

**USO DEL AGUA, PRODUCCIÓN, PRODUCTIVIDAD  
Y RELACIONES HÍDRICAS EN LA ALFALFA  
(*Medicago sativa* L.) CON RIEGO POR GOTEO  
SUBSUPERFICIAL**

**FRANCISCO LUCERO TRUJILLO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRONÓMICA**



**Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"  
Unidad Laguna - Subdirección de Postgrado.  
Torreón, Coahuila Octubre del 2002**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

USO DEL AGUA PRODUCCIÓN PRODUCTIVIDAD Y RELACIONES HÍDRICAS EN  
LA ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL

TESIS

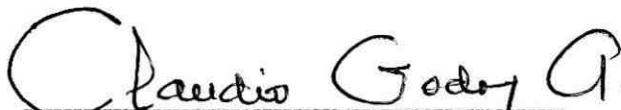
POR  
FRANCISCO LUCERO TRUJILLO

Elaborada bajo la supervisión del comité Particular de Asesoría y aprobada como  
Requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN PRODUCCIÓN AGRONÓMICA**

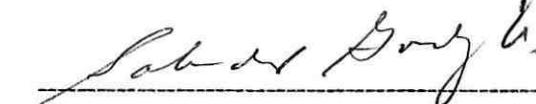
COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA

Asesor principal



MS. Claudio Godoy Ávila.

Asesor



Dr. Salvador Godoy Ávila.

Asesor



MC. Luis Javier Heróles Salazar

Dr. Raúl Villegas Vizcaíno  
Jefe del Departamento de Postgrado

Dr. Ramiro López Trujillo  
Subdirector del Postgrado

Torreón Coahuila Octubre del 2002

# DEDICATORIAS

**A Dios:**

Por haberme dado la existencia y enseñarme  
El camino para concluir mis estudios de  
Maestría

**A mi madre y a mi padre**  
que siempre me están apoyando  
con sus consejos y bendiciones.

**A mi esposa Nadia**  
por su comprensión  
y por su paciencia

**A mi hijo**  
**Francisco**

Que con su nacimiento me dio un aliciente  
Para terminar esta meta dentro de mi vida

**A mis hermanos:**  
**Andres, Reynaldo, Mary,**  
**Ma Silvia, Rogelio, Luis,**  
por su motivación incondicional

**A mi alma terra mater**  
por darme la oportunidad una  
vez mas de una superación  
profesional y personal

**A mis maestros por**  
Brindarme sus valiosos Conocimientos  
dentro y fuera del salón de clases.

# AGRADECIMIENTOS

**Al MSc. Claudio Godoy Ávila** por su dirección, colaboración y revisión del presente trabajo, así como por su apoyo moral desinteresado e incondicional durante la maestría

**Al PhD. Salvador Godoy Ávila** por sus observaciones y revisión para la realización del presente trabajo y así como sus consejos fuera de clases.

**Al MC. Luis Javier Hermosillo Salazar** por su colaboración y orientación en las revisiones del presente trabajo.

**Al MC. Armando Espinoza Banda** por su magnífica motivación y orientación durante el transcurso de mis estudios de Maestría.

**Al Dr Emiliano Gutiérrez del Río, Al PhD. Pedro Cano Ríos y Al PhD. Arturo Palomo Gil** por sus consejos y motivación durante mis estudios de maestría.

A mis compañeros los **Ingenieros Norma y Sergio**, por su gran ayuda dentro y fuera del salón de clases.

**Al Sr. Samuel Velez** por su gran ayuda durante todo el trabajo de campo del presente trabajo.

**A la Sra. Esther Peña** por su ayuda durante el transcurso de la Maestría.

**A las Ing. Norma y Elba Margarita** por su apoyo en los análisis de suelo del presente trabajo.

**A la Ing. Martha Vianey** por su apoyo en los análisis de proteína de alfalfa.

## COMPENDIO

USO DEL AGUA, PRODUCCIÓN, PRODUCTIVIDAD Y RELACIONES HÍDRICAS EN LA ALFALFA (*Medicago sativa* L.) CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL.

Por  
FRANCISCO LUCERO TRUJILLO

MAESTRIA EN CIENCIAS  
PRODUCCIÓN AGRONOMICA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

TORREÓN, COAHUILA, OCTUBRE DEL 2002

MSc. Claudio Godoy Ávila - Asesor

Palabras clave: Sistema de riego, evapotranspiración, potencial hídrico

Durante 2000 – 2001 se realizó un estudio en el cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) cuyo objetivo fue determinar si el sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS) comparado con el riego superficial consume menos agua, además de analizar si la producción y calidad se mantienen o incrementan. Se probaron siete tratamientos de riego: uno por inundación y seis tratamientos con riego por goteo subsuperficial que resultaron de la combinación de reponer en cada riego 100, 80 y 60% de la evapotranspiración (ET). y dos espaciamientos entre laterales que fueron a 0.8 y 1.0 m. En los tratamientos de goteo subsuperficial las cintas de riego laterales se colocaron a una profundidad de 50 cm. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se midió el potencial hídrico ( $\Psi_h$ ) en cinco hojas cada 72 horas. La

producción de materia seca se evaluó en cada uno de los cinco cortes realizados. Durante el tercer corte se evaluó la dinámica de acumulación de materia seca. El volumen de agua aplicado en los tratamientos con RGS disminuyó cuando el porcentaje de la ET aplicado fue bajo y el espaciamiento entre laterales se incrementaba llegando a ser 15 a 49% menor con respecto al aplicado en el riego por inundación, mientras que la producción de materia seca fue 14 a 25% mayor en el RGS que en el de inundación. En los porcentajes de calidad no se encontró diferencia estadística entre tratamientos aunque se observa que los mejores valores se obtuvieron en los tratamientos de RGS con un valor promedio en los últimos tres cortes de 23.6% de proteína cruda y obteniendo solo 22.6% en el riego por inundación

## SUMMARY

WATER CONSUMPTION, YIELD, PRODUCTIVITY AND WATER RELATIONS IN  
ALFALFA (*Medicago sativa* L.) WITH SUBSURFACE DRIP IRRIGATION.

By  
FRANCISCO LUCERO TRUJILLO

MASTER IN SCIENCE

AGRONOMIC PRODUCTION

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

TORREÓN, COAHUILA, OCTUBRE DEL 2002

MSc. Claudio Godoy Ávila. - advisor

**Index words:** Irrigation system, evapotranspiration, water potential.

This study was conducted during 2000-2001 in alfalfa (*Medicago sativa* L.) in order to determine if the subsurface drip irrigation system (SDI), compared with the surface irrigation, uses less water and also to analyze if the yield and quality is maintained stable or increases. Seven irrigations treatments were evaluated: one by flood, and six with subsurface drip irrigation that resulted in the combination of 100, 80 and 60% of evapotranspiration (ET) and lateral spacing to 0.8 and 1.0 m. apart. In the treatments of drip subsuperficial the lateral watering tapes were placed to a depth of 50 cm. A randomized complete block design with four replications was used. Leaf water potential ( $\Psi_n$ ) was measured every 72 hours in five leaves. Dry matter production was evaluated in each of the five cuts. During the third cut the dynamics of dry matter accumulation was evaluated. The volume of water applied in the treatments with SDI diminishes

when the percentage of the applied ET was low and the spacing among lateral was increased ending up being 15 to 49% lower than the applied through flood irrigation. The water volume applied in the subsurface drip irrigation treatments was 32 to 51% lower than the applied through flood irrigation, although dry matter production was 16 to 23% higher in the SDI than in the flood irrigation. In the percentages of quality was not statistical difference between treatments although is observed that the best values were obtained in the treatments of SDI with a value average in the last three courts of 23.6% of crude protein and obtaining single 22.6% in the flood irrigation.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>IMPORTANCIA DEL CULTIVO.....</b>	<b>5</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE LA ALFALFA.....</b>	<b>5</b>
Temperatura.....	5
Suelo.....	6
Raíz.....	6
Tallo.....	6
Hoja.....	7
Madurez de la alfalfa.....	7
Calidad del forraje.....	8
<b>RELACIONES HÍDRICAS EN LA ALFALFA.....</b>	<b>9</b>
<b>REQUERIMIENTO DE AGUA EN EL CULTIVO</b>	
<b>DE LA ALFALFA.....</b>	<b>10</b>
<b>ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE RIEGO.....</b>	<b>11</b>
<b>FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO</b>	
<b>POR GOTEO SUBSUPERFICIAL.....</b>	<b>15</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>19</b>
<b>ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO.....</b>	<b>19</b>
Preparación del terreno.....	19

Instalación del sistema de riego.....	20
Siembra.....	20
AGUA DE RIEGO.....	21
Riegos en sistema subsuperficial .....	21
Riego superficial.....	23
FERTILIZACIÓN.....	24
TRATAMIENTOS EVALUADOS.....	24
VARIABLES DE ESTUDIO.....	25
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.....	28
Producción acumulada.....	29
Incremento en la producción de materia seca.....	31
DINÁMICA DE ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA ENTRE EL 2 <sup>º</sup> Y 3 <sup>ER</sup> CORTE.....	31
VOLUMEN DE AGUA APLICADO.....	36
Ahorro de agua aplicada.....	36
MATERIA SECA DE ALFALFA PRODUCIDA POR VOLUMEN DE AGUA APLICADA.....	38
CALIDAD DE LA ALFALFA.....	39
POTENCIAL HÍDRICO EN HOJAS DE ALFALFA.....	41
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>48</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Cortes de la alfalfa con unidades calor acumuladas de acuerdo a la duración de sus días a corte. 2000 – 2001.	27
2	Producción de materia seca de alfalfa durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 – 2001.	28
3	Parámetros de modelo de regresión para la acumulación de materia seca de alfalfa en siete tratamientos de riego. 2001.	35
4	Volúmenes de agua aplicados a la alfalfa durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 – 2001.	36
5	Ahorro de agua aplicada a la alfalfa durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 – 2001.	37
6	Valores de materia seca producida por cada milímetro de agua aplicada durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 – 2001.	38
7	Porcentaje de proteína cruda de alfalfa de siete tratamientos de riego en tres cortes realizados. 2001.	40

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Figura		Página
1	Producción acumulada de Materia seca de alfalfa, a través de cinco cortes y en función a los tratamientos de riego: T <sub>7</sub> , tratamiento Testigo o riego tradicional; T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> y T <sub>6</sub> , riegos subsuperficial. 2000-2001.	30
2	Porcentaje de incremento en la producción de materia seca de alfalfa en los tratamientos de riego T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , y T <sub>6</sub> , (riegos subsuperficial) con relación al tratamiento testigo T <sub>7</sub> , (riego superficial) de acuerdo al numero de cortes. 2000-2001.	32
3	Dinámica de acumulación de materia seca entre el segundo y tercer corte en alfalfa bajo siete tratamientos de riego. 2001.	33
4	Variación del potencial hídrico de la hoja en la alfalfa durante el primer y segundo corte bajo siete tratamientos de riego en relación a unidades calor acumuladas después del corte 2000 – 2001.	42
5	Variación del potencial hídrico de la hoja en la alfalfa durante el tercer y cuarto corte bajo siete tratamientos de riego en relación a unidades calor acumuladas después del corte 2001.	43
6	Variación del potencial hídrico de la hoja de en la alfalfa durante el quinto corte bajo siete tratamientos de riego en relación a unidades calor acumuladas después del corte 2001.	44

## INTRODUCCIÓN

En la Comarca Lagunera durante los últimos cinco años el volumen de agua utilizado fue de 1900 millones de  $m^3$ , de los cuales se destino para el riego de cultivos agrícolas más del 90%. De este volumen, 62% correspondió al agua extraída del acuífero y el resto provino de la presa Lázaro Cárdenas, ubicada en Nazas Dgo. Del agua utilizada para propósitos de riego se estima que se necesitan aproximadamente 800 millones de  $m^3$  para satisfacer los requerimientos de agua por los cultivos y el resto 900 millones de  $m^3$ , se pierde debido a las ineficiencias del riego (Godoy, 2000. Con el agua que se extrae del acuífero se riegan aproximadamente unas 75 mil hectáreas, de las cuales el 85% corresponden a cultivos forrajeros, ocupando la alfalfa (*Medicago sativa*) el 65% de la superficie, y con esto obteniendo el mayor porcentaje de la superficie sembrada de forrajes, siendo el principal factor de sostenimiento en la cuenca lechera regional (SAGAR, 1998).

