

Producción de alfalfa (*Medicago Sativa* L.) cultivada con riego sub-superficial y diferentes niveles de fósforo*

Alfalfa production (*Medicago Sativa* L.) under sub-surface irrigation and different levels of phosphorus

José Alfredo Montemayor Trejo^{1§}, José Luis Woo Reza², Juan Munguía López³, Abel Román López⁴, Miguel Ángel Segura Castruita¹, Pablo Yescas Coronado¹ y Ernesto Frías Ramírez¹

¹Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro, km 7.5. Torreón, Coahuila, México. Tel. 01 871 7507198. (dmilys@hotmail.com), (pyescas@hotmail.com), (jfriasra@hotmail.com). ²Facultad de Agronomía Universidad Autónoma de San Luis Potosí, km 14.5. Carretera San Luis Potosí-Matheuá Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez. C. P. 78321. San Luis Potosí, SLP. México. Tel. 01 444 8524056. (jwoo-reza@hotmail.com). ³Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna 140 Saltillo, Coahuila, México. Tel. 01 844 4389858. (munguia@ciqa.mx). ⁴CENID-RASPA INIFAP, km 6.5 margen derecha Canal Sacramento Gómez Palacio, Durango. México. Tel. 01 871 1590104 (rivera.miguel@inifap.gob.mx), (roman.abel@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: montemayorja@hotmail.com.

Resumen

La sobre explotación de las aguas subterráneas en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México, hace indispensable la incorporación de técnicas de ferti-irrigación para mejorar la eficiencia en el agua. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de materia seca (MS) y la eficiencia y consumo del agua en el cultivo de alfalfa con cuatro dosis de fósforo (P) inyectados a través del sistema de riego sub superficial. La investigación se realizó durante los años 2007 y 2008 en la empresa Vermiorganic, S. P. R. de R. L., del municipio de Torreón, Coahuila. El sistema de riego incluyó cintas de goteo separadas a 1.5 m e instaladas a 15 cm de profundidad. Se sembró la variedad Excelente HQ Plus a una densidad de 40 kg ha⁻¹. Los tratamientos evaluados fueron cuatro dosis de inyección de fósforo aplicados después de cada corte: 0, 4, 8 y 12 kg P ha⁻¹. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y la parcela experimental consistió de una superficie de 120 m². Se realizaron seis cortes para evaluar el rendimiento de materia seca, lámina de riego aplicada, lámina evaporada de un tanque tipo "A" y la eficiencia en el uso del agua. La aplicación de 12 kg de P ha⁻¹ incrementó 26% la producción de materia seca

Abstract

The over-exploitation of the groundwater in the Laguna region of Coahuila and Durango, Mexico makes it essential to incorporate techniques of ferti-irrigation to improve water efficiency. The objective of this research was to evaluate the production of dry matter (DM) and, the water efficiency and water consumption in alfalfa, with four doses of phosphorus (P) injected through the sub-surface irrigation system. The research was conducted during 2007 and 2008 in the company Vermiorganic, S. P. R de R. L, municipality of Torreón, Coahuila. The irrigation system included separated drip tapes at 1.5 m installed at 15 cm depth. The variety Excelente HQ Plus was planted at a density of 40 kg ha⁻¹. The evaluated treatments were four levels of phosphorus injections applied after each cut: 0, 4, 8 and 12 kg P ha⁻¹. A randomized complete block design was used with four replications and the experimental plot consisted of an area of 120 m². Six cuts were made to evaluate the dry matter yield, the irrigation applied, evaporated water from a tank type 'A' and, the efficiency in water-use. The application of 12 kg P ha⁻¹ increased 26% of dry matter production compared with the control without application. The highest efficiency

* Recibido: noviembre de 2011
Aceptado: junio de 2012

con respecto al testigo sin aplicación. La mayor eficiencia en el uso del agua se obtuvo en los cortes realizados a los 271 (2.3 kg MS m⁻³ de agua) y 312 días después de siembra (2.63 kg MS m⁻³ de agua). El consumo promedio de agua fue de 0.63 cm día⁻¹ y la evaporación de 0.84 cm día⁻¹.

Palabras clave: alfalfa, fertilización, riego por goteo.

Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), es una de las leguminosas más utilizadas para la alimentación de ganado bovino en las regiones áridas y semiáridas de México (Mendoza *et al.*, 2010). El área que se cultiva con alfalfa en México, es de 156 141 hectáreas y se obtiene un rendimiento promedio de 19.8 t ha⁻¹ año⁻¹ de forraje henificado (CONAGUA, 2010). Durante el ciclo agrícola 2009, se sembró una superficie de 38 501 ha con alfalfa en la Comarca Lagunera (El Siglo de Torreón, 2011). Esta región se localiza entre los estados de Coahuila y Durango y está incluida en el Distrito de Riego (DDR) 017. En este distrito se acostumbra a irrigar la alfalfa con agua del subsuelo, mediante la aplicación de dos metros de lámina de agua en un sistema de riego por gravedad (CONAGUA, 2010). Este sistema presenta baja eficiencia en la aplicación del agua (Cruz y Levine, 1998). Lo anterior, ha provocado la necesidad de incorporar otro tipo de tecnologías para el manejo y aprovechamiento del agua, así como para la aplicación de agroquímicos en la producción de cultivos (Godoy *et al.*, 2003).

El empleo de cintas de riego con emisores sub-superficiales, ha disminuido el volumen de agua utilizado en la producción agrícola hasta 40% y se ha incrementado significativamente el rendimiento de los cultivos (Camp, 1998; Camp *et al.*, 2000). En el sistema de riego sub-superficial la aplicación del agua está en función de las necesidades de evapotranspiración diaria del cultivo y se pueden evitar déficit hídricos en la planta, debido a la aplicación constante de bajos volúmenes de agua (Barth, 1995). Se ha establecido que la satisfacción de la demanda diaria de agua del cultivo induce una mayor producción de MS, debido a que existe una relación lineal entre la producción de biomasa y la utilización del agua (Shafer *et al.*, 1988). El riego sub-superficial (RGS) ha sido probado con efectividad en la producción de cultivos como alfalfa (Bui y Osgood, 1995; Colaizzi *et al.*, 2004; Kazumba *et al.*, 2010). Este sistema de riego se utilizó en la producción de alfalfa y se obtuvieron rendimientos de 24.3 y 23.1 t ha⁻¹

water-use was obtained in the cuts made at 271 (2.3 kg DM m⁻³ of water) and 312 days after planting (2.63 kg DM m⁻³ of water). The average water consumption was 0.63 cm day⁻¹ and the evaporation of 0.84 cm day⁻¹.

Key words: alfalfa, drip irrigation, fertilizer.

