

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA ALFALFA MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE FÓSFORO Y RIEGO POR GOTEO
SUBSUPERFICIAL**

JOSÉ ELIGIO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



Torreón, Coahuila, México

Diciembre de 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA ALFALFA MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE FÓSFORO Y RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL**

TESIS

POR

JOSÉ ELIGIO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

**Elaborada bajo la supervisión del H. comité particular y aprobada
como requisito parcial para optar el grado de:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

DR. Esteban Favela Chávez

Asesor:

Ph.D. Pedro Cano Ríos

Asesor:

Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna

Asesor:

DR. Jesús Vásquez Arroyo

Asesor:

DR. Enrique Martínez Rubin de Celis

MC. Gerardo Arellano Rodríguez
Jefe del Departamento de Postgrado

DR. Jerónimo Landeros Torres
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila, Diciembre de 2005

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) por las facilidades otorgadas para la realización de este Posgrado.

Al Consejo del Sistema Nacional de Enseñanza Tecnológica (COSNET) quien me otorgó el permiso para realizar mis estudios de Doctorado.

Mi agradecimiento a la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST) porque a través del programa Institucional de Innovación y Desarrollo de los Institutos Tecnológicos se formalizó el apoyo compromiso para la obtención del grado.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna, al Subdirector de Posgrado DR. Jerónimo Landeros Flores por su apoyo en la etapa final de mis estudios, al Jefe del Departamento de Postgrado M.C. Gerardo Arellano Rodríguez y José Jaime Lozano Coordinador de Carreras Agronómicas por su paciencia y apoyo incondicional a lo largo de cuatro años, y porque gracias a esta institución estoy logrando una de mis metas en mi vida.

Mi profundo agradecimiento al Instituto Tecnológico Agropecuario No 10 de La Laguna, Institución de donde egresé y donde laboro a la cual me faltarían

palabras para agradecer eternamente y a su director el Ing. Nathanael Flores González por las facilidades otorgadas.

Al Dr. Esteban Favela Chávez profesor investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna y asesor principal por su dirección, colaboración y revisión del presente trabajo, así como por su apoyo moral desinteresado e incondicional durante el Doctorado.

Al M.S. Claudio Godoy Ávila Investigador nacional del INIFAP – CELALA por su valioso apoyo, que con su proyecto se pudo instalar e iniciar el sistema de fertirrigación en el ITA No 10 de la laguna.

Al Ph.D. Pedro Cano Rios Investigador Nacional del INFAP- CELALA por su valiosa orientación y experiencia.

A mis asesores Ph.D. Vicente De Paúl Álvarez Reyna, DR. Jesús Vásquez Arroyo y Dr. Enrique Martínez Rubín de Celis por su valiosa orientación y motivación a lo largo de cuatro años.

Al M.C. Juan Jaime Guerrero agradezco su valiosa intervención y apoyo durante el desarrollo del Postgrado.

A mis amigos y compañeros estudiantes, Jorge Arnaldo Orozco Vidal y Pablo Yescas Coronado que compartieron sus conocimientos y experiencias que son de un valor incalculable.

DEDICATORIA

A mi Dios: Jesucristo por haberme dado la existencia y enseñarme el camino del bien

A mi Esposa Irma: Por ser el amor de mi vida y piedra angular de mi familia.

A mis hijos Judith Abigail, José Eligio e Irma Astrid: a quienes amo profundamente y son la razón de mi superación.

A mis Padres Rito Sánchez Loera y Ausencia Hernández Hernández por darme la vida, por su gran sacrificio y esfuerzo que realizaron en épocas difíciles para darme estudios y a quienes debo lo que ahora soy pero sobre todo por ser unos padres sencillos con una sabiduría enorme de la vida.

A mis hermanos José Guadalupe, María Gabriela, Ignacio, Juana, Sara y Ricardo por ser para mi un ejemplo de superación constante y de mantenerse unidos como un gran familia.

A mi suegra María Guadalupe Díaz Hernández por ser un apoyo incondicional para mis hijos y ejemplo de fortaleza en la vida.

COMPENDIO

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA ALFALFA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE FÓSFORO Y RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL

Por

José Eligio Sánchez Hernández

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” Unidad Laguna

TORREÓN COAHUILA, NOVIEMBRE DEL 2005

DR. ESTEBAN FAVELA CHAVEZ - ASESOR

En el campo Experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario No 10 en Torreón Coahuila, fueron realizados dos estudios durante los años 2002 – 2004. Sobre el rendimiento y calidad de la alfalfa mediante la aplicación de fósforo en riego por goteo subsuperficial (RGS). En la primera parte se estudiaron cuatro tratamientos de riego. Uno por inundación, y tres por riego por goteo subsuperficial en las que se repuso el 100, 80 y 60 % de la evapotranspiración (ET), se evaluó la producción de materia seca en cinco ocasiones, así como el potencial hídrico en la hoja. El volumen de agua aplicado en los tratamientos por riego por goteo subsuperficial fue inferior en un 32 al 51 % que el aplicado al riego por inundación, sin embargo la producción de materia seca fue 16 al 23 % superior en el riego por goteo subsuperficial. En el segundo estudio se evaluaron dos tratamientos de riego por goteo subsuperficial al 100 y 80 % de

la evapotranspiración (ET) y tres niveles de fósforo 75, 150 y 225 kg ha⁻¹. Los tratamientos fueron estudiados bajo un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas. Teniendo como parcela mayor la evapotranspiración y como parcela menor las dosis de fósforo. Se evaluó la producción de materia seca en cada corte. Se realizaron cuatro (análisis foliares) para la obtención del estado nutricional de la alfalfa. Los resultados estadísticos indicaron que no hubo diferencias estadísticas en las medias de interacción ni en las medias de efectos principales para la materia seca. Las producciones más altas de forraje seco, proteína cruda y fibra ácido detergente corresponden a la reposición del 100 % de la evapotranspiración, con 150 kg ha⁻¹ de fósforo. Todos los valores observados en los tratamientos lo clasifican al forraje de excelente calidad de acuerdo al Consejo Americano De Forrajes y Praderas. Para el caso de fósforo los mejores resultados fueron obtenidos en la interacción de reposición del 100% de la evapotranspiración con 75 kg ha⁻¹. y todos los valores analizados clasifican al fósforo en suficiente en la planta ya que oscilan entre 0.25 y 0.7% (Cueto et al., 1989).

ABSTRAC

YIELD AN QUALITY OF ALFALFA FROM PHOSPHORUS APPLICATION UNDER SUBSURFACE DRIP IRRIGATION

By

JOSÉ ELIGIO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” UNIDAD
LAGUNA**

TORREÓN, COAHUILA, NOVIEMBRE 2005

Two experiments were developed at the experimental station of Instituto Tecnológico Agropecuario. No 10 in Torreón Coahuila, México, during 2002 – 2004, to evaluate yield and quality of alfalfa forage as a function of phosphorus (P) application under subsurface drip irrigation (SDI). In the first experiment four treatments were evaluated: irrigation at 100, 80 and 60 % of evapotranspiration (ET), applied by SDI, and one by flood irrigation. Dry matter and leaf water potential were measured five times at harvest time. Total amount at water applied by SDI was 32 – 51 % of flood water application; however the dry matter for SDI system was 16-23 % higher than surface irrigation.

The second experiment consisted of a combination of percentages of ET and doses of P.(100, 80 % ET and 75, 150 and 225 kg ha⁻¹ of P). A complete randomized block design with a split plot arrangement was used to evaluate the

treatments. Where the large plot was ET treatments and the small plot was P doses. Dry matter and bromatological analysis of forage was measured for each harvest (4). The results did not show statistical difference among interaction and main effects means, for dry matter production. The combination of irrigation at 100 % ET and 150 kg ha⁻¹ of P, produced the higher value of dry matter, raw protein and acid fiber detergent. According to the American Council of forage and prairies, the quality of the forage obtained with the previous combination is excellent. The higher content of P on forage was reached with 75 kg ha⁻¹ and 100 % ET irrigation at classified as sufficient of P considering that P varies from 0.27 and 0.7 % (Cueto et al., 1989).

INDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
Revisión de Literatura	
Importancia Económica y Distribución Geográfica de la Alfalfa	4
Importancia del Cultivo	5
Madurez de la Alfalfa	5
Calidad del Forraje	7
El Fósforo	
El Fósforo en el Suelo	8
El Fósforo en Plantas	16
Relaciones Hídricas de la Alfalfa	19
Requerimientos de Agua del Cultivo de Alfalfa	20
Sistema de Riego	22
Funcionamiento del Riego por Goteo	24
Eficiencia en el Uso del Agua en el Ámbito Regional	27
Artículo I. Utilización del Riego por Goteo Subsuperficial en la	29
Producción y Calidad de Alfalfa.	
Artículo II. El Fósforo en el Riego por Goteo Subsuperficial y su	50
Efecto en Rendimiento y Calidad de Alfalfa	
Literatura Citada	73
Apéndice	
Anexo 1. Carta de recepción del artículo científico I. Enviado a	
la revista Terra Latinoamericana.	80

**Anexo 2. Carta de recepción del artículo científico II. Enviado a 81
la revista Fitotecnia Mexicana.**

INTRODUCCIÓN

La situación actual del agua en el mundo corresponde a un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación, de tal forma que en muchos países se le considera un factor limitante para un desarrollo sustentable. En México, el aprovechamiento del agua en los distritos y unidades de riego es deficiente; estudios realizados por varios autores (FAO, 1994; Garatuza *et al.*, 1998), estiman que en nuestro país, la eficiencia global en el uso de este recurso en el riego es menor al 40% y que el agua que se utiliza del subsuelo se encuentran ubicadas en las zonas áridas y semiáridas de México, en donde la mayoría de los acuíferos están sobreexplotados. Tal es el caso de la Comarca Lagunera, en donde para satisfacer la demanda de alimento de una población de 239 mil vacas es de 949.4 miles de toneladas de forraje seco por año, se explota una superficie de 74 639 has de cultivos forrajeros (El Siglo de Torreón, 2004) destacando el cultivo de alfalfa con una superficie de 40 000 has. Para el riego de éste cultivo se extrae del acuífero un volumen de agua de 640 Mm³ (60 % del volumen total extraído del acuífero) que equivale a una lámina de riego promedio a nivel parcelario de 1.74 m año⁻¹, la cual excede en un 32 % a su requerimiento de agua que es de 1.2 m año⁻¹ (Godoy *et al.*, 2003). La diferencia entre la lámina requerida y aplicada, significa una extracción de 210 millones de m³ de agua. Lo anterior, orilla a buscar formas de incrementar la eficiencia en el uso de agua (EUA), una de las alternativas más factibles para lograr lo anterior es utilizar sistemas de riego presurizados. Los cuales permiten aplicar en el agua una variedad de productos. El riego por goteo es el sistema que más se

adapta a esta tecnología y es el responsable del incremento de la práctica del fertirriego en la agricultura, debido principalmente al patrón de distribución de agua en el suelo debajo o encima del emisor (hemisferios o esferas, dependiendo de la profundidad de colocación de la cinta o manguera de goteo), y disponibilidad de dispositivos para la inyección de fertilizantes al sistema de riego. Con la inyección de fertilizantes, micronutrientes, herbicidas y fungicidas dentro del sistema de riego, se obtiene un potencial enorme para ahorrar tiempo, dinero y energía (Bucks y Davis, 1995). La aplicación del fósforo presenta retos a vencer, debido a que reacciona con otros nutrientes y se hace insoluble, por lo tanto no es disponible para las plantas. El manejo de este nutriente en fertirriego es especialmente importante ya que en suelos y aguas con pH menores a 6.0 reacciona con hierro (Fe^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}) y se convierte en no disponible. A pH mayor a 6.5 el fósforo se puede precipitar con el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}).

