

Efecto del agua y nitrógeno en alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo riego por goteo

Adán Fimbres Fontes¹

José Ramón Navarrete Miranda²

RESUMEN

En México, la alfalfa es el cultivo forrajero más importante. Durante los últimos años, la superficie nacional sembrada con esta leguminosa alcanzó alrededor de 230,000 ha, de las cuales 30,000 ha fueron cultivadas bajo condiciones de riego superficial en las zonas ganaderas productoras de leche y carne del Noroeste del país. En la región de Caborca, Sonora, actualmente se siembran alrededor de 1,015 ha de alfalfa. El agua es el factor más limitante en la producción de cualquier cultivo en la región. Esta investigación se realizó durante el año 2005 en el Sitio Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Caborca, Sonora. Los objetivos de esta investigación fueron determinar la dosis de nitrógeno y el porcentaje de la evapotranspiración de referencia (ET_o) así como el mejor índice de uso en la eficiencia del agua (UEA). Se evaluaron 9 tratamientos, el factor A con tres dosis de nitrógeno (0, 100 y 200 kg ha⁻¹), el factor B utilizando tres valores de ET_o (72%, 128% y 145% de evapotranspiración con un arreglo facto-

rial 3X3 en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Las variables medidas fueron altura de planta, peso de forraje verde y seco y lámina de agua aplicada. Los resultados mostraron que el nitrógeno aplicado no afectó el rendimiento de alfalfa en un suelo migajón arenoso. Sin embargo, se encontró diferencia significativa en la altura de la planta con dosis de 200 kg ha⁻¹ (mayor altura). La mayor eficiencia en el uso del agua (UEA) fue la de 128% ET_o con rendimiento de 23.86 ton ha⁻¹ y 190.40 cm de agua aplicada.

Palabras clave: Alfalfa, riego por goteo, agua con alta presión, evapotranspiración de referencia, eficiencia en el uso del agua.

ABSTRACT

Alfalfa is the most important forage crop in México. During the last years, 230,000 ha have grown this leguminous plant in the country and 30,000 ha have been cultivated and irrigated in the northwest area of the country. In this area, alfalfa is grown in a land dedicated to raise cattle for milk and meat production. In Caborca, Sonora, around 1,015 ha

¹ Doctor (Ph.D.) Investigador en Agua y Suelo. Maestro de asignatura "D" Tiempo indeterminado. Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Sonora URN e Investigador del Sitio Experimental Caborca, INIFAP.

² Ingeniero Agrónomo egresado de la URN, UNISON.

of alfalfa have been irrigated with extracted water from the subsoil. Therefore, water in this area is the most limited factor for the production of any crop. This research was conducted during 2005 in the Experimental Site of the National Institute of Research in Forestry, Agriculture and Cattle (INIFAP) located in Caborca, Sonora. The objectives of this research were to determine the dose of nitrogen; the percentage of reference evapotranspiration (ET_o) and the best index of water use efficiency (WUE). The treatments (9) were: Factor A with three doses of nitrogen (0, 100 y 200 kg ha⁻¹) and Factor B with 72, 128 and 145% of ET_o. These treatments were evaluated using a factorial arrangement 3x3 in a completely randomized design with three replications. The variables were: plant height, green and dry forage weight and the amount of water applied. The results showed that nitrogen applied did not affect forage yield of alfalfa that grows in a sandy loam soil. However a significant difference was found in plant height with nitrogen dose of 200 kg ha⁻¹ (highest plant height). The highest water use efficiency (WUE) was with 128% ET_o and yield of 23.86 ton ha⁻¹ and 190.40 cm of water applied.

