Zapalinamé. Agraria 4(2):169-180.
- Gutiérrez C., J., M. De Luna R. 1989. Infiltración y producción de sedimentos en un área reforestada con *Pinus halepensis* Mill. Agraria 5(2):178-188.
- Jackson, R. D. 1973. Diurnal changes in soil water content during drying. pp. 37-75. In: Bruce, R. R. (ed). Field Soil Water Regime. Soil Sci. Am. Special Publication No. 5.
- Jury, W. A. 1979. Water transport through soil plant and atmosphere. pp. 180-199. In: Hall, A. E., G. H. Cannel, and H. W. Lawton. (eds.). Agriculture in Semiarid Environments. Springer-Verlag. Berlin, Germany.

- Kimball, B. A., R. D. Jackson. 1971. Seasonal effects on soil drying after irrigation. Hydrology and Water Resources of Arizona and the Southwest. Proc. Of the Ariz. Sec. Amer. Water Res. And the Hydrol. Sec. Ariz. Acad. Sci. Tucson, AZ. pp. 85-89.
- Kirk, R. E. 1982. Experimental Design. 2nd Edition. Wadsworth Inc. Belmont, CA., USA. 911 p.
- Lascano, R. J., J. L. Hatfield. 1992. Spatial variability of evaporation along two transects of a bare soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 341-346.
- Mathus, M. G., L. Castañeda C. 1975. Zapalinamé, un oasis en el semidesierto de Coahuila, México. Pub. Esp. No. 13. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F.
- Morton, F. I. 1984. What are the limits on forest evaporation. J. Hydrol. 74: 373-398.
- Paruelo, J. M., M. R. Aguiar, R. A. Goluscio. 1991. Evaporation estimates in arid environments: an evaluation of some methods for the Patagonian steppe. Agric. And For. Meteor. 55: 127-132.
- Rodier, J. A. 1985. Aspects of arid zona hydrology. pp. 205-247. In: Rodda, J.C. (ed). Facets of Hydrology. Volume II. John Wiley & Sons Ltd. New York, NY.
- Sammis, T. W., L. W. Gay. 1979. Evapotranspiration from an arid zone plant community. J. Arid Environ. 2: 313-321.
- Sosebee, R. E. 1976. Hydrology: the state of the science evapotranspiration. Watershed Management on Range and Forest Lands. Proc. 5th U.S.-Aust. Rangelands Panel. Boise, Idaho, USA. pp: 95-104.
- Van de Griend, A. A., M. Owe. 1994. Bare soil surface resistance to evaporation by vapor diffusion under semiarid conditions. Water Resour. Res. 30: 181-188.
- Wight, J. R. 1971. Comparison of lysimeter and neutron scatter techniques for measuring evapotranspiration from semiarid rangelands. J. Range Manage. 24: 390-393.