Investigaciones realizadas por Inzunza (1989), demuestran que es necesario una lámina de riego de 1.4 m por año, con la que se obtienen rendimientos de 16 toneladas de forraje seco por hectárea, en contraste, en la Región Lagunera se utilizan láminas de riego aproximadas a los 2.5 m por año para obtener rendimientos de 12 a 14 toneladas, lo que representa una extracción adicional al acuífero de un volumen de 352 millones de  $m^3$ . En consecuencia, el mal uso del agua de riego en alfalfa, es el principal factor relacionado con el abatimiento del manto acuífero cuyo descenso anual es de 2.1 a 7.0 m por año. Lo anterior ha ocasionado que el agua en esta región, se esté

convirtiéndolo en un recurso muy escaso y caro, por lo que es prioritario utilizar métodos de conservación del agua.

El sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS) conserva el agua y al mismo tiempo incrementa significativamente la producción y mantiene la calidad de los cultivos, porque con este sistema la condición física en la planta es adecuada. Con el RGS es también posible dosificar el suministro de agua y nutrientes de acuerdo con lo requerido por la planta, la disponibilidad de éstos es adecuada lo que permite que las plantas tengan los estomas abiertos, transpiren y asimilen el CO<sub>2</sub> adecuadamente, provocando que la fotosíntesis neta sea alta, reflejándose esto en el incremento del rendimiento y calidad del cultivo. Con el riego por goteo subsuperficial se mantiene seca la superficie del suelo y la humedad de las capas inferiores es mantenida por debajo del estado de saturación, por lo que la evaporación directa del suelo y la percolación profunda, que representan las pérdidas de agua más importantes por el sistema de riego superficial se eliminan completamente. Además los factores bióticos tales como plagas, enfermedades y malezas que compiten con el cultivo por agua y nutrientes son minimizados; lo anterior permite incrementar significativamente la eficiencia en el uso del agua en este cultivo.

De acuerdo con lo anterior, el incremento en la producción que se tiene en la alfalfa con la utilización del riego por goteo subsuperficial, puede ser mayor comparado con el riego superficial y la disminución del volumen de agua utilizado en este cultivo puede ser desde 20 hasta 50% (Phené, 1999; Camp, 1998; Hutmacher *et al.*, 1999; Hanson *et al.*, 1997; Hartz, 1996).

## OBJETIVOS

1. Evaluar si el sistema de riego por goteo subsuperficial comparado con el método tradicional consume menos agua en el cultivo de alfalfa.
2. Definir si la producción y calidad de la alfalfa se puede mantener o incrementar utilizando el sistema de riego por goteo subsuperficial aplicando una menor cantidad de agua.
3. Evaluar las relaciones hídricas del follaje de la planta en respuesta a los dos sistemas de riego.
4. Conocer las diferencias en el comportamiento de las relaciones hídricas, volumen aplicado, producción de materia seca y calidad de la alfalfa de los dos espaciamientos entre las cintas de goteo laterales del sistema de riego subsuperficial.

## HIPÓTESIS

1. La utilización del riego por goteo subsuperficial disminuye de un 30-50% el consumo de agua aplicado al cultivo con respecto al riego tradicional.
2. Aplicando el agua mediante riego por goteo subsuperficial y de acuerdo a la demanda del cultivo se obtiene una mejor producción de materia seca.
3. La utilización del riego por goteo subsuperficial en el cultivo de la alfalfa mantiene una mejor condición hídrica, ya que el agua del suelo esta siempre disponible.
4. Dentro de los dos espaciamientos entre las cintas de goteo laterales del sistema de riego subsuperficial el mejor comportamiento en las relaciones hídricas, volumen aplicado, producción de materia seca y calidad de la alfalfa será en el espaciamiento mas estrecho.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del Cultivo

La alfalfa es la principal especie forrajera que se cultiva en todo el mundo. Esta especie pertenece al género *Medicago*, que comprende alrededor de 83 especies, de las cuales dos terceras partes son anuales y el resto son perennes (Small y Jomphe, 1988) siendo una de las leguminosas más importantes para la ganadería tanto por la cantidad de forraje obtenido como por la superficie cultivada y por su gran valor nutritivo (Baudilio, 1983). La alfalfa produce aproximadamente el doble de proteína digestible que otras especies leguminosas. También es muy rica en minerales y contiene al menos diez vitaminas diferentes.

### Características del Cultivo de la Alfalfa

#### Temperatura

La temperatura es el principal factor climático que determina el potencial productivo de la alfalfa, la germinación de la semilla puede ocurrir desde 2 a 3°C, siendo su temperatura óptima entre los 25 y 30°C. Esta leguminosa tolera temperaturas de 10 y 15°C bajo cero. La producción de la alfalfa es importante con medias anuales de alrededor de 15°C. En México los lugares con mayor potencial

productivo para la alfalfa son donde la temperatura media anual es de 19°C (Santamaría *et al.*, 2000).

### Suelo

La alfalfa se adapta a una gran variedad de suelos ya sean bajo riego o seco (Baudilio, 1983); pero sus rendimientos se mejoran en suelos margosos profundos, en los arcillosos o en los margosos arenosos que están bien drenados y tienen un contenido relativamente alto de materia orgánica (Robles, 1990). El pH óptimo de este cultivo es de 6.5 A 7.5, tolerando mejor la alcalinidad que la acidez (Guerrero, 1992).

### Raíz

La raíz de la alfalfa penetra más que la de ninguna otra herbácea cultivada, (Robles, 1990). El sistema radical está compuesto por una raíz robusta y pivotante y muchas raíces secundarias. La raíz principal alcanza profundidades de 2 a 5 m y aún hasta más, la cual determina una fuerte tolerancia a la sequía (Guerrero, 1992). Por su parte Palacios (1994), reporta una profundidad radical en la alfalfa de 1.5 m. Para la Región Lagunera se maneja una profundidad radical dependiendo del tipo de suelo, 1.2 m si la textura es arenosa y de 0.9 m si es arcillosa.

### Tallo

Los tallos son erectos, suelen alcanzar una altura de 60 a 90 cm, pueden formarse de 5 a 25 o más tallos por planta, que nacen de una corona leñosa de la que brotan nuevos tallos cuando los viejos maduran o se cortan.

## Hoja

Las hojas normales son trifoliadas y pecioladas. Los folíolos se presentan en forma más o menos oblonga o ancha. Dada las magníficas condiciones nutritivas de los folíolos, se busca que éstos sean de mayor número.

## Madurez de la Alfalfa

Desde el punto de vista de rendimiento y vigor de la planta, la sugerencia para realizar los cortes durante la mayor parte del año es cuando la planta inicia su floración (10% de flor), pero durante los meses de noviembre a febrero cuando la floración se retarda, el parámetro que se sigue es la aparición de los rebrotes basales que vienen de la base de la corona de la planta, el corte también puede hacerse en estados más tiernos de desarrollo, en emisión de botones o cuando está completamente en botón si se pretende obtener la máxima calidad. En este caso debe tomarse en cuenta que la longevidad y vigor de la alfalfa se ven afectados y probablemente no alcance su vida útil de tres años (Quiroga, 2000).

Según Kalu y Fick (1983), el medio ambiente tiene una marcada influencia sobre el crecimiento de las plantas; por lo tanto es factible desarrollar un sistema para definir el calendario de cortes, basado en uno o más factores climatológicos. A su vez Bootsma (1984), simuló el crecimiento de las plantas basado en unidades calor (UC), usando un límite superior de 30°C y un mínimo de 5°C para desarrollar un mapa zonal de la región atlántica del Canadá, para la maduración de los cultivos forrajeros. Con el mismo límite inferior, Fick y Onstad (1984) determinaron que la alfalfa inicia su floración en el rango de las 550 a 650 UC.

Por su parte Quiroga *et al.*, (1993), en la provincia de Ontario en el Canadá, determinó que los cortes deben realizarse entre las 550 y 600 UC. Estos mismos autores proponen que los sistemas basados en UC deberán de ser desarrollados para cada región en particular, ya que la incidencia o combinación de factores climáticos son particulares para cada área y dependerán tanto de la altitud como de longitud donde se encuentre.

### **Calidad del Forraje**

Los nutrimentos en los forrajes que proporcionan energía son los carbohidratos, proteínas y lípidos, pero los primeros son los más importantes, porque generan más del 80% de la energía. La alfalfa se caracteriza por una concentración alta de proteína cruda, la mayor parte de la cual es proteína degradable en el rumen (74-79%).

El concepto de digestibilidad se refiere a la parte del forraje consumido que no es excretado en las heces fecales. La importancia de la digestibilidad de los forrajes se puede manifestar en aumento de 0.170 Kg en el consumo de materia seca y de 0.250 Kg en la producción de leche por vaca por día por unidad de incremento en la digestibilidad (Allen y Oba, 1996). Existen investigaciones que indican que la alfalfa disminuye su digestibilidad en verano en comparación a la primavera, esto se debe a que en la primavera los días son mas largos y los cultivos captan mayor luz, lo cual es un factor que promueve síntesis de carbohidratos solubles y por lo tanto aumenta la digestibilidad de la alfalfa durante esta estación del año (Van Soest, 1996). Por su parte Wilson y Ford (1973) citados por Núñez (2000), reportan que cuando las temperaturas son altas disminuyen la digestibilidad por el aumento en la concentración de la fibra y reducción de carbohidratos solubles y proteínas; además, que promueve

un aumento del grosor de las paredes celulares. Otro factor que influye en la cantidad porcentual de la digestibilidad es el tipo de variedades de alfalfa.

### Relaciones Hídricas de la Alfalfa

Cualquier exceso o deficiencia de la humedad del suelo, limita el crecimiento y funcionamiento de la raíz (Kramer, 1983). La inundación del suelo detiene inmediatamente el crecimiento de la raíz y la inundación prolongada causa deterioro en el sistema radical (Thompson y Fick, 1981 citados por Fick *et al.*, 1988).

En la alfalfa el peso seco del tallo y la longitud del entrenudo se disminuyen cuando el estrés por humedad se incrementa, habiéndose encontrado una disminución significativa en el crecimiento del mismo cuando el potencial hídrico de la hoja alcanza valores por debajo de -1.0 Mpa (Brown y Tanner, 1983).

Snaydon (1972) y Vough (1971) citados por Fick *et al.*, (1988), mencionan que usualmente el crecimiento del tallo disminuye más que el crecimiento de la hoja con el incremento del estrés de la humedad del suelo, de tal forma que la relación hoja/tallo se incrementa con el déficit de la humedad del suelo.

Cuando el agua en el suelo es deficiente, el tamaño y las características de las hojas en la alfalfa disminuyen (Guerrero, 1992). Se ha demostrado que el crecimiento de la hoja disminuye cuando el potencial hídrico es de -1.0 Mpa (Brown y Tanner, 1983).

Según Karamanos y Papatheaharia (1999), la cuantificación del potencial hídrico de las hojas es de gran importancia desde el punto de vista agronómico, debido a que si existe una pérdida de agua a través de la hoja, ocurre un cierre estomatal ocasionando un decremento en la producción de materia seca. Por su parte Kramer (1983), establece que el conocimiento de las relaciones hídricas de la planta, es la variable más utilizada para explicar procesos de control y movimiento de agua en la planta, reflejando el comportamiento de los estomas en función de un estrés hídrico a que esté sometido el cultivo, explica también el comportamiento de la variación de la fotosíntesis y del crecimiento del cultivo con relación al estrés hídrico utilizando como base el potencial hídrico y la conductancia estomatosa.

La producción óptima del cultivo se correlaciona directamente con la disponibilidad del agua en el suelo (Stricevic y Caki, 1997). Bajo condiciones de humedad limitante, la producción de materia seca se disminuye; sin embargo cuando se aplican volúmenes de agua superiores a las necesidades del cultivo, provocan una disminución en la transpiración de la planta debido a que el suelo se satura y la planta permanece inactiva, debido a la baja concentración de oxígeno en las raíces.

### **Requerimiento de Agua en el Cultivo de la Alfalfa**

La alfalfa es bastante tolerante a la sequía, pero no quiere decir que no necesite de importantes cantidades de agua para obtener una buena producción (Guerrero, 1992). Kisselbach *et al.*, (1929), Brown y Tanner (1983) y Grimes *et al.*, (1992). Encontraron que el déficit del agua en el suelo provoca una reducción significativa de la producción y crecimiento de la alfalfa.

Según Saeed y El Nadi (1997), la alfalfa tiene un alto requerimiento de agua comparado con otros cultivos

Inzunza (1989), encontró en un estudio realizado en la Región Lagunera que los requerimientos de agua para la alfalfa fueron de 1.40 metros por año para obtener 16 toneladas de forraje base peso seco; entre tanto, las lámina de agua que se aplican en La Región para regar el cultivo de manera comercial son hasta de 2.5 m con una producción de 12 a 14 toneladas de forraje base peso seco. Según Phene (1999), la eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de la alfalfa es de  $1.1 \text{ Kg m}^{-3}$ . En comparación los valores que se obtienen en la Región Lagunera son de  $0.52 \text{ Kg m}^{-3}$ .