Key words: Alfalfa, trickle irrigation, high water pressure, reference evapotranspiration, water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa es considerada como la leguminosa forrajera más valiosa (INIA, 1985), distinguiéndose de otras especies por su elevado contenido de

proteína y vitamina A, por su palatabilidad tanto en verde como henificada, y por su facilidad en el empaque, lo que permite almacenarla para épocas críticas en las que disminuye la disponibilidad de forrajes. Por lo anterior, en México, la alfalfa es el cultivo forrajero por excelencia. Durante los últimos cinco años, la superficie sembrada con esta leguminosa en el país fue de aproximadamente 230,000 ha, de las cuales 30,000 ha fueron cultivadas en las zonas ganaderas productoras de leche y carne del Noroeste del país bajo condiciones de riego (Zapata y col., 1995). La superficie dedicada a la alfalfa en la zona cultivable de Caborca es de alrededor de 1,015 ha.

Los tejidos de las plantas forrajeras contienen grandes cantidades de agua, generalmente del 50 al 90%. Para producir una tonelada de alfalfa seca, en un corte, la planta consume de 500 a 750 kg de agua. La mayor parte de este gran volumen de agua se evapora desde la superficie de las plantas y desde la superficie del suelo. Las vegetaciones densas de las plantas forrajeras en crecimiento activo que estén interceptando la energía radiante disponible y dispongan de agua en abundancia, al alcance de su sistema radicular, darán lugar a una evaporación máxima, que es la evapotranspiración potencial (Hughes y col., 1976). Sterrett y col., (1990) probaron diferentes tratamientos y sistemas de riego presurizado sobre el rendimiento de espárrago y concluyeron que, de todos los métodos de riego el de cinta enterrada resultó con el mayor incremento en la producción del cultivo en comparación con el testigo (humedad residual).

En el medio ambiente, no existe la transpiración como un fenómeno aislado sino que ocurre al mismo tiempo que el agua del suelo se pierde por evaporación; a la suma de las cantidades de agua perdida por ambos conceptos se le denomina evapotranspiración. Existen diferentes métodos para calcular la evapotranspiración, de los cuales se pueden derivar algunos métodos directos como: lísimetros, método gravimétrico, etc., y métodos indirectos como: tanque evaporímetro, Blanney y Criddle, Penman-Monteith (Vega, 1982; Cuenca, 1989).

De los diversos métodos propuestos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o), el de Penman modificado proporciona resultados óptimos en la exactitud de la predicción para periodos de tiempo cortos y es el más exigente en cuanto a los requerimientos de datos climáticos (Doorembos y Pruitt, 1984). Para determinar la evapotranspiración real del cultivo (ET_r) se utiliza la fórmula siguiente: $ET_r = ET_o * K_c$, en donde, K_c = Coeficiente de cultivo, que depende de la etapa fisiológica del cultivo, ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día), calculada por medio de la fórmula de Penman-Monteith y con datos proporcionados por una estación meteo-

rológica automática y con un programa de computador (Anzures y col., 1997).

Talkowski (1999) indica que por más de 10 años se han producido hortalizas en México, las cuales han sido irrigadas con riego por goteo, la pregunta siempre ha sido ¿cómo transferir el éxito obtenido a otros cultivos como son los granos?, en donde el rendimiento esta más basado en grandes extensiones de tierra y no en grandes producciones en menos extensión de tierra. La respuesta a esto es que el riego por goteo da la posibilidad de suplir la cantidad de agua apropiada manejada a través de un tanque evaporímetro tipo A y con la adecuada fertilización.

*Los riegos se aplicaron de forma acumulada una vez por semana, dos veces por semana, tres veces por semana y a diario dependiendo de la estación y de la evapotranspiración de referencia calculada por una estación agroclimatológica automática localizada en la región de Los Sapos. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, peso del forraje verde, peso del forraje seco y lámina de agua aplicada ($L = K_c * ET_o$).*

Fimbres (2001) en un trabajo de espárrago bajo riego por cinta y superficial concluyó que el mejor método para regar a este cultivo es con manguera enterrada. Rivera y Estrada (2002) indican que utilizando riego por goteo subterráneo en comparación con riego de gravedad, se logran incrementos de 28.3% en el rendimiento de materia seca y un aumento en la producción de semilla del 69 al 74%. Por otro lado, el tratamiento de riego del 64% ET presentó la mayor producción de materia seca (23.05 t ha⁻¹) y forraje verde

de 124.80 t ha⁻¹ con una lámina de agua aplicada de 133.05 cm.