Introduction

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is one of the most used legumes for feeding cattle in arid and semiarid regions of Mexico (Mendoza *et al.*, 2010). The area cultivated with alfalfa in Mexico is 156 141 hectares and obtained an average yield of 19.8 t ha⁻¹ year⁻¹ of forage (CNA, 2010). During the crop season in 2009, an area of 38 501 ha was planted with alfalfa in the Laguna District (El Siglo de Torreón, 2011). This region is located between the States of Coahuila and Durango and is included in the Irrigation District (DDR) 017. This district is used to irrigate alfalfa with groundwater by applying two meters of water in a gravity irrigation system (CNA, 2010). This system has low efficiency in water application (Cross and Levine, 1998). This has led to the need to incorporate other technologies for the management and use of water, and for pesticide application in crop production (Godoy *et al.*, 2003).

The use of irrigation tapes with sub-surface issuers has decreased the volume of water used in agricultural production up to 40% and significantly increased crop yields (Camp, 1998; Camp *et al.*, 2000). In the system of sub-surface irrigation, water application is based on the needs of daily evapotranspiration and, crop water deficit can be avoided on the ground, due to the constant application of low volumes of water (Barth, 1995). It has been established to the satisfaction of the crop, water increases production of DM, because there is a linear relationship between biomass production and water use (Shafer *et al.*, 1988). The sub-surface irrigation (SDI) has been proven effective in the production of crops such as alfalfa (Bui and Osgood, 1995; Colaizzi *et al.*, 2004; Kazumba *et al.*, 2010). This irrigation system was used in the production of alfalfa and obtained yields of 24.3 and 23.1 t ha⁻¹ year⁻¹ in two consecutive years (Kazumba *et al.*, 2010). The alfalfa forage production is related to the amount of nutrients available for growth of this legume. It has been shown that alfalfa extracts large amounts of soil nutrients, that must be replaced to prevent its deficiency

año⁻¹ en dos años consecutivos (Kazumba *et al.*, 2010). La producción de forraje en alfalfa está relacionado con la cantidad de nutrientes disponibles durante el crecimiento de esta leguminosa. Se ha demostrado que la alfalfa extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, mismos que deben reponerse para evitar que su deficiencia restrinja el potencial de crecimiento de las plantas entre los cortes de forraje (Schulze y Drevon, 2005; Abu-Qamar *et al.*, 2006).

El fósforo (P) es uno de los nutrientes que influyen de manera importante en el crecimiento de la alfalfa, debido a su requerimiento en diferentes funciones bioquímicas de la planta y su deficiencia reduce la cantidad y calidad del forraje (Picone *et al.*, 2003; Mikkelsen, 2004). La alfalfa muestra respuesta significativa al incremento en las dosis de aplicación de P (Berrada y Westfall, 2005). Este nutriente se incorpora al suelo en una sola aplicación al inicio del ciclo, independientemente del sistema de riego que se utilice y el número de cortes de forraje realizados en alfalfa (Karagić *et al.*, 2008).

Existe escasez de conocimiento de la respuesta que tiene la alfalfa al incremento en la aplicación de P en forma fraccionada, después de cada corte a través de RGS. Se ha establecido la posibilidad que el rendimiento de forraje en alfalfa se incremente mediante la aplicación de fósforo por RGS después de cada corte. El objetivo de este trabajo fue establecer la relación que existe entre el rendimiento de forraje de la alfalfa, eficiencia en el uso del agua y la aplicación de fósforo después de cada corte mediante un sistema de riego por goteo sub superficial.

Materiales y métodos

La Comarca Lagunera comprende parte de los estados de Durango y Coahuila, México, se encuentra entre las latitudes 24° 59' y 26° 53' latitud norte y longitudes 101° 41' y 104° 61' longitud oeste y tiene una altitud media de 1 170 m. El clima de la región es clasificado como BW (h') hw (e) (García, 1988) que corresponde al tipo seco desértico con un régimen de lluvias en verano y variabilidad extremosa de la temperatura. La precipitación promedio anual es de 250 mm, concentrada en los meses de junio a septiembre. Esta precipitación contrasta con el promedio de evaporación anual de 2 400 mm (García, 1988). El trabajo se realizó en un suelo franco-arcilloso, en el lote experimental se colectaron cinco sub-muestras de suelo (dos kilogramos, aproximadamente) de la capa superficial (0-30 cm).

that restricts the potential for the plant growth between cuttings (Schulze and Drevon, 2005; Abu-Qamar *et al.*, 2006).

Phosphorus (P) is one of the nutrients that have a major influence on the growth of alfalfa because of its need in different biochemical functions of the plant and, its deficiency reduces the amount and quality of forage (Picone *et al.*, 2003; Mikkelsen, 2004). Alfalfa shows significant response to increased application rates of P (Berrada and Westfall, 2005). This nutrient is added to the soil in a single application at the beginning of the cycle, regardless of the irrigation system used and the number of cuts made in alfalfa forage (Karagić *et al.*, 2008).

There is scarcity of knowledge on the response that has alfalfa when increasing P, application in installments after each cut through RGS. It has been established the possibility that, the forage yield in alfalfa is increased by applying phosphorus after each cut. The aim of this study was to establish the relationship between forage yield of alfalfa, efficient water use and application of phosphorus after each cut by a system of sub-surface drip irrigation.

Materials and methods

The Laguna region comprises the States of Durango and Coahuila, Mexico, located between latitudes 24° 59' and 26° 53' north and longitude 101° 41' and 104° 61' west longitude and has an average elevation of 1 170 m. The climate of the region is classified as BW(h') hw (e) (García, 1988) corresponding to the type with a dry desert in summer rainfall and variability of extremes of temperature. The average annual rainfall is 250 mm, concentrated in the months June to September. This precipitation contrasts with the average annual evaporation of 2 400 mm (García, 1988). The work was performed in a clay loam soil in the experimental plot were five sub-samples of soil collected (two pounds or so) of the surface layer (0-30 cm).

These samples were dried at room temperature in the shade, subsequently mixed to obtain a composite sample. Units of this sample were selected randomly, while the rest of the soil was crushed and sieved in a 2 mm sieve for physical and chemical analyzes in the laboratory (Table 1). Field capacity (CC), permanent wilting point (PMP) and bulk

Estas muestras se secaron a temperatura ambiente y a la sombra, posteriormente se mezclaron para obtener una muestra compuesta. Agregados de esta muestra fueron seleccionados aleatoriamente, mientras que el resto del suelo se molió y tamizó en una malla de 2 mm para su análisis físicos y químicos en laboratorio (Cuadro 1). La capacidad de campo (CC), punto de marchitamiento permanente (PMP) y la densidad aparente (Da) fueron determinados por el método de la olla de presión y parafina respectivamente; aparte se determinó el fósforo disponible para utilizarlo al momento de proponer las dosis de aplicación. El sistema de riego se instaló en una superficie de 0.75 ha. Este sistema constó de cinta de riego con espesor calibre 15 mil (0.375 mm), separaciones entre ellas de 1.5 m a una profundidad de 15 cm con goteros espaciados a 30 cm y un gasto de 2.5 litros por hora por metro lineal ($Lh^{-1} \cdot m$).

density (Da) were determined by the method of the pressure cooker and paraffin respectively, besides the available phosphorus was determined to use when proposing the dose application. The irrigation system was installed in an area of 0.75 ha. This system consisted of irrigation tape with a thickness gauge of 15 mil (0.375 mm), separations between them of 1.5 m at a depth of 15 cm with emitters spaced 30 cm and a consumption of 2.5 liters per hour per linear meter ($Lh^{-1} \cdot m$).