El pH ideal para la máxima solubilidad del fósforo es un poco menos de 6.5. Aunque los suelos con un pH de 6.0 y 7.0 son bien aceptados (Tisdale *et al.*, 1985) El fósforo es un nutriente con baja movilidad en el suelo y es tomado por las plantas como ortofosfato primario (H_2PO_4^-) o también puede absorberse como ortofosfato secundario ($\text{H}_2\text{PO}_4^{=}$), cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe ser transformado primero en esas formas químicas antes de ser tomado por el cultivo. El fertirriego incrementa el rendimiento y el vigor del cultivo, ya que se pueden hacer aplicaciones de agua y nutrientes por prescripción y tiempo oportuno, controlando, la contaminación ambiental, que se presenta por el lavado, escurrimientos o volatilización de

fertilizantes y otros agroquímicos (Clark., 1991). El sistema de fertirrigación es, hoy, el método más adecuado para realizar una fertilización óptima respetando el medio ambiente dentro de la denominada Agricultura Sostenible.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia Económica y Distribución Geográfica de la Alfalfa

Se trata de un cultivo muy extendido en los países de clima templado. La ganadería intensiva es la que ha demandado de forma regular los alimentos que ha tenido que proveer la industria, dando lugar al cultivo de la alfalfa. La importancia del cultivo de la alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna. Además de la importante reducción energética que supone la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las que forma parte. Por ser una especie pratense y perenne, su cultivo aporta elementos de interés como limitador y reductor de la erosión y de ciertas plagas y enfermedades de los cultivos que le siguen en la rotación (Putman, 2005)

En la siguiente tabla se muestra la superficie (miles de hectáreas) y las condiciones de cultivo de la alfalfa en los países mediterráneos:

País	Superficie (miles de ha)	Condiciones de cultivo
Francia	1500	Secano principalmente
Italia	2000	Secano o regadío eventual
España	329	Dos tercios regadío y un tercio secano
Grecia	180	Regadío fundamentalmente
Turquía	74	Principalmente regadío; en secano en las montañas
Argelia	6	Secano y regadío
Israel	3	Regadío

Importancia del Cultivo

La alfalfa es la principal especie forrajera que se cultiva en 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 que produce como por la superficie cultivada y su gran valor nutritivo (Baudillo, 1983). La alfalfa produce aproximadamente el doble de proteína digestible (más de 19 %) que otras especies leguminosas. También es muy rica en minerales y contiene al menos diez vitaminas diferentes.

En la Comarca Lagunera para satisfacer la demanda de alimentos de una población de 239 mil vacas que es de 949.4 miles de toneladas de forraje seco por año, se explota una superficie de 74 639 has de cultivos forrajeros, en las que se producen 680.7 miles de toneladas de forraje seco al año. (Comisión nacional del Agua. 2001.)

Dentro del área cultivada con forrajes destaca el cultivo de la alfalfa con una superficie de 40 000 has y un valor de la producción que rebasa a los 780 millones de pesos por año. (Godoy et al., 2003)

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 la 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, emisión de botones o cuando está completamente el 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).

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, Según Kalu y Fick (1983), A su vez Bootsma (1984), simuló el crecimiento de las plantas basado en unidades calor (UC), usando un límite superior de 30 °C un mínimo de 5 °C para desarrollar un mapa zonal de la región atlántica de 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 los 550 y 600 UC. Estos mismos autores proponen que los sistemas basados en UC deben 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, 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, de la cual la mayor parte es proteína degradable en el rumen del 74-79 % (Cantú, 2003)

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 debido a que en la primavera los días son más largos y capta 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 (Van Soest, 1996).

Núñez (2000), reporta que cuando las temperaturas son altas disminuyen la digestibilidad por aumento de 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 calidad porcentual de la digestibilidad es el tipo de variedad de alfalfa.

EL FÓSFORO EN EL SUELO

La dinámica del fósforo (P) en el suelo, en conjunto con el conocimiento de la fisiología de los cultivos, son dos aspectos esenciales para básicos para entender cómo funciona este nutriente en el sistema suelo-planta y por lo tanto representa el primer pilar para elaborar cualquier esquema de diagnóstico de las necesidades de fertilización. El P, luego del nitrógeno, es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos, Interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular y se le considera un nutriente esencial para las plantas (Burt, C. M. 1995).

La alfalfa toma el fósforo soluble del suelo en forma soluble; sin embargo, el fósforo soluble representa un porcentaje mínimo del fósforo total presente en el suelo. La mayor parte del fósforo en el suelo se encuentra en forma inorgánica. Otra forma del fósforo en el suelo se encuentra fijada o adsorbida a minerales del suelo pero que puede ser extractable o aprovechable por los cultivos. En el caso de suelos calcáreos de zonas áridas con pH alcalino, el fósforo que se aplica como fertilizante reacciona con el calcio presente en el suelo y se fija como fosfato de calcio, razón por la cual no se lixivia. Se pueden utilizar diferentes fuentes de fósforo entre las más comunes están: El fosfato monoamónico (11-52-00) y el superfosfato triple (00-45-00) que se pueden aplicar al voleo, mientras que el fosfato de amonio (10-43-00) y el ácido fosfórico (00-52-00) se pueden suministrar a través del riego (Quiroga, 2003).

La producción de trigo bajo siembra directa (SD) en el sudeste bonaerense se incrementó marcadamente durante los últimos años y estableció la necesidad de conocer el tamaño de las fracciones de fósforo (P) del suelo que puedan incidir en el corto o largo plazo en la disponibilidad de este nutriente. Se planteó como objetivo comparar el tamaño de las fracciones de P de diferente labilidad en suelos bajo SD y labranza convencional (LC) y se encontró que entre los 10-20 cm de suelo no hubo influencia de las labranzas en la distribución de P. En la superficie del suelo bajo SD se cuantificó una mayor concentración de formas lábiles de P que en el suelo bajo LC. El suelo bajo SD presentó una mayor concentración de P moderadamente lábil en los 5 cm superiores de suelo (Zamuni, 2005).

Un estudio realizado por en diferentes predios manejados por más de 5 años bajo el sistema de cero labranza para determinar la incidencia del muestreo sobre la determinación del fósforo disponible. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos: a) determinar el efecto de la profundidad de muestreo; b) evaluar la distribución del fósforo residual en la banda; c) evaluar el efecto de la quema de residuos sobre el contenido de fósforo del suelo se observó después de la quema, un incremento significativo del fósforo disponible. De acuerdo a los resultados, para cero labranza se recomienda muestrear los primeros 10 cm del suelo (Bustamante, 2000).

El fósforo (P), después del nitrógeno (N), es el nutriente que más frecuentemente afecta la producción de cultivos. En la Región Pampeana, se han determinado áreas originalmente deficientes en P disponible como el

sudeste de Buenos Aires y la Provincia de Entre Ríos. En los últimos años se ha observado una disminución importante en la disponibilidad de P en áreas originalmente bien provistas del Norte y Oeste de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Este . Esta disminución de los niveles de P disponible se adjudica a la mayor “agriculturización” que resultó en mayores extracciones del nutriente. Los criterios de diagnóstico de fertilización deben insertarse en el manejo de cultivos dentro de la rotación o sistema. Al incluir a la rotación de cultivos en el análisis del manejo de la fertilización, se consideran los efectos residuales de nutrientes de movilidad reducida como P (García, 2001).

Formas y ciclo global de P en el suelo

El P en el suelo se encuentra formando parte de pools orgánicos e inorgánicos. Dependiendo del tipo de suelo, se puede decir que entre 60-50% corresponde a la fracción orgánica, mientras que el resto se encuentra en forma inorgánica. Las formas orgánicas se hallan en el humus del suelo, en diferentes niveles de estabilización. Dentro de la compleja configuración del humus, podemos distinguir sustancias orgánicas más accesibles para las plantas (lábilas) y otras de menor accesibilidad no lábilas (Castellanos *et al.*, 2000).

El fósforo se encuentra en el suelo en pequeña proporción como fosfato orgánico y en su mayor parte como fosfato inorgánico ($H_2PO_4^-$) en solución. (Rojas, 1972) en un suelo alcalino dominan los fosfatos de calcio; y en un suelo ácido los fosfatos de hierro y aluminio.

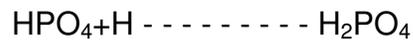
El contenido total de fósforo en el suelo es la apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$, un fosfato cálcico de baja solubilidad que constituye el principal mineral fosfatado en los suelos de las regiones áridas y semiáridas, donde el contenido de calcio es alto y el potencial de hidrógeno es alcalino, por otro lado en suelos húmedos e inundados, el fósforo se encuentra principalmente como variscita. (Fassbender, 1987).

Ortega, (1963). Menciona que el fósforo del suelo con respecto a la nutrición vegetal se describe en términos de la siguiente relación:

Fósforo.	Fósforo	Fósforo
Solución.	Labil.No labil
(1)	(2)	(3)

La primera fracción (I) se define como el fosfato disuelto en la solución del suelo. La segunda fracción (II) se refiere al fosfato en fase sólida, el cual esta sujeto o adherido sobre la superficie de arcillas minerales, carbonatos, óxidos, apatita, fosfatos de hierro y aluminio, además se encuentra en equilibrio rápido con el fosfato de la solución del suelo. En la tercera fracción (III) puede pasar muy lentamente a ser fósforo labil, es decir el fosfato es insoluble y se libera lentamente.

Las cantidades de fosfato presente en la solución del suelo es baja en comparación con el fosfato adsorbido. El fosfato adsorbido excede al fosfato de la solución del suelo por un factor de 10^2 a 1000. La concentración del fosfato de la solución del suelo es muy diluida y en suelo fértil arable es de 0.3 a 3.0 ppm de fósforo. Los iones que contienen fósforo en la solución del suelo son: HPO_4 y H_2PO_4 . La proporción de estas dos especies de ion en la solución del suelo depende del pH, a mayor concentración de H cambia el equilibrio a la forma más protonada, de acuerdo a la siguiente ecuación:



La distribución de los fosfatos inorgánicos se ve influenciado por las condiciones del pH del suelo. (Fassbender, 1987). Indicando que en reacciones neutras o alcalinas, predominan los fosfatos de calcio, mientras que bajo condiciones ácidas los de Hierro y Aluminio. Así mismo complementa que aunado al pH, la granulometría del suelo influye en la distribución de los fosfatos inorgánicos; por ejemplo en suelos arenosos predominan los fosfatos cálcicos y en arcillosos los aluminicos y férricos. En general los hechos indican que el máximo aprovechamiento de fosfatos por las plantas se obtiene cuando el pH del suelo se mantiene entre 6.0 y 7.0, aclarando que dentro de estos limites el aprovechamiento del fósforo es bajo. El término fijación se define como el proceso en el suelo por el cual ciertos elementos químicos esenciales para el

desarrollo de las plantas son convertidos en una forma soluble o intercambiable a una forma menos soluble o no intercambiable.

Tisdale *et al.*, 1985 Mencionan que al fósforo fijado se le han dado tres definiciones.

1. Fósforo que ha sido cambiado a formas menos solubles como resultado de la reacción con el suelo, este fósforo es moderadamente aprovechable.
2. Fósforo aplicado que no es absorbido por las plantas durante el primer año de cultivo.
3. Fósforo soluble que se ha adhiere a la fase sólida del suelo en formas altamente inutilizables por los cultivos; fósforo no aprovechable; fósforo en otras forma diferente a las moderadamente aprovechables.

El poder de fijación del fósforo en muchos suelos es tan grande que la regulación del aprovechamiento del fósforo es uno de los problemas más difíciles en el manejo del suelo y de los cultivos. El fósforo fijado es resistente a las pérdidas por lixiviado. El grado y mecanismo de fijación del fósforo varía con la naturaleza y propiedades del suelo. El mecanismo no esta aun bien definido, pero algunos experimentos sugieren que:

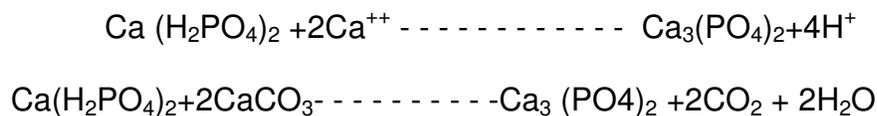
1.- En suelos calcáreos alcalinos, los iones PO_4 parecen ser precipitados como fosfatos de calcio y magnesio relativamente insolubles o como sales dobles de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaCO_3 ó $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$, las cuales se consideran menos solubles que los fosfatos de calcio y magnesio.

2.- En suelos moderada o altamente ácidos (pH de 5.5), el aluminio y hierro se vuelven solubles y se combinan con los iones de fosfato para formar compuestos insolubles, que son de bajo grado de aprovechabilidad por las plantas.

3.- Los iones fosfato reemplazan al silicato o radicales OH de la micela arcillosa. El fósforo fijado por la Montmorillonita es algo aprovechable que el combinado con aluminio y hierro o con la cal.

4.- El fósforo es más aprovechable en suelos con pH de 6.0 a 7.0. Esto no indica que el fósforo sea igualmente aprovechable en todos los suelos que son ligeramente ácidos o neutros. Los suelos de textura fina tiene un poder más alto de fijación del fósforo que los suelos de textura gruesa. En esta rango de potencial de hidrógeno, la fijación que ocurre se debe principalmente a la arcilla coloidal y cationes divalentes (Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺) en la solución del suelo.

