

Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca

Effect of drip fertirrigation in 14 alfalfa varieties in the Mixteca region, Oaxaca

Joel Morales Ayala^a, José Luis Jiménez Victoria^b, Vicente Arturo Velasco Velasco^a, Yuri Villegas Aparicio^a, José Raymundo Enríquez del Valle^a, Alfonso Hernández Garay^c

RESUMEN

Se evaluaron 14 variedades de alfalfa con el sistema de fertirriego por goteo, con la finalidad de determinar la variedad de mayor rendimiento en materia seca, relación hoja:tallo y altura de planta, y la comparación de dos variedades de alfalfa mediante el sistema de riego por gravedad para evaluar el consumo de agua y energía eléctrica. El estudio se estableció en el Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña, perteneciente al INIFAP, Yanhuatlán, Nochixtlán, Oaxaca. La siembra se realizó con una densidad de 30 kg ha⁻¹ de semilla pura viable con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner ajustada a los requerimientos de la alfalfa. Se realizaron 12 cortes con intervalos de 45 días en promedio. No existió diferencia ($P > 0.05$) entre variedades en la producción de materia seca corte⁻¹ y la relación hoja:tallo, sólo hubo significancia ($P < 0.05$) en la altura de la planta (Puebla 76). En los meses más calurosos se obtuvo la mayor producción de materia seca, la mayor altura de plantas y la menor relación hoja:tallo ($P < 0.05$). Mediante el sistema de fertirriego por goteo se tuvo un ahorro de agua del 50.2 % y una disminución de 169 % en horas de trabajo, consumo y costo de energía, respecto al sistema de riego por gravedad.

PALABRAS CLAVE: Fertirriego, Materia seca, *Medicago sativa*.

ABSTRACT

Fourteen alfalfa varieties were grown in the Mixteca region of Oaxaca with a drip fertirrigation system (DFS) and results evaluated based on dry matter production, the leaf:stem ratio and plant height. A comparison was made with a traditional gravity irrigation system (GIS) in terms of the three production parameters and water and electricity use. Seed was sown at 30 kg ha⁻¹ using a completely random block design with four replicates. Nutrient solution in the DFS was Steiner's universal solution adjusted to the needs of alfalfa. A total of 12 cuts were done during the 22-mo experimental period at an average interval of 45 d. No significant differences ($P > 0.05$) between varieties were observed for dry matter production /cut⁻¹ and the leaf:stem ratio, but eight varieties had significantly greater plant height ($P < 0.05$). The Júpiter variety had the highest yield (4.4 DM ha⁻¹) and San Pablo Huixtepec the lowest (4.4 DM ha⁻¹); the highest leaf:stem ratio was in the Moapa, Xoxocotlán and Etlá varieties; the greatest plant height was in the Puebla 76 variety. During the hottest months, dry matter production and plant height were greatest, and the leaf:stem ratio was lowest ($P < 0.05$). The DFS provided 50.2 % water savings, and lowered pump operation, electricity use and electricity cost by 169 % *versus* the GIS.

KEY WORDS: *Medicago sativa*, Fertirrigation, Dry matter, Water efficiency.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos forrajeros son importantes para la alimentación del ganado, y la alfalfa (*Medicago*

INTRODUCTION

Forage crops are an integral element in cattle feed, and alfalfa (*Medicago sativa* L.) is one of the most

Recibido el 19 de abril de 2005 y aceptado para su publicación el 3 de febrero de 2006.

^a Subdirección de Investigación y Graduados Agropecuarios del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. yurivil37@yahoo.com.mx 01(951) 5170788 / 5170444. Correspondencia al cuarto autor.

^b Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

^c Especialidad de Ganadería, IREGEP. Colegio de Postgraduados.

sativa L.) es uno de los más importantes en México y el mundo^(1,2). En México, en el año 2000 se sembraron 351,733 ha de alfalfa y se cosecharon más de 17 millones de toneladas de materia verde, con un promedio anual de 52.2 t ha⁻¹⁽³⁾.

La alfalfa tiene ventajas que sobresalen sobre otros forrajes, como alto rendimiento y contenido de proteína, vitaminas, minerales y bajo porcentaje de fibra, por lo que es considerado adecuado para la producción de leche; además ayuda a enriquecer el suelo, por la capacidad que tiene de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias del género *Rhizobium*⁽¹⁾.

En el estado de Oaxaca se siembran en promedio 5,614 ha de alfalfa obteniéndose 254 mil toneladas de materia verde, con promedio anual de 45.3 t ha⁻¹⁽⁴⁾. En la mixteca se cultivan aproximadamente 685 ha de alfalfa, superficie que es insuficiente para el mantenimiento del ganado bovino⁽⁴⁾, dadas las restricciones climáticas y de recursos naturales de la región.

El rendimiento del cultivo depende tanto de factores genéticos como ambientales, y en el caso de alfalfa, se generan y liberan comercialmente nuevas variedades al mercado nacional e internacional, por lo que evaluar y seleccionar variedades con mejor adaptación y rendimiento en una determinada región, son requisitos indispensables para obtener los máximos beneficios económicos, evitando de esta forma que los productores tengan cierta incertidumbre por la variedad a sembrar^(5,6,7).

El manejo del cultivo, es otro factor a considerar para mejorar el rendimiento e incrementar la perdurabilidad de la pradera; la frecuencia e intensidad de corte, son de importancia para establecer el calendario de cortes de la alfalfa, con base al estado de desarrollo de la misma; se ha concluido que una vez caracterizado el patrón de crecimiento estacional, dicho calendario se puede definir con base a días entre cortes⁽⁸⁾.

La alfalfa es un cultivo que consume entre 800 a 1,600 mm de agua por ciclo de cultivo⁽⁹⁾. Actualmente hay déficit de abastecimiento de agua, uso deficiente y contaminación, de ahí la importancia

important forage crops in Mexico and worldwide^(1,2). In 2000, 351,733 ha of alfalfa were sown in Mexico producing a harvest of over 17 million tons of fresh forage, an annual average of 52.2 t ha⁻¹⁽³⁾.