Por otra parte, los valores medios de eficiencia en el uso del agua para las plantas  $C_3$  a las cuales pertenece la alfalfa es de  $1.5 \text{ kg m}^{-3}$  de agua transpirada, por lo que todavía existe un potencial de producción aun no explorado (Godoy *et al.*, 1998). La diferencia entre la cantidad de agua que actualmente se usa para regar la alfalfa en La Laguna con la que potencialmente se puede utilizar, es producto del desperdicio por la evaporación directa del suelo y por percolación profunda, o bien no es aprovechada por la planta debido a la presencia de factores de estrés como plagas, enfermedades, salinidad, etc. Los altos volúmenes de agua que se aplican a este cultivo son consecuencia de la utilización del riego por melgas (Godoy *et al.*, 1998).

### **Alternativa del Sistema de Riego**

Una alternativa para mejorar el riego de la alfalfa, incrementando la eficiencia en el uso y el aprovechamiento del agua en el cultivo, podría ser la utilización de un sistema de riego que transporte el agua en conductos cerrados, enterrado bajo la

superficie del suelo y que suministre determinadas cantidades de agua en función de la demanda del cultivo y al mismo tiempo que impida el desperdicio, la salinidad y el alza del nivel freático, este sistema es llamado Riego por Goteo Subsuperficial (RGS) (Phene, 1999 y Godoy *et al.*, 1998).

El uso de RGS evita que el suelo se sature de agua, lo que ocurre siempre después de la aplicación de un riego superficial, provocando esto un estrés de humedad en los cultivos, que se repetirá cada vez que se aplique el riego superficial. Cuando un cultivo es mantenido temporalmente en suelo saturado, en sus hojas ocurre cierre de estomas, reduciéndose el intercambio de vapor de agua (transpiración),  $\text{CO}_2$  (asimilación de  $\text{CO}_2$ ) y oxígeno, lo que implica finalmente una menor producción de materia seca (Clark y Smaistra, 1996).

Con el RGS es posible dosificar el suministro de agua y nutrimentos de acuerdo a lo demandado por la planta, lo que permite que las plantas tengan los estomas abiertos, transpiren y asimilen el  $\text{CO}_2$  adecuadamente, provocando que la fotosíntesis neta sea alta, reflejándose esto, en incremento en el rendimiento y al mantener la planta su condición física adecuada se conserva la calidad del cultivo. También con el RGS la superficie del suelo se conserva seca y la humedad en las capas inferiores se mantiene por debajo del estado de saturación, por lo que la evaporación del suelo y la percolación profunda, que representan las pérdidas de agua más importantes por el sistema de riego superficial, se eliminan completamente. Lo anterior puede disminuir hasta 50% el volumen de agua utilizado en el cultivo de la alfalfa (Phene, 1999; Hanson *et al.*, 1997; Hartz, 1996).

Camp (1999), Henngeler (1997), Phene (1999) y Hutmacher *et al.*, (1999), encontraron que el riego con cinta ha resultado con ventajas muy significativas sobre los sistemas tradicionales de riego superficial. Colocando la cinta de goteo debajo de la superficie del suelo es denominado RGS, con lo cual es posible tener un beneficio potencial adicional en comparación a la cinta colocada sobre la superficie del suelo.

Camp *et al.*, (2000), menciona que en recientes avances técnicos el RGS, es considerado actualmente el método de riego más sofisticado y eficiente para regar cultivos agrícolas y una alternativa viable con respecto a otras formas de riego como lo es la inundación, surcos, aspersión y microaspersión, etc. Además es capaz de promover las más altas producciones y eficiencia en el uso del agua que cualquier otro método de riego actualmente en uso en el mundo, y puede ser utilizado en cultivos en hilera y perennes, como la vid y la alfalfa con una duración del sistema de más de 20 años.

Camp (1998), encontró en un estudio realizado con 30 cultivos que la respuesta en el rendimiento del cultivo cuando estos fueron regados con goteo subsuperficial fue igual o mayor que para otros métodos de riego, incluyendo el riego por goteo superficial, y requirió menos agua en la mayoría de los casos.

Zoldoske *et al.*, (1995) reporta que los rendimientos para zacate de césped en un campo con RGS y aspersores fijos sólidos fueron iguales, pero el uso de agua y costo por mantenimiento fue mayor con el de aspersión, debido a que fue necesario quitar y colocar el sistema en cada corte.

Michailides *et al.*, (1995) en un estudio encontró que al utilizar el RGS mostró una mas baja incidencia y severidad de hojas infectadas por *Alternaria alternata* que con riego por inundación siendo los daños de un 10% y 55% respectivamente. Además, el RGS disminuyó la incidencia de fruta infectada (alternaria y otros hongos filamentosos) a la mitad de los niveles. El riego por goteo subsuperficial produjo períodos más cortos de formación de rocío por día, más baja humedad relativa, y las temperaturas más altas. Las diferencias en estos parámetros pueden explicar la diferencia de los niveles de enfermedad entre los dos sistemas de riego.

Camp (1998) encontró en una evaluación que la separación del espaciamiento entre laterales en el riego por goteo subsuperficial dependen del tipo de cultivo y suelo, en el caso de la distancia a la cual deberá ser enterrada la cintilla esta sujeto de la profundidad radicular del cultivo que se trate.

Hutmacher *et al.*, (1999) en un experimento realizado, obtuvo que la alfalfa en bordos con espaciamientos laterales de líneas de goteros de 40 y 50 pulgadas y una profundidad promedio de la cinta de 16 pulgadas presentó problemas de mojado en la superficie del suelo en ambos tratamientos lo anterior condujo a la necesidad de disminuir la aplicación de agua durante un periodo en cada ciclo de la cosecha, esto permitió que la maquinaria que realizaba los trabajos de cosecha pudiera transitar. Otra alternativa para evitar el mojado de la superficie del suelo fue el remplazar el sistema enterrando la cinta a una profundidad de 25 a 28 pulgadas.

Phene (2000) realizó un estudio en Brawley California de alfalfa, utilizando como método para regar el sistema de riego subsuperficial, enterrando la cinta a una profundidad de 70 cm y comparando dos espaciamientos entre cintas de 2.04 m y 1.02

m, no encontrando diferencias significativas en el rendimiento con los dos espaciamentos. En lo que respecta a la proteína cruda, fueron mas bajos los porcentajes en el espacio de 2.04 m con respecto al de 1.02 m, obteniendo en este ultimo espaciamiento un 101% y 68.9% más de proteína cruda con respecto al riego rodado y al espaciamiento de 2.04 m.

### **Funcionamiento del Riego por Goteo Subsuperficial**

El movimiento del agua en el suelo es por flujo de masas (estado líquido) y por difusión (estado de vapor). Las fuerzas que están controlando el movimiento del agua son debidas principalmente a la naturaleza capilar del suelo, la cual actúa igualmente en todas direcciones y la fuerza gravitacional, la cual es siempre constante y hacia abajo; La fuerza capilar disminuye a medida que el suelo se humedece. Por tanto, en un suelo seco, las fuerzas capilares son mucho más grandes que la gravitacional y tiende a mover el agua en todas direcciones, incluso hacia arriba. A medida que el suelo llega a ser más y más húmedo, los poros del suelo se saturan, las fuerzas capilares se debilitan y la fuerza gravitacional llega a ser más importante y el agua se mueve hacia abajo. El manejo básico entonces, consiste en regar el suelo en pulsos cortos (riego de alta frecuencia). Al manejar el RGS con riego de alta frecuencia, el movimiento de agua es controlado principalmente por las fuerzas capilares y no por las gravitacionales, permitiendo a la planta recibir el agua y nutrimentos directamente en una pequeña porción de la zona radical (Henngeler, 1997; Phene, 1999).

Según Hutmacher *et al.*, (1999), también se ha demostrado que en el RGS existe un incremento en el volumen del suelo humedecido esférico vs hemisférico y del área

superficial disponible para el crecimiento y absorción radical. Este mismo autor ha encontrado que para un gasto de descarga de agua dada:

1. El volumen esférico del suelo humedecido es aproximadamente 46% más grande para el sistema de RGS, que el volumen hemisférico humedecido con el sistema de riego por goteo superficial.
2. El área superficial humedecida y disponible para absorción radical es 62% más grande que en el sistema RGS que en el superficial (excluyendo la superficie del suelo en el patrón de mojado del riego superficial).
3. El radio humedecido es 10% más corto en el RGS que el riego superficial.

Las consecuencias de lo anterior se manifiestan bajo condiciones similares de riego en:

1. El volumen de suelo humedecido en el sistema RGS estará a un contenido de humedad más bajo que en el riego por goteo superficial, por lo que el potencial de drenaje o precolación será más bajo.
2. El área superficial del suelo disponible para la absorción del agua y nutrimentos por las raíces se incrementará significativamente en el sistema RGS.
3. El radio de humedecimiento más bajo en el sistema de RGS permitirá espaciamientos más cortos en emisores que el riego por goteo superficial, lo que resultará en el mejoramiento de la eficiencia de mojado y distribución de nutrimentos.

Camp (1999) y Phene (1999) han encontrado que un sistema de RGS con un buen diseño, instalación y manejo elimina la evaporación del agua en la superficie del suelo, reduce significativamente la humedad de la cubierta vegetal y disminuye

enfermedades y malezas. El sistema de RGS también promueve que el sistema radical del cultivo sea más profundo que bajo riego por goteo superficial y de este modo, el RGS operara bajo un ambiente con temperatura más fría y constante (más fría en el verano y caliente en el invierno). Debido a estas diferencias fisiológicas la respiración de la raíz en el sistema RGS es más baja que la de las plantas regadas con otros sistemas de riego, lo cual resulta en un incremento significativo en la fotosíntesis neta. A través del sistema de RGS también se pueden aplicar los nutrimentos en disolución, con alta frecuencia dentro de la zona radical en proporción igual a la tasa de absorción de nutrientes por el cultivo, por lo que la eficiencia de utilización se incrementa y la aplicación de fertilizantes puede ser disminuida, evitándose así, en gran medida las pérdidas por lavado de nutrientes solubles.

Según Camp (1999), Henngeler (1997) y Phene (1999), en los Estados Unidos de Norteamérica, en donde se ha experimentado más con el sistema de RGS además de mejorar la producción y la eficiencia en el uso del agua de la alfalfa, se han observado una serie de beneficios prácticos que a continuación se mencionan:

1. La cinta enterrada no se expone a la luz ultravioleta, ni a un humedecimiento y desecado y calentamiento - enfriamiento intermitente, por lo que se espera que el polietileno tendrá una vida útil larga.
2. El tráfico del equipo en el campo se simplifica, debido a que toda la tubería esta enterrada, adicionalmente, la superficie del suelo se mantiene seca, y de este modo, se mejora la tracción al paso de la maquinaria, provocando menos compactación del suelo.
3. Se mejora la aplicación de fungicidas, insecticidas y herbicidas, aumentando la seguridad en el uso de estos productos químicos.

4. Durante la estación seca del año, la parte superficial del suelo se mantiene seca, disminuyéndose la presencia de enfermedades del follaje, plagas invernantes en el suelo, maleza, etc.

## MATERIALES Y METODOS

### Descripción del Área de Estudio

El presente estudio se realizó durante los años 2000 y 2001 en las instalaciones del Campo Agrícola Experimental de la Laguna, ubicado en Matamoros Coahuila, México. El suelo es de textura migajón arcillo – arenoso y correspondiente a la serie Coyote, la cual es predominante en los suelos de la Comarca Lagunera. Esta región comprende parte de los estados de Coahuila y Durango; se localiza a una altitud de 1,139 msnm entre los 102° 00' y 104° 47' longitud oeste y 24° 22' y 26° 23' latitud norte, donde predomina un clima seco desértico ó BSkw, según la clasificación Koppen modificado por García (1973), citado por Chew (1997). La temperatura media anual es de 24°C, la precipitación media es de 242 mm por año y el porcentaje de humedad relativa varía desde 31% en abril hasta 60% en agosto a octubre (Chew, 1997).

### Establecimiento del Experimento

#### Preparación del Terreno

La preparación del terreno se inició con un subsoleo a una profundidad de 70 cm, para romper posibles capas compactas de suelo, posteriormente se dio un paso de barbecho, una rastra cruzada y finalmente un paso de escrepa, con el objeto de obtener una buena cama de siembra.

El terreno se seccionó en dos partes; el primero para establecer 12 parcelas para evaluar los tratamientos con riego por goteo subsuperficial con una superficie de 400 m<sup>2</sup> cada parcela. La otra parte del terreno se utilizó para el tratamiento testigo con dos melgas de 1000 m<sup>2</sup> de superficie en cada una.