En suelos alcalinos la precipitación de fosfatos es producida sobre todo por los compuestos cálcicos. Estos suelos se abastecen generalmente de calcio intercambiable y con carbonato de calcio. Los fosfatos aprovechables reaccionan tanto con el ion como con su carbonato. Al añadir superfosfato concentrado a un suelo calizo, la reacción que tendrá lugar será la siguiente:



El fósforo es un elemento esencial para la vida. (Lauer, 1988) Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético. El fósforo no es abundante en el suelo., mucho del fósforo presente en el suelo no esta en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar “fijado” (no disponible) en los minerales del suelo, por lo cual que la planta no puede absorberlo. En la naturaleza, el fósforo forma parte de rocas y minerales del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los orgánicos. Los fertilizantes minerales son compuestos inorgánicos de fósforo que se extraen de grandes yacimientos de “roca fosfórica”. Compuestos minerales, tratados para hacerlos más solubles para que, sean disponibles para las plantas y puedan ser utilizados por estas en la formación de tejidos y órganos vegetales.

La figura No. 1. Muestra el ciclo del fósforo en la naturaleza y la intervención del hombre en el mismo. Se puede observar que el fósforo se pierde por: escurrimiento, erosión, lavado y extracción en la cosecha. El fósforo regresa al suelo por medio de adición de fertilizantes minerales (la más importante y significativa), aplicación de residuos de animales y plantas y por deposición atmosférica.

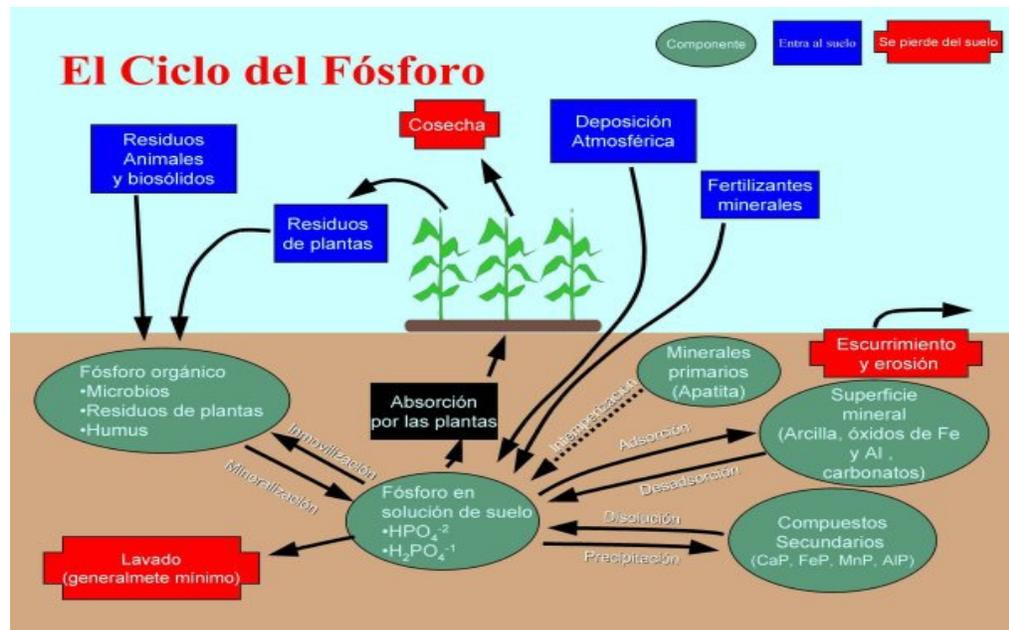


Figura No 1. El Ciclo del Fósforo.

EL FÓSFORO EN PLANTAS DE ALFALFA

Absorción del fósforo por las plantas.

Las raíces de las plantas absorben el fósforo principalmente en forma de ion ortofosfato presente en concentraciones muy bajas (10^{-4} - 10^{-5} M) en la solución del suelo. En el interior de las células de la raíz y savia del xilema, las concentraciones del fósforo son de 100 a 1000 veces mayores que en la solución del suelo que rodea la raíz, lo que evidencia la activa absorción de los fosfatos. La estrecha asociación que se ha observado entre la actividad metabólica y la absorción de fosfatos es otra prueba de esa activa nutrición. No parece que haya pruebas de la absorción por las raíces de cantidades apreciables de compuestos orgánicos de fósforo.

La extensión y forma del sistema radicular pueden explicar las diferentes capacidades de distintas plantas para absorber fósforo en el suelo. Cuanto más colonizado esté un suelo, menor será el nivel de fósforo necesario. Otro aspecto de indudable importancia para la absorción de fosfato, en especial para árboles y especies perennes es el papel que juegan las asociaciones simbióticas que tienen lugar entre las raíces y algunos microorganismos en la micorriza que las envuelve (Acosta, 2004).

Ningún elemento, con excepción del nitrógeno, es tan decisivo para el crecimiento de las plantas en el campo como el fósforo, ya que contribuye favorablemente a la división celular y al crecimiento, así como a la formación de albúminas, floración, fructificación y formación de semillas, maduración de las cosechas y desarrollo radicular. Buckman y Brady, (1966).

El fósforo como el nitrógeno es muy importante como parte estructural de muchos compuestos, principalmente ácidos nucleicos y fosfolípidos. Bidwell, (1979). Además desempeña una función indispensable en el metabolismo energético; la elevada energía de la hidrólisis del pirofosfato y diversos enlaces del fosfato orgánico se utilizan para impulsar reacciones químicas. Además menciona que la deficiencia de fósforo afecta todos los aspectos del metabolismo vegetal y del crecimiento. Los síntomas de deficiencia de fósforo son: pérdida de hojas maduras, desarrollo de antocianinas en tallos, nervaduras foliares y en casos extremos, desarrollo de áreas necróticas en diversas partes

de la planta. Las plantas deficientes son de lento desarrollo y a menudo, achaparradas.

El fósforo es importancia vital en la transferencia de energía en las plantas una deficiencia se manifiesta en la alteración del metabolismo del crecimiento. (Bidwell, 1979). Se atrofia el crecimiento, las hojas más antiguas tienden a cortarse porque, como sucede con el nitrógeno, el fósforo es móvil y se desplaza al follaje más joven. Las hojas tienen un color más oscuro y algunas veces están deformadas. Los carbohidratos, tienden a acumularse provocando la producción de antocianinas y la coloración roja o púrpura de las hojas y tallos.

Una función específica del fósforo en la alfalfa es vinculada con Adenosintrifosfato (ATP) asociada con la actividad del nitrógeno. (Raunschkolb *et al.*, 1976). Además han asociado un requerimiento alto de ATP para la fijación del nitrógeno y el papel esencial del fósforo en el proceso simbiótico. El efecto del fósforo sobre el metabolismo del nitrógeno ha sido demostrado en alfalfa tropical, el número de nódulos, tamaño y niveles de fijación de nitrógeno, se incrementan a medida que el nivel de fósforo se incrementa.

El fósforo desempeña un papel importante en las transformaciones de energía y participa en el metabolismo de la grasa y proteína. Es un constituyente esencial de muchos compuestos vitales como los nucleótidos, lecitinas y mayor parte de las enzimas. Afirman también que las plantas absorben el fósforo de la solución del suelo en su mayor parte en forma de iones de $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$. En suelos muy

ácidos, la obtención del fósforo es baja debido a la formación de fosfato de hierro y aluminio de los cuales el fósforo es obtenido con lentamente. En suelos calcáreos, se forman con rapidez fosfatos tricálsicos, con lo cual se reduce la obtención del fósforo del suelo.

Relaciones Hídricas en la alfalfa

Cualquier exceso o deficiencia de 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 (Fick et al., 1988).

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

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. (Fick *et al.*, 1988).

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

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 estomacal ocasionando un decremento en la producción de materia seca. Según Karamanos y Papatheaharia, (1999).

(Kramer, 1983), 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 este 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 estomatal. Karamanos y Papatheaharia (1999).

La producción óptima del cultivo se correlaciona directamente con la disponibilidad del agua en el suelo (Stricevic y Caki, 1997). En condiciones de humedad limitante, la producción de materia seca 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.

Requerimientos de agua del cultivo de alfalfa

La alfalfa es bastante tolerante a la sequía, pero requiere de importantes cantidades de agua para obtener una buena producción (Guerrero, 1992). Brown y Tanner (1983) y Grimes *et al.*, (1992). Además encontraron que el déficit del agua en el suelo provoca una reducción significativa de la producción y crecimiento de la alfalfa.

La alfalfa tiene un alto requerimiento de agua comparado con otros cultivos. (Sabed y El Nadi 1997).

Inzunza (1989), En la Región Lagunera los requerimientos de agua para la alfalfa fueron de 1.40 metros por año para obtener un rendimiento de 16 toneladas de forraje base peso seco; entre tanto. Las láminas de agua que se aplican en la región para regar el cultivo comercialmente son hasta 2.5 m con una producción de 12 a 14 toneladas de forraje base peso seco.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) en la producción de la alfalfa es de 1.1 Kg m⁻³. (Phene (1999). Sin embargo los valores que se obtienen en la Región Lagunera son de 0.52 Kg m⁻³.

Los valores medios de eficiencia en uso del agua para las plantas C₃ a las cuales pertenece la alfalfa es de 1.5 Kg m⁻³ de agua transpirada, por lo que todavía existe un potencial aun no explotado (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 evaporación directa del suelo y 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 sistema de riego por melgas (Godoy et al., 1998).

Sistema de riego

La situación actual del agua en el mundo corresponde a un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación, de tal forma que en muchos países ya se considera un factor limitante para un desarrollo sustentable. Lo anterior, orilla a buscar formas de incrementar la eficiencia en uso del agua (EUA), para impactar en aspectos donde el efecto del ahorro del recurso, en cantidad, calidad, sea el mayor posible (Phene, 1999).

Una alternativa factible para lograr lo anterior es utilizar sistemas de riego presurizados, los cuales permiten aplicar junto con el agua una amplia variedad de materiales químicos (Burt , 1995; Hanson *et al.*, 1997 y Camp, 1998).

La quimigación, es el término que se utiliza para describir la adición de productos químicos (insecticidas, fertilizantes, etc) en sistema de riego con el propósito de distribuirlos con el agua de riego en un área determinada.

El quimirriego incluye también la inyección de cloro, ácidos y otros productos químicos con el objeto de tratar el agua o limpiar el sistema de riego y sus componentes. El fertirriego, es la forma más común de quimigación y consiste en aplicar fertilizantes a través del agua (Dickinson, 1995);

El fertirriego comparado con los métodos tradicionales, permite una mayor flexibilidad en la aplicación del fertilizante ya que permite aplicarlo en cualquier momento durante el riego. El riego por goteo es el sistema de riego que más se adapta y es el responsable del incremento de la practica del fertirriego en la agricultura, debido principalmente al patrón de distribución de agua en el suelo

debajo o encima del emisor (hemisferios o esferas, dependiendo de la profundidad de colocación de la cinta o manguera de goteo), y disponibilidad de dispositivos para la inyección de fertilizantes al sistema de riego. La inyección de fertilizantes, micronutrientes, herbicidas, insecticidas y fungicidas dentro del sistema de riego ofrece un potencial enorme para ahorrar tiempo, dinero y energía. El fertiriego incrementa el rendimiento y vigor del cultivo, ya que se pueden hacer aplicaciones de agua y nutrientes por prescripción y oportunamente, controlando además, la contaminación ambiental, que se presenta por el lavado, escurrimiento o volatilización de fertilizantes y agroquímicos.

Para alcanzar una alta eficiencia en la aplicación del agua y nutrimento no basta un buen diseño y mantenimiento del sistema de riego, sino se requiere también del manejo óptimo; significa aplicar la cantidad necesaria de agua en el tiempo correcto. Los sistemas de riego diseñados para alcanzar altas eficiencias en la aplicación del agua se vuelven inadecuados o ineficientes si se aplica más agua que los requerimientos del cultivo (Godoy, 1994).

El fertiriego no se puede establecer en todos los sistemas de riego, ya que la principal exigencia es obtener la máxima uniformidad en la distribución del agua y fertilizantes. Es por esto que esta práctica se asocia con los sistemas de riego localizado y alta frecuencia como goteo o microaspersión, aunque también puede aplicarse al riego por aspersión.

FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO POR GOTEO

Un sistema de riego por goteo es aquel en el cual el agua es llevada a través de tuberías y se aplica agua filtrada combinada con fertilizantes dentro (subsuperficial) o sobre el suelo (superficial) y directamente a cada planta mediante dispositivos conocidos como emisores o goteros, los que la depositan sobre el suelo gota a gota y sin presión. En la zona radical de la planta debajo de cada emisor o gotero se forma un perfil de humedecimiento, cuya forma depende de las características del suelo, caudal del emisor y tiempo de riego.

En el riego por goteo la planta es regada a intervalos cortos y es posible dosificar el suministro de agua y nutrimentos de acuerdo a lo demanda de la planta, lo que permite que las hojas mantengan los estomas abiertos, transpiren y asimilen el CO_2 adecuadamente, provocando que la fotosíntesis neta sea alta, lo que se refleja en incremento en rendimiento y calidad de los cultivos (Camp, 1998). Con la utilización de este sistema de riego evita la saturación del suelo después de la aplicación de un riego y el estrés de humedad en el cultivo antes de la aplicación del siguiente riego. Estas dos situaciones, son comunes cuando los cultivos se riegan superficialmente, causan cierre de estomas, lo que implica finalmente una menor producción de materia seca (Clark y Smaistra, 1996). Cuando en el riego por goteo las laterales de riego se entierran, se presentan algunas ventajas adicionales ya que la superficie del suelo se conserva seca y sin maleza, no así las capas inferiores que se conserva húmedas, pero por debajo del estado de saturación, evitando sustancialmente la evaporación del agua y percolación profunda, que representan las pérdidas de agua más

importantes del balance del agua para el sistema de riego superficial (Phene, 1999; Hanson *et al.*, 1997; Hartz, 1996).

El suelo se compone de minerales, materia orgánica, aire y agua. El contenido de aire y agua en el suelo es variable y sus proporciones relativas controlan el crecimiento de la planta. Por esta razón, uno de los principales objetivos del riego debe ser mantener un equilibrio óptimo en los poros del suelo entre los porcentajes de agua y aire para que las raíces puedan absorber agua y nutrientes (Hills *et al.*, 1989).

La utilización del riego por goteo superficial o subsuperficial ha cambiado completamente el concepto que se maneja en el riego por inundación, el cual utiliza al suelo como un almacén y sistema de transporte de agua. En el sistema de inundación el riego se aplica con poca frecuencia hasta llenar todo el perfil del suelo, en comparación al riego por goteo en el que el agua se aplica con más frecuencia para satisfacer los requerimientos inmediatos de la planta y solamente se humedece una pequeña porción del perfil del suelo (Sammis, 1980).

Otro concepto importante del riego es el relacionado al movimiento del agua. El agua puede moverse a través del suelo en forma líquida (flujo de masas) y en forma de vapor (difusión). Las fuerzas que controlan su movimiento se deben principalmente a la naturaleza capilar del suelo, la cual actúa igualmente en

todas direcciones; y a la fuerza gravitacional que es siempre constante y hacia abajo. La fuerza capilar, disminuye a medida que el suelo se humedece. En un suelo seco, la fuerza capilar es más grande que la gravitacional y tiende a mover el agua en todas direcciones, incluso hacia arriba. A medida que el suelo se humedece, sus poros se saturan y la fuerza capilar se debilita; en este punto la gravitacional llega a ser la más importante y el agua se mueve hacia abajo, y en muchas ocasiones, debajo del nivel de las raíces.

El manejo básico del riego por goteo consiste en regar el suelo con pulsos cortos (riego de alta frecuencia) semejante a lo que se hace con las plantas en los invernaderos. Al emplear este tipo de riego, el movimiento del agua lo controla principalmente la fuerza capilar y no la gravitacional, permitiéndole a la planta recibir frecuente y directamente el agua y los nutrimentos en una porción de la zona radical, siendo factible con este sistema de riego, mantener casi constantes los porcentajes de humedad y concentración de nutrimentos en el suelo (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. Camp (1999), Henngeler (1997) y Phene (1999). 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 humedecimiento, desecado y calentamiento – enfriamiento intermitente, por lo que se espera que el polietileno tendrá una vida útil larga.
2. El tráfico de equipo en el campo se simplifica, debido a que toda la tubería esta enterrada. Adicionalmente, la superficie del suelo se mantiene seca, y 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.
4. Durante la estación seca del año, la parte superficial del suelo se mantiene seca, disminuyendo la presencia de enfermedades de follaje, plagas invernantes en el suelo, maleza, etc.

Eficiencia en el Uso del Agua en el Ámbito Regional

En la Comarca Lagunera, la producción promedio de materia seca (0 % de humedad) para alfalfa es de 13.5 ton ha^{-1} . De acuerdo con los datos de aplicada y forraje producido, la eficiencia en el uso agua para este cultivo a nivel regional es de 0.77 kg de materia seca por m^3 de agua aplicada. Resultados de investigaciones muestran valores de 1.5 kg m^3 para esta especie. Vaadia, (1986) por lo que, los obtenidos en el ámbito regional, son muy bajos.

Durante los años de 1999 a 2001 el porcentaje promedio de incremento en el uso eficiente del agua del riego por goteo subsuperficial con respecto al de inundación fue de 49 %; lo cual es muy significativo y se logra por una combinación de un incremento en 26 % en la producción de forraje seco, y una reducción en el uso de agua del 30.5 % sin detrimento de la producción y calidad. (Godoy, 2003)

**UTILIZACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL EN LA
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ALFALFA¹**

**Use of the Subsurface Drip Irrigation System in the Yield and Quality of
Alfalfa**

**Esteban Favela Chávez¹, José Eligio Sánchez Hernández², Pedro Cano
Ríos¹, Vicente de Paúl Álvarez Reyna¹, Jesús Vázquez Arroyo¹ y Enrique
Martínez Rubín de Celis³**

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coah.
este-favela@hotmail.com

²Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Unidad Laguna. Periférico y carretera a Santa Fe, Colonia Centro, 27000
Torreón, Coah. Joseeligio5@hotmail.com

³ ITA No. 10. Carretera Torreón-San Pedro Km. 7.5 Torreón, Coah.

¹ Artículo 1. Enviado a la Revista Terra Latinoamericana con clave 1477

RESUMEN

En el Campo Experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario No 10 en Torreón Coahuila, fue realizado un estudio durante los años 2002 – 2003 en alfalfa (*Medicago sativa* L.) para determinar la utilización del riego por goteo subsuperficial RGS. Se estudiaron cuatro tratamientos de riego. Uno por inundación, y tres por riego por goteo subsuperficial en los que se aplicó el 100, 80 y 60 % de la evapotranspiración (ET_0) en cada riego, y un espaciamiento entre laterales de 1.0 m. En los tratamientos de goteo subsuperficial las laterales se colocaron a una profundidad de 50 cm. Se utilizó cinta de riego 15 mil T-TAPE con emisores a 20 cm y un caudal de 3 Lh^{-1} por metro lineal, a una presión de operación de 1 kg/cm^2 . El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Se midió el potencial hídrico (ψ_h) en la hoja, producción de materia seca en cinco ocasiones. En el tercer corte fue evaluada la dinámica de acumulación de materia seca. El volumen de agua aplicado en cada tratamientos por riego por goteo subsuperficial fue inferior de un 32 al 51 % que el aplicado al riego por inundación. Sin embargo la producción de materia seca fue de 16 al 23 % superior en el riego por goteo subsuperficial.

SUMMARY

An experiment was developed at the Experimental Station of Instituto Tecnológico Agropecuario No 10 in Torreón Coahuila, México. During 2002 – 2003, to evaluate yield and quality of alfalfa forage under subsurface drip irrigation system (SDI). In the experiment four treatments were evaluated: irrigations at 100, 80 and 60% of evapotranspiration (ET) applied by SDI, and one by flood irrigation, and later spacing to 1.0 m. In the treatments of SDI, the lateral watering tapes were placed to a depth of 50 cm. Was used a 15 mil dripping tape with five emitters per meter of three liters per hour per lineal meter at 1 kg cm^{-2} of pressure. A complete randomized block design with four replications was used to evaluate the treatments. Dry matter and leaf potential (ψ_h) were measured five times at harvest time. Total amount of water applied by SDI was 32 – 51 % of flood water application, however the dry matter for SDI system was 16 – 23 % higher than surface irrigation.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es una región ubicada al suroeste del Estado de Coahuila y colinda al sureste del Estado con Durango. En esta Región, durante los últimos cinco años se utilizaron 1900 millones de m^3 de agua, de los cuales más del 90% se destinó para el riego de cultivos agrícolas (Godoy 2000). De este volumen, 62% correspondió a agua extraída del acuífero y el resto provino de la presa Lázaro Cárdenas, ubicada en Nazas, Dgo. Con el agua que se extrae del acuífero se riegan 75 000 hectáreas, de las que 85% corresponden a cultivos forrajeros, destacando la alfalfa que ocupa una superficie de 40 000 hectáreas. La principal limitante en la producción de alfalfa es el agua, vital recurso que se ha venido agotando (Medina, 1995). En un estudio realizado por (Inzunza 1989), encontró que los requerimientos de agua para la alfalfa son de $14\ 000\ m^3\ ha^{-1}\ año^{-1}$, con una producción de 16 toneladas en base a peso seco $/ha^{-1}$, en contraste, con el volumen de agua que se utiliza para regar el cultivo de manera comercial que es de $25\ 000\ m^3\ ha^{-1}\ año^{-1}$, para obtener rendimientos de 12 a 14 toneladas en base a peso seco ha^{-1} , esta diferencia significa una extracción de agua adicional al acuífero, que equivale a un volumen de 352 millones de m^3 . Lo anterior ha ocasionado que el agua, sea un recurso cada vez más escaso y caro,.

Situación que es similar en gran parte de México. La eficiencia en uso del agua, se puede lograr a través de la eliminación de dos componentes importantes del balance como lo es, la evaporación directa del suelo y la

percolación profunda. Estas pérdidas de agua ocurren cuando se tiene un sistema de riego ineficiente como es el riego por inundación. Una alternativa para evitar pérdidas es el riego por goteo subsuperficial (RGS). El riego por goteo subsuperficial conserva el agua e incrementa la producción y calidad del forraje de alfalfa. Una estrategia reciente y alentadora para mejorar la eficiencia del agua es el riego por goteo con el que se puede manejar un régimen de bajo volumen, baja presión, alta frecuencia y riego parcial, dentro del riego por goteo la cintilla es una variante, la cual consiste en una manguera flexible con salidas al exterior con espaciamientos de 5 a 60 cm (Cadahia, 1997, Camp 1998). Al usar el RGS se evita la saturación del suelo, como sucede después de la aplicación de un riego por inundación, y estrés de humedad en el cultivo antes de la aplicación del siguiente riego, la saturación y el estrés ocasionan el cierre de estomas, las cuales se encargan de regular el intercambio de vapor de agua (transpiración), el CO₂ (asimilación de CO₂) y oxígeno (Clark y Smaistra, 1996). Utilizando el riego por goteo se puede dosificar tanto el agua como los nutrientes de acuerdo a la demanda de la planta, permitiendo que la fotosíntesis sea alta y con esto incrementar el rendimiento y calidad del cultivo (Camp, 1998).

El volumen de agua aplicado utilizando RGS comparado con riego superficial fue un 32% menor (Godoy y Pérez, 2001). El incremento en la producción que se tiene en la alfalfa con la utilización de riego por goteo subsuperficial, puede ser mayor y la disminución del volumen de agua utilizado en este cultivo puede ser desde 20 hasta 50 % (Phene, 1999).

El objetivo del estudio fue determinar si la producción de alfalfa se puede mantener o incrementar utilizando el sistema de RGS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica de la Comarca Lagunera

La Región Lagunera está localizada geográficamente entre los meridianos 102° y los 104° 40' de longitud oeste y los paralelos 24° 30' y los 27° de latitud norte. Tiene una altura de 1120 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra limitada al oeste y sur por la Sierra Madre Oriental y hacia el este y norte por los bolsones de Mapimí y sierras aisladas, comprende 15 municipios, los cuales son: por el Estado de Coahuila; Torreón, San Pedro de las Colonias, Francisco I. Madero, Matamoros y Viesca, y por el Estado de Durango; Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe. (Chew, 1997).