Alfalfa has clear advantages over other forages that make it a good forage for milk production, such as high yield, high protein, vitamin and mineral contents, as well as a low fiber percentage. It also enriches the soil by fixing atmospheric nitrogen through an association with *Rhizobium* genus bacteria⁽¹⁾.

In the state of Oaxaca, Mexico, an average of 5,614 ha of alfalfa are sown annually, producing 254,000 t of fresh forage, for an annual average production of 45.3 t ha⁻¹⁽⁴⁾. Of the area sown, 685 ha are in the Mixteca region of the state, which do not produce enough alfalfa to meet the feed needs of the cattle in this region⁽⁴⁾. Alfalfa cultivation in the Mixteca is limited by the region's restricted natural resources and climatic conditions.

Crop yield depends in both genetic and environmental factors. New alfalfa varieties are regularly created and commercially released both nationally and internationally, making evaluation and selection of varieties for optimum adaptation and yield in a given area indispensable. This results in maximum financial benefits and addresses grower uncertainty about which variety to sow^(5,6,7).

Proper crop management is required to improve yields and increase pasture life. Alfalfa cut frequency and intensity are important to establishing the cut calendar and are determined based on its development stage. Once the seasonal growth pattern is characterized, a calendar can be defined using days between cuts⁽⁸⁾.

Alfalfa consumes between 800 and 1600 mm of water per growth cycle⁽⁹⁾. Current water supply shortages, improper use of water and pollution make use of more efficient irrigation systems vital. For instance, drip irrigation systems increase transport and application efficiency and also have a very positive impact on crop productivity and quality if applied together with fertirrigation⁽¹⁰⁾.

de usarla eficientemente mediante el uso de sistemas de riego localizado como el goteo, que no sólo eleva la eficiencia en la conducción y aplicación, también tiene gran impacto en la productividad y calidad del cultivo si se aplica la fertirrigación⁽¹⁰⁾.

En algunas áreas de la Mixteca oaxaqueña el agua se extrae de pozos a más de 100 m de profundidad, esto representa del 20 al 30 % de los costos de producción de los cultivos⁽¹¹⁾, por lo cual, la producción de alfalfa obtenida en las pequeñas áreas de riego, no ha sido el adecuado, aunado a la fuerte pendiente de los terrenos y al desconocimiento del cuando y cuanto regar.

En el presente estudio, 14 variedades de alfalfa se cultivaron mediante el sistema de fertirriego con el objetivo de evaluar la variedad de mayor rendimiento en materia seca, relación hoja:tallo y altura de planta. Así mismo, dos variedades se evaluaron en el sistema de riego por gravedad para evaluar la cantidad de agua y la cantidad de energía eléctrica utilizada en ambos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se estableció en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de la Mixteca oaxaqueña, ubicado a 2.1 km de Santo Domingo Yanhuitlán, Nochixtlán, Oax., entre 17° 30' N y 97° 20' O, y 2,160 msnm⁽⁴⁾. El 85 % de los suelos en la mixteca son lomeríos y con pendientes mayores a 35 %, cuenta con algunos valles como los de Nochixtlán, Teposcolula, Juxtahuaca, Huajuapán y Tonalá⁽¹²⁾.

El clima prevaleciente en Yanhuitlán es el C(Wo") templado subhúmedo, con presencia de heladas desde principios de noviembre hasta mediados de marzo. La precipitación media anual es de 663.1 mm. Junio es el mes más lluvioso con 142.3 mm en promedio, y enero es el mes más seco con 4.9 mm. En los últimos diez años, se ha observado que la precipitación es menor que la evaporación (Estación meteorológica del Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña, periodo 1991-2001).

In some parts of the Mixteca region water is pumped from wells over 100 m deep, which represents 20 to 30 % of agricultural production costs⁽¹¹⁾. As a result, alfalfa production in small irrigated areas has not met local needs, and also suffers from the region's steep terrain and grower ignorance about when and how much to irrigate.

The present study aim was to determine the highest yield in terms of dry matter, leaf:stem ratio and plant height for fourteen varieties of alfalfa cultivated with a drip fertirrigation system in the Mixteca region. To compare production parameters, water and electricity use, two varieties were cultivated using a gravity irrigation system with a fertilized and unfertilized treatment.

MATERIALS AND METHODS

Experimental site

The experiment was done at the Experimental Field of the Mixteca campus of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP) 2.1 km outside Santo Domingo Yanhuitlán, Nochixtlán, Oaxaca (17°30' N, 97°20' W; 2,160 m asl)⁽⁴⁾. The region has some valleys, like the Nochixtlán, Teposcolula, Juxtahuaca, Huajuapán and Tonalá, but 85 % of its soils are on hill slopes⁽¹²⁾.

Climate in Yanhuitlán is predominantly C(Wo"), temperate subhumid, with occasional freezes from early November to mid-March. Average annual rainfall is 663.1 mm, with June being the wettest month (142.3 mm average) and January the driest (4.9 mm average). During the past ten years (1991-2001) rainfall has been less than the evaporation rate as measured at the Mixteca campus Experimental Field meteorological station.

Irrigation systems

The drip fertirrigation system (DFS) consisted of a water storage tank (150 m³ capacity); a control head with a 2.0 HP pump, an air exhaust valve, line valve to change flow to the venturi tube, a 130 micron (120 mesh) screen filter with a 7 m³ h⁻¹

Sistema de riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo, que consta de un tanque de almacenamiento de agua con capacidad para 150 m³; un cabezal de control que incluye una bomba de 2.0 HP, una válvula de expulsión de aire, llave de paso para efectuar la derivación del agua hacia el venturi, filtro de mallas de 130 micrones (120 mallas) con capacidad para filtrar 7 m³ h⁻¹, manómetros para medir la presión y sistema de retroflujo para aliviar la presión de operación; la tubería principal de poliducto es de 2"; lay flat de 2" (manguera de lona); cintilla calibre 8000, con goteros separados a 20 cm.