In the main pipe a volumetric meter was installed and a venturi fertilizer injector. The variety used in the planting was Excelente HQ Plus, with a density of 40 kg ha⁻¹ of pelleted seed. Subsequently, gravity irrigation was applied to achieve germination. The treatments were determined in

Cuadro 1. Características de humedad a capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y niveles iniciales de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo en el lote experimental.

Table 1. Characteristics of moisture at field capacity, wilting point, bulk density and initial levels of nitrogen, phosphorus and potassium from the soil in the test group.

C.C (cm ³ cm ⁻³)	P.M.P (cm ³ cm ⁻³)	Da (gr cm ⁻³)	N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
0.28	0.17	1.4	63.9	14.3	1045

En la tubería principal se instaló un medidor volumétrico y un inyector de fertilizante tipo venturi. La variedad que se utilizó en la siembra fue la Excelente HQ Plus, con una densidad de siembra de 40 kg ha⁻¹ de semilla peletizada. Posteriormente, un riego por gravedad se aplicó para lograr la germinación de las semillas de alfalfa. Los tratamientos evaluados fueron determinados en un arreglo factorial A x B, donde el factor A consistió de la dosis de fósforo con cuatro niveles (0, 4, 8 y 12 kg ha⁻¹); agregada al suelo en el agua de riego después de cada corte.

El factor B fue la fecha de corte, integrada por seis cortes (los cuatro primeros se realizaron cada cuatro semanas y los dos últimos cada seis semanas). Las unidades experimentales fueron de seis metros de ancho por veinte metros de longitud, distribuidas en un diseño de bloques al azar. Las variables a evaluar dentro de cada unidad fueron la lámina de riego aplicada con el RGS y el rendimiento de materia seca por corte y anual. Las láminas y tiempos de riego para el sistema de RGS se obtuvo con la ecuación de (Boswell, 1990) modificada al sistema métrico decimal por (Montemayor *et al.*, 2010) esta se expresa como: $T_r = [(S * E_c) / (Q * E_a)]$ donde: T_r = tiempo de riego en h; S = separación de cintas en m; E_c = evapotranspiración del cultivo en m día⁻¹; Q = gasto de la cinta por metro lineal en m³ h⁻¹ y E_a = eficiencia de aplicación.

a factorial arrangement A x B, where the factor A consisted of four doses of phosphorus levels (0, 4, 8 and 12 kg ha⁻¹), added to the soil in irrigation water after each cut.

The factor B was the cutoff date, consisting of six cuts (the first four were done every four weeks and the last two every six weeks). The experimental units were six feet wide by twenty feet long, distributed in a randomized block design. The variables assessed within each unit were the irrigation applied to the RGS and the dry matter yield and annual cut. The slides and run times for the RGS system was obtained with equation of Boswell (1990), modified by the metric system by Montemayor *et al.* (2010) expressed as: $T_r = [(S * E_c) / (Q * E_a)]$ where: T_r = irrigation time in hours, S = separation of ribbons in meters, E_c = crop evapotranspiration in m day⁻¹, Q = flow of the tape per meter in m³ h⁻¹ and E_a = application efficiency.

The crop evapotranspiration was estimated with the evaporation of a tank type 'A' multiplied by a coefficient of 0.75 (Doorenbos and Pruitt, 1974; Smajstrla Locascio, 1995). Harvesting was done manually, started on April 18th, 2008. Within each experimental unit was collected in a random sample of forage of one square meter, the weight of forage dry matter was made. In order to obtain the percent dry

La evapotranspiración del cultivo fue estimada con la evaporación de un tanque tipo “A” multiplicada por un coeficiente de 0.75 (Doorenbos y Pruitt, 1974; Locascio y Smajstrla, 1995). La cosecha se realizó en forma manual y se inició el 18 de abril de 2008. Dentro de cada unidad experimental se colectó en forma aleatoria una muestra de forraje de un metro cuadrado, el peso de forraje verde fue convertido a materia seca. Para obtener el porcentaje de materia seca en cada corte, se tomó una muestra en verde y se secó en estufa de aire forzado marca Binder modelo BD a 60 °C, por un periodo de 72 h.

El análisis de varianza fue realizado para cada corte, así como para la producción total de biomasa de los seis cortes. El peso seco por corte, se acumuló con respecto a los días transcurridos entre cada corte, posteriormente se utilizó el método de regresión lineal simple y se correlacionaron los días después de siembra (DDS) *versus* materia seca acumulada. El modelo se expresa como: $Y_{ij} = \beta_1 X_i + \beta_0 + e_{ij}$ donde Y_j = materia seca kg ha⁻¹; X_i = días después de siembra; β_1 = pendiente de la recta (kg día⁻¹); β_0 = intercepto en el origen (kg) y e_{ij} = errores del modelo con media cero y varianza uno. Para diferenciar los modelos estadísticamente se compararon los parámetros β_1 pendiente de la recta o producción diaria mediante una prueba de Student “t” ($p=0.05$).

El mismo método fue utilizado para estimar el consumo promedio diario de agua por el cultivo y la evaporación promedio diaria, al correlacionar los días después de siembra *versus* lámina de agua aplicada y lámina evaporada. Por último, la eficiencia del uso del agua fue calculada para cada uno de los tratamientos, para ello se utilizaron los resultados de materia seca y el volumen total de agua aplicado.

Resultados y discusión

Rendimiento de materia seca de forraje

En el Cuadro 2, se muestran los rendimientos de materia seca para los seis cortes realizados, en el primer corte a los 144 DDS los rendimientos no difirieron estadísticamente entre tratamientos, lo cual nos indica que el experimento es homogéneo en cuanto a la producción de materia seca y por consiguiente a las condiciones iniciales de la fertilidad del suelo, dado que la aplicación de fertilizantes se inició a los 130 DDS, catorce días antes del primer corte. Sin embargo, el mayor rendimiento de 3 854 kg de MS por ha⁻¹ fue en el

matter in each cut, a sample was taken in green and dried in a forced air oven to mark Binder BD 60 °C for a period of 72 h. The analysis of variance was performed for each cut, and for total biomass production of the six cuts. The dry weight per cutting, accumulated over the days between each cut, then used the simple linear regression method and correlated the days after planting (DAP) *versus* cumulative dry matter. The model is expressed as: $Y_{ij} = \beta_1 X_i + \beta_0 + e_{ij}$ where Y_j = kg dry matter ha⁻¹, X_i = days after planting, β_1 = slope of the line (kg day⁻¹), β_0 = intercept at the origin (kg) and e_{ij} = error of the model with zero mean and unit variance. In order to differentiate the models statistically the parameters β_1 slope of the line or daily production by a Student test ‘t’ ($p=0.05$) were compared.