Características climáticas

De acuerdo a la clasificación de C. W. Thornthwithe, citado por Santos en 1973, el clima de la Comarca Lagunera es: árido, con lluvias deficientes en todas las estaciones del año. La temperatura media anual es de 21 °C. La media del mes más caliente corresponde a junio con 26.4 °C, mientras que la del mes más frío corresponde a enero con 13.0 °C. Las temperaturas extremas

que se han registrado son, máxima de 41.5 °C en el mes de junio y mínima de –13.0 °C en el mes de enero. La acumulación de calor (UC) anual usando el método desarrollado por Allen (1976) con un umbral inferior de 10 °C y un umbral superior de 40 °C oscila de 3800 a 4200. Durante el invierno existe gran variabilidad de heladas oscilando el número de estas por periodo invernal entre cuatro y 62. La temperatura media de las heladas ha variado entre –1.2 °C y –3.2 °C. la fecha de la primera helada ha ocurrido entre el 27 de octubre y 22 de diciembre. La fecha de la última helada se ha registrado desde el 15 de febrero hasta el 14 de abril. La temperatura de la primera helada varía entre 0 °C y –6.5 °C; mientras que la de la última helada puede ser de 0 °C y –6.0 °C. Según la ecuación de Damota, la acumulación de horas frío en la Comarca Lagunera varía de 150-430 horas frío.

El estudio se realizó en el campo experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10 de la Laguna, ubicado en el ejido Anna Municipio de Torreón, Coahuila. El suelo donde se estableció es un suelo de textura migajón-arcilloso correspondiente a la serie coyote la cual predomina en los suelos de la Región Lagunera con pH de 7.86, CE de 2.3 dS/cm, RAS de 5.72, M.O de 1.12 y un PSI de 6.69.

Área de estudio y prácticas de campo. Se dió inicio con un subsoleo a una profundidad de 70 cm y cruza con la finalidad de que el suelo se disgregara, enseguida se un paso de barbecho y rastra cruzada y posteriormente se dió un paso con la escrepa.

Sistema de riego. Se tuvo que construir y equipar todos los componentes del sistema que fue un depósito de agua, así como la instalación del cabezal de riego (bomba de impulsión, válvula de control y prevención para el regreso del flujo, filtros de arena silica) y la red principal de conducción de cuatro pulgadas con salidas de tres pulgadas para conectar las cintillas, válvulas manómetros. En la instalación del sistema de riego por goteo subsuperficial, se colocaron las laterales (cintillas de riego) a una profundidad de 50 cm, para este propósito se utilizó un chuzo de 70 cm de longitud, montado en un tractor. Las laterales se acomodaron a un espaciamiento de 1 m. Se maneja una cinta 15 mil T-TAPE, con un espesor de pared de 0.3810 mm y diámetro interior de 16 mm con emisores a 20 cm y un caudal de 3 Lh⁻¹ por metro lineal, a una presión de operación de 1 kg cm⁻².

La siembra se realizó en el mes de mayo del 2002, en seco, utilizándose la variedad PIONNER 5929 con una dosis de 35 kg ha⁻¹,. La época óptima de siembra en la Comarca Lagunera son en los meses de noviembre y diciembre, ya que durante este período, la infestación de maleza es baja y el primer corte es hasta abril del siguiente año tiempo suficiente para que la planta desarrolle un sistema radical profundo que le permite soportar el estrés hídrico del corte. Sin embargo, el sembrar en esa época o después es también aceptable, pero trae los problemas antes mencionados (Quiroga *et al.*, 1991).

La fertilización utilizada fue 0-100-100 ha⁻¹, las cuales fueron suministradas semanalmente a través del sistema de riego, utilizando un venturi de 12.7 mm de diámetro, a razón de 20 kg de cada nutriente por corte.

Agua de riego. El experimento se regó con agua proveniente del subsuelo, la cual tenía una conductividad eléctrica de 0.28 dSm^{-1} , pH de 7.9, concentración de bicarbonatos de 2.0 a 2.6 meq L^{-1} y concentración de cloruros de 2.2 a 3.6 meq L^{-1} . Para el establecimiento de la alfalfa se realizó un estudio 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 3 Lh^{-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 del suelo. En base a esta observación para el establecimiento del cultivo se aplicó una lámina de 135 mm con riego superficial por única vez para inducir la germinación posteriormente los riegos con la cintilla enterrada siguieron una misma metodología entre cortes, consistiendo en aplicar a los cinco días después de un corte un riego de 36 horas para alcanzar la capacidad de campo del suelo y recuperar el traslape de los bulbos de humedecimiento. Los riegos posteriores se realizaron cada tercer día, para lo cual se acumulaba la evaporación 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 0.8 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 , lo que se calculó usando la metodología del tanque evaporímetro propuesta por Doorenbos y Pruitt, (1977). La ETo con esta metodología se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$ET_o = E_o * k_t$$

Donde:

ET_o = Evaporación de referencia (mm).

E_o = Evaporación registrada en el tanque evaporímetro (mm).

K_t = Coeficiente del tanque, el cual considera al medio ambiente que rodea al tanque.

Con los valores de la ET_o y el coeficiente del cultivo (K_c) se determinó la evaporación del cultivo (ET_c), con la siguiente ecuación (Quiñónez, 1997):

$$ET_c = (K_c) (ET_o)$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm).

K_c = Coeficiente del cultivo.

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm)

En seguida se calculó la tasa de aplicación de la cinta (I), utilizando como datos de entrada la tasa de descarga de la cinta y el distanciamiento entre laterales (Hanson, 1997), con la siguiente formula:

$$I = \frac{(11.55) \times (Q)}{F}$$

Donde:

I = Tasa de aplicación de la cinta (pulgadas h⁻¹).

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

F = Distancia entre cintillas (pulgadas).

Con los valores de la ecuación anterior y la ETc se obtuvo el tiempo de riego (Tr) (Hanson, 1997).

$$Tr = \frac{ETc}{I}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h).

ETc = Evapotranspiración de cultivo (pulgadas).

I = Tasa de aplicación (pulgadas h⁻¹).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, el análisis de datos se realizó utilizando el paquete de diseños

experimentales de la facultad de agronomía de la Universidad autónoma de Nuevo León (Olivares, 1994).

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 la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Variables evaluadas

En cada corte se cuantificó la producción de materia seca, se realizaron cinco cortes, para lo cual se cosechó un metro cuadrado, tomado al azar, estas muestras se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °c durante 24 horas.

La eficiencia en uso de agua se calculó al final de los cortes dividiendo la producción obtenida (kg ha^{-1}) de forraje seco entre el volumen total de agua ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) aplicado por tratamiento. El volumen total se obtuvo contabilizando las láminas de riego aplicadas por tratamiento. Al finalizar la cuantificación de materia seca de las muestras de cada tratamiento, se molieron y de esto se utilizaron 100 gramos, que posteriormente se enviaron al laboratorio de usos múltiples de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en donde se analizaron las muestras para obtener el porcentaje de proteína cruda.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en este experimento.

Trat.	Nomenclatura	Descripción
1	T ₁	RGS Se aplicó el 100 % de ET
2	T ₂	RGS Se aplicó el 80 % de ET
3	T ₃	RGS Se aplicó el 60 % de ET
4	T ₄	Riego Superficial Testigo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evapotranspiración (ET) registrada para el 1º, 2º, 3º, y 4º corte fue de 271.8, 264.4, 253.6, y 263.3 mm, respectivamente. Durante el primer y quinto corte (Cuadro 1) se encontró que T₁(aplicación del 100% de ET) y T₂ (aplicación del 80 % de ET) fueron estadísticamente iguales entre sí y superiores a T₃(aplicación del 60% de ET) y T₄ (riego superficial); T₃ a su vez fue estadísticamente diferente y superior a T₄ (riego por inundación). Cuadro 1 En T₁ y T₂ se obtuvo la producción de materia seca más alta, de 3.20 a 3.73 Mg ha⁻¹, la cual fue 14 y 24% superior a la obtenida en T₃ y T₄, respectivamente. Los resultados coinciden con algunos estudios realizados (Brown y Tanner, 1983; Grimes *et al.*, 1992) en los que se encontró que un

estrés por agua en el suelo provoca una disminución en el crecimiento y producción de materia seca de la alfalfa.

Cuadro 2. Producción de materia seca en la alfalfa durante cinco cortes bajo cuatro tratamientos de riego 2003- 2003.

Materia seca (Mg ha ⁻¹)							
Tratamientos	1 ^{er} corte	2 ^o corte	3 ^{er} corte	4 ^o corte	5 ^o corte	Σ	Prom.
T ₁	3.20a	3.10a	3.64a	3.55a	3.73a	17.22	3.44a
T ₂	3.20a	2.81ab	3.56ab	3.28ab	3.39a	16.24	3.24a
T ₃	2.71b	2.77ab	3.54ab	3.33ab	2.99b	15.34	3.06b
T ₄	2.25c	2.26ab	2.98b	2.96	2.47c	12.92	2.58c

Literales diferentes en cada columna y en las medias de cortes, indican diferencias significativas Tukey \leq (0.05)

En relación con la producción de materia seca obtenida en el segundo, tercero y cuarto corte, se encontró que T₁, T₂ y T₃ fueron estadísticamente iguales entre sí y T₁ fue superior a T₄; al mismo tiempo T₂ y T₃ fueron estadísticamente iguales a T₄. La producción promedio de materia seca obtenida durante estos cinco cortes para los tratamientos con RGS fue de 3.25 Mg ha⁻¹, siendo 17% más alta que en el riego por inundación en donde se obtuvo una producción promedio de 2.5 Mg ha⁻¹.

La comparación de medias de producción de forraje seco en los tratamientos de riego se encontró que la aplicación del 100 y 80% de la ET con RGS fueron semejantes entre sí y superiores al resto de los tratamientos; así

mismo, la aplicación del 60% de la ET con RGS fue estadísticamente superior al riego por inundación; este mismo comportamiento se observó en el primero y quinto corte. Las medias de producción de forraje por corte mostraron que, los cortes tres y cuatro fueron semejantes entre sí y superiores al resto de los cortes, La suma de los rendimientos de los cinco cortes mostró como mejores tratamientos a aquellos en que se aplicó el 100 y 80 % de ET y el riego superficial como el de más bajos rendimientos.

Los datos del Cuadro 3 muestran que el volumen de agua aplicado en los cinco cortes en T_1 , T_2 y T_3 fue inferior 32, 40 y 49%, respectivamente, con relación al aplicado en T_4 . Este ahorro de agua que se logra en los tratamientos con riego por goteo subsuperficial coinciden con el reportado por (Lamm *et al.*, 1995; Phene, 1999), quienes estudiaron el riego por goteo subsuperficial en la producción de cultivos como alfalfa, maíz y nogal logrando ahorros de agua desde 35 hasta 55% en comparación con el sistema de riego superficial.

Cuadro 3. Volúmenes de agua aplicados a la alfalfa durante cinco cortes bajo cuatro tratamientos de riego 2003- 2003.

Volumen de agua (m³ ha⁻¹)

Tratamientos	1 ^{er} corte	2 ^o corte	3 ^{er} corte	4 ^o corte	5 ^o corte	Total
RGS 100% ET	1870	1660	2040	1340	1730	8640
RGS 80 % ET	1694	1430	1782	1202	1365	7473
RGS 60 % ET	1544	1228	1534	1081	1023	6410
Superficial	2500	2500	2500	2500	2500	12500
Promedio	1902	1704.5	1964	1530.7	1654.5	

Eficiencia en uso de agua.

Los valores de eficiencia en uso de agua (EUA) se obtuvieron de la relación rendimiento de forraje seco (kg ha⁻¹) y del volumen en m³ de agua aplicada a los tratamientos en estudio. Los valores obtenidos de EUA (Cuadro 4) muestran diferencias entre los tratamientos evaluados. Presentando valores de EUA que van de 1.03 2.39 kg m⁻³, superando ampliamente al testigo que

presenta un valor de EUA de 1.03 kg m^{-3} . Se puede observar también que la mayor EUA de 2.39 kg m^{-3} la presenta el tratamiento 3 con 60 % de ET.

Cuadro 4. Eficiencia en el uso de agua obtenido en alfalfa bajo diferentes niveles de riego en relación rendimiento de forraje seco en kg ha^{-1} y el agua consumido por tratamiento.

Tratamientos	RFS (kg ha^{-1})	VA (m^3)	EUA (kg m^3)
RGS 100% ET	17220	8640	1.99
RGS 80 % ET	16240	7473	2.17
RGS 60 % ET	15340	6410	2.39
Superficial	12920	12500	1.03

Calidad de la alfalfa. En el cuadro 5, se muestran los contenidos de proteína cruda para los cuatro tratamientos durante cinco cortes. En este cuadro se observa que el porcentaje de proteína cruda fue estadísticamente igual entre tratamientos.