En el sistema de riego por gravedad se utilizó la misma bomba que en riego por goteo; la conducción fue a través de mangueras de 2" hasta el inicio de las parcelas. Sólo se utilizaron dos variedades (Maya y San Pablo Huixtepec) como comparación respecto al riego por goteo.

Análisis de suelo y agua

Con la finalidad de conocer los elementos minerales y la cantidad de estos, se realizó el análisis químico del suelo y agua, en el Laboratorio de Diagnóstico Ambiental del Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, con metodología descrita con anterioridad^(13,14,15) (Cuadros 1, 2).

Siembra

En la preparación del terreno se realizaron actividades como cinceleo a 0.35 m de profundidad, barbecho, paso de rastra y el surcado, que se realizó 0.30 m de separación entre surcos. La siembra se efectuó el 29 de agosto del 2000, cada variedad se ajustó a una densidad de 30 kg ha⁻¹ de semilla. Las semillas se distribuyeron en el fondo del surco y se cubrieron arrastrando una rama. Las actividades para siembra, hasta aquí descritas, se realizaron para el sistema de fertirriego y para el de riego por gravedad.

Variedades utilizadas

Se utilizaron 14 variedades en el sistema de fertirriego que consistieron de cuatro criollas de Oaxaca: San Pablo Huixtepec, Xoxocotlán, Tlacolula y Etla; cuatro

capacidad, manómetros to measure pressure, and a backflow system to adjust operating pressure; the 2" mainline; a 2" lay flat; 8000 caliber driplines with emitters spaced at 20 cm.

The gravity irrigation system (GIS) used the same pump as the DFS to transport water through 2" hoses to the parcels. Only the Maya and San Pablo Huixtepec varieties were used in the GIS treatments.

Soil and water analysis

To determine mineral contents and amounts, chemical analyses of soil and water were done at the Environmental Diagnosis Laboratory, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca, following established methods^(13,14,15) (Tables 1, 2).

Sowing

Both the DFS and GIS parcels were prepared with plowing to 0.35 m depth, fallowing, raking and furrowing (0.30 m spacing between furrows). All

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo

Table 1. Soil chemical and physical characteristics (ppm)

| | Result | Interpretation | Method |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Nitrates | 14.4 | Slightly poor | Micro-kjendahl |
| Phosphorous | 7.2 | Low | Olsen |
| Sulfates | 3.3 | Low | |
| Potassium | 230 | Medium | |
| Calcium | 35300 | Very high | Ammonium acetate pH 7 |
| Magnesium | 590 | Moderately high | |
| Iron | 2.6 | Very low | |
| Zinc | 0.6 | Low | Spectrophotometry DTPA |
| Copper | 2.0 | High | |
| Manganese | 4.0 | Very low | |
| OM (%) | 1.61 | Moderately low | Walkley & Black |
| Texture | Sand 34% Mud 28% Clay 37% | Friable Clay | Texture triangle |
| pH | 7.80 | Slightly alkaline | Potentiometer |
| EC (dS m ⁻¹) | 0.0063 | Almost null effect of salinity | Conductometer |

liberadas por el INIFAP (Campo Experimental Valle de México): Bajío 76, INIA 76, Puebla 76 y Sintético I; y seis de empresas comerciales: Azteca, Cuf-101, Maya, Júpiter, Moapa y Comet.

Suministro de agua

Para determinar la cantidad de agua a suministrar en el sistema fertirriego, primeramente se calculó la evapotranspiración (ET), en base a la evaporación señalada por la estación meteorológica del Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña, empleando la siguiente ecuación⁽⁹⁾:

$$ET = Kc \times Kp \times Eo \times Ef \times S$$

Donde: Kc = coeficiente de cultivo, este valor es variable por especie y para cada etapa de su desarrollo; Kp = corrección del tanque evaporómetro, en este caso fue de 0.80; Eo = evaporación (mm); Ef = eficiencia del sistema, en riego por goteo generalmente se toma como 0.90; S = superficie de sombreado, depende del desarrollo del cultivo.

Cuando se usó el venturi, la cantidad de agua que pasó por el sistema fue de 4.23 mm h⁻¹; sin usar el venturi se aplicó una lámina de riego de 5.46 mm h⁻¹. De esta forma, los datos arrojados por la ecuación y el gasto con y sin el venturi, fueron determinantes en el suministro de agua para el sistema fertirriego, el cual se suministró cada tres o cuatro días dependiendo de la evapotranspiración. Esto es, cada día se tomó la lectura de evaporación y se efectuaron los cálculos de evapotranspiración, cuando esta última era mayor a la lectura del agua aplicada en el último riego, entonces se reponían los milímetros de agua faltantes. Con el sistema de riego por gravedad, los riegos se suministraron cada 10 a 12 días hasta el punto de saturación del suelo.

Solución nutritiva

Se utilizó la solución universal de Steiner (1968)⁽¹⁶⁾, la cual se ajustó en base a los resultados del análisis de suelo (Cuadro 1), agua (Cuadro 2), y a la demanda nutrimental del cultivo, esto es, Ca²⁺ 0 me L⁻¹, Mg²⁺ 2 me L⁻¹, K⁺ 8 me L⁻¹, NO₃⁻ 4 me L⁻¹, H₂PO₄⁻ 2 me L⁻¹, SO₄²⁻ 2 me L⁻¹, NH₄⁺ 2 me L⁻¹, Cl⁻ 4 me L⁻¹. La solución nutritiva

Cuadro 2. Características químicas del agua

Table 2. Water chemical characteristics

| | Result | Interpretation | Method |
|---|--------|-------------------|-----------------------|
| pH | 7.65 | Slightly alkaline | Potentiometer |
| Mg (me L ⁻¹) | 2.96 | Medium | |
| K (me L ⁻¹) | 0.10 | Very low | Ammonium acetate pH 7 |
| Electrical Conductivity (dS m ⁻¹) | 1.61 | Moderate | Conductometer |
| Sodium adsorption ratio | 0.81 | Low | |
| Ca (me L ⁻¹) | 6.74 | High | Ammonium acetate pH 7 |
| Na (me L ⁻¹) | 1.75 | Low | |

alfalfa varieties were sown on 29 August 2000 at a density of 30 kg seed ha⁻¹. Seed was placed at the bottom of the furrow and then covered by raking the soil with a tree branch.