### **Instalación del Sistema de Riego**

Para la instalación del sistema de riego por goteo subsuperficial, se colocaron las laterales (cinta de riego) a una sola profundidad de 0.50 a 0.55 cm, para este propósito se utilizó un chuzo de 70 cm de longitud, instalado en un tractor. Las laterales se acomodaron a un espaciamiento de 0.8 y 1.0 m en sus respectivas parcelas. Se utilizó la cinta 15 mil, con espesor de pared de 0.3810 mm y diámetro interior de 16 mm con emisores de 20 cm y un caudal de 4 l h<sup>-1</sup> por metro lineal, a una presión de operación de 1 kg cm<sup>-2</sup>.

### **Siembra**

La siembra se realizó en el mes de mayo del 2000, utilizando la variedad Pioneer 5929 con una dosis de 35 Kg ha<sup>-1</sup>, y con un porcentaje de germinación del 85%. La siembra se realizó en seco con una sembradora Brillon. En la región lagunera el período óptimo de siembra para la alfalfa es durante los meses de noviembre y diciembre ya que las condiciones climáticas durante este tiempo evitan infestaciones altas de maleza y el tiempo al primer corte es lo suficientemente largo que permite a la planta desarrollar un sistema radical profundo y vigoroso capaz de soportar el estrés del corte. Sin embargo, sembrar antes o después, tal y como sucedió con este estudio,

del periodo de invierno es también aceptable, pero trae consigo los problemas antes mencionados (Quiroga *et al.*, 1991).

### **Agua de Riego**

Se utilizó agua proveniente del subsuelo, la cual tenía una conductividad eléctrica de  $0.29 \text{ dS m}^{-1}$ , pH de 8.07, una concentración de bicarbonatos de 2.2 a  $2.7 \text{ meq L}^{-1}$  y una concentración de cloruros de 2.5 a  $3.6 \text{ meq L}^{-1}$ .

### **Riegos en Sistema Subsuperficial**

Previo a la siembra se realizó un estudio del avance del bulbo de humedecimiento de la cinta de goteo enterrada en el suelo, observando que después de 54 horas de riego, con un gasto de  $4 \text{ l h}^{-1}$  por metro lineal, la fuerza gravitacional mostró ventaja en comparación con la fuerza capilar, al quedar 20 cm de suelo seco antes de la superficie de suelo. Con base a esta observación se sugirió aplicar por única ocasión una lámina de 135 mm con riego rodado en la área de riego con cinta, con el propósito de inducir la germinación.

Los riegos con cinta enterrada para los dos espaciamientos laterales siguieron una misma metodología entre los cortes, la cual consistió en aplicar a los cinco días después de cada corte un riego uniforme de 36 horas con el propósito de llevar a capacidad de campo el suelo y recuperar el traslape de los bulbos de humedecimiento. Posteriormente los riegos se efectuaron cada tercer día y se acumuló la evapotranspiración del cultivo (ETc) del último día de riego hasta un día antes de efectuarse el siguiente riego. Los coeficientes de cultivo (Kc) se usaron en forma

decimal y consistieron en reponer el 60, 80 y 100% de la evapotranspiración potencial (ETp) o de referencia (ETo).

Para definir la cantidad de agua a aplicar, se determinó la ETo, para ello se utilizó la metodología del tanque evaporímetro clase A (Quiñones, 1997). La ETo se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$ETo = (Eo) (Kt) \quad \text{donde:}$$

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm)

Eo = Evaporación registrada en el tanque evaporímetro (mm)

Kt = Coeficiente del tanque, el cual considera al medio ambiente que rodea el tanque evaporímetro (Doorenbos y Pruit, 1977).

Con los valores de la ETo y el coeficiente del cultivo (Kc) se determinó la evapotranspiración del cultivo (ETc), con la siguiente ecuación (Quiñones, 1997):

$$ETc = (Kc) (ETo) \quad \text{donde:}$$

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm)

Kc = Coeficiente del cultivo

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm)

Posteriormente, se calculó la tasa de aplicación de la cinta para cada espaciamiento (0.8 m y 1.0 m), utilizando como datos de entrada la tasa de descarga de la cinta y el distanciamiento entre laterales (Hanson, 1997), con la fórmula:

$$I = \frac{(11.55) \times (Q)}{f} \quad \text{donde:}$$

$I$  = Tasa de aplicación de la cinta (pulgadas  $h^{-1}$ )

$Q$  = Tasa de descarga de la cinta  
(Gal/min/100 pies)

$f$  = Distancia entre cintas (pulgadas)

Finalmente, utilizando los valores de la ecuación anterior y la  $ET_c$  se obtuvo para cada espaciamiento el tiempo de riego ( $Tr$ ) (Hanson, 1997).

$$Tr = \frac{ET_c}{I} \quad \text{donde:}$$

$Tr$  = Tiempo de riego (h)

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo (pulgadas)

$I$  = Tasa de aplicación (pulgadas  $h^{-1}$ )

### **Riego Superficial**

Después de la siembra al igual que en los tratamientos bajo riego por goteo subsuperficial, se aplicó una lámina de riego de 135 mm para inducir la germinación de la semilla, los demás riegos se aplicaron cinco días después de efectuado el corte o hasta cuando la producción fuera retirada del terreno. La lámina de riego aplicada entre los cortes fue de 25 cm, de acuerdo a las recomendaciones de Quiroga *et al.*, (1991).

### Fertilización

La fertilización durante los cinco cortes fue a base de 100 Kg ha<sup>-1</sup> de Fósforo y 100 Kg ha<sup>-1</sup> de Potasio, se inyectó semanalmente en el sistema de riego utilizando un inyector venturi de 12.7 mm de diámetro, a razón de 20 Kg ha<sup>-1</sup> de cada nutrimento por corte. Como parte del mantenimiento del sistema de riego, en periodos quincenales, se aplicó ácido sulfúrico para evitar posible taponamiento de la cinta y acumulación de sólidos.

### Tratamientos Evaluados

Tratamientos	Combinaciones	
	Espaciamiento entre cintas laterales del sistema de riego (metros)	Nivel de ETo* (%)
T <sub>1</sub>	0.8	100
T <sub>2</sub>	0.8	80
T <sub>3</sub>	0.8	60
T <sub>4</sub>	1.0	100
T <sub>5</sub>	1.0	80
T <sub>6</sub>	1.0	60
T <sub>7</sub>	Riego por Inundación. (superficial)	

\*Los niveles de ETo se utilizaron para aplicar el riego subsuperficial, reponiendo el agua cuando la evapotranspiración de referencia (ETo) alcanzó 100, 80 y 60%, respectivamente.

## Variables de Estudio

### Materia Seca

En cada uno de los cinco cortes realizados entre el mes de octubre de 2000 hasta mayo de 2001, se evaluó la producción de materia seca en todos los tratamientos, utilizándose como herramienta un cuadro de un metro cuadrado. El muestreo se realizó al azar y un día antes de efectuarse el corte. Las muestras se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 24 horas. Durante el tercer corte se evaluó la dinámica de acumulación de materia seca, con un muestreo al azar cada siete días. Para este propósito se utilizó un cuadro de 0.25 m<sup>2</sup> y se secó la muestra con la metodología ya descrita anteriormente.

Los datos de producción de forraje seco en cada uno de los cortes se procesaron mediante análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon mediante Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los datos de materia seca dentro de un corte se ajustaron al modelo logístico, y para establecer las diferencias en las tasa de acumulación de peso seco entre tratamientos se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas (Steel y Torrie, 1980).

Las unidades calor (UC) en cada corte se determinaron a través de la metodología Curva-seno propuesta por Allen (1976), tomando para la alfalfa temperaturas críticas inferior y superior de 5 y 30 °C, respectivamente (Quiroga *et al.*, 1993).

### **Potencial Hídrico de la Planta**

Durante el periodo que abarcó cada corte, se midió el potencial hídrico del cultivo, para lo cual se seleccionaron tres plantas al azar, éste proceso se realizó entre las 12:00 y 14:00 horas del día cada 72 horas. Las plantas muestreadas se cortaban con una longitud de 15 cm aproximadamente de la parte superior de la planta hacia la raíz, de este lado se hacia un corte fino, con el propósito de observar, precisamente la salida de la lámina de agua y simultáneamente conocer a través de un manómetro la presión a la que estaba sometida la planta dentro de una cámara, siendo ésta parte de una bomba de presión tipo Scholander (Scholander *et al*; 1964).

### **Contenido de Proteína Cruda**

Al terminar de realizar la cuantificación de la materia seca de las muestras obtenidas de cada tratamiento, se molieron estas mismas muestras hasta obtener 100 gramos de cada muestra aproximadamente, posteriormente se llevaron al laboratorio de bromatología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro U. L. en el cual se encargaron de analizar las muestras para obtener el porcentaje de proteína cruda.

### **Diseño Experimental**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la parcela experimental fue de 400 m<sup>2</sup> y la parcela útil 40 m<sup>2</sup>. El análisis de los datos se llevo acabo con el programa estadístico de SAS (SAS Institute, 1982). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con una probabilidad del 95% considerando un nivel de significancia de (P= 0.05).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados analizados fueron obtenidos en cinco cortes que abarcaron un periodo entre octubre 2000 a mayo del 2001 (Cuadro 1), los días entre cortes tuvo una variación muy amplia siendo esta desde 26 hasta 54 días, observándose que mientras que la variación entre cortes fue mucho menor cuando estos fueron calculados en base a las unidades calor (UC). En promedio cada corte requirió de 529.4 UC, (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cortes de alfalfa con unidades calor acumuladas de acuerdo a la duración de sus días a corte.

Numero	Fecha	Días a corte	U C A*
1 <sup>er</sup> corte	16 oct - 6 Dic 2000	51	697.1
2 <sup>do</sup> corte	7 dic 2000 - 29 ene 2001	54	496.39
3 <sup>er</sup> corte	30 Ene - 12 Marz 2001	42	514.1
4 <sup>to</sup> corte	13 Marz - 10 Abr 2001	29	447.74
5 <sup>to</sup> corte	11 Abr - 6 May 2001	26	491.82

\* Unidades Calor Acumuladas para cada corte utilizando como limite superior 30°C y limite inferior 5°C.

### Producción de Materia Seca

En el Cuadro 2, se muestra la producción de materia seca obtenida para los siete tratamientos estudiados durante cinco cortes realizados.

Se observa en este cuadro que la producción de materia seca en el cuarto corte fue estadísticamente igual entre tratamientos; en contraste en el resto de los cortes, hubo diferencias estadísticas entre las medias de producción de materia seca entre tratamientos. Si bien, con excepción del cuarto corte los tratamientos de RGS alcanzaron las producciones más altas de forraje seco con respecto a la obtenida en el riego por inundación. Los tratamientos donde se aplicó el 100 y 80% de la ET con los dos espaciamientos entre laterales (1.0 y 0.8 m) fueron estadísticamente iguales y en

Cuadro 2. Producción de materia seca de alfalfa durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 - 2001.

Tratamientos	Materia seca (t ha <sup>-1</sup> )				
	1 <sup>er</sup> Corte (Oct.-dic.)	2 <sup>o</sup> Corte (Dic.-ene.)	3 <sup>er</sup> Corte (Ene.-mar.)	4 <sup>o</sup> Corte (Mar.-abr.)	5 <sup>o</sup> Corte (Abr.-may.)
T <sub>1</sub>	2.97 ab	3.10 a	4.60 a	3.37 a	3.66 a
T <sub>2</sub>	3.01 a	2.77 ab	3.98 ab	3.35 a	3.63 a
T <sub>3</sub>	2.71 b	3.00 a	4.04 ab	3.43 a	3.48 ab
T <sub>4</sub>	3.17 a	2.92 ab	3.74 b	3.50 a	3.33 ab
T <sub>5</sub>	3.20 a	2.81 ab	3.56 bc	3.28 a	3.39 ab
T <sub>6</sub>	2.71 b	2.77 ab	3.54 bc	3.33 a	2.99 bc
T <sub>7</sub>	2.25 c	2.26 b	2.98 c	2.96 a	2.77 c

Valores con la misma letra son iguales entre sí (P=0.05)

algunos cortes superiores al resto de los tratamientos. Durante el 2º, 3º y 4º corte el tratamiento con el 60% de la ET y espaciamiento de 0.80 m entre laterales tuvo un comportamiento estadísticamente igual a los tratamientos con niveles de agua aplicada superiores (100 y 80% de la ET); a su vez, este mismo tratamiento tuvo un comportamiento estadísticamente igual a los tratamientos del 100, 80 y 60% de la ET pero con un espaciamiento de 1.0 m entre laterales.

En la mayoría de los cortes realizados la menor producción de forraje seco correspondió al tratamiento con riego por inundación. Por tanto, estos resultados indican una expresión más acentuada del potencial de producción de la alfalfa, que se traduce en un incremento en la producción con el sistema de riego por goteo subsuperficial y coinciden con algunos estudios previos realizados (Kisselbach *et al.*, 1929; Lucey y Tesar, 1965; Brown y Tanner, 1983; Grimes *et al.*, 1992) en los que se encontró que un estrés por agua en este cultivo provoca una disminución en su capacidad de crecimiento y producción de materia seca.