Los valores medios de porcentaje de proteína en todos los cortes fluctuaron de valores desde 20.9 a 24.5 con una media de 22.7 en los tratamientos con riego superficial los valores fueron de 21 % a 23% con una media general de 21.7. Lo anterior indica que las mejores medias de porcentajes de calidad se obtuvieron en los tratamientos de goteo subsuperficial.

Cuadro 5. Porcentaje de proteína cruda de alfalfa de cuatro tratamientos de riego en tres cortes

Tratamiento	3 ^{er} corte	4 ^o corte	5 ^o corte
T ₁	23.70a	22.60a	23.50a
T ₂	22.83a	24.50a	22.37a
T ₃	23.20a	22.40a	21.30a
T ₄	21.00a	21.20a	20.90a

Literales diferentes en cada columna y en las medias de cortes, indican diferencias significativas Tukey $\leq (0.05)$

CONCLUSIONES

1.- La aplicación de los riegos con el sistema subsuperficial produjo mayores rendimientos de materia seca que con el riego superficial, destacando los tratamientos en que se repuso en un 100 y 80 % la cantidad de agua ET, con estos tratamientos se logró además un ahorro en el volumen de agua aplicada al cultivo del 32 y 51 % respectivamente.

2.- Con los tratamientos de goteo subsuperficial se obtuvieron las más altas producciones de materia seca cuando se aplicó el 100 y el 80 %de la ETo, con valores promedio de 3.06 a 3.44 Mg ha⁻¹

3.- En los tratamientos donde se aplicó el 100% y el 80% de ETo, (T₁ y T₂) se obtuvo un valor promedio de 23.2% de proteína cruda. En comparación con el riego por inundación en donde se obtuvo el 21.61% de proteína cruda

LITERATURA CITADA

- 1.- Brown, P. W. and C. B. Tanner. 1983. Alfalfa stem density and leaf growth during water stress. Agron. J. 75: 799-805.
- 2.- Cadahía, C. 1996. Fertilizantes y Medio Ambiente. Curso Master. Libro de Resúmenes. Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Química Agrícola.

- 3.- Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: A Review trans. Of the American Society of Agricultural Engineers 41:1353-1367.
- 4.- Camp, C.R. 1999. Subsurface drip irrigation. Irrigation Journal. April 1-4
- 5.- Chef, M. Y. 1997. Enfermedades de la alfalfa en la Región Lagunera. Folleto técnico Num. 4. Torreón Coagula; p 4.
- 6.- 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. p116.
- 7.- Godoy A, C.,Perez G.,2001. A.Utilización del Riego por Goteo Subsuperficial en Alfalfa (*Medicago sativa L*) para incrementar su productividad y eficiencia en el uso del agua. Torreón Coahuila.
- 8.- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO. Rome, Italy. pp: 30-34.
- 7.- 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.
- 9.- Inzunza I., M.A. 1989. Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Informe de Investigación. CENID-RASPA. INIFAP-SARH. Gómez Palacio, Dgo. p. 7-14.
- 10.- Lamm, F. C., W. E. Spurgeon., D. H. Rogers and H. L. Manges. 1995. Corn production using subsurface drip irrigation. *In*: Microirrigation for a

Changing World. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando, Florida, USA. p: 388-394.

- 11.- Mead, R. M., R. B. Hutmacher and C. J. Phene. 1993. Subsurface drip irrigation of alfalfa. *In: Subsurface Drip Irrigation-Theory, Practices and Application*. Fresno, Calif.: California State University. Pub. No. 92. p145-146.
- 12.- Medina, G.B. 1995. Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo la aplicación del riego a diferentes niveles de evaporación durante su establecimiento. Torreón Coahuila. p. 1
- 13.- Phene, C. J. 1999. Subsurface drip irrigation. *Irrigation Journal* 48: 1-8.
- 14 .- Quiñónez, P. H. 1997. Necesidades hídricas de los cultivos. pp 1-14 -1-17. *In; Manual para el diseño de zonas de riego pequeñas*. Primera Edición IMTA – Jiutepec, Morelos México.

**EL FÓSFORO EN EL RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL Y SU EFECTO
EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE ALFALFA²**

**YIEL AND QUALITY OF ALFALFA FROM PHOSPHORUS APPLICATION
UNDER SUBSURFACE DRIP IRRIGATION**

**Esteban Favela Chávez¹, José Eligio Sánchez Hernández^{2*}, Pedro Cano
Ríos¹, Vicente de Paúl Álvarez Reyna¹, Jesús Vázquez Arroyo¹ y Enrique
Martínez Rubin de Celis³, Arturo Palomo Gil¹**

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coah. Este_favela@hotmail.com ²Posgrado en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico y carretera a Santa Fe, Colonia Centro, 27000 Torreón, Coah. joseeligio5@hotmail.com ³ ITA No. 10. Carretera Torreón-San Pedro Km. 7.5 Torreón, Coah.

* Autor responsable

RESUMEN

En el campo Experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario No 10 en Torreón Coahuila, fue realizado un estudio durante los años 2003 – 2004. Sobre el estado nutrimental de alfalfa mediante la aplicación de fósforo en riego por goteo subsuperficial (RGS). En la cual se estudiaron dos tratamientos de riego por goteo subsuperficial 80 y 100 % de la evapotranspiración (ET_0) y tres niveles de fósforo 75, 150 y 225 kg ha⁻¹. El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas. Teniendo como parcela mayor la evapotranspiración y parcela menor dosis de fósforo. Se evaluó la producción de materia seca en cada corte. Además se realizaron cuatro (análisis foliares) para la obtención del estado nutrimental de la alfalfa. Los resultados estadísticos no detectaron diferencias estadísticas en las medias de interacción, medias de efectos principales para la materia seca. Las producciones más altas de forraje seco, proteína cruda y fibra ácido detergente correspondieron a la reposición del 100 % de la evapotranspiración y 150 kg ha⁻¹ de fósforo. Todos los valores observados en los tratamientos lo clasifican al forraje de excelente calidad de acuerdo al Consejo Americano De Forrajes y Praderas. En el caso de fósforo los mejores resultados fueron aplicando 100% de evapotranspiración con 75 kg ha⁻¹. Todos los valores obtenidos clasifican al fósforo como suficiente en la planta ya que oscilan entre 0.25 y 0.7% (Cueto et al., 1989).

SUMMARY

An experiment was developed at the experimental station of Instituto Tecnológico Agropecuario. No 10 in Torreón Coahuila, México, during 2003 – 2004, to evaluate yield and quality of alfalfa forage as a function of phosphorus (P) application under subsurface drip irrigation (SDI). The experiment consisted of a combination of percentages of ET and doses of P. (100, 80 % ET and 75, 150 and 225 kg ha⁻¹ of P). A complete randomized block design with a split plot arrangement was used to evaluate the treatments. Where the large plot was ET treatments and the small plot was P doses. Dry matter and bromatological analysis of forage was measured for each harvest (4). The results did not show statistical difference among interaction and main effects means, for dry matter production. The combination of irrigation at 100 % ET and 150 kg ha⁻¹ of P, produced the higher value of dry matter, raw protein and acid fiber detergent. According to the American Council of forage and prairies, the quality of the forage obtained with the previous combination is excellent. The higher content of P on forage was reached with 75 kg ha⁻¹ and 100 % ET irrigation at classified as sufficient of P considering that P varies from 0.27 and 0.7 % (Cueto et al., 1989).

INTRODUCCIÓN

El Fósforo es un elemento esencial para la vida, las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial productivo. Lamentablemente este nutrimento no es abundante en el suelo, mucho del fósforo presente en el suelo no está en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo. (Lauer, 1988). La aplicación del fósforo presenta retos a vencer, debido a que reacciona con otros nutrientes y se hace insoluble no disponible para las plantas, el manejo de este nutriente en fertiriego es importante ya que en suelos y aguas con un pH menor a 6.0 reacciona con hierro (Fe^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}) y se convierte en no disponible. A pH mayor a 6.5 el fósforo se puede precipitar con el calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}).

El pH ideal para la máxima solubilidad del fósforo es de menos de 6.5. Aunque los suelos con un pH de 6.0 y 7.0 son bien aceptados (Tisdale *et al.*, 1985). El fósforo en la naturaleza adquiere formas inorgánicas y orgánicas, perdiéndose grandes cantidades de este elemento por la “**inmovilización**” que posee. El paso del fósforo asimilable a sus formas insolubles y no asimilables se conoce como **fijación del fósforo** (inmovilidad). Esta inmovilidad la determina las distintas reacciones químicas que se producen según el pH del suelo. El fósforo es un nutrimento con baja movilidad en el suelo y es tomado por las plantas como ortofosfato primario (H_2PO_4^-) aunque también puede absorberse como ortofosfato secundario (H_2PO_4^-), cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe ser transformado primero en esas formas químicas antes de ser utilizado por el cultivo. Para garantizar una producción rentable y devolver al

suelo el fósforo extraído por la cosecha, los agricultores deben aplicar fósforo a sus cultivos. En esta forma asegurar la fertilidad y la calidad del recurso suelo. (Raunshkolb *et al.*,1976).

La situación actual del agua en el mundo corresponde a un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación, de tal forma que en muchos países ya se le considera un factor limitante para un desarrollo sustentable (Godoy *et al.*, 2004), en México, el aprovechamiento del agua en los distritos y unidades de riego es muy deficiente, estudios estiman una eficiencia global en el uso de este recurso en el riego es menor a un 40 % (Garatuza *et al.*.,1998). Por otra parte, en el 40 % del área bajo riego se utiliza agua del subsuelo y se ubican estas áreas principalmente en las zonas áridas y semiáridas de México. Tal es el caso de la Comarca Lagunera, en donde para satisfacer la demanda de alimento de una población de 239 mil vacas que es de 949.4 miles de toneladas de forraje seco por año, se explota una superficie de 74 639 ha de cultivos forrajeros (Siglo de Torreón, 2003).Dentro del área cultivada con forrajes destaca el cultivo de la alfalfa con una superficie de 40 000 ha, para el riego de éste cultivo se extrae del acuífero un volumen de agua de 640 Mm³, que equivale a una lámina de riego promedio a nivel predio de 1.74 m año⁻¹, la cual excede en un 32% a sus requerimientos de agua que son de 1.2 m año⁻¹ (Inzunza, 1989). La diferencia entre la lámina requerida y aplicada, significan una extracción adicional al acuífero de 210 millones de m³ de agua. Por lo tanto el uso ineficaz del agua de riego en la alfalfa es el principal factor relacionado con el abatimiento del manto acuífero cuyo descenso anual en la Región es de

2.1 a 7.0 m año⁻¹ (CNA, 2001). Lo anterior, obliga a buscar formas de incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA), para impactar en aquellos aspectos donde el efecto del rescate del recurso, tanto en cantidad como en calidad, sea el mayor posible (Barth, 1995). Una de las alternativas más factibles para lograr lo anterior es utilizar sistemas de riego presurizados (Bucks y Davis, 1986). El riego por goteo es el sistema de riego que más se adapta a esta tecnología y es el responsable del incremento de la práctica del fertirriego en la agricultura, debido principalmente al patrón de distribución de agua en el suelo debajo o encima del emisor (hemisferios o esferas), dependiendo de la profundidad de colocación de la cinta o manguera de goteo. Con la inyección de fertilizantes, macronutrientes, herbicidas, insecticidas y fungicidas dentro del sistema de riego, se obtiene un potencial enorme para ahorrar tiempo dinero y energía (Bucks, 1995). Por lo tanto el objetivo de este trabajo es generar nueva tecnología relacionada con el uso del sistema de riego por goteo subsuperficial y determinar la mejor dosis de fósforo en el cultivo de alfalfa vía riego por goteo subsuperficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica de la Comarca Lagunera

La Región Lagunera está localizada geográficamente entre los meridianos 102º y los 104º 40´ de longitud oeste y los paralelos 24º 30´ y los 27º de latitud norte. Y a una altura de 1120 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra limitada al oeste y sur por la Sierra Madre Oriental y hacia el este y norte por los bolsones de Mapimí y sierras aisladas, comprende 15 municipios, los cuales son: por el estado de Coahuila; Torreón, San Pedro de las Colonias, Francisco I. Madero, Matamoros y Viesca, y por el estado de Durango; Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero, Simón Bolívar y San Juan de Guadalupe.