Alfalfa varieties

Fourteen varieties were used in the DFS treatments: San Pablo Huixtepec, Xoxocotlán, Tlacolula and Etlá (Oaxacan varieties); Bajío 76, INIA 76, Puebla 76 and Sintético I (developed at INIFAP Valle de Mexico Experimental Field); and, Azteca, Cuf-101, Maya, Júpiter, Moapa and Comet (commercial).

Water supply

The water supply required in the DFS was determined by calculating evapotranspiration (ET), based on evaporation rates recorded at the Mixtec Experimental Field meteorological station, using the equation⁽⁹⁾:

$$ET = Kc \times Kp \times Eo \times Ef \times S$$

Where: Kc = crop coefficient, this varies by species and development stage; Kp = evaporimeter tank correction, in this case 0.80; Eo = evaporation (mm); Ef = system efficiency, for drip irrigation this is generally 0.90; S = shaded surface, depends on crop development.

When the venturi tube was used, water supply passing through the system was 4.23 mm h⁻¹, and

se preparó con los fertilizantes: fosfato monoamónico (12-61-00), nitrato de potasio (14-00-40), cloruro de potasio (00-00-60), sulfato de magnesio (00-00-00-Mg 15 + S 13.5) y quelatos SQM champion como fuente de micro nutrientes.

Para el sistema de riego por gravedad sólo se utilizaron las variedades San Pablo Huixtepec y Maya. A estas variedades se les aplicó la dosis 60-100-00 y 00-00-00, resultando cuatro parcelas de 3.6 x 15.0 m. Las fuentes de fertilizantes fueron el fosfato diamónico (18-46-00) y el sulfato de amonio (20.5-00-00).

Diseño experimental

En el sistema fertirriego se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron las 14 variedades de alfalfa; la parcela experimental constó de 12 surcos, separados a 0.30 m y 5.0 m de longitud, resultando 56 parcelas de 16 m². Se realizaron análisis de varianza y prueba de medias de Tukey. Se hicieron análisis de regresión seleccionando el mejor modelo (en base a la mayor R², y menor coeficiente de variación⁽¹⁷⁾).

Variables evaluadas

Producción de materia seca. En cada parcela se cortaron plantas en 1.0 m² parcela⁻¹ a una intensidad de corte de 5 cm, se pesó, y posteriormente se tomaron muestras de 100 g (peso fresco) y se secaron en una estufa a 65 °C durante 72 h, las muestras se pesaron en una balanza analítica y por diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de materia seca. Los cortes se realizaron cada 45 días en promedio, las fechas de cada corte fueron: 1) 02/12/00, 2) 30/01/01, 3) 14/03/01, 4) 25/04/01, 5) 04/06/01, 6) 30/07/01, 7) 12/09/01, 8) 08/01/02, 9) 25/02/02, 10) 08/04/02, 11) 20/05/02, 12) 01/07/02.

Relación hoja:tallo. Se tomó una sub-muestra de 30 g de materia verde (del metro cuadrado de planta cortada) para separarla en hojas y tallos, se secaron en una estufa a 65 °C durante 72 h y se pesaron en una balanza analítica. La relación hoja:tallo se estimó en base a su materia seca.

without the venturi a water depth of 5.46 mm h⁻¹ was applied. Equation results, and water use with and without the venturi determined water supply in the DFS system. Depending on ET, water was supplied every three to four days. In other words, evaporation readings were taken daily and used to make the ET calculations, when ET was greater than the amount of water applied in the previous irrigation, the water shortfall was replaced. In the GIS, the parcels were irrigated every 10 to 12 days until soil saturation.

Fertilizers

Steiner's (1968)⁽¹⁶⁾ universal solution was used as the nutrient solution in the DFS treatments. This was adjusted based on the soil and water analyses (Tables 1, 2) and the crop's nutrient demand: Ca²⁺ 0 me L⁻¹; Mg²⁺ 2 me L⁻¹; K⁺ 8 me L⁻¹; NO₃⁻ 4 me L⁻¹; H₂PO₄⁻ 2 me L⁻¹; SO₄²⁻ 2 me L⁻¹; NH₄⁺ 2 me L⁻¹; Cl⁻ 4 me L⁻¹. The nutrient solution was prepared with the fertilizers: monoammonium phosphate (12-61-00); potassium nitrate (14-00-40); potassium chloride (00-00-60); magnesium sulfate (00-00-00-Mg 15 + S 13.5); and SQM champion chelates as a micronutrient source. The fertilizers applied in the fertilized GIS treatment were diammonium phosphate (18-46-00) and ammonium sulfate (20.5-00-00).

Only the San Pablo Huixtepec and Maya varieties were used in the GIS, and within this system two type of fertilizer application were done: 60-100-00 and 00-00-00. This resulted in a total of four treatments within the GIS, each in a 3.6 x 15.0 m parcel.

Experimental design

A completely random block design was used in the DFS with four replicates and fourteen treatments, one for each alfalfa variety. Each experimental parcel consisted of 12 furrows, 5.0 m long and spaced at 0.30 m, for a total of 56 parcels each measuring 16 m². The block design was analyzed with an ANOVA and a Tukey means test. A regression analysis was done on the best model, which was chosen based in the highest R² and lowest coefficient variation⁽¹⁷⁾.

Altura de planta. Antes de cada corte, con un flexómetro se midieron 10 plantas al azar por parcela, desde el nivel del suelo hasta la última hoja del tallo.

Consumo de agua. El sistema de riego se aforó para obtener la lámina de agua (mm) por cada hora de riego. Se sumaron las horas de riego en un ciclo de cultivo para obtener la lámina de riego total (mm) y sumarla con la precipitación cuando ésta ocurría. Todas las variables se midieron durante 22 meses, desde la siembra hasta el último corte, de un total de 12 cortes.