Godoy y col., (2003) concluyeron que el volumen de agua aplicado para alfalfa en los tratamientos con riego por goteo subsuperficial fue de 15 a 49% menor que el aplicado con el riego por inundación y con el riego por goteo las plantas alcanzaron la mejor condición hídrica, lo que se reflejó en un incremento de 30% en la tasa de acumulación de materia seca entre cortes y de 14 a 25.4% de incremento de materia seca producida entre cortes. Meza y Navejas (2002) en un trabajo de alfalfa en el valle de Santo Domingo, B. C., indican que la alfalfa con riego por goteo puede permitir un abatimiento de hasta de 20% de la humedad aprovechable. Por otro lado, indican que la frecuencia del riego se puede determinar con la estimación de la evapotranspiración o consumo de agua de la alfalfa los meses de mayor demanda de agua, que ellos encontraron fueron: junio, julio y agosto. La aplicación de agua total durante el ciclo fue de 1538.60 l m⁻².

En la región agrícola de Caborca, desde 1970 se iniciaron las mediciones al nivel estático como una forma de evaluar el abatimiento del manto acuífero. Dicho abatimiento acumulado durante 25 años se ha encontrado que es mayor de 20 m (Uranda, 2002), lo cual indica que hay sobreexplotación del acuífero. Debido a que el agua juega un papel muy importante en la producción de alfalfa, los objetivos de esta investigación fueron

el determinar la dosis de nitrógeno y el porcentaje de la evapotranspiración de referencia (ET_o) así como el mejor índice de uso en la eficiencia del agua (UEA).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó durante el ciclo del 2005 en terrenos del Sitio Experimental Caborca, INIFAP ubicado en el Km 22 carretera Caborca-Desemboque, Caborca, Sonora, México (30°42'55" de latitud Norte y 112°21'28" longitud Oeste, a 200 metros sobre el nivel del mar). Las temperaturas máximas se presentan en los meses de junio a septiembre con temperaturas mayores de 40 °C. La evaporación promedio registrada en la región oscila de 2,400 a 2,700 mm (INIFAP 1985). El suelo en donde se realizó el experimento fue de textura migajón arenoso (60 cm), con capacidad de campo de 10.50% y 12% de humedad en base a peso de suelo seco y punto de marchitez permanente de 5.36% y 6% para profundidades de 30 y 60 cm respectivamente. En el cultivo de alfalfa variedad Genex 9890, se utilizó un arreglo factorial 3x3 con diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos aplicados en el Factor A consistieron en aplicaciones de nitrógeno de 0, 100 y 200 kg. ha⁻¹ (no se determinó N en análisis foliares); los coeficientes (K_c) aplicados durante todo el ciclo de la alfalfa fueron: 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7 para el mes de enero y febrero, marzo, abril, mayo hasta agosto, septiembre, octubre, noviembre y