### Producción Acumulada

La producción acumulada de forraje seco más alta durante los cinco cortes se alcanzó en T<sub>1</sub> con un valor de 17.7 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1), siguiendo en orden decreciente y con valores muy similares en T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, y T<sub>5</sub> en donde se obtuvieron de 16.2 a 16.7 t ha<sup>-1</sup> de forraje seco. En T<sub>6</sub> la producción acumulada fue ligeramente inferior a estos cuatro tratamientos con un valor de 15.3 t ha<sup>-1</sup>. En el tratamiento con riego por inundación tan sólo se alcanzaron 13.2 t ha<sup>-1</sup>. Lo anterior significa que T<sub>1</sub> superó de 7 a 14% al resto de los tratamientos de riego por goteo, y en un 25% al tratamiento con riego por inundación.

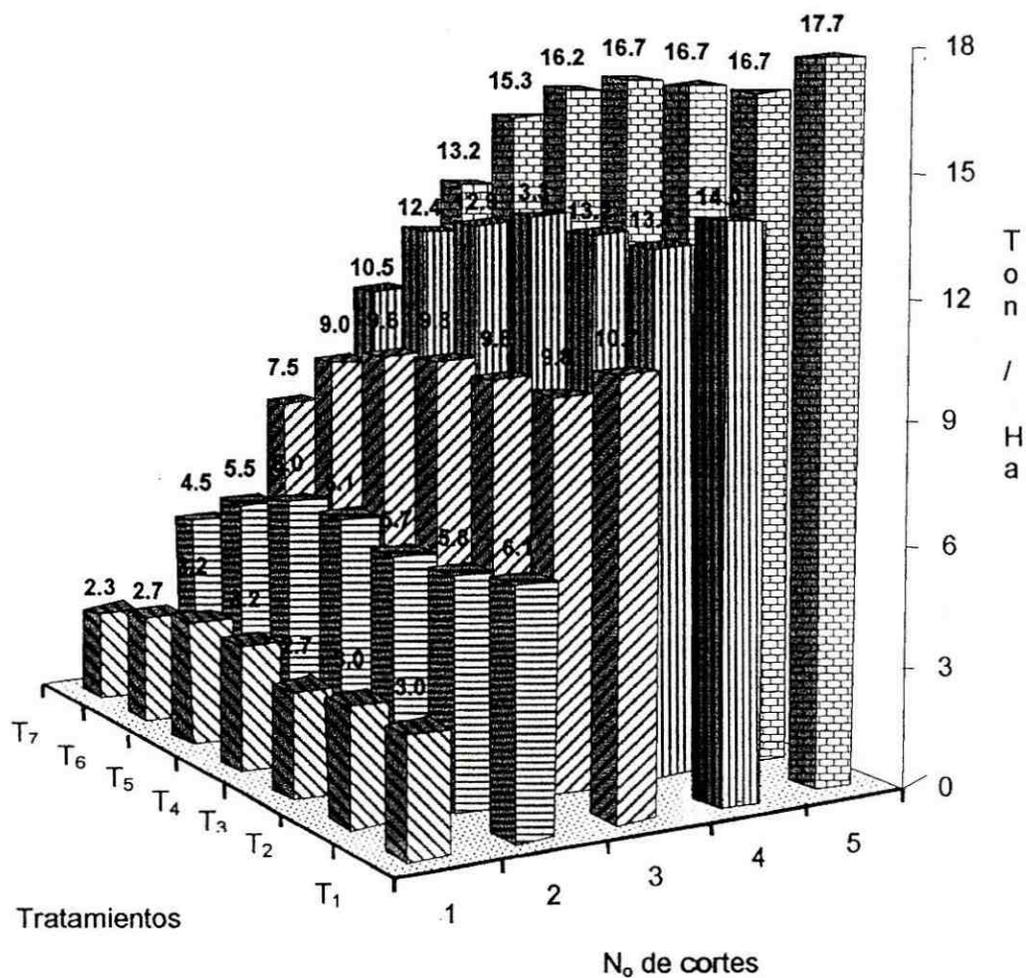


Figura 1. Producción acumulada de Materia seca de alfalfa, a través de cinco cortes y en función a los tratamientos de riego: T<sub>7</sub>, tratamiento testigo o riego tradicional; T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>, riegos subsuperficial. 2000 – 2001.

### **Incremento en la Producción de Materia seca**

Durante los cinco cortes realizados el promedio general de incremento en la producción de materia seca en los tratamientos con riego por goteo en relación al riego por inundación fue de 20% (Figura 2). A excepción de T<sub>1</sub> donde el valor de porcentaje de incremento fue estable entre cortes, en todos los tratamientos con riego por goteo los porcentajes de incremento de la producción de forraje en relación con el tratamiento testigo tendieron a disminuir conforme se incrementó el número de cortes, el espaciamiento entre laterales y disminución en el porcentaje de la ET aplicado. El porcentaje promedio de incremento de forraje entre cortes fue superior en 25, 19, 21, 21, 19 y 14% para T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>, respectivamente, con relación al riego por inundación.

### **Dinámica de Acumulación de Materia Seca entre el 2º y 3º Corte.**

En la Figura 3 se muestra la dinámica de acumulación de materia seca con relación a las unidades calor (UC) acumuladas durante el tercer corte para los siete tratamientos de riego.

En esta figura se observa que durante las primeras 150 unidades calor, la velocidad de acumulación de materia seca en todos los tratamientos fue muy baja y correspondió entre 8 y 10% con respecto a la producción final. De las 151 a las 420 UC, la velocidad de acumulación de materia seca se incrementó significativamente; sin embargo, en el tratamiento regado por inundación (T<sub>7</sub>) esta velocidad fue más baja. Durante este período, en los tratamientos con riego por goteo, se acumuló de 3.6 a 3.8

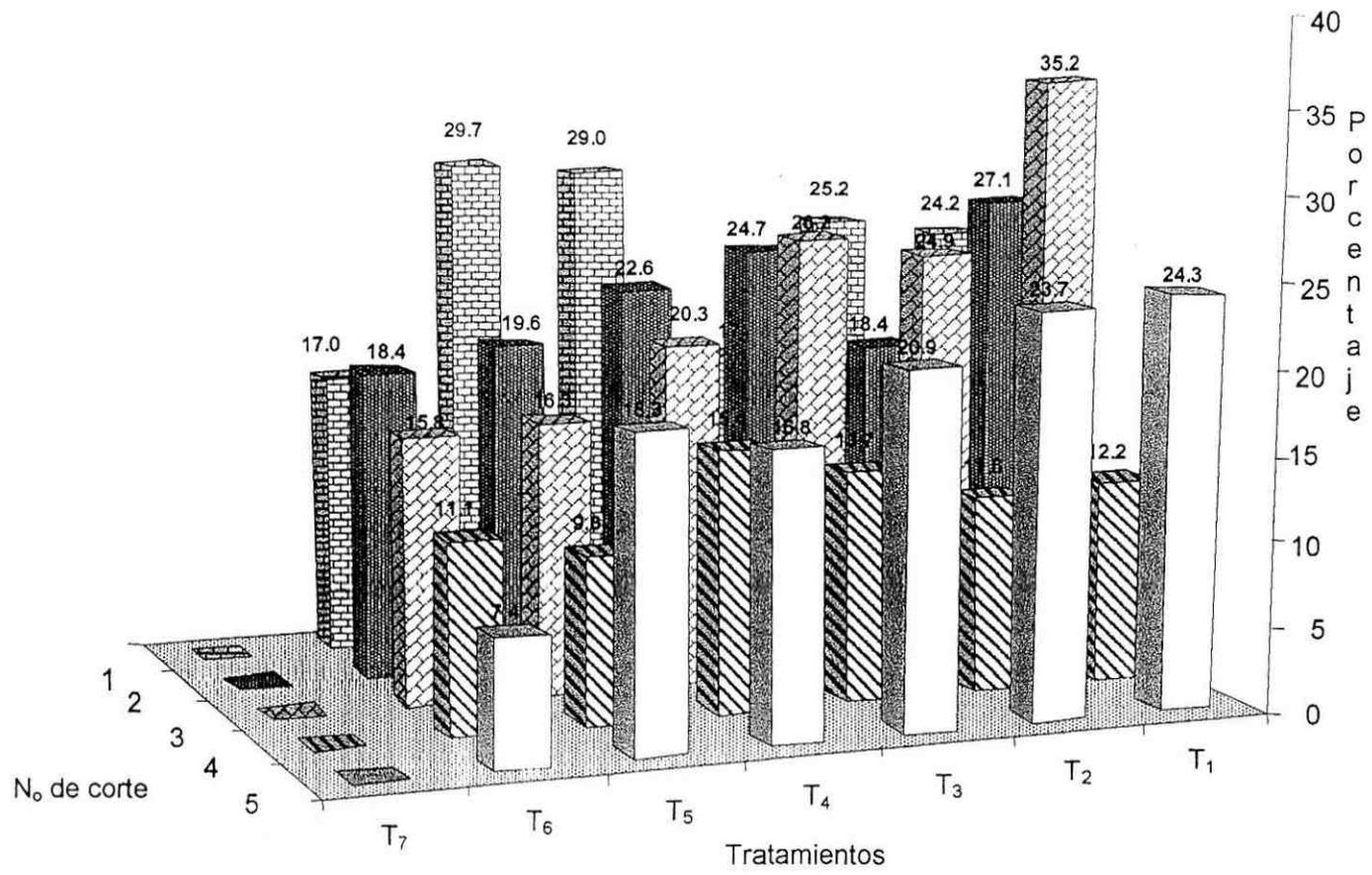


Figura 2. Porcentaje de incremento en la producción de materia seca de alfalfa en los tratamientos de riego T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, y T<sub>6</sub>, (riegos subsuperficial) con relación al tratamiento testigo T<sub>7</sub>, (riego superficial) de acuerdo al número de cortes. 2000 - 2001.

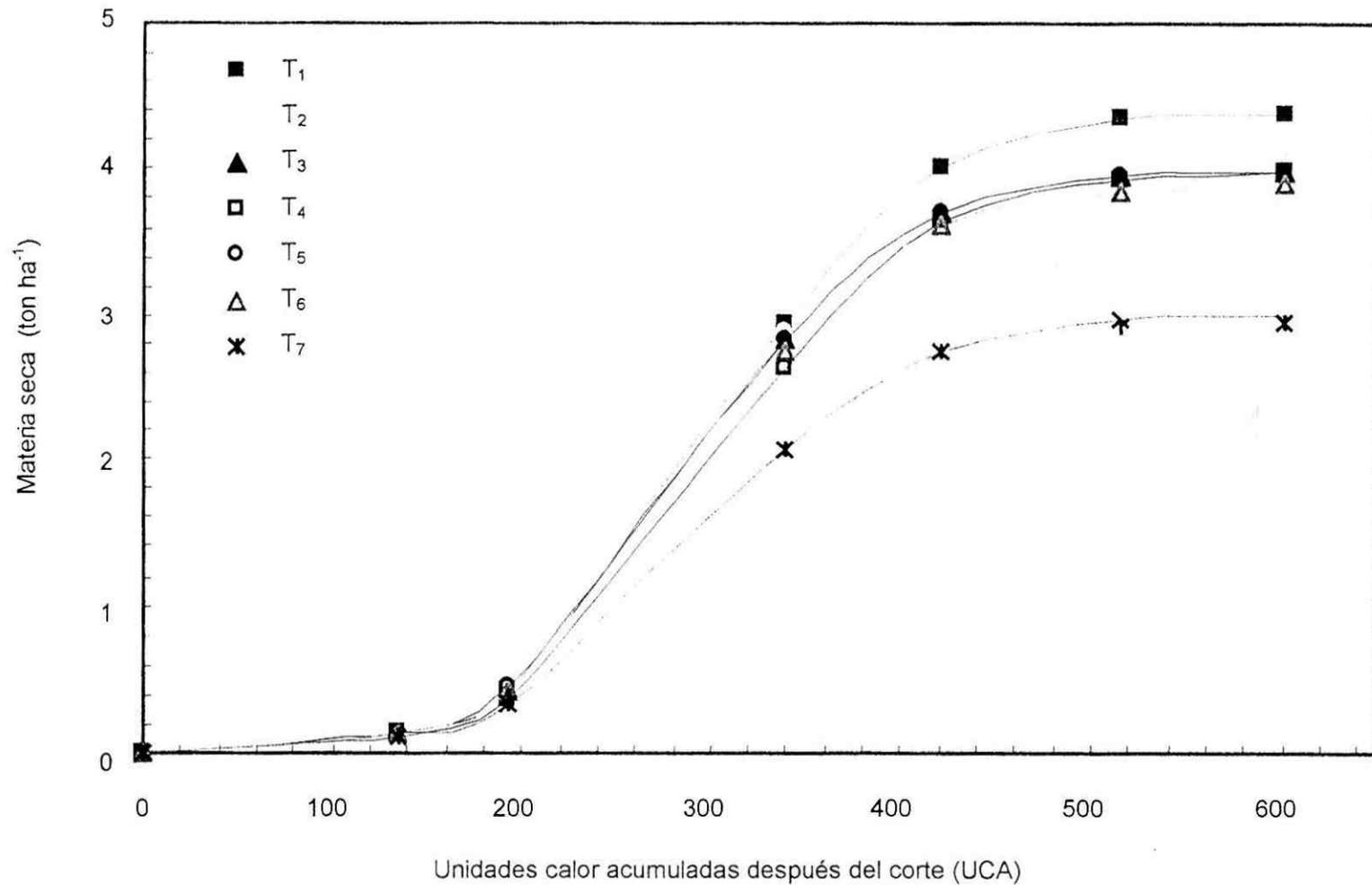


Figura 3. Dinámica de acumulación de materia seca entre el segundo y tercer corte en alfalfa bajo siete tratamientos de riego. 2001.