Consumo de energía eléctrica. El cálculo de la energía eléctrica se realizó con la fórmula siguiente⁽¹⁸⁾:

$$\text{KW h}^{-1} = \frac{\text{Número de horas de trabajo} \times 0.746 \times \text{HP}}{\text{Eficiencia del motor}}$$

Donde el número de horas de trabajo fueron las horas trabajadas por la bomba; HP, los caballos de fuerza del motor; y la eficiencia del motor, generalmente para motores monofásicos es 0.5. De esta forma se obtuvo el consumo de KW h⁻¹ de la bomba, y en base al costo (\$ h⁻¹), se determinó el costo de energía eléctrica para ambos sistemas de riego.

RESULTADOS

El análisis de varianza y la prueba de medias (Tukey) para las 14 variedades de alfalfa no mostró diferencias ($P > 0.05$) en la producción de materia seca y en la relación hoja:tallo, en cambio, sí hubo diferencias ($P < 0.05$) en la altura de la plantas (Cuadro 3).

Hubo diferencias ($P < 0.05$) entre los 12 cortes de cada variedad, respecto a la producción de materia seca, la relación hoja:tallo y la altura de la planta. Mediante un modelo de regresión polinomial (Figura 1), se observó que en los meses de febrero y marzo (corte 3 y 4) y septiembre y octubre (corte 10 y 11) se produjo mayor materia seca. Por el contrario, la menor producción se observó en los meses de diciembre (corte 1), junio y julio (corte

Variables evaluated

Dry matter production. This variable was measured by cutting plants in a 1.0 m² parcel⁻¹ at a cut intensity of 5 cm. Cut material was weighed, 100 g fresh weight samples taken and dried in an oven at 65 °C for 72 h. After drying, samples were weighed with an analytical scale and dry matter percentage calculated by weight difference. Cuts were done an average of every 45 d (Cut dates were, 1) 02/12/00, 2) 30/01/01, 3) 14/03/01, 4) 25/04/01, 5) 04/06/01, 6) 30/07/01, 7) 12/09/01, 8) 08/01/02, 9) 25/02/02, 10) 08/04/02, 11) 20/05/02, 12) 01/07/02).

Leaf:stem ratio. A subsample of 30 g of fresh matter was taken from the initial sample and the leaves and stems separated. These were dried in an oven at 65 °C for 72 h, weighed and the leaf:stem ratio estimated based on dry matter.

Plant height. Before cutting, a measuring tape was used to measure ten randomly chosen plants per parcel, from soil surface to the last leaf on the stem.

Water use. Water use (mm) per hour of irrigation was measured with a gauge, the number of hours in a growth cycle added up to produce total irrigation water depth and this added to any rainfall that occurred. All water use variables were recorded throughout the 22-mo experimental period, from sowing to the final cut (12 cuts total).

Electricity use. Electricity use was calculated with the formula⁽¹⁸⁾:

$$\text{KW h}^{-1} = \frac{\text{Hours in operation} \times 0.746 \times \text{HP}}{\text{Pump efficiency}}$$

Where: Hours in operation: hours pump was in operation; HP: pump horsepower; pump efficiency: usually 0.5 for singlephase pumps. This produced the KW h⁻¹ used by the pump, which was multiplied by the rate (\$ h⁻¹) to determine the cost of electricity for both irrigation systems.

RESULTS

The ANOVA or Tukey means test showed no significant differences ($P > 0.05$) between the 14

Cuadro 3. Rendimiento, relación hoja:tallo y altura de la planta de 14 variedades de alfalfa con fertirriego

Table 3. Dry matter production, leaf:stem ratio and plant height of 14 alfalfa varieties growth with drip fertirrigation

| Variety | Dry matter production (t ha ⁻¹ cut ⁻¹) | Total dry matter production (t ha ⁻¹) | Leaf:stem ratio | Plant height (cm) |
|---------------------|--|--|--------------------|----------------------|
| Júpiter | 4.41 ^a | 52.95 ^a | 0.635 ^a | 64.4 ^b |
| Bajío 76 | 4.35 ^a | 52.17 ^a | 0.619 ^a | 67.0 ^{ab} |
| Azteca | 4.33 ^a | 51.91 ^a | 0.663 ^a | 65.2 ^{ab} |
| Maya | 4.30 ^a | 51.64 ^a | 0.673 ^a | 68.4 ^{ab} |
| Puebla 76 | 4.35 ^a | 52.25 ^a | 0.618 ^a | 68.9 ^a |
| Etla | 4.19 ^a | 50.33 ^a | 0.724 ^a | 58.9 ^c |
| Xoxocotlán | 4.14 ^a | 49.66 ^a | 0.742 ^a | 56.3 ^c |
| Moapa | 4.11 ^a | 49.36 ^a | 0.800 ^a | 66.5 ^{ab} |
| Tlacolula | 4.11 ^a | 49.30 ^a | 0.683 ^a | 59.0 ^c |
| Comet | 4.08 ^a | 48.96 ^a | 0.707 ^a | 64.6 ^{ab} |
| Cuf-101 | 4.05 ^a | 48.55 ^a | 0.659 ^a | 65.4 ^{ab} |
| INIA 76 | 4.00 ^a | 47.96 ^a | 0.653 ^a | 67.0 ^{ab} |
| Sintético I | 3.95 ^a | 47.42 ^a | 0.693 ^a | 59.2 ^c |
| San Pablo Huixtepec | 3.92 ^a | 46.99 ^a | 0.720 ^a | 59.7 ^c |

abc Different letter superscripts in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

7 y 8) que corresponden a los meses fríos y de precipitaciones del año.

La tendencia en el modelo de regresión polinomial para la relación hoja:tallo (Figura 2) se comportó en forma inversa al modelo de regresión de materia seca. Esto es, cuando la producción de materia seca fue mayor, hubo menor producción de hojas respecto a la de tallos.