Características Climáticas

De acuerdo a la clasificación de C. W. Thornthwhithe, citado por Santos en (1973), el clima de la Comarca Lagunera es: árido, con lluvias deficientes en todas las estaciones del año. La temperatura media anual es de 21 °C. La media del mes más caliente corresponde a junio con 26.4 °C, mientras que la del mes más frío corresponde a enero con 13.0 °C. Las temperaturas extremas que se han registrado son, máxima de 41.5 °C en el mes de junio y mínima de – 13.0 °C en el mes de enero. La acumulación de calor (UC) anual usando el método desarrollado por Allen (1976) con un umbral inferior de 10 °C y un

umbral superior de 40 °C oscila de 3800 a 4200. Durante el invierno existe gran variabilidad de heladas oscilando el número de estas por periodo invernal entre cuatro y 62. La temperatura media de las heladas ha variado entre -1.2 °C y -3.2 °C. La fecha de la primera helada ha ocurrido entre el 27 de octubre y 22 de diciembre. La fecha de la última helada se ha registrado desde el 15 de febrero hasta el 14 de abril. La temperatura de la primera helada varía entre 0.0 °C y -6.5 °C; mientras que la de la última helada puede ser de 0.0 °C y -6.0 °C. Según la ecuación de Damota, la acumulación de horas frío en la Comarca Lagunera varía de 150-430 horas frío.

El estudio se realizó en el campo experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10 de la Laguna, ubicado en el ejido Anna Municipio de Torreón, Coahuila. El suelo donde se realizó el trabajo es un suelo de textura migajón-arcilloso correspondiente a la serie coyote la cual predomina en los suelos de la Región Lagunera y cuyos análisis son los siguientes resultados: pH de 7.86, CE de 2.3 dS/cm, RAS de 5.72, M.O de 1.12 y un PSI de 6.69

Área de estudio y prácticas de campo. Se dio inicio con un subsoleo a una profundidad de 70 cm y cruza con la finalidad de que el suelo se disgregara, enseguida se dió un paso de de barbecho y rastra cruzada y posteriormente se dio un paso con la escrepa.

Instalación del sistema de riego. Se tuvo que construir y equipar todos los componentes del sistema que fue un depósito de agua, así como la instalación del cabezal de riego (bomba de impulsión, válvula de control y prevención para el regreso del flujo, filtros de arena silica) y la red principal de conducción de

cuatro pulgadas con salidas de tres pulgadas para conectar las cintillas, válvulas, manómetros etc. En la instalación del sistema de riego por goteo subsuperficial, se colocaron las laterales (cintillas de riego) a una profundidad de 50 cm, para este propósito se utilizó un chuzo de 70 cm de longitud, montado en un tractor. Las laterales se acomodaron a un espaciamiento de 1 m. La cintilla utilizada fue de 15 mil T-TAPE, con un espesor de pared de 0.3810mm y diámetro interior de 16 mm con emisores a 20 cm y un caudal de 3 Lh^{-1} por metro lineal, a una presión de operación de 1 kg /cm^{-2}

La siembra se realizó en el mes de mayo del 2002, en seco, utilizándose la variedad PIONNER 5929 con una dosis de 35 kg ha^{-1} ,. La época óptima de siembra en la Comarca Lagunera son en los meses de noviembre y diciembre, ya que durante este período, la infestación de maleza es baja y el primer corte es hasta abril del siguiente año tiempo suficiente para que la planta desarrolle un sistema radical profundo que le permite soportar el estrés hídrico del corte. Sin embargo, el sembrar en esa época o después es también aceptable, pero trae los problemas antes mencionados (Quiroga *et al.*,1991).

Un programa de fertilización para alto rendimiento de alfalfa debe considerar aspectos tan importantes como el conocimiento de las características físicas y químicas del suelo, el rendimiento de materia seca esperado y la concentración de nutrientes contenidos en el forraje. Para conocer el estado nutrimental de un alfalfar en particular, se recurre al análisis foliar. Este, al igual que en el caso del análisis de suelo debe realizarse de acuerdo con recomendación de especialistas, es importante considerar que al no contar con rangos de

suficiencia nutrimental para la alfalfa generados localmente, se deberá usar aquellos que se han producido en otras zonas alfalferas del mundo (Cueto et al., 1989). En este caso se realizó un análisis de suelos antes de establecer la alfalfa y determinar análisis físicos, análisis nutrimental y cuadro de salinidad en donde se dió énfasis al fósforo el cual se clasificó en rangos de muy bajo (0.43 ppm). El análisis foliar se determinó mediante el N.I.R.S. (Near infrared Reflectance Spectroscopy). La fertilización utilizada fueron tres niveles de fósforo, 75,150 y 225 kg ha⁻¹, las cuales fueron suministrados con MAP fosfato monoamónico (que es un fertilizante soluble, contiene un 12 % de N y 60-62 % de P₂O₅ 12 – 60 - 00; producto con bajo efecto salinizante y con reacción ácida semanalmente a través del sistema de riego, utilizando un venturi de 12.7 mm de diámetro, esta dosis se dividió entre los cuatro cortes.

Agua de riego. El experimento se regó con agua proveniente del subsuelo, la cual tenía una conductividad eléctrica de 0.28 dSm⁻¹, pH de 7.9, concentración de bicarbonatos de 2.0 a 2.6 meq L⁻¹ y una concentración de cloruros de 2.2 a 3.6 meq L⁻¹. En el establecimiento de la alfalfa se realizó un estudio 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 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 del suelo. En base a esta observación para el establecimiento del cultivo se aplicó una lámina de 135 mm con riego superficial por única vez para inducir la germinación posteriormente los riegos con la cintilla enterrada siguieron una misma metodología entre cortes, que

consistió en aplicar a los cinco días después de un corte un riego de 36 horas para alcanzar la capacidad de campo del suelo y recuperar el traslape de los bulbos de humedecimiento. Los riegos posteriores se realizaron cada tercer día, para lo cual se acumulaba la evaporación 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 (0.8) y consistieron en reponer el 80 y 100% de la evapotranspiración potencial (ETp) o de referencia (ETo)

Para definir la cantidad de agua a aplicar, se determinó en base a la ETo, lo cual se calculó usando la metodología del tanque evaporímetro propuesta por Doorenbos y Pruitt, (1977). La ETo con esta metodología se obtuvo aplicando las siguientes ecuaciones

$$ET_o = E_o * k_t \quad \text{donde:}$$

ETo = Evaporación de referencia (mm).

Eo = Evaporación registrada en el tanque evaporímetro (mm)

Kt = Coeficiente del tanque, el cual considera al medio ambiente que rodea al tanque.

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

$$ET_c = (K_c) (ET_o) \quad \text{donde:}$$

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm).

Kc = Coeficiente del cultivo.

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm).

En seguida se calculó la tasa de aplicación de la cinta (I), utilizando como datos de entrada la tasa de descarga de la cinta y el distanciamiento entre laterales (Hanson, 1997), con la siguiente formula:

$$I = \frac{(11.55) \times (Q)}{F}$$

Donde:

I = Tasa de aplicación de la cinta (pulgadas h⁻¹).

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

F = Distancia entre cintillas (pulgadas).

Con los valores de la ecuación anterior y la ET_c se obtuvo el tiempo de riego (Tr) (Hanson, 1997).

$$Tr = \frac{ET_c}{I}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h).

ET_c = Evapotranspiración de cultivo (pulgadas).

I = Tasa de aplicación (pulgadas h⁻¹).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones, el análisis de datos se llevó a cabo con el programa estadístico de SAS (SAS Institute, 1982). En la comparación de medias se utilizó la prueba de Diferencia mínima significativa con una probabilidad del 95% considerando un nivel de significancia de ($P= 0.05$).

Los tratamientos en estudio fueron la aplicación de dos niveles de evapotranspiración (100 y 80 %) y tres niveles de fósforo (75, 150 y 225 kg ha⁻¹) los cuales se distribuyeron en un arreglo de parcelas divididas donde la parcela grande la ocuparon los niveles de evapotranspiración y la parcela chica los niveles de fósforo. La parcela grande se distribuyó en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las dimensiones de la parcela grande fueron de 11 x 100 m y la parcela chica de 4 x 25

Variables de estudio. En cada corte se cuantificó la producción de materia seca, Se realizaron cuatro cortes en el verano del 2004, para lo cual se cosecho un metro cuadrado, tomado al azar, y un día antes de efectuarse el corte estas muestras se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °c durante 24 horas.

Calidad de la alfalfa. Después de analizar materia seca se llevaron las muestras al laboratorio Nuplen, S.A de C:V: perteneciente al grupo LALA, que es un laboratorio certificado ante Nacional Forage Testing Association año 2002, para realizar el análisis químico bromatológico que es una herramienta que permite valorar el poder nutritivo de un alimento, así como su poder productivo, ya que

por medio de él, se determina cuantitativamente los principios inmediatos (Cantú, 2003) mediante un análisis de espectroscopia por reflejo infrarrojo cercano que por sus siglas se conoce como N.I.R.S.(Near infrared Reflectance Spectroscopy) que es un método de análisis computarizado rápido y de bajo costo, basado en una calibración determinada por el uso de muestras analizadas por química húmeda (González, 1995), donde se analizaron materia seca, proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, TND, valor relativo del alimento así como los minerales fósforo, calcio, potasio y magnesio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables de producción de materia seca y calidad de alfalfa en el estudio fueron analizadas estadísticamente utilizando un arreglo en parcelas divididas en espacio y tiempo en donde el (factor A) niveles de Evapotranspiración, (factor B) niveles de Fósforo y factor C son el número de cortes. El propósito es obtener información que permita hacer recomendaciones para años o cortes futuros en una zona amplia. Tanto localidades como cortes pueden considerarse como tipos amplios de replicación donde las localidades son replicaciones o muestra del área para la cual se desea la información (Steel y Torrie, 1955).

Para la variable producción de materia seca que es una muestra a la que se le extraído el agua por acción del calor, es decir, material desprovisto de agua. Esta constituida por sustancias que contienen carbono, o sea la sustancia orgánica y que contribuyen a dar energía (Flores, 1983) y se puede observar en la cuadro 2 que no hubo diferencias estadísticas en las medias de interacción ni en las medias de efectos principales. Se observa que las producciones más altas de forraje seco se obtuvieron en la ET₂P₂ que corresponde a la aplicación del 100 % de la evapotranspiración, 150 kg ha⁻¹ de fósforo estos resultados fueron similares en promedio por corte a los reportados por Lucero y Godoy (2002). Para la interacción de Evapotranspiración- Fósforo- Repetición.

Proteína cruda. Los laboratorios miden el contenido de nitrógeno en el forraje y se calcula la proteína cruda. La proteína cruda incluye proteína verdadera y nitrógeno no proteico. Los animales pueden utilizar ambos tipos en igual manera. Los valores de proteína cruda no indican si ha ocurrido daño por calor lo cual puede alterar la disponibilidad de la proteína. La proteína es un nutriente importante proporcionado por los forrajes y leguminosas. La proteína es el principal nutriente que el forraje proporciona y es probablemente la razón principal de que un forraje en particular sea administrado. (González, 1995). En la figura 1 se puede observar que hubo una diferencia estadística entre los niveles de evapotranspiración y niveles de fertilización, logrando el mayor porcentaje en el tratamiento 5 que corresponde al ET₂P₂. Todos los valores

observados en los tratamientos se clasifican de excelente, de acuerdo al Consejo Americano de Forrajes y Praderas ya que se ubican arriba del 19% de P.C.

Fibra detergente ácida (F.D.A). Es la fracción de la pared celular del forraje más comúnmente aislada y reportada. Esto puede ser la determinación más importante del análisis del forraje. La FDA es la proporción del forraje que queda después de un tratamiento con un detergente bajo condiciones ácidas. Incluye a la celulosa, lignina y sílice. La FDA es importante por lo que ha mostrado estar en correlación negativa con la digestibilidad del forraje administrado. Cuando la FDA aumenta, el forraje se hace menos comestible. En el cuadro 3, muestra una diferencia estadística entre los niveles de evapotranspiración y los niveles de fósforo, observándose el mayor porcentaje en el tratamiento 2. Los valores obtenidos en todos los tratamientos quedan clasificados en un forraje bueno, de acuerdo al Consejo Americano de Forrajes y Praderas ya que sus rangos oscilan entre los 31 – 35 % de FDA.