$t\ ha^{-1}$  que representa 88% de la producción total, mientras que en  $T_7$  se acumuló  $2.8\ t\ ha^{-1}$  que representa 87% del total obtenido para este tratamiento. En este mismo tratamiento, la materia seca acumulada hasta esta fecha (420 UC) fue 26% menor que la obtenida en los tratamientos con riego por goteo subsuperficial. Después de ese período, la acumulación de materia seca disminuyó significativamente, siendo 2 y 3% para los tratamientos con riego subsuperficial y superficial, respectivamente.

El comportamiento coincide con lo obtenido por Saeed y El-Nadi (1997), quienes observaron que bajo condiciones adecuadas de humedad en el suelo la tasa de acumulación de materia seca de la alfalfa inicialmente es baja (0-10 días), incrementándose significativamente en el período de crecimiento intermedio (11-20 días) para después disminuir durante los últimos 10 días; sin embargo, en plantas severamente estresadas, observaron una tasa de acumulación más baja y constante durante todo el período de crecimiento.

Se detectaron diferencias en la tasa de acumulación de peso seco provocadas por los tratamientos de riegos estudiados, ya que  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  y  $T_6$  fueron estadísticamente iguales y superiores a  $T_7$ , alcanzando valores de  $0.093\ t\ ha^{-1}\ UC^{-1}$  acumulada, mientras que en  $T_7$  dicho valor fue de  $0.065\ t\ ha^{-1}$ . Lo anterior indica que los tratamientos con riego por goteo subsuperficial superaron en 30% a la tasa de acumulación de  $T_7$ . En los tratamientos con riego por goteo el valor final de peso seco durante este corte fue de  $3.95$  a  $4.30\ t\ ha^{-1}$ , mientras que en  $T_7$  fue de  $3.1\ t\ ha^{-1}$ .

En el Cuadro 3 se muestran los parámetros del modelo logístico utilizado para ajustar los datos de peso seco de la alfalfa. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la tasa de acumulación de peso seco de la alfalfa

(valor que está representado por la pendiente, Cuadro 3) entre los tratamientos de riego subsuperficial, pero sí las hubo para el riego por inundación en comparación con los tratamientos anteriormente citados.

Los valores de la tasa de acumulación para los tratamientos con riego por goteo subsuperficial fue de  $0.093 \text{ t ha}^{-1} \text{ UC}^{-1}$  acumulada mientras que para el riego por inundación fue de  $0.065 \text{ t ha}^{-1}$  de peso seco.

Cuadro 3. Parámetros del modelo de regresión para la acumulación de materia seca de alfalfa en siete tratamientos de riego. 2001.

Tratamientos	Parámetros		
	Pendiente	Intersección	R <sup>2</sup>
T <sub>1</sub>	0.093 a	-6.16	0.87
T <sub>2</sub>	0.093 a	-6.01	0.85
T <sub>3</sub>	0.093 a	-6.10	0.87
T <sub>4</sub>	0.093 a	-6.15	0.87
T <sub>5</sub>	0.093 a	-5.98	0.85
T <sub>6</sub>	0.093 a	-6.07	0.85
T <sub>7</sub>	0.065 b	-5.79	0.85

### Volumen de Agua Aplicado

En el tratamiento con riego por inundación la cantidad de agua aplicada en cada corte fue la más alta, con un volumen de  $2500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . El resto de los volúmenes de agua aplicados por tratamiento son señalados en el Cuadro 4, ahí se aprecia una tendencia a disminuir los volúmenes de agua aplicados cuando el porcentaje de la ET repuesto se disminuyó y se incrementó la distancia entre laterales.

Cuadro 4. Volúmenes de agua aplicados a la alfalfa durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 - 2001.

Tratamientos	Volumen de agua ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )				
	1 <sup>er</sup> Corte	2 <sup>o</sup> Corte	3 <sup>er</sup> Corte	4 <sup>o</sup> Corte	5 <sup>o</sup> Corte
T <sub>1</sub>	2318.12	2045	2496	1653.12	2131.87
T <sub>2</sub>	2117.5	1786.8	2227.5	1502.5	1705.62
T <sub>3</sub>	1930	1535	1918.12	1351.87	1278.12
T <sub>4</sub>	1854.5	1635.5	2029	1322.5	1705.8
T <sub>5</sub>	1694	1429.5	1782	1202.0	1364.5
T <sub>6</sub>	1544	1227.5	1534	1081.5	1022.5
T <sub>7</sub>	2500	2500	2500	2500	2500

### Ahorro de Agua Aplicada

Los datos del (Cuadro 5), muestran que los porcentajes de ahorro en el volumen de agua aplicado con relación al riego por inundación fueron más altos cuando el porcentaje de la ET aplicado fue bajo y el espaciamiento entre laterales se

incrementaba. Con la utilización del riego por goteo subsuperficial se logró un ahorro de agua en forma general del 39%, mientras que en los tratamientos de riego por goteo dicho ahorro fue de 15, 25, 36, 32, 40 y 49% en T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>, respectivamente, con respecto al riego por inundación.

Cuadro 5. Ahorro de agua aplicada a la alfalfa durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 - 2001.

Tratamientos	Ahorro de agua (%)					promedio
	1 <sup>er</sup> Corte	2 <sup>o</sup> Corte	3 <sup>er</sup> Corte	4 <sup>o</sup> Corte	5 <sup>o</sup> Corte	
T <sub>1</sub>	7	18	0	34	15	15
T <sub>2</sub>	15	29	11	40	32	25
T <sub>3</sub>	23	39	23	46	49	36
T <sub>4</sub>	26	35	19	47	32	32
T <sub>5</sub>	32	43	29	52	45	40
T <sub>6</sub>	38	51	39	57	59	49
T <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0

Este ahorro de agua que se logra en los tratamientos con riego por goteo subsuperficial coinciden con el obtenido por algunos investigadores (Kruse e Israeli, 1987; Bui y Osgood, 1990; Mead *et al.*, 1993; Lamm *et al.*, 1995; Phene, 1999) quienes estudiaron el riego por goteo subsuperficial en relación con la producción de cultivos como alfalfa, maíz y nogal, logrando ahorros de agua de 35 hasta 45% en comparación con el sistema de riego superficial.

### Materia Seca de Alfalfa Producida por Volumen de Agua Aplicado

Los valores de transformación de materia seca producida por cada milímetro de agua aplicada entre cortes para el tratamiento con riego por inundación fluctuaron de 6 a 11.8, con un valor promedio de  $9.4 \text{ Kg mm}^{-1}$  (Cuadro 6), En  $T_6$ , que es el tratamiento en el que se aplicó un menor volumen de agua, se obtuvieron los valores más altos de transformación, fluctuando entre cortes de 17.6 a 30.8 con un valor promedio en los cinco cortes de  $24.6 \text{ Kg mm}^{-1}$ . En el resto de los tratamientos con riego por goteo, la fluctuación de los valores de transformación de materia seca entre cortes así como el promedio de éstos fueron muy similares siendo de 16.8, 18.2, 21.5, 19.9 y 22.1 para  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  y  $T_5$ , respectivamente.

Cuadro 6. Valores de materia seca producida por cada milímetro de agua aplicada durante cinco cortes bajo siete tratamientos de riego. 2000 - 2001.

Tratamientos	Productividad por corte $\text{Kg mm}^{-1}$					Promedio
	1 <sup>er</sup> Corte	2 <sup>o</sup> Corte	3 <sup>er</sup> Corte	4 <sup>o</sup> Corte	5 <sup>o</sup> Corte	
$T_1$	12.8	15.2	18.4	20.4	17.2	16.8
$T_2$	14.2	15.5	17.8	22.3	21.3	18.2
$T_3$	14.0	19.5	21.1	25.4	27.4	21.5
$T_4$	17.1	17.9	18.4	26.5	19.5	19.9
$T_5$	18.9	19.7	20.0	27.3	24.8	22.1
$T_6$	17.6	22.6	23.1	30.8	29.2	24.6
$T_7$	9.0	9.0	6.0	11.8	11.1	9.4

Estos resultados coinciden con los obtenidos en investigaciones realizadas en alfalfa bajo diferentes ambientes, en donde se encontró que se requiere de una lámina de agua entre 5.6 y 7.3 cm para producir una tonelada de materia seca que corresponden a valores de transformación de 13.7 y 17.9 Kg mm<sup>-1</sup>, respectivamente (Donovan y Meek, 1983). Así mismo, los valores de transformación obtenidos en el presente estudio son semejantes a los encontrados en diferentes trabajos (Kisselbach *et al.* 1929; Stanhill, 1986; Bogler y Matches, 1990; Grimes *et al.* 1992) donde reportan valores entre 11 y 23 Kg de materia seca por cada milímetro de agua aplicada.

#### **Calidad de la Alfalfa**

En el cuadro 7, se muestran los valores de proteína cruda para los siete tratamientos durante tres cortes. En este cuadro se observa que el porcentaje de proteína cruda fue estadísticamente igual entre tratamientos (Cuadro 7).

Los valores medios de porcentaje de proteína en todos los cortes fluctuaron con valores desde 20.3% hasta 24.3% con una media general de 22.61% en los tratamientos con riego subsuperficial y de 21% hasta 23% con una media general de 21.66% para el riego por inundación. Los tratamientos con 100 y 80 % de ET con espaciamiento de 1.0 metro entre laterales alcanzaron los mejores valores con 23.1%, en comparación con el riego por inundación en donde se obtuvo 21.7%. Lo anterior indica que las mejores medias de porcentajes de calidad se obtuvieron en los tratamientos de goteo subsuperficial, a pesar de que los siete tratamientos fueron iguales estadísticamente como anteriormente se menciona.

Cuadro 7. Porcentaje de proteína cruda de alfalfa de siete tratamientos de riego en tres cortes realizados. 2001.

Porcentaje de proteína cruda (%)			
Tratamientos	3 <sup>er</sup> Corte (Ene.-Mar.)	4 <sup>o</sup> Corte (Mar.-Abr.)	5 <sup>o</sup> Corte (Abr.-May.)
T <sub>1</sub>	23.00 a	22.00 a	23.00 a
T <sub>2</sub>	22.87 a	21.50 a	21.87 a
T <sub>3</sub>	23.75 a	21.50 a	23.00 a
T <sub>4</sub>	23.75 a	22.00 a	23.50 a
T <sub>5</sub>	22.75 a	24.25 a	22.37 a
T <sub>6</sub>	23.25 a	22.50 a	20.25 a
T <sub>7</sub>	23.00 a	21.00 a	21.00 a

Literales diferentes en las columnas indican diferencias ( $p=0.05$ )

En la mayoría de los tratamientos se aprecia una tendencia a disminuir la calidad del forraje conforme se incrementaron los cortes, marcándose más en el testigo con valores en el primer corte de 23% y en el último corte de 21%, lo anterior es provocado por el estrés al que se somete al cultivo por la condición de saturación después de la aplicación de un riego y la temperatura ambiente, ya que estas fueron de 17.2, 21.3 y 24.9 °C, para el 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>er</sup> corte, respectivamente.

Algunos autores como Wilson y Ford (1973) citados por Núñez (2000) indican que la temperatura disminuye la digestibilidad en las leguminosas como la alfalfa debido al aumento en la concentración de la fibra y reducción de carbohidratos solubles y proteínas, llegando a disminuir la digestibilidad hasta en siete unidades porcentuales cuando la temperatura es superior a los 20 a 22 °C.

### Potencial Hídrico en Hojas de Alfalfa

En las Figuras 4, 5 y 6 se muestra la variación en los valores del potencial hídrico de la hoja ( $\Psi_h$ ) para los siete tratamientos de riego durante los cinco cortes realizados.