La variedad "Puebla 76" mostró ($P < 0.05$) mayor altura respecto de las variedades "Júpiter, Sintético I, San Pablo, Tlacolula, Etla, y Xoxocotlán"; y similar respecto al resto de las otras siete variedades (Cuadro 3). Los análisis dentro de cada corte indicaron que las mayores alturas de planta se presentaron ($P < 0.05$) en los meses calurosos del año. Esto coincide directamente con la producción de materia seca e inversamente con la relación hoja:tallo, esto es, a mayor producción de materia seca mayor altura de la planta y menor relación hoja:tallo.

La producción de materia seca con la variedad Maya fue significativamente ($P < 0.05$) mayor en

alfalfa varieties in dry matter production or the leaf:stem ratio. There were, however, significant differences ($P < 0.05$) between varieties in plant height (Table 3).

Dry matter production, leaf:stem ratio and plant height also varied significantly ($P < 0.05$) within each variety between the 12 cuts. A polynomial regression model (Figure 1) showed that the highest dry matter production occurred in February (Cut 3), March (Cut 4), September (Cut 10) and October (Cut 11). Lowest dry matter production was recorded in December (Cut 1), the coldest month of the year, and June (Cut 7) and July (Cut 8), the wettest months.

The polynomial regression model for leaf:stem ratio (Figure 2) showed it to behave inversely to dry matter production, that is, leaf production dropped compared to stem production when dry matter production was highest.

Of the 14 varieties, plant height was greatest in Puebla 76, which was statistically different ($P < 0.05$) from the Júpiter, Sintético I, San Pablo, Tlacolula, Etla and Xoxocotlán varieties, but similar

Figura 1. Producción de materia seca durante 12 cortes de 14 variedades de alfalfa con fertirriego por goteo

Figure 1. Dry matter production during 12 cuts of 14 alfalfa varieties grown with a drip fertirrigation system

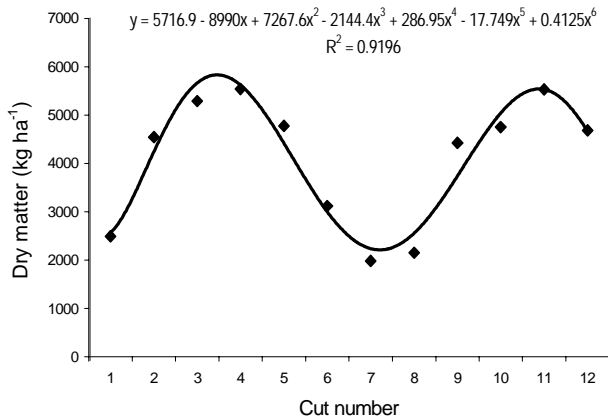
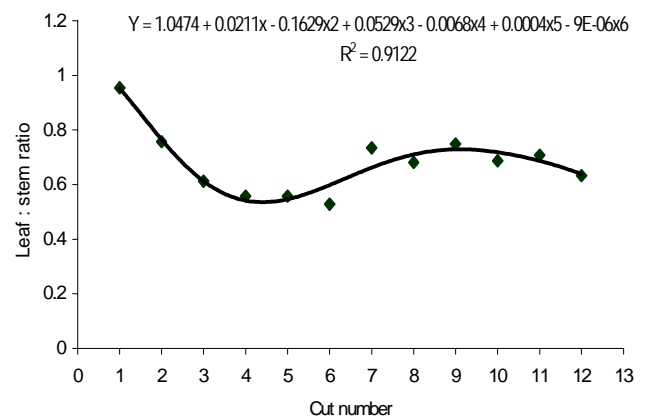


Figura 2. Relación hoja:tallo durante 12 cortes de materia seca de 14 variedades de alfalfa, bajo fertirriego

Figure 2. Leaf stem ratio during 12 cuts of 14 alfalfa varieties grown with a drip fertirrigation system



el sistema fertirriego en comparación con el sistema de riego por gravedad. En la variedad San Pablo Huixtepec, las plantas que fueron fertilizadas e irrigadas por goteo y por gravedad, mostraron rendimientos semejantes de materia seca, pero ($P < 0.05$) mayores que las plantas que no recibieron fertilizante (Cuadro 4). Las variedades “Maya y San Pablo Huixtepec” (fertilizadas con la dosis 60-100-00), incrementaron la producción de materia seca al pasar del sistema de riego por gravedad al sistema de fertirriego en 21.4 % y 6.2 %, respectivamente .

En la variedad Maya la relación hoja:tallo fue mayor ($P < 0.05$) en las plantas fertilizadas y regadas por gravedad; las plantas no fertilizadas o que recibieron fertirriego mostraron valores iguales en relación hoja:tallo (Cuadro 4). En el sistema de fertirriego, las plantas alcanzaron ($P < 0.05$) mayor altura que aquéllas que crecieron en el sistema de riego por gravedad.

En el sistema de fertirriego se aplicó menor cantidad de agua, menor número de horas de trabajo con la bomba y por lo tanto menor consumo de energía eléctrica, lo que implicó también menor costo respecto al riego por gravedad (Cuadro 4). Esto es, con fertirriego se tuvo un ahorro de agua del 50.2

to the remaining seven varieties (Table 3). Within each cut the analysis showed plant height to be greatest ($P < 0.05$) during the hottest months. This coincides directly with dry matter production and inversely with the leaf:stem ratio, that is, as dry matter production increased, plant height increased and the leaf:stem ratio decreased.

Dry matter production in the Maya variety was ($P < 0.05$) greater in the DFS than in the GIS. In the San Pablo Huixtepec variety, however, dry matter production was similar between the DFS treatments and the fertilized GIS treatment, but significantly ($P < 0.05$) lower in the unfertilized GIS treatment (Table 4). With the DFS, dry matter production was 21.4 % higher in the Maya variety and 6.2 % higher in the San Pablo Huixtepec variety than in the fertilized GIS treatments.

The leaf:stem ratio was higher ($P < 0.05$) in Maya variety plants in the fertilized GIS treatment than in the unfertilized GIS and DFS treatments, which were statistically equal (Table 4). Plant height was greater ($P < 0.05$) in the DFS treatment than in either of the GIS treatments.