The same method was used to estimate the average daily consumption of water by the crop and the average daily evaporation, by correlating *versus* days after planting depth of applied water and evaporated. Finally, the water use efficiency was calculated for each of the treatments used for these results of dry matter and the total volume of water applied.

Results and discussion

Forage dry matter yield

The Table 2 shows the dry matter yields for the six cuts made in the first cut at 144 DDS, yields did not differ among treatments, which indicates that the experiment is homogeneous in terms of material production and consequently the initial conditions of soil fertility since the application of fertilizers began in the 130 DDS, fourteen days before the first cut. However, the highest yield of 3 854 kg DM ha⁻¹ was in the treatment of 8 kg P ha⁻¹ and the lowest yields were obtained in the experimental units applied 4 and 0 kg ha⁻¹ of P, with a value of 3 643 kg ha⁻¹.

The second cut made to the 174 DDS, statistical different between treatments. The matter was higher in the treatment of 8 kg ha⁻¹ in treatments of 12 and 4 kg P ha⁻¹ yields were 3 384 and 3 102 kg ha⁻¹, respectively, although there was no statistical difference found on these three treatments. In terms of treatment zero phosphorus application, its production was statistically lower compared to the other treatments. The third cut was made at 206 DDS, and differences were found.

tratamiento de 8 kg P ha⁻¹ y los menores rendimientos, se obtuvieron en las unidades experimentales donde se aplicó 4 y 0 kg ha⁻¹ de P; con un valor de 3 643 kg ha⁻¹.

The yield was found on the treatment with 12 kg ha⁻¹ of P. However, this did not differ with respect to the treatment with 8 and 4 kg ha⁻¹ of P, but if it was with respect to the treatment

Cuadro 2. Comparación de medias de producción de materia seca de forraje (kg ha⁻¹) en función de los niveles de fósforo para seis cortes de alfalfa.

Table 2. Comparison of average production of forage dry matter (kg ha⁻¹) based on phosphorus levels for six cuts.

Tratamiento	Corte ₁	Corte ₂	Corte ₃	Corte ₄	Corte ₅	Corte ₆	Cortes μ
T ₁ (12 kg P)	3760 ^a	3572 ^a	4371 ^a	3948 ^a	3507 ^a	3800 ^a	3826 ^a
T ₂ (8 kg P)	3854 ^a	3384 ^a	3760 ^{ab}	3713 ^a	2915 ^b	3419 ^{ab}	3507 ^b
T ₃ (4 kg P)	3643 ^a	3102 ^a	3666 ^{ab}	3384 ^{ab}	2704 ^b	3116 ^{bc}	3269 ^b
T ₄ (0 kg P)	3643 ^a	2303 ^b	3149 ^b	2867 ^b	2028 ^c	2855 ^c	2807 ^c
cv	12.74	7.47	12.4	8.52	9.08	7.73	11.4
$\sqrt{cme}$	474.4	230.7	457.2	296.4	245.5	255	381.9

abc valores con la misma letra son estadísticamente iguales; Prueba de Tukey ($p=0.05$); μ = valor medio.

El segundo corte realizado a los 174 DDS, se encontró diferencia estadística entre los tratamientos. La materia seca fue mayor en el tratamiento de 8 kg ha⁻¹, en los tratamientos de 12 y 4 kg ha⁻¹ de P los rendimientos fueron de 3 384 y 3 102 kg ha⁻¹ respectivamente, aunque no hubo diferencia estadística entre estos tres tratamientos. Con respecto al tratamiento de cero aplicación de fósforo, su producción fue estadísticamente menor con respecto al resto de los tratamientos. El tercer corte fue realizado a los 206 DDS, y se encontraron diferencias entre los tratamientos.

El rendimiento mayor fue encontrado en el tratamiento de 12 kg ha⁻¹ de P. Sin embargo, éste no fue diferente con respecto a los tratamientos de 8 y 4 kg ha⁻¹ de P, pero si lo fue con respecto al tratamiento de cero aplicación de P. El corte cuatro fue a los 236 días después de siembra, los rendimientos mayores fueron en los tratamientos de 12 y 8 kg de P ha⁻¹ y los menores rendimientos en los tratamientos de 4 y 0 kg de P ha⁻¹, éstos fueron estadísticamente iguales. En el quinto corte, los tratamientos de 8 y 4 kg de P, fueron estadísticamente iguales, e inferiores a la aplicación de 12 kg de P, y se observó una mayor tendencia de incremento en la producción de materia seca en respuesta a la fertilización fosfatada.

Así, el tratamiento de 12 kg de P produjo 48% más con respecto al testigo. Berg *et al.* (2003), evaluó durante un periodo de cinco años aplicaciones de 0 a 150 lb de P₂O₅ y encontró diferencias hasta de 4 050 kg ha⁻¹ de materia seca. En el sexto corte la producción de MS mostro una tendencia lineal similar al quinto corte, pero con rendimientos mayores para cada tratamiento. Así, el tratamiento de 12 kg de P ha⁻¹

of zero P application, the fourth was cut at 236 days after planting, the yields were higher in the treatments of 12 and 8 kg P ha⁻¹ and, the lower yields in the treatments 4 and 0 kg P ha⁻¹ were statistically equal. In the fifth cut, the treatments 8 and 4 kg P were statistically equal, and below the application of 12 kg P, and observed a greater tendency of increase in dry matter production in response to P fertilization.

Thus, the treatment of 12 kg of P had 48% more compared with the control's. Berg *et al.* (2003) evaluated over a period of five applications from 0 to 150 lb P₂O₅ and found differences of up to 4 050 kg ha⁻¹ of dry matter. In the sixth cut, DM production showed a linear trend similar to the fifth cut, but with higher yields for each treatment. Thus, the treatment of 12 kg P ha⁻¹ produced 25% more with respect to the zero P application; with respect to the average of the six cuts in the treatment of 12 kg P ha⁻¹ an average yield of 3 826 kg ha⁻¹ was obtained. Morales *et al.* (2006) evaluated 14 varieties of alfalfa in twelve cuts and reported an average yield of 4.16 t ha⁻¹ per cut.

The production increased 36% when applying 12 kg P ha⁻¹ after each cut with respect to the zero P application. Berardo *et al.* (2007) reported 24% differences in dry matter production in the first year and 67% in the second year of alfalfa production to fertilize with 100 units of P and compared with respect to the control of zero application of phosphorus. In the treatments with 8 and 4 kg P ha⁻¹ the increased production was 24 and 16% respectively.

produjo 25% más con respecto a la cero aplicación de P. Con respecto a la producción media de los seis cortes, en el tratamiento de 12 kg ha⁻¹ de P se obtuvo un rendimiento medio de 3 826 kg ha⁻¹. Morales *et al.* (2006) evaluó 14 variedades de alfalfa en doce cortes y reporta un rendimiento medio de 4.16 t ha⁻¹ por corte.