Se observa en estas figuras que la condición hídrica de la planta correlacionó adecuadamente con el tratamiento de riego aplicado, es decir, plantas en donde se aplicó 100% de la ET con los dos espaciamientos entre cintas, los valores del  $\Psi_h$  fueron menos negativos que cuando se aplicó un menor volumen de agua, como fue el caso de los tratamientos  $T_2$  al  $T_6$ , en donde los valores del  $\Psi_h$  en forma general fueron similares y ligeramente más negativos que en  $T_1$ . En el riego por inundación los valores del  $\Psi_h$  siempre fueron más negativos que en los tratamientos con riego por goteo subsuperficial.

Lo anterior coincide con trabajos realizados (Stricevic y Caki, 1997) en donde encontraron que la producción óptima del cultivo correlaciona directamente con la disponibilidad del agua en el suelo. Al mismo tiempo la mejor condición hídrica del cultivo está relacionada con una mejor condición de humedad del suelo. Los tratamientos con riego por goteo subsuperficial alcanzaron la mejor condición hídrica, logrando también las más altas producciones de materia seca.

Durante los primeros tres cortes los valores promedio del  $\Psi_h$  en los tratamientos con riego por goteo estuvieron por debajo de -1.0 MPa (desde -0.6 hasta -0.8), mientras que en el riego por inundación los valores fluctuaron de -0.95 a -12.0 MPa. Durante el cuarto y quinto corte los valores del  $\Psi_h$  en los siete tratamientos fueron

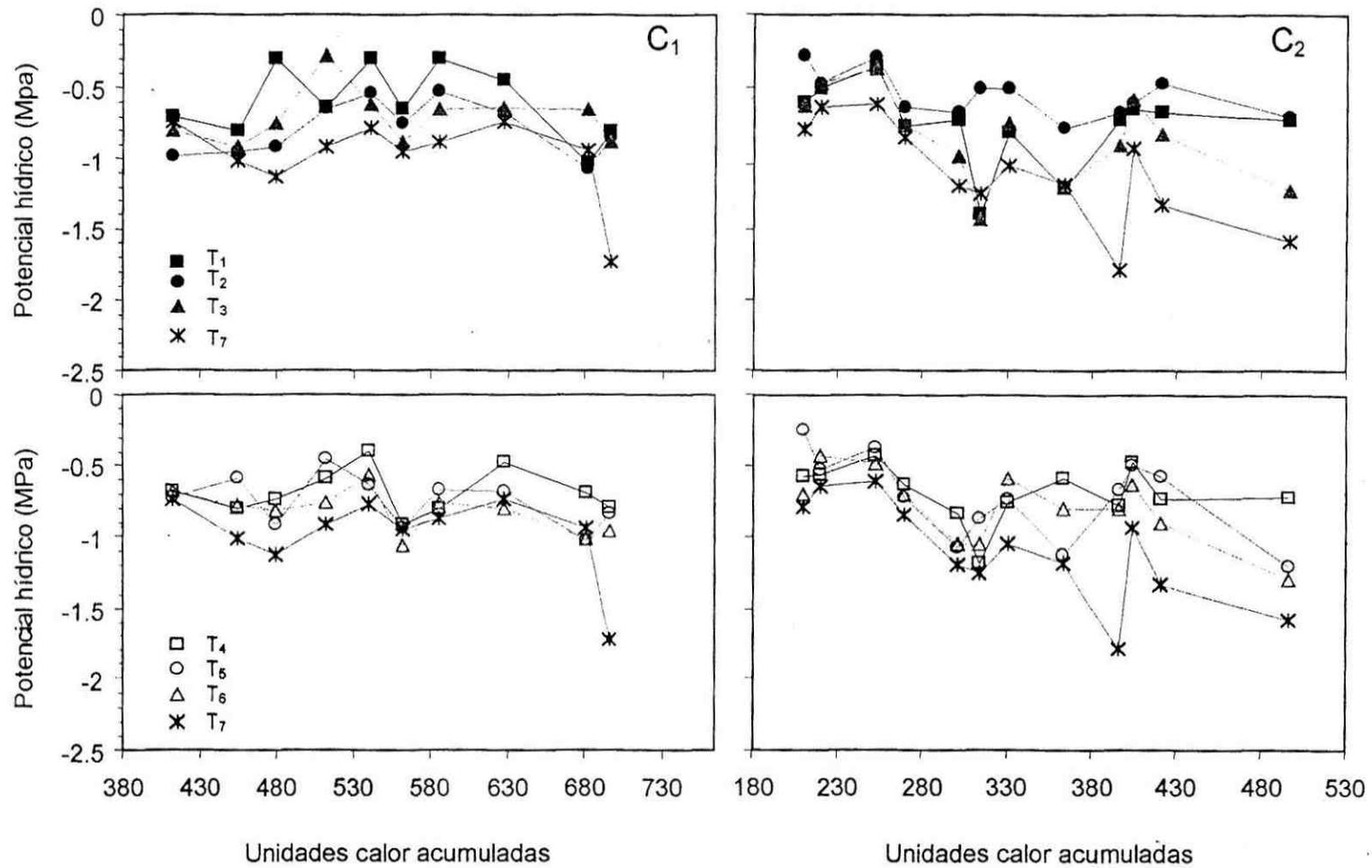


Figura 4. Variación del potencial hídrico de la hoja en la alfalfa durante el primer y segundo corte (C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>) bajo siete tratamientos de riego en relación a unidades calor acumuladas después del corte. 2000 - 2001.

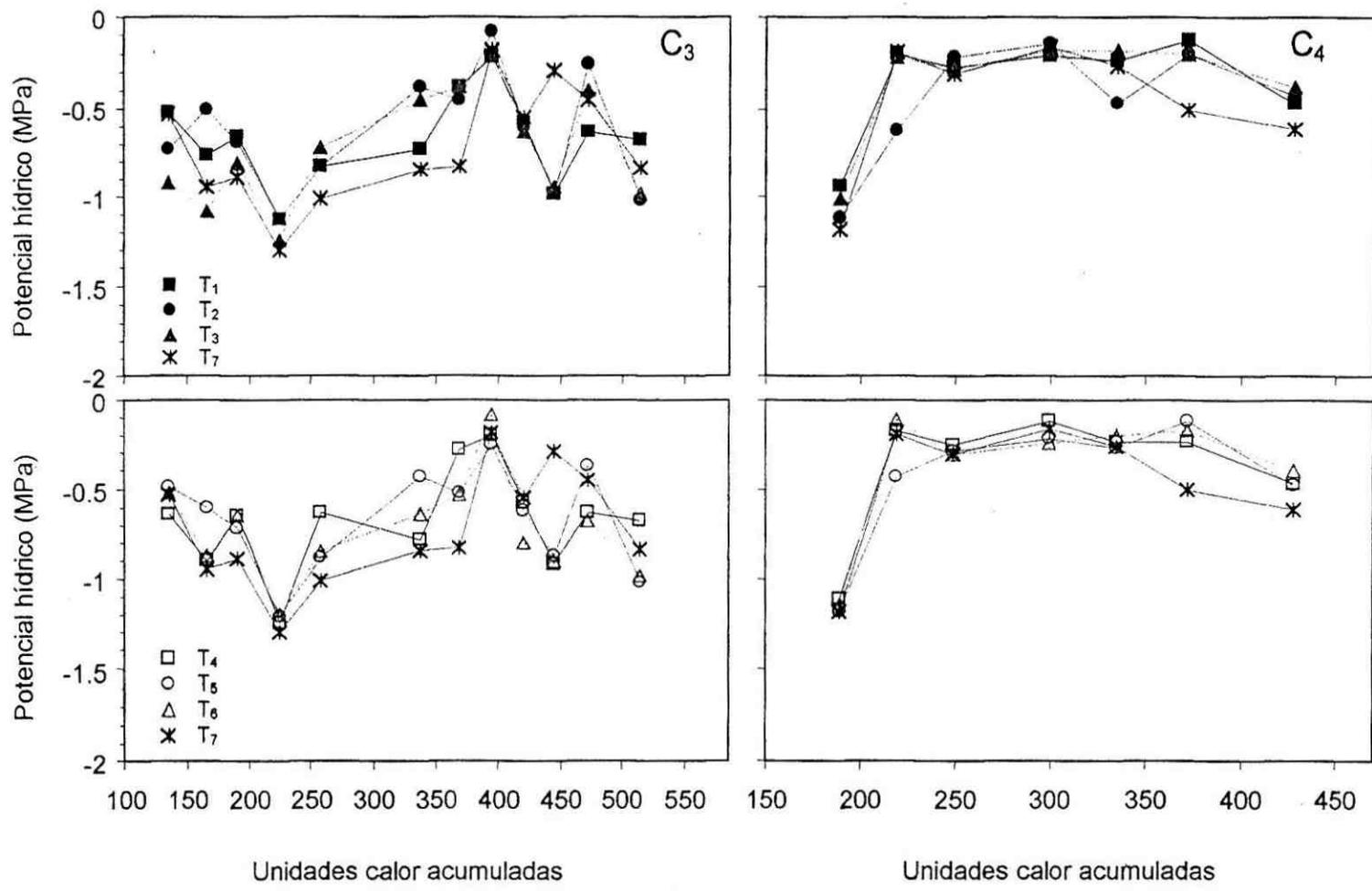


Figura 5. Variación del potencial hídrico de la hoja en la alfalfa durante el tercer y cuarto corte (C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>) bajo siete tratamientos de riego en relación a unidades calor acumuladas después del corte 2001.

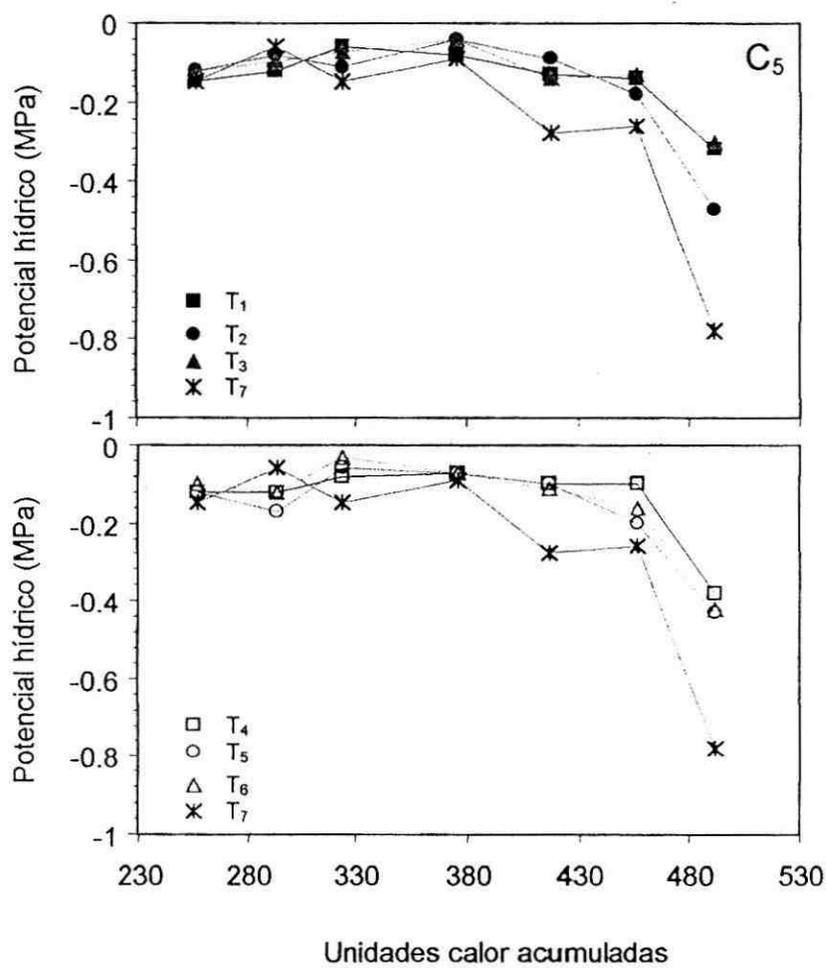


Figura 6. Variación del potencial hídrico de la hoja de en la alfalfa durante el quinto corte (C<sub>5</sub>) bajo siete tratamientos de riego en relación a unidades calor acumuladas después del corte. 2001.

menos negativos y más favorables que en los tres cortes anteriores. Los tratamientos con riego por goteo subsuperficial presentaron una mejor y similar condición hídrica que el tratamiento con riego superficial, alcanzándose en estos tratamientos valores muy estables, siendo en promedio de -0.35 y de -0.20 MPa para el cuarto y quinto corte, respectivamente. En el riego superficial los valores promedio del  $\Psi_h$  para estos dos cortes fueron de -0.40 MPa.