The DFS required less water use (50.2 %), fewer hours of pump operation and therefore less

% y del 169.1% de ahorro en horas de trabajo, consumo y costo de energía.

DISCUSIÓN

La tendencia en la mayor producción de materia seca coincidió con los meses más calurosos, quizás porque en estos meses la temperatura e intensidad de luz fueron más altas⁽¹⁹⁾. Diversos autores^(7,20,21) consignan que la mayor producción de materia seca ocurre en las estaciones más calidas del año debido al aumento en la masa de tallos y a la disminución en la relación hoja:tallo⁽²²⁾.

La tendencia en la menor producción de materia seca ocurrió en los meses fríos, probablemente porque la respiración se redujo sensiblemente, y la planta formó sus compuestos orgánicos a un menor ritmo^(23,24,25).

En la menor relación hoja:tallo al aumentar la proporción de hojas respecto a los tallos, habrá mayor calidad del forraje debido a que en las hojas se encuentra el mayor contenido de proteínas

electricity use and cost (169.1 %) than the GIS (Table 4).

DISCUSSION

Higher dry matter production in this study coincided with the hottest months of the growing period and may have been in response to the higher temperatures and greater light intensity during these months⁽¹⁹⁾. Many researchers^(7,20,21) indicate that higher dry matter production during warmer seasons is due to increased stem mass and a drop in the leaf:stem ratio⁽²²⁾. The lower dry matter production observed during the colder months probably resulted from slightly reduced respiration and slower formation of organic compounds by the plants^(23,24,25).

As the proportion of leaves to stems increases in the plants with a lower leaf:stem ratio, forage quality would increase because the leaves have a higher digestible protein content^(1,7,26). Moreover, the nutrient concentration is higher in alfalfa leaves than in its stems and as the plant matures stem

Cuadro 4. Comparación agronómica entre el sistema de fertirriego por goteo y el sistema de riego por gravedad en 14 variedades de alfalfa

Table 4. Comparison of drip fertirrigation system and gravity irrigation system with two alfalfa varieties

| Variety | Variable | Drip Fertirrigation | Gravity irrigation | |
|------------------------------|---|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | Fertilized 60-100-00 | Unfertilized 00-00-00 |
| Maya | Dry matter production (t ha ⁻¹ cut ⁻¹) | 4.30 ^a | 3.54 ^b | 3.10 ^c |
| | Leaf:stem ratio | 0.76 ^b | 0.82 ^a | 0.75 ^b |
| | Plant height (cm) | 68.4 ^a | 45.0 ^b | 40.0 ^b |
| San Pablo Huixtepec | Dry matter production (t ha ⁻¹ cut ⁻¹) | 3.92 ^a | 3.69 ^a | 3.06 ^b |
| | Leaf:stem ratio | 0.72 ^b | 0.98 ^a | 0.97 ^a |
| | Plant height (cm) | 59.7 ^a | 39.0 ^b | 30.0 ^c |
| Maya and San Pablo Huixtepec | Water supply in 12 cuts (mm) | 2304.55 | 3461.49 | |
| | 2 HP pump operation time (h yr ⁻¹) | 151.60 | 408.10 | |
| | Electricity use (kw h ⁻¹) | 452.37 | 1217.70 | |
| | Cost of electricity (\$ yr ⁻¹) | 171.90 | 462.70 | |

abc Different letter superscripts within the same variable indicate statistical difference (P>0.05).

digestibles para el ganado^(1,7,26). Además, la concentración nutrimental es mayor en las hojas que en los tallos y conforme aumenta la madurez de la planta, la calidad del tallo disminuye a un porcentaje mayor que la calidad de las hojas⁽²⁷⁾.

La mayor producción de materia seca en los meses calurosos del año coincidió con la mayor altura de las plantas, en cambio disminuyó la relación hoja:tallo. Lo anterior pudo deberse a que en los meses calurosos se presentan las mayores tasas de crecimiento, por lo que el recambio de tejido es más acelerado, lo que ocasionó mayor caída de hojas^(7,22).

Los valores en materia seca y altura fueron mayores en el sistema fertirriego e inferiores en el sistema de riego por gravedad. Lo anterior pudo deberse a que en el sistema de fertirriego hubo mejor distribución en tiempo y espacio tanto del agua suministrada como de los nutrientes. Inclusive la incorporación ácida (pH 5.5) de la solución nutritiva al riego por goteo incrementó la disponibilidad mineral para las plantas, ya que el suelo mostró pH de 7.8 cuando lo óptimo es entre 6.0 y 6.5⁽²⁸⁾.

En ambos sistemas de riego, el suministro de agua y el gasto de energía eléctrica se evaluaron como sistema propiamente dicho, esto es, sin considerar las variedades como tratamientos. El ahorro de agua en riego por goteo en comparación con el riego rodado fue de 50.2 %. En un trabajo similar⁽¹⁰⁾ se encontró que en riego por goteo hubo un ahorro de agua del 30 % respecto al riego por aspersión y 50% respecto al riego rodado. Dichas cantidades son de importancia relevante en los lugares donde la evaporación es mayor a la precipitación, como es el caso de la Mixteca oaxaqueña.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La producción promedio de materia seca fue de 4.16 t ha⁻¹ corte⁻¹ entre las 14 variedades, 0.68 la relación hoja:tallo y la mayor altura fue de 68.9 cm con la variedad Puebla 76 . La mayor producción de materia seca ocurrió en los meses más calurosos del año y coincidió con la mayor altura de las plantas y la menor relación hoja:tallo.

quality declines at a faster rate than does leaf quality⁽²⁷⁾.

The higher dry matter production in the hot months coincided with greater plant height and a drop in the leaf:stem ratio. This was probably due to higher growth rates during this season leading to more accelerated tissue exchange and more leaf fall^(7,22).

The higher dry matter production and plant height values in the DFS versus the GIS treatments probably resulted from better water and nutrient distribution in time and space with the DFS. The acid (pH 5.5) content of the nutrient solution administered in the DFS also raised mineral availability for the plants in these treatments because it aided in bringing soil pH from 7.8 closer to the optimum 6.0 to 6.5⁽²⁸⁾.