La producción se incremento 36% más al aplicar 12 kg ha⁻¹ de P después de cada corte con respecto a la cero aplicación de P. Berardo *et al.* (2007), reporta diferencias 24% en producción de materia seca en el primer año y 67% en el segundo año de producción en alfalfa al fertilizar con 100 unidades de P y compararlas con respecto a un testigo de cero aplicación de fósforo. En los tratamientos de 8 y 4 kg de P ha⁻¹ el incremento de la producción fue 24 y 16% respectivamente.

Modelos de producción de materia seca acumulada en función de los días después de siembra y nivel de fósforo aplicado

La Figura 1, presenta los modelos para cada tratamiento, de la materia seca de forraje acumulada del primero al sexto corte, estos fueron realizados a los 144, 174, 206, 236, 271 y 312 días después de siembra, los modelos encontrados fueron de tipo lineal, con coeficientes de determinación (r^2) del orden de 0.98 a 0.99. Díaz y Buschiazzo (2004) encontraron una alta relación lineal entre la producción relativa de materia seca en alfalfa y niveles de fósforo extraíble en cuatro métodos de extracción, y mencionan que la respuesta a este elemento puede estar limitada a la disponibilidad de otros elementos tales como azufre magnesio y zinc.

Las pendientes de los modelos expresan la tasa de producción de materia seca de forraje (kg ha⁻¹ día⁻¹). Diferencias estadísticas fueron encontradas entre los tratamientos. Así, el tratamiento de 12 kg de P ha⁻¹ produjo 116.13 kg ha⁻¹ día⁻¹, este es mayor con respecto a los tratamientos de 4 y 0 kg ha⁻¹ de P aplicado (Cuadro 3). El tratamiento de 8 kg de P ha⁻¹ fue estadísticamente igual al tratamiento de 4 kg de P ha⁻¹. Sin embargo, ambos tratamientos superan a la producción obtenida con la aplicación de 0 kg ha⁻¹, la cual fue de 77.04 kg ha⁻¹ día⁻¹. Esta producción es 33, 25 y 20 por ciento menor a los tratamientos de 12, 8 y 4 kg ha⁻¹ de P aplicado. Berardo *et al.* (2007) encontró una pendiente de 97.33 kg ha⁻¹ día⁻¹ al evaluar dosis de fertilización de fósforo de 0, 50 y 100 unidades y es similar a la reportada por (Berardo y Marino, 2000), en un cultivo sin marcadas limitaciones de agua y cita que supera a la reportada por (Vivas y Guaita, 1997).

Models of dry matter accumulated in terms of days after sowing and level of phosphorus applied

The Figure 1 presents the models for each treatment, dry matter accumulated forage from the first to sixth cut, these were performed at 144, 174, 206, 236, 271 and 312 days after sowing, the models were found linear, with coefficients of determination (r^2) on the order of 0.98 to 0.99. Díaz y Buschiazzo (2004) found a high linear relationship between relative dry matter production in alfalfa and extractable phosphorus levels in four extraction methods, and mentioned that the answer to this element may be limited by the availability of other elements such as sulfur magnesium and zinc.

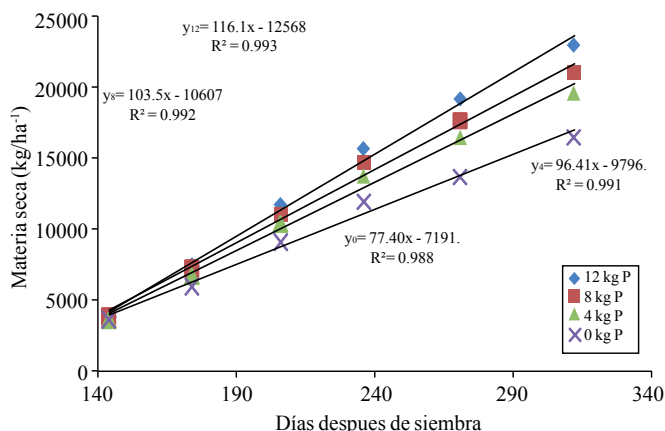


Figura 1. Producción de materia seca en función de los días después de siembra para cada nivel de fosforo aplicado.

Figure 1. Dry matter production in terms of days after sowing for each level of phosphorus applied.

The slopes on the models express the rate of production of forage dry matter (kg ha⁻¹ day⁻¹). Statistical differences were found between the treatments. Thus, the treatment with 12 kg P ha⁻¹ produced 116.13 kg ha⁻¹ day⁻¹, this is higher than the treatments with 4 and 0 kg ha⁻¹ (Table 3). The treatment with 8 kg P ha⁻¹ was statistically equal to 4 kg P ha⁻¹. However, both treatments are superior to the production obtained with the application of 0 kg ha⁻¹, 77.04 kg ha⁻¹ day⁻¹. This production is 33, 25 and 20 percent less than the treatments 12, 8 and 4 kg P ha⁻¹. Berardo *et al.* (2007) found a slope of 97.33 kg ha⁻¹ day⁻¹ to evaluate phosphorus fertilization rates of 0, 50 and 100 units and is similar to that reported by Berardo and Marino (2000) in a marked crop without water limitations and cites that exceeds that reported by Vivas and Guaita (1997).

Cuadro 3. Comparación de pendientes (kg MS ha⁻¹ día⁻¹) de los modelos obtenidos.
Table 3. Comparison of slopes (kg DM ha⁻¹ day⁻¹) of the obtained models.

Tratamiento	Modelo	Error Std β_1	Pendientes	Tc	T _t (0.05)
T ₁ (12 kg P)	Y ₁ =116.1x - 12568	4.55	β_{11} vs $\beta_{12}^{n.s}$	1.97	2.13
T ₂ (8 kg P)	Y ₂ =103.5x - 10607	4.47	β_{11} vs β_{13}^{**}	3.09	
T ₃ (4 kg P)	Y ₃ =96.4x - 9796	4.48	β_{11} vs β_{14}^{**}	6.28	
T ₄ (0 kg P)	Y ₄ =77.4x - 7191	4.15	β_{12} vs $\beta_{13}^{n.s}$	1.13	
			β_{12} vs β_{14}^{**}	4.15	
			β_{13} vs β_{14}^{**}	3.11	

Prueba de T de Student p=0,05; n.s= no significativo; ** = altamente significativo.

María y Berardo (2005) evaluaron las dosis de fertilización de P de 0, 25, 50 y 100 kg de P ha⁻¹ durante un periodo de cuatro años, estas fueron aplicadas solo en el primer año para observar el efecto residual del P en los años subsecuentes, encontró una tendencia lineal de los rendimientos de MS con respecto a los niveles de P, las pendientes fueron de 97.2, 62.1, 34.3 y 33.1 kg ha⁻¹ con r² de 0.72 a 0.19, menciona que la disminución de estos valores, indican la importancia del P para sostener los niveles óptimos de producción. Carta *et al.* (2001) mencionan que los niveles de P aplicados al cultivo de alfalfa, pueden ser influenciados por la disponibilidad del agua y deficiencias de otros nutrientes como el azufre y boro.