diciembre respectivamente. Los del Factor B resultaron de la combinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada por el método de Penman-Monteith en una estación agroclimatológica automática (72%, 128% y 145% ET_o). La siembra ésta se realizó el 28 de Octubre de 2002 en forma manual con densidad de siembra de 20 kg ha⁻¹ de semilla con una distancia entre líneas regantes de 1 metro y distancia entre goteros de 30 cm. Adicionalmente, se aplicaron de forma manual 100 kg ha⁻¹ de fósforo como fertilizante a todos los tratamientos. El equipo de riego presurizado usado en el experimento constó de la fuente de abastecimiento (pila), motor de 25 HP, con presión de salida de 200 kPa y en las líneas regantes de 60 kPa. Se usaron tres tipos de cinta tipo turbulenta con un gasto de 0.566 LPH y del tipo 8 mil, 1.02 LPH tipo 10 mil y 1.13 LPH tipo 10 mil en la pared, que correspondían a 72, 128 y 145% de ET_o respectivamente. Los riegos se aplicaron de forma acumulada una vez por semana, dos veces por semana, tres veces por semana y a diario dependiendo de la estación y de la evapotranspiración de referencia calculada por una estación agroclimatológica automática localizada en la región de Los Sapos. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, peso del forraje verde, peso del forraje seco y lámina de agua aplicada ($L = K_c \cdot ET_o$). Esta última variable fue un dato indirecto al calcular el tiempo de riego y se usó la ecuación de Mendoza (2003) donde $T = K_c \cdot ET_o \cdot A \cdot Q^{-1} \cdot 1000$. Donde K_c el coeficiente de cultivo, ET_o (m), A = área (m²), Q = gasto del gotero (Lhr⁻¹) y T = tiempo (hr).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se presentan los valores de la altura de planta y se observa que a medida que se incrementa la cantidad de agua, también, se incrementa la altura de planta, sobresaliendo los tratamientos de 128% y 145% ET_o, los cuales fueron estadísticamente iguales. El tratamiento cuyas plantas resultaron en menor altura fue 72% ET_o con lámina de agua aplicada de 106.62 cm. Cabe mencionar que las láminas de agua fueron datos indirectos de la aplicación de los tratamientos, por lo que no se les analizó estadísticamente. Con respecto a la lámina de agua aplicada bajo riego por cinta en un lote comercial en dos variedades de alfalfa, Genex 9790 y Genex 9890, se encontró que fue de 177 cm y 156 cm respectivamente (Fimbres y Col., 2006).

En la Tabla II es posible observar que hubo diferencias significativas entre tratamientos, tanto en forraje verde como en seco. El tratamiento de 72% ET_o fue el de menor rendimiento en ambas variables. Los tratamientos de 128% y 145% ET_o

Tabla I. Altura de planta y lámina de agua en alfalfa bajo riego por cinta.

ET _o (%)	Altura (cm)	Lámina (cm)
72	37.34b	106.62
128	71.27a	190.40
145	69.99a	215.15

Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

fueron estadísticamente iguales en forraje, la única diferencia entre ambos fue con respecto al uso del agua, ya que 128% ETo obtuvo la mayor eficiencia en el uso del agua (UEA) con un valor de 1.25 kg m^{-3} . Esto último coincide con Fimbres y Estrada (2004), que encontraron que el tratamiento de 128% ETo obtuvo el mayor índice de UEA. En la Tabla III, se puede observar que solo hubo

Tabla II. Eficiencia en el uso del agua, peso del forraje verde y seco en alfalfa bajo riego por cinta.

ETo (%)	Forraje verde (ton ha ⁻¹)	Forraje seco (ton ha ⁻¹)	Eficiencia (kg m ⁻³)
72	57.02b	10.28b	0.96
128	139.49a	23.86a	1.25
145	134.49a	23.01a	1.07

Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

Tabla III. Altura de planta, forraje seco y verde en alfalfa bajo riego por cinta con nitrógeno

N (kg ha ⁻¹)	Altura (cm)	Forraje verde (ton ha ⁻¹)	Forraje seco (ton ha ⁻¹)
0	59.51b	106.09a	18.42a
100	57.96b	111.65a	18.95a
200	61.14a	113.00a	19.78a

Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

diferencia significativa entre tratamientos con respecto a la altura de planta ya que tanto rendimiento de forraje verde y seco fueron estadísticamente iguales. El tratamiento de 200 kg ha^{-1} de nitrógeno fue el de mayor altura.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el nitrógeno aplicado no afectó el rendimiento de alfalfa en un suelo migajón arenoso. Sin embargo, se encontró diferencia significativa en altura en donde la dosis de 200 kg ha^{-1} fue la de mayor altura de planta. La mayor eficiencia en el uso del agua fue la de 128% ETo con rendimiento de 23.86 t ha^{-1} y 190.40 cm de agua aplicada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Raymundo Miranda López, José Jesús Lizárraga Navarrete, Felipe Palacios Hernández y Juan Manuel Torres Aceves por su valiosa ayuda en la cosecha y toma de datos en campo.