Water and electricity use in both systems were evaluated as a separately, rather than as part of the treatments. Water conservation with the DFS was 50.2 % lower than with the GIS, which is similar to another study in which drip irrigation systems saved 30 % *versus* sprinkler systems and 50 % *vs* center-pivot systems. These differences are especially relevant in regions like the Mixtec of Oaxaca, where evaporation rates surpass rainfall.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Average dry matter production among the 14 studied alfalfa varieties was 4.16 t ha⁻¹ cut⁻¹, average leaf:stem ratio was 0.68 and the greatest plant height was 68.9 cm (Puebla variety)(*P*< 0.05). Dry matter production was highest in the hottest months and coincided with greater plant height and lower leaf:stem ratios. The DFS presented clear advantages over traditional GIS. It required 50.2 % less water and lowered pump operation hours (and by association electricity use and costs) by 169.1 %, a significant difference in regions like the Mixtec of Oaxaca where water is scarce and expensive to extract.

End of english version

Definitivamente el sistema de fertirriego por goteo trae grandes ventajas respecto al sistema de riego por gravedad. Esto es, el uso de fertirriego implicó ahorro de agua del 50.2 %, y en condiciones de la Mixteca oaxaqueña es de capital importancia, ya que trae como consecuencia grandes beneficios al disminuir el uso de energía eléctrica, las horas de trabajo (con la bomba) y finalmente en el ahorro económico.

LITERATURA CITADA

- Bouton JH. Alfalfa. Proceedings of the XIX International Grassland Congress XIX. Sao Pedro, Sao Pablo, Brazil. 2001:545.
- García SG. Selección de líneas clonales de alfalfa (*Medicago sativa* L.) por su capacidad productiva y calidad de semilla [tesis maestría]. Montecillo, Edo., de México: Colegio de Postgraduados; 1987.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Anuario Estadístico de la producción agrícola en los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria; 2000.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario estadístico del estado de Oaxaca. Tomo I. Gobierno del Estado de Oaxaca. 2002.
- Barajas LV, Tapia NA. Producción de forraje, digestibilidad y contenido de proteína cruda de nueve variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Nazareno Etla, Oax. Universidad Autónoma Chapingo, Depto de Zootecnia. 1991.
- Maldonado UJ, Mendez JH. Rendimiento de forraje y proteína en 11 variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en una localidad del estado de Hidalgo [tesis licenciatura]. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo; 1993.
- Villegas AY, Hernández GA, Pérez PJ, López CC, Herrera HJG, Enriquez QJF. Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc Pecu Méx* 2004;42(2):145-158.
- Hernández GA, Pérez JP, González VAH. Crecimiento y rendimiento de la alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia* 1992;2(3):131-144.
- Doorenbos, K. Yield to water. *Irrigation and Drainage* No. 33. FAO Roma, Italia. 1979.
- Delgado RA. Proyecto modular de riego por goteo y su comparación con otros sistemas de riego [resumen]. 5º Simposium internacional de fertirrigación y nutrición vegetal. Mérida, Yucatán, México. 2000:327
- Jiménez VJL, Rodríguez HR, Acosta HR. Evaluación técnico económica del sistema de fertirrigación en la Mixteca Oaxaqueña. Informe de resultados. SAGAR-INIFAP. Oaxaca, México: 2000.
- Fuentes ILG. La vivienda tradicional en la Mixteca Oaxaqueña. *Cuaderno regional* 2000;(2):95.
- Castellanos JZ, Uvalle BJA, Aguilar SA. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola; 2000.
- Burgueño H. Curso: la fertirrigación. Aguascalientes, México. 1999.
- Mass EV. Salt tolerance of plants. In: Christie BR editor. The handbook of plant science in agriculture. Boca Raton, Fla, USA: CRC Press; 1984:577.
- Steiner AA. Soilles culture. Proceedings of the 6th Colloquium International Potash Institute. Florence Italy. 1968:324-341.
- SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 8). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1999.
- Grundfos. Catálogo para bombas sumergibles. Bombas Suárez, Centro de ensamble y distribución. Subfactory Grundfos. México: 1999.
- Del Pozo IM. La alfalfa su cultivo y utilización. 3ª ed. Madrid, España: Editorial Mundiprensa; 1983.
- Varella AC, Peri PL, Lucas RJ, Moot DJ, Mcneil DL. Dry matter production and nutritive value of alfalfa and orchardgrass under different light regimes. *Proced XIX International grassland congress*. Sao Pedro, Sao Pablo, Brazil. 2001:659-660.
- Barbarosa RA, Miñon DP. Production of orchardgrass cultivars in mixtures with alfalfa, under grazing conditions. *Proced XIX International grassland congress*. Sao Pedro, Sao Pablo, Brazil. 2001:101-102.
- Barnes KD, Sheaffer CC. Alfalfa. In: Barnes FR, Millar M, Nelson CJ editors. Forages an introduction to grassland agriculture. 1st ed. USA: Iowa State Press; 1995:205-216.
- Bolaños AED, González HVA, Pérez PJ. Intensidad de pastoreo, rendimiento y tasa de crecimiento de ballico perenne. *Rev Fitotéc Mex* 1995;(18):35-42.
- Hanson CH. Ciencia y tecnología de la alfalfa. 1ª ed. Uruguay: Editorial Hemisferio Sur; 1972.
- Nestor AJ, Craig CS, Barnes DK. Temperature and photoperiod effects on multifoliate expression and morphology of alfalfa. *Crop Sci* 1993;(33):573-578.
- Moreno MJA, Molina GH. Rendimiento de forraje y proteína cruda de once variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en Tepetitlán, Hidalgo [tesis licenciatura]. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo; 1994.
- Hodgson JG. *Grazing management: Science into practice*. Harlow, England: Longman Scientific & Technical; 1990.
- INPOFOS. Instituto de la potasa y el fósforo. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. 1ª ed. Quito, Ecuador 1993.