Evaporación y lámina de agua aplicada

La Figura 2, muestra la ecuación de la lámina evaporada del tanque evaporímetro, así como la ecuación de la lámina aplicada (ET) o evapotranspiración del cultivo durante los seis cortes realizados. La lámina aplicada fue de 124 cm durante los seis cortes (20.6 cm corte⁻¹). Morales *et al.* (2006) reporta en promedio 19.2 cm corte⁻¹ en doce cortes de alfalfa. De acuerdo a las pendientes de la regresión de ambas ecuaciones, se encontró una evaporación promedio diaria de 0.87 cm día⁻¹ y una lámina de evapotranspiración de 0.63 cm día⁻¹.

Investigaciones realizadas por (Mahbub-ul *et al.*, 2002), durante los años de 1999 y 2000 en el estado de Kansas, EE.UU, obtuvieron consumos promedios diarios de 0.38 y 0.4 cm día⁻¹ con riego por goteo sub superficial. Meza y Navejas (2002) reportan para el Valle de Santo Domingo, BCS, consumos de 0.2 a 0.3 cm día⁻¹ durante los meses de enero a marzo y hasta 0.7 cm día⁻¹ en julio en la alfalfa e indican que estas variaciones dependen del clima, variedad, tamaño y densidad de plantas.

Pembleton *et al.* (2009) evaluaron el efecto de déficit de agua del 0.0 al 100% en alfalfa y encontraron evapotranspiraciones de 0.15 a 0.45 cm día⁻¹. Montemayor *et al.* (2010) reportaron

María and Berardo (2005) evaluated P fertilization rates of 0, 25, 50 and 100 kg P ha⁻¹ for a period of four years, these were applied only in the first year to observe the residual effect of P on the subsequent years, they found a linear trend in yields of DM with respect to the levels of P, the slopes were 97.2, 62.1, 34.3 and 33.1 kg ha⁻¹ with r² from 0.72 to 0.19, mentioning that, the decrease in these values indicate the importance of P to hold the optimal production levels. Carta *et al.* (2001) mentioned that, the levels of P applied to alfalfa may be influenced by water availability and deficiencies of other nutrients such as sulfur and boron.

Evaporation and water applied

The Figure 2 shows the equation of the water evaporated, and the equation of the water applied (ET) or crop evapotranspiration during the six cuts made. The water was 124 cm, applied during the six sections (20.6 cm cut⁻¹). Morales *et al.* (2006) reported an average of 19.2 cm cut into twelve cuts of alfalfa. According to the slopes of the regression of both equations we found a daily average evaporation of 0.87 cm day⁻¹ and evapotranspiration of 0.63 cm day⁻¹.

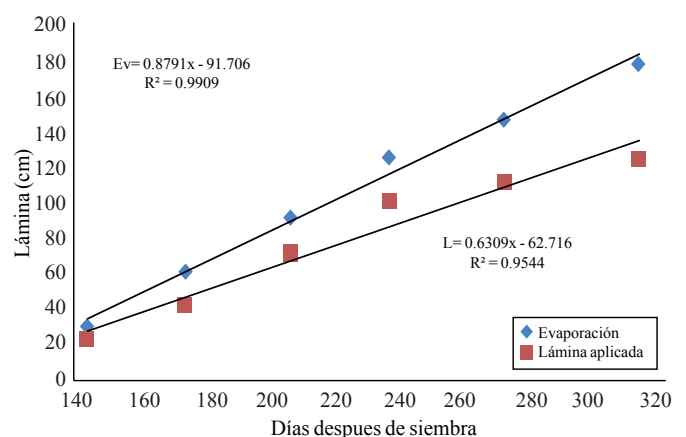


Figura 2. Modelos de lámina de agua aplicada y evaporada durante seis cortes de alfalfa.

Figure 2. Models of water applied and evaporated for six cuts of alfalfa.

valores de ET de 0.43 cm día⁻¹ durante la siembra al primer corte de la alfalfa y de 0.41 cm día⁻¹ del segundo al séptimo corte con riego por gravedad y de 0.29 cm día⁻¹ con riego por goteo sub superficial. El cociente de la lámina aplicada (entendida esta como evapotranspiración) y la evaporación del tanque fue 0.72. Este valor también es conocido como coeficiente de cultivo o factor de cosecha (Kc) lo que nos indica que en promedio durante todo el periodo de estudio, se aplicó 72% de la lamina evaporada la cual fue de 177 cm.

Eficiencia en el uso del agua durante seis cortes de alfalfa

El Cuadro 4 presenta la comparación de rendimientos obtenidos entre cortes. Las mayores producciones de materia seca de forraje fueron encontradas a los 144 y 206 DDS. Los cortes realizados a los 174, 236 y 312 DDS no difirieron estadísticamente entre dosis de fertilización fosfatada y el menor rendimiento fue obtenido a los 271 DDS. El comportamiento de la producción de materia seca de forraje mostro una tendencia positiva con respecto a los coeficientes de cultivo, estos indican la satisfacción de las demandas del riego en función de la evaporación.

Researches by (Mahbub-ul *et al.*, 2002) during the years 1999 and 2000 in the state of Kansas, USA obtained average daily intakes of 0.38 and 0.4 cm day⁻¹ with sub-surface drip irrigation. Meza and Navejas (2002) reported for the Valley of Santo Domingo, BCS a consumption of 0.2 to 0.3 cm day⁻¹ during the months of January to March and 0.7 cm day⁻¹ in July, indicating that these variations depend on climate, variety, size and density.

Pembleton *et al.* (2009) evaluated the effect of water deficit from 0.0 to 100% in alfalfa and found evapotranspiration from 0.15 to 0.45 cm day⁻¹. Montemayor *et al.* (2010) reported values of 0.43 cm day ET⁻¹ at planting to the first cutting of alfalfa and 0.41 cm day⁻¹ in the second to the seventh cut with gravity irrigation and 0.29 cm day⁻¹ with sub-surface drip irrigation. The ratio of water applied (understood as evapotranspiration) and pan evaporation was 0.72. This value is also known as crop factor or crop factor (Kc), which indicates that on average throughout the study period, 72% was applied to the evaporated which was 177 cm.

Cuadro 4. Comparación de rendimientos de materia seca entre cortes y eficiencia en el uso del agua en función de los días después de siembra.

Table 4. Comparison of dry matter yields between cuts and efficiency in water use in terms of days after planting.

DDS	Lámina (cm)	Ev (cm)	Kc	MS (kg ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)
144	23	30.1	0.76	3724 ^a	1.44 ^b
174	19	30.7	0.63	3090 ^{bc}	1.62 ^b
206	29	30.7	0.94	3736 ^a	1.28 ^b
236	29	33.4	0.86	3478 ^{ab}	1.19 ^b
271	12.5	21.4	0.53	2788 ^c	2.33 ^a
312	11.5	23.4	0.53	3297 ^b	2.63 ^a
√cme				381.9	0.225
C.V				7.7	12.7

abc valores con la misma letra no son diferentes prueba de tukey (p=0.05).