REFERENCIAS

- Anzures, B.R., W. Ojeda, B., y E. Peña, P. 1997. La calendarización del riego en cítricos (C. limón) usando estaciones meteorológicas. Memorias del VII Congreso Nacional de Irrigación de la ANEI, A. C. Hermosillo, Son. pp. (3)51-55.

- Cuenca, H.R. 1989. Irrigation System Design. An Engineering Approach. Prentice-Hall inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632. pp. 115-188.
- Doorenbos, J., and W.O. Pruitt. 1984. Crop Water Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Irrigation and Drainage Paper 24, Revised, Rome, Italy. pp. 15-29.
- Fimbres, F.A. 2001. Optimización del riego con cinta superficial y enterrada en espárrago. *Terra*. 19: 191-195.
- Fimbres, F.A., y F. Estrada, A. 2004. Comparación de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo riego por goteo. *Biotecnia*. VI (3): 33-39.
- Fimbres, F. A., J. A. C. Navarro, A., A. López, C., y R. A. Juárez, G. 2006. Consumo de agua en dos variedades de alfalfa bajo riego por cinta en un lote comercial. *Biotecnia*. VIII (2): 49-54.
- Godoy, A. C., F. Lucero, T., C. A. Torres, E., J. A. Samaniego, G., e I. Reyes, J. 2003. Uso del agua, relaciones hídricas y producción en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. *Agric. Téc. Méx.* 29 (2):113-123.
- Hughes, H. D., M. E. Heath., y D. S. Metcalfe. 1976. Forrajes. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. pp. 152-159.
- INIFAP. 1985. Guía para la asistencia técnica agrícola. Area de influencia del Campo Experimental Región de Caborca. Caborca, Sonora, México. p. 10.
- INIA. 1985. Diagrama de las principales especies vegetales con las cuales se efectúan investigaciones agrícolas en México. SARH. INIA. México, D. F. 86 p.
- Meza, C. J. A., y J. Navejas, J. 2002. Tecnología para producir alfalfa con riego por goteo. INIFAP-CESTOD. Publicación Técnica No. 1. Cd. Constitución, B. C. S. México. pp. 16-22.
- Mendoza, R. J. L. 2003. Manejo de cultivos para grano mediante riego por goteo. INIFAP. CIRNO. CEVF. Folleto Técnico No. 18. p. 21.
- Rivera, G. M., y A. Estrada. 2002. Producción de alfalfa mediante riego por goteo subterráneo. Resúmenes en CD del XXXI Congreso de la SMCS. Torreón, Coahuila.
- Sterrett, S. B., B. B. Ross., y C. P. Savage Jr. 1990. Establishment and yield of asparagus as influenced by planting and irrigation method. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115: 29-33.
- Talkowski, C. 1999. Grain Fertigation. International Congress of new Agricultural Technologies. Puerto Vallarta, Jalisco, México. pp. 118-131.
- Uranda, A. A. 2002. Optimización del agua en espárrago (*Asparagus officinalis* L.) bajo riego presurizado en Caborca, Sonora. Tesis. Universidad de Sonora. Caborca, Sonora, México. p. 1.
- Vega, G. J. D. 1982. Uso y Manejo del Agua. Departamento de Suelos e Ingeniería Agrícola del ITESM. Monterrey, N. L. México. pp. 181-195.

Zapata, M. M. A., G. D. Ibarra, D., R. Cabanillas, C., G. Lizárraga, del C., y F. R. Burboa, C. 1995. Producción y calidad del forraje de diferentes variedades de alfalfa en la zona central de Sonora. PATROCIPES. Memoria Técnica No. 9. pp. 7-12.