La mejor condición hídrica en los tratamientos con riego por goteo subsuperficial con respecto al de inundación fue la responsable de incrementar la producción de forraje promedio de los cinco cortes en 25, 19, 21, 21, 19 y 14% para  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  y  $T_6$ , respectivamente, 29, con respecto a  $T_1$ . Esta respuesta coincide con lo obtenido por Carter y Sheaffer (1983) y Godoy *et al.* (1998) quienes establecieron relaciones muy estrechas entre los valores del  $\Psi_h$  de la planta con el índice de crecimiento relativo, encontrando que en valores del  $\Psi_h$  menores a -1.0 MPa el crecimiento fue relativamente bajo. En este mismo contexto, en trabajo realizado por Brown y Tanner (1983) señala que cuando el  $\Psi_h$  de la hoja es menor a -1.0 MPa se disminuye significativamente la acumulación de materia seca del tallo y de la hoja de la alfalfa.

## CONCLUSIONES

1. Con la utilización del riego por goteo subsuperficial se logró un ahorro en el volumen de agua aplicado al cultivo de 15 a 49 % con respecto al riego superficial.
2. Con los tratamientos de goteo subsuperficial se obtuvieron las más altas producciones de materia seca. Cuando se aplicó el 100% de ETo con el espaciamiento lateral de .80 metros (T<sub>1</sub>) se obtuvo la mejor producción acumulada de forraje seco durante los cinco cortes. Sin embargo la utilización del 60% ETo con el espaciamiento lateral de un metro (T<sub>6</sub>) obtuvo la mas alta eficiencia del agua con un promedio en el total de los cortes de 24 Kg. mm<sup>-1</sup> obteniéndose los valores mas bajos en el riego por inundación (T<sub>7</sub>) con 9.4 Kg. mm<sup>-1</sup>.
3. La tasa de acumulación de materia seca es mayor cuando se aplica el riego con el goteo subsuperficial reflejándose esto en un incremento en la producción de materia seca en promedio durante los cinco cortes de un 14 – 25% con respecto al riego por inundación.
4. La mejor condición hídrica de la planta la obtuvieron los tratamientos con goteo subsuperficial. Los valores del potencial hídrico en el tratamiento con riego superficial fueron más negativos, la diferencia de los valores con

respecto al goteo subsuperficial, condujo a una disminución en la producción de materia seca en un 25 %.

5. Cuando se aplicó el 100 y 80% de ETo, con el espaciamiento lateral de 1.0 metros tratamientos (T<sub>4</sub> ) y (T<sub>5</sub>) respectivamente, se obtuvo un valor promedio de 23.1% de proteína cruda. En comparación con el riego por inundación en donde se obtuvo 21.61%.
  
6. De acuerdo a los resultados obtenidos, para el establecimiento comercial del sistema con goteo subsuperficial, el tratamiento donde se aplicó el 80% de ETo con un espaciamiento lateral de 1 m (T<sub>5</sub>) resultó ser el mas adecuado, porque la producción de materia seca fue similar a los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, y superior al T<sub>6</sub>. El ahorro en el volumen de agua aplicado con respecto al riego por inundación fue de los mas altos con un 40% y además en la instalación del sistema de riego se ahorra un 12.5% de cinta con respecto a los tratamientos con espaciamiento de .8m.

## RESUMEN

La alfalfa es el cultivo forrajero de mayor importancia en México. En la Región Lagunera ocupa 42 mil hectáreas, siendo el principal factor de sostenimiento de la cuenca lechera.

En la Comarca Lagunera la principal limitante para la producción de alfalfa es el agua. Las pérdidas de agua por las ineficiencias en el sistema de riego superficial utilizado son altas y las láminas aplicadas son hasta de 2.5 m por año para obtener de 12 a 14 toneladas de forraje seco por hectárea, cuando estudios en la región demuestran que con una lamina aplicada de 1.4 m por año, se obtienen rendimientos de 16 toneladas. En consecuencia, el mal uso del agua de riego en la alfalfa es el principal factor relacionado con el abatimiento del manto acuífero, ya que es la fuente principal de agua en la región, su descenso anual es de 2.1 a 7.0 m por año.

Por tal razón durante 2000 – 2001 se realizó un estudio en el cultivo de la alfalfa cuyo objetivo fue determinar si el sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS) comparado con el riego superficial consume menos agua, además de analizar si la producción y calidad se mantienen o incrementan. Se probaron siete tratamientos de riego: uno por inundación y seis tratamientos con riego por goteo subsuperficial que resultaron de la combinación de reponer en cada riego 100, 80 y 60% de la evapotranspiración (ET). y dos espaciamientos entre laterales que fueron a 0.8 y 1.0 m. En los tratamientos de goteo subsuperficial las cintas de riego laterales se colocaron a

una profundidad de 50 cm. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se midió el potencial hídrico ( $\Psi_h$ ) en cinco hojas cada 72 horas. La producción de materia seca se evaluó en cada uno de los cinco cortes realizados. Durante el tercer corte se evaluó la dinámica de acumulación de materia seca. El volumen de agua aplicado en los tratamientos con RGS disminuyó cuando el porcentaje de la ET aplicado fue bajo y el espaciamiento entre laterales se incrementaba llegando a ser 15 a 49% menor con respecto al aplicado en el riego por inundación, mientras que la producción de materia seca fue 14 a 25% mayor en el RGS que en el de inundación. En los porcentajes de calidad no se encontró diferencia estadística entre tratamientos aunque se observa que los mejores valores se obtuvieron en los tratamientos de RGS con un valor promedio en los últimos tres cortes de 23.6% de proteína cruda y obteniendo solo 22.6% en el riego por inundación

## LITERATURA CITADA

- Allen, M. S., and M. Oba. 1996 Increasing fiber digestibility may increase density, dry matter intake. Part 1. *Feedstuffs*. 68 (48):12.
- Baudilio, J. 1983. *Forrajes*. 2 ed. Editorial Mexicana, S. A. México. pp 59.
- Bogler, T. P., and A. G. Matches. 1990. Water use efficiency and yield of sainfoin and alfalfa. *Crop Science* 30: 143-148.
- Bootsma, A. 1984. Forage crop maturity zonation in the Atlantic region using growing degree – days. *Can. J. Plant Sci.* 64. 329 – 338.
- Brown, P. W., and C. B. Tanner. 1983. Alfalfa stem density and leaf growth during water stress. *Agron. J.* 75: 799-805.
- Bui, W., and R. V. Osgood. 1990. Subsurface Irrigation trial for alfalfa in Hawaii. In *Proc. 3<sup>rd</sup>. Nat. Irrig. Symp.* St. Joseph, Mich. ASAE. 658-660.
- Camp, C. R. 1998, Subsurface drip irrigation: A review. *Trans. Of the ASAE* 41 (5): 1353-1367.
- Camp, C. R. 1999. Subsurface drip Irrigation. *Irrigation Journal*. April 1-4.
- Camp, C. R., F. R. Lamm, R. G. Evans And C. J. Phene. 2000. Subsurface drip Irrigation – Past, Present, and Future. 4th National irrigation Symposium. pp 363-372. Phoenix AZ
- Carter, P. R., and C. C. Sheaffer. 1983. Alfalfa response to soil water deficit. I. Growth, forage quality, water use and water use efficiency. *Crop Science* 23: 676-680.
- Clark, G. A., and A. G. Smaistra. 1996. Design considerations for vegetable crop drip irrigation systems. *Hort Technology*. 6:155-159.
- Chew M., Y. I. 1997. Enfermedades de la alfalfa en la región Lagunera. Folleto técnico Num. 4. Torreón, Coahuila; México. pp 4.
- Donovan, T. J., and B. D. Meek. 1983. Alfalfa responses to irrigation treatment and environment. *Agron. J.* 75: 461-464.
- Doorenbos, J., and W. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper* 24. FAO. Roma, Italy. pp: 30-34.

- Fick, G. W., D. A. Holt and D. G. Lugg. 1988. Environmental physiology and crop-growth. Pp163-195. In *Alfalfa and alfalfa improvement*. 1988. Number 29 in the series AGRONOMY. Madison Wisconsin, USA.
- Fick, G. W., and D. Onstad. 1984. ALSIM (Level zero). Description, performance and user instructions for base – lineal model of alfalfa yield and quality. Agron. Mimeo 83 – 26. Dept. Agron. Cornell Univ. Ithaca. NY, EUA.
- Godoy A., C. 2000. Problemas asociados con la disponibilidad del agua. pp 43-48. In: *Tecnología de riego en nogal pecanero Libro Científico No. 1. Primera Edición. SAGAR. INIFAP. CIFAP-Comarca Lagunera. 116p.*
- Godoy A., C., H. Garza S. y M<sup>a</sup>. V. Huitrón R. 1998. Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid (*Vitis vinifera* L) bajo diferentes condiciones hídricas. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)* 94: 129-137.
- Grimes, D. W., P. L. Wiley and W. R. Sheesley. 1992. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation. *Crop Science* 32: 1381-1387.
- Guerrero., A. 1992. *Cultivos Herbáceos extensivos*. Quinta edición. Editorial Mundi-Prensa. México D. F. pp 24
- Hanson, B. R., L. Schwankl, S. Grattan and T. Prichard. 1997. Drip irrigation for row crops. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, Davis. Publication 3376. 238 p.
- Hartz, T. K. 1996. Water management in drip irrigated vegetable production. *Hort Technology* 6: 165-167.
- Hennggeler, J. 1997. Foraging for efficiency: Subsurface drip for alfalfa. *Agricultural Irrigation*. February 11-14.
- Hutmacher, B., R. mead and P. Shouse.1999. Subsurface drip: Improving alfalfa irrigation in the west. *Irrigation Journal*. June: 13-16.
- Inzunza I., M. A. 1989. Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Informe de Investigación. CENID-RASPA. INIFAP-SARH. p. 7-14.
- Kalu, B. A., G. W. Fick. 1983. Morphological stage of development as a predictor of alfalfa herbage quality. *Crop Sci.* 23. 1167-1172.
- Karamanos, A. J., And Papatheaharia. 1999. Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the water potential index. *Crop Science*. 39 (6).
- Kisselbach, T. A., J. C. Russel and A. Anderson. 1929. The significance of subsoil moisture in alfalfa production. *J. Am. Soc. Agron.* 21: 241-268.
- Kramer, P. J. 1983. *Water relations of plants*. Academic Press. New York. P 489. Lang, A. and H. During. 1991. Partitioning control by water potential gradient: evidence for compartmentation breakdown in grape berries. *J. Exp. Bot.* 27: 579-596.

- Robles S., R. 1990. Producción de granos y Forrajes. Quinta edición. Editorial Noriega Limusa. México. pp. 491
- Rotem, J., and J. Palti. 1969. la irrigación y enfermedades de la planta. *Annu. Rev. Phytopath.* 7:267-289.
- Saeed, A. M., and A. H. El Nadi. 1997. Irrigation effects on the growth, yield and water use efficiency of alfalfa. *Irrigation Science* 17: 63-68.
- SAGAR. 1998. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Región Lagunera Coahuila-Durango. Alianza para el campo. Sistema de información Agropecuario. Cd. Lerdo. Dgo.
- Santamaría C., J., G. Núñez H., G. Medina G. y J. A. Ruiz C. 2000. Potencial productivo de la Alfalfa en México. pp 1-6. In; Producción y Utilización de la Alfalfa en la Zona norte de México. Libro Técnico No 2. Primera Edición. SAGAR. INIFAP, CIRNOC, CELALA – Comarca Lagunera. 171 p.
- SAS Institute Inc. 1982. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. Caray, NC: SAS Institute Inc., Bot. Res 6: 45-117.
- Scholander, P. F., H. T. Hammel and E. D. Badstreet. 1964. Sap pressure in vascular plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 52: 119-125.
- Small, E., and M. Jomphe. 1988. A synopsis of the genus *Medicago* (Leguminosae). *Can J. Bot.* 67:3260-3294.
- Stanhill, G. 1986. Water use efficiency. *Advances in Agronomy* 39: 53-85.
- Steel, R. G. D., and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach (2nd Ed.). McGraw-Hill Book Co. New York. 633p.
- Stricevic, R., and E. Caki. 1997. Relationships between available soil water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science* 18: 17-21.
- Van Soest, P. J. 1996. Environment and forage quality. pp 1-9. In: Cornell Nutrition Conference for Feed manufacturers 58 th Meeting. Ochester, N. Y. Cornell University, Ithaca, N. Y.
- Zoldoske, D. F., S. Genito and G. S. Jorgensen . 1995. Subsurface drip irrigation (SDI) on turfgrass: A university experience. In Proc.5th Int'l. Microirrigation Congress, ed. F. R. Lamm, 300-302. St. Joseph, Mich.: ASAE.