Así, los cortes que presentan valores inferiores del coeficiente de cultivo, indican que la planta estuvo sometida a un mayor déficit hídrico en el suelo. Lo anterior induce a una menor producción de materia seca. Saeed y El-Nadi (1997) obtuvieron una relación lineal $r^2=0.99$ entre la producción de materia seca de forraje y la cantidad total del agua aplicada en alfalfa. Gorai *et al.* (2010); Pembleton *et al.* (2009) reportan disminuciones de 500 a 600 mg de materia seca por planta en un déficit de humedad del 60 a 75%.

Efficient use of water for six cuts of alfalfa

The Table 4 presents the comparison of yields between cuts. The highest production of forage dry matter was found at 144 and 206 DAS. The cuts made 174, 236 and 312 DDS, did not differ among doses of P fertilization and the lowest yield was obtained at 271 DAS. The behavior of the dry matter of forage showed a positive trend with respect to the coefficients culture, these indicate the meeting the demands of irrigation according to the evaporation.

En cuanto a EUA los valores muestran una tendencia inversa; es decir, se incrementan al disminuir la aplicación de la lámina de agua en función de los niveles de evaporación. Gorai *et al.* (2010) reporta la misma tendencia al disminuir la humedad de capacidad de campo de 100 a 40% con EUA de 1 a 1.5 kg de MS m⁻³. Para los cortes realizados hasta los 236 DDS no existieron diferencias estadísticas en la EUA y su valor promedio es de 1.38 kg MS m⁻³ de agua, esto corresponde a una producción media de 2990 kg ha⁻¹ de MS y una lamina de 25 cm los cuales equivalen a 11.9 kg mm⁻¹ ha⁻¹. Saeed y El-Nadi (1997) reportan EUA de 12 a 8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de agua al evaluar diferentes frecuencias de irrigación. Berardo *et al.* (2007) reportan eficiencias de 11 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de MS si fertilización de P y de 13 kg mm⁻¹ MS con fertilización de 100 kg de P ha⁻¹. En los primeros cuatro cortes se aplicó una mayor lamina de agua, debido principalmente por las condiciones más cálidas del clima, que inducen a una mayor evapotranspiración.

Este es un componente esencial en el balance del agua en el suelo (Prasanna *et al.*, 2008). Saeed y El-Nadi (1997) concluyen que el crecimiento, producción y EUA en la alfalfa, se mantienen altos relativamente durante los meses frescos, y tienden a declinar durante los periodos cálidos. En los cortes realizados a los 236 y 312 DDS, se obtuvieron eficiencias de 2.33 y 2.63 kg de MS m⁻³, estos corresponden a los meses de septiembre y octubre, periodo durante el cual las temperaturas tendieron a descender. Localmente, Montemayor *et al.* (2010) reportaron una eficiencia del uso del agua promedio de 2 kg de MS m⁻³.

Conclusiones

Las inyecciones de fósforo aplicadas después de cada corte incrementan la producción de materia seca de forraje hasta 36% más con respecto a la no aplicación de este elemento. Con los modelos de producción de materia seca se estiman tasas de producción de 77 a 116 kg ha⁻¹ día⁻¹ dependiendo de las unidades de fosforo aplicadas. La aplicación de una lámina establecida en función de la evaporación registrada en un tanque tipo A y afectada ésta por un factor de 0.75 resultó ser una buena herramienta para la programación del riego. La eficiencia en el uso del agua por el cultivo de alfalfa, es afectada por las condiciones del clima en cada corte y puede ser un indicador para mejorar las eficiencias en el uso del agua en los predios.

Thus, the cuts that have lower values of the coefficient indicate that, the plant was subjected to a higher water deficit in the soil. This leads to lower dry matter production. Saeed and El-Nadi (1997) obtained a linear relationship between $r^2=0.99$ of dry matter production of forage and total amount of water applied to alfalfa. Gorai *et al.* (2010); Pembleton *et al.* (2009) reported decreases from 500 to 600 mg of dry matter per plant in a water deficit of 60 to 75%.

In the United States, the values show a reverse trend, i.e., increases with decreasing application of the water level depending on levels of evaporation. Gorai *et al.* (2010) reported the same trend with decreasing moisture field capacity from 100 to 40% with the United States from 1 to 1.5 kg DM m⁻³. For the cuts made 236, there were no statistical differences, DDS in the United States and its average value is 1.38 kg DM m⁻³ of water, this corresponds to the average production of 2990 kg ha⁻¹ DM and, a 25 cm of water, equivalent to 11.9 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Saeed and El-Nadi (1997) reported that in the United States, from 12 to 8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ of water to evaluate different irrigation frequencies. Berardo *et al.* (2007) reported efficiencies of 11 kg ha⁻¹ mm⁻¹ of DM if fertilization of P and 13 kg mm⁻¹, DM with fertilization of 100 kg P ha⁻¹. In the first four cuts, a layer of water increased is applied, mainly due to the warmer climate conditions, which lead to higher evapotranspiration.

This is an essential component of water balance in the soil (Prasanna *et al.*, 2008). Saeed and El-Nadi (1997) conclude that, growth, and production of alfalfa in the United States remain relatively high during the coldest months and tend to decline during warm periods. In the cuts made at 236 and 312 DDS, efficiencies were obtained 2.33 and 2.63 kg DM m⁻³, these corresponds to the months of September and October, in which the temperatures tended to decrease. Locally, Montemayor *et al.* (2010) reported an efficiency of water use average of 2 kg DM m⁻³.

Conclusions

Injections of phosphorus applied after each cut increases the production of forage dry matter up to 36% more than the non-application of this element. With the models of dry matter production, rates are estimated from 77 to 116 kg ha⁻¹

Agradecimientos

El autor principal agradece la participación del Sr. Miguel Muñoz Caraveo. Representante de la empresa VERMIORGANIC, S. P. R. de R. L y al personal de apoyo de la misma.

Literatura citada

- Abu-Qamar, S. F.; Cunningham, S. M. and Volenec, J. J. 2006. Phosphate nutrition and defoliation effects on growth and root physiology of alfalfa. *J. Plant Nutrition*. 29:1387-1403.
- Barth, H. K. 1995. Resource conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. *In*: Lamm, F. R. (ed.). *Micro irrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment*. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. ASAE. Orlando, Florida. 168-174 p.
- Berardo, A. y Marino, M. A. 2000. Producción de forraje de alfalfa bajo diferentes niveles de nutrición fosfatada en el sudeste bonaerense. *Revista Argentina de Producción Animal*. 20(2):93-101.
- Berardo, A.; Marino, M. A. and Erht, S. 2007. Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial y profunda. *RIA*. 36(1):97-114.
- Berrada, A. and Westfall, D. G. 2005. Irrigated alfalfa response to phosphorus and potassium in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36:1213-1227.
- Berg, W. K.; Brouder, S. M.; Joern, B. C.; Johnson, K. D. and Volenec, J. J. 2003. Improved Phosphorus Management Enhances Alfalfa Production. *Better Crops*. 87(3):20-23.
- Boswell, J. M. 1990. *Microirrigation design manual*. Fourth ed. Hardie Industries. El Cajon, CA, USA. p. 7-12.
- Bui, W. and Osgood, R. V. 1995. Subsurface irrigation trial for alfalfa in Hawaii *In*: Lamm, F. R. (ed.). *Micro irrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment*. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. ASAE. Orlando, Florida. 658-660 p.
- Carta, H.; Ventimiglia, L. y Rillo, S. 2001. Experimentación en campos de productores *In*: Ventimiglia, L. (ed.). *Campaña*. 2000/01. UEEA INTA. Buenos Aires, Argentina.
- day⁻¹ depending on the units of phosphorus applied. The application of water set in terms of evaporation; recorded in a tank type 'A' affected this by a factor of 0.75, resulting a good tool for irrigation scheduling. Efficiency in water use is affected by weather conditions in each cut and may be an indicator to improve efficiencies in water use on the premises.
- End of the English version*
-
- 
- Camp, C. R. 1988. Subsurface drip irrigation: A review. *Trans ASAE*. 41(5):1353-1367.
- Camp, C. R.; Lamm, F. R.; Evans, R. G. and Phene, C. J. 2000. Subsurface drip irrigation - past, present and future. *In* Evans, R. G.; Benham, B.L. and Trooien T. P. (eds) *Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium*, Published by ASAE. Phoenix AZ. 363-372 p.
- Colaizzi, P. D.; Schneider, A. D.; Evett, S. R. and Howell, T. A. 2004. Comparison of SDI, LEPA, and Spray Irrigation Performance for Grain Sorghum. *Transactions of the ASAE*. 47(5):1477-1492.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2010. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2008-2009. Edición 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed). México, D. F. 323 p.
- Cruz, A. y Levine, G. 1998. El Uso de Aguas Subterráneas en el Distrito de Riego 017, Región Lagunera, México. Serie Latinoamericana Núm. 3. Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI). México, D. F., México. 31 p.
- Díaz, Z. M. and Buschiazzo D. E. 2004. Alfalfa Production as a Function of Soil Extractable Phosphorus in the Semi-arid Pampas. *Better Crops*. 88:(2) 24-27.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W. O. 1974. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estudio Riego y Drenaje (24). Roma. 194 p.
- El Siglo de Torreón. 2011. Resumen Económico Comarca Lagunera 2010. Cia. Editora de la Laguna S. A de C. V. Torreón, Coahuila. México. 80 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. 217 p.

- Godoy, A. C.; Pérez, G. A.; Torres, E. A. C.; Hermosillo, J. L. y Reyes, J. I. 2003. Uso de agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 37:107-115.
- Gorai, M.; Hachef, A. and Neffati, M. 2010. Differential responses in growth and water relationship of (*Medicago sativa* L.) cv. Gabès and *Astragalus gombiformis* (Pom.) under water-limited conditions. *Emir. J. Food Agric.* 22(1):01-12.
- Karagić D.; Milić, D.; Katić, S. and Vasiljević, S. 2008. Alfalfa seed yield components depending on cutting schedule. *Journal radova Sveska.* 45(2):171-177.
- Kazumba, S.; Gillerman, L.; De Malach, Y. and Oron, G. 2010. Sustainable domestic effluent reuse via subsurface drip irrigation (SDI): alfalfa as a perennial model crop. *Water Science and Technology* 61(3):625-632.
- Locascio, S. J. and Smajstrla, A.G. 1995. Fertilizer timing and pan evaporation scheduling for drip irrigated tomato. Hawaii *In*: Lamm, F. R. (ed.). *Micro irrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress.* ASAE. Orlando, Florida. 175-180 p.
- Mahbub-ul A, T. T.; Steven, S. and Danny, R. 2002. Subsurface drip irrigation for alfalfa. *Am Water Res* 38:1715-1721.
- María, A. M. and Berardo, A. 2005. Alfalfa forage production under different phosphorus supply strategies. *Better Crops.* 89(4):22-25.
- Mendoza, P. S. I.; Hernández, G. A.; Pérez, P. J.; Raymundo, A.; Quero, C. A. R.; Escalante, E. J. A. S.; Zaragoza, R. J. L. y Ramírez, O. R. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Rev Mex Cienc. Pecu.* 1(3):287-296.
- Meza, C. J. A. y Navejas, J. J. 2002. Tecnología para producir alfalfa con riego por goteo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (ed). Centro de Investigación Regional del Noroeste. Valle de Santo Domingo. Baja California Sur, México. 35 p.
- Mikkelsen, R. 2004. Managing phosphorus for maximum alfalfa yield and quality *In*: *Proceedings, National Alfalfa Symposium.* UC Cooperative Extension (eds) University of California, San Diego, California, USA.
- Montemayor, T. J. A.; Walter, A. H.; Olague, R. J.; Román, L. A.; Rivera, G. M.; Preciado, R. P. Montemayor, I. del R. Segura, C. M. A.; Orozco, V. J. A. y Yescas, C. P. 2010. Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1(2):145-156.
- Morales, A. J.; Jiménez, V. J. L.; Velasco, V. V. A.; Villegas, A. Y.; Enríquez, V. J. R y Hernández, G. A. 2006. Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca. *Téc. Pecu. Méx.* 44(3):277-288.
- Pembleton, K. G.; Richard, P. R.; Donaghy, D. J. and Jeffrey, J. V. 2009. Water deficit alters canopy structure but not photosynthesis during the regrowth of alfalfa. *Crop Sci.* 49:722-731.
- Picone, L. I.; Zamuner, E.; Berardo, A. y Marino, M. A. 2003. Phosphorus transformations as affected by sampling date and fertilizer rate, and phosphorus uptake in soil under pasture. *Nutrient Cycling Agroecosystems.* 67:225-232.
- Prasanna, H. G.; Chavez, J. L.; Colaizzi, P. D.; Steve, R. E.; Howell, A. T. and Judy, A. T. 2008. ET mapping for agricultural water management: present status and challenges. *Irrig Sci* 26:223-237.
- Saeed, I. A. and El-Nadi, A. H. 1997. Irrigation effects on the growth, yield and water use efficiency of alfalfa. *Irrig Sci.* 17:63-68.
- Schulze, J. and Drevon, J. J. 2005. P-deficiency increases the O₂ uptake per N₂ reduced in alfalfa. *J. Exp. Bot.* 56:1779-1784.
- Sheafer, C. C.; Tanner, C. B. and Kirkhan, M. B. 1988. Alfalfa water relations and irrigation. *Agronomy* 29:373-409.
- Vivas, H. S. y Guaita, M. S. 1997. Respuesta a la fertilización fosfatada de alfalfa en un año caracterizado por estrés hídrico. *Publicación miscelánea.* Núm. 84. EEA INTA Rafaela, Santa Fe. Argentina.