Fibra detergente neutra (F.D.N.) es la proporción no soluble del forraje que contiene celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, es comúnmente mencionado como la fracción de la pared celular, la FDN ha mostrado estar en correlación negativa con el consumo de materia seca. O sea que cuando la FDN aumenta en el forraje los animales consumirán menos cantidades, (González, 1995). En la figura 2 se puede observar que no hubo diferencia estadística entre los niveles de evapotranspiración y niveles de fósforo y los valores más altos

corresponden al tratamiento 1. Sin embargo todos los tratamientos son clasificados como un forraje excelente de acuerdo al Consejo Americano de Forrajes y Praderas.

Análisis de Fósforo en planta. La aplicación del fósforo presenta retos a vencer, debido a que reacciona con otros nutrientes y se hace insoluble por lo tanto no - disponible para las plantas. El manejo de este nutriente en fertirriego es especialmente importante ya que en suelos y aguas con un pH menor a 6.0 reacciona con hierro (Fe^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}) y se convierte en no disponible. A pH mayor a 6.5 el fósforo se puede precipitar con el calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}).El pH ideal para la máxima solubilidad del fósforo es menos de 6.5.(Tisdale *et al.*,1985). En el cuadro 4 se puede observar una diferencia estadística para los niveles de evapotranspiración y niveles de fósforo. En donde el mayor porcentaje se obtuvo en el tratamiento 4. Todos los tratamientos fueron ubicados en los rangos de suficiente de fósforo en planta ya que sus valores se encuentran entre 0.25 – 0.7.

CONCLUSIONES

1.- Aunque no significativamente para Materia Seca, los mejores resultados se obtuvieron en la reposición del 100 % de evapotranspiración con 150 kg ha^{-1} de fósforo.

2.-Para proteína cruda y fibra ácido detergente los mejores resultados corresponden a la reposición del 100 % de la evapotranspiración, con 150 kg ha^{-1} de fósforo. Todos los valores observados en los tratamientos lo clasifican al

forraje **de excelente** calidad de acuerdo al Consejo Americano De Forrajes y Praderas.

3.- Para el caso de fósforo los mejores resultados estadísticamente fueron obtenidos en la interacción de reposición del 100% de la evapotranspiración con 75 kg ha⁻¹. y todos los valores analizados clasifican al fósforo **en suficiente** en la planta ya que oscilan entre 0.25 y 0.7%.

BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, M.S., and M.Oba. 1996. Increasing fiber digestibility may increase density, dry matter intake. Part 1. Feedstuffs.68 (48):12
2. Barth, H.K. 1995. Resource conservation and preservation through a new subsurfaces irrigation system. In:Proc. 5th Int'l. Microirrigation Congress, Ed.F.R. Lamn 168-174.St Joseph, Mich.Am:Soc:of Agric.Eng
3. Bucks, D.A.y Davis, S. 1986. Historical Development. In Trickle irrigation for Crop Production, Eds. F.S. Nakayama And D.A. Bucks, 1-26. Mew York.Elsevier
4. Cantú, B.J. 2003. Principios de Bromatología Animal. Departamento de Producción Animal. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Torreón, Coahuila. P 5-38.

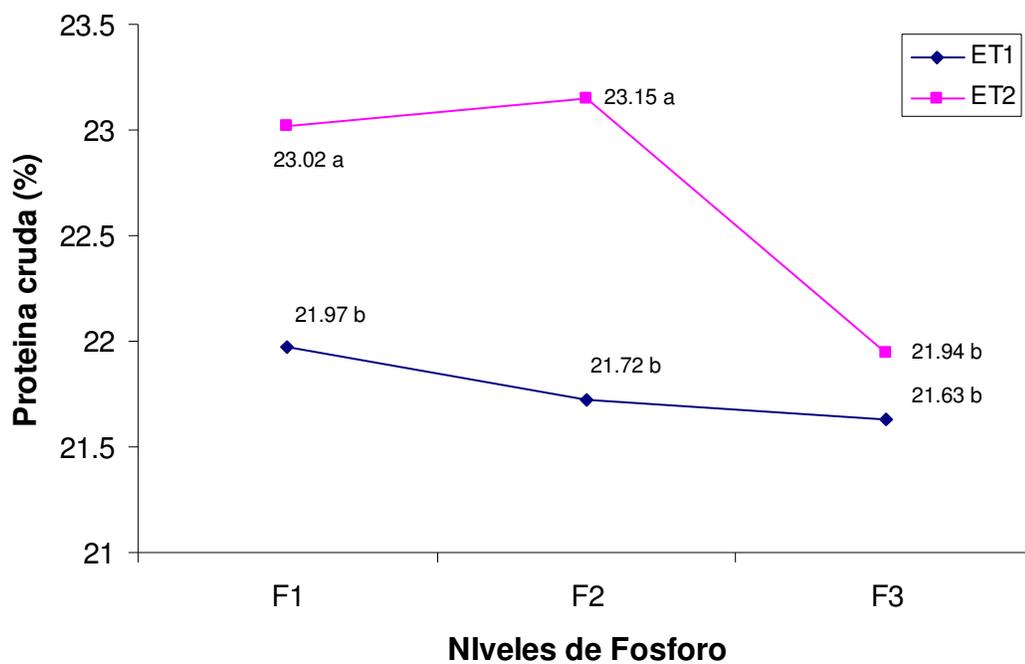
5. Camp, R.C. 1999. Subsurface drip irrigation Journal. April: 1-4.
6. Comisión Nacional del Agua. 2001. Programa hidráulico de gran visión 2001-2020, de la Región VII. Cuencas Centrales del Norte. P. 50
7. El Siglo de Torreón. 2003. Resumen económico de la Comarca Lagunera. Edición Especial. Torreón, Coahuila 2003. P.32
8. Godoy A. C., Reyes J..I y Torres E.C. 2004. Fertiriego en cultivos anuales y perennes. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y pecuarias. CELALA . Matamoros, Coah.
9. Flores, M.J. 1983. Bromatología Animal 3^a edición. Ed. Limusa.
10. Garatuza, P.J., Shuttleworth, W. J. Encinas, D.and Mc Neil D.D. 1998. Measurement and modeling evaporation for irrigated crops in north-west México. Hydrological Processes.12:1397-1418.
11. González, A.1995. Determinación de la calidad de los forrajes. Ciclo Internacional De Conferencias sobre Nutrición Y Manejo. La Importancia de los forrajes en la optimización económica. Envases Especializados de la Laguna. S.A. de C.V. Gómez Palacio, Dgo. P.69-73

12. Inzunza I., M.A. 1989. Requerimientos Hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Informe de Investigación. CENID-RASPA. INIFAP-SARH. Gómez Palacio, Dgo. P 7-14
13. Lauer, D.A. 1988. "Vertical distribution in soli of Sprinkler – Applied phosphorus" Soil Science Society of America Journal. 52:862-868
14. Raunshkolb, R.S., D.E. Rolston, R.J. Miller, A.B. Carlton, and R.G. Burau.1976. "Phosphorus fertilizer whith Drip irrigation". Soil Science Society of America Journal.
15. SAS Institute Inc. 1982. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. Caray, NC: SAS Institute Inc.,. Bot. Res 6:119-125
16. Tisdale, S.L., W.L. Nelson y J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers 4th ed Macmillan New York
17. Quiroga, G.H; Cueto,W.J.; Nava,C.U; Castro, M.E; Moreno,A.L. 1991. Guía para el cultivo de la alfalfa en la Comarca Lagunera. Folleto Técnico Num. 2. Torreón, Coahuila; México. P. 16.

Cuadro 1. Producción de Materia Seca (Mg ha^{-1}) en alfalfa 2003 – 2004. Para la interacción Evapotranspiración- Fósforo- Repetición.

	ET ₁	ET ₂	Media de E.P
F₁	3.12 a	3.32 a	3.22 a
F₂	3.32 a	3.35 a	3.34 a
F₃	3.24 a	3.27 a	3.26 a
Media de E.P	3.22 a	3.31 a	

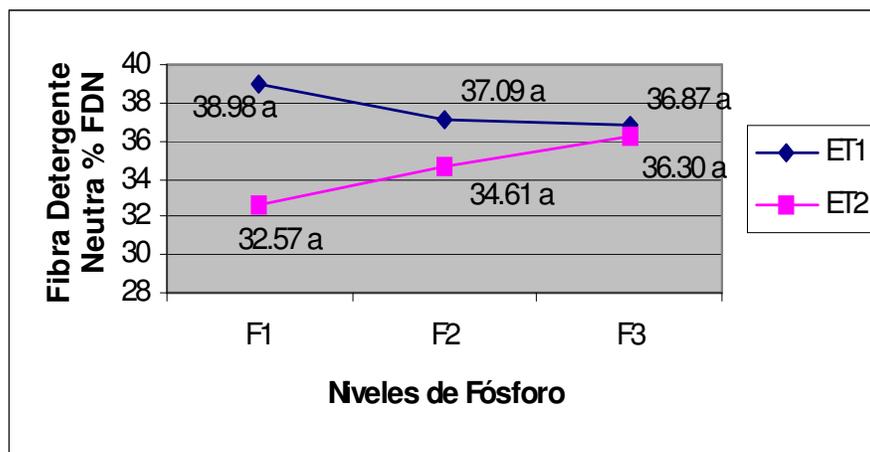
Gráfica 1. Porcentaje de Proteína cruda % en alfalfa 2003 – 2004. Para la interacción Evapotranspiración- Fósforo- Repetición.



Cuadro 2. Porcentaje de Fibra Detergente Ácida (F.D.A.) en alfalfa 2003 – 2004
 Para la interacción Evapotranspiración- Fósforo- Repetición.

	ET ₁	ET ₂	Media
F ₁	32.49 a	31.83 b	31.16 a
F ₂	32.53 a	30.57 b	31.56 a
F ₃	30.17 b	31.47 b	30.81 a
Media de E.P	31.73 a	31.29 b	

Figura 2. Valores de Fibra Detergente Neutra %. FDN. en alfalfa 2003 – 2004
 Para la interacción Evapotranspiración- Fósforo- Repetición.



Cuadro 3. Análisis de Fósforo en Planta. en alfalfa 2003 – 2004. Para la interacción Evapotranspiración- Fósforo- Repetición.

	ET₁	ET₂	Media de E.P
F₁	0.27 a	0.37 b	0.32 a
F₂	0.28 a	0.32 b	0.30 a
F₃	0.29 a	0.29 b	0.29 a
Media de E.P	0.28 b	0.33 a	

LITERATURA CITADA

- Acosta, B. A. 2004. Análisis de distintas fracciones de fósforo del suelo en función del uso de la tierra y el relieve. Facultad de agronomía y agroindustrias – Facultad de Ciencias Forestales. Argentina.
- Allen, M.S., and M.Oba.1996. Increasing fiber digestibility may increase density, dry matter intake. Part 1. Feedstuffs. 68 (48):12.
- Baudillo., J 1983. Forrajes. 2 ed. Editorial Mexicana, S.A. México. p 59.
- Bidwel, R. G.S. 1979. Fisiología Vegetal. AGT Editor S.A. México, D.F.
- Bootsma, A. 1984. Foraje 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.
- Buchman, H.O.,y C.N. Brady. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos 1ª.ED. Montaner y Simón. España., p 450-475.
- Bucks, D.A.y Davis, S. 1995. Historical Developments in microirrigation. In: Proc. 5th Int'l. Microirrigation Congreso, ed.F.R. Lamm, 1-5. St Joseph.: Am. Soc. Of Agric. Eng.
- Burt, C.M. 1995. Is buried drip the future with permanent crop. Irrig.Bus. Technol. 3: 20-22.
- Bustamante,R.A. 2000. Incidencia del muestreo sobre la determinación de fósforo disponible en suelo bajo cero labranza.

- Clark, G.A., Stanley, C.D., Maynard,D.N., Hotchmut, G.J., Hanlom, E.A. y Haman, D.Z. 1991. Water and fertilizar management of microirrigated fresh market tomatoes. Trans. Of the American Society of Agricultural Engineers. 34: 429-435.
- Clark, G. A., and A. G. Smaistra. 1996. Design consideration for vegetable crop drip irrigation systems. Hort Technology. 6: 155-159.
- Camp, C. R. 1998.. Subsurface drip irrigation: a review. Trans. Of the ASAE 41 (5): 1353-1367.
- Camp, R.C. 1999. Subsurface drip irrigation Journal. April: 1-4.
- Cantu, B.J. 2003. Principios de Bromatología Animal. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna. Departamento de producción.
- Castellanos. J.Z., Uvalle, J.X. y Aguilar,A.S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. México, p 86.
- Comisión Nacional del Agua. 2001. Programa Hidráulico de gran visión 2001-2020, de la región VII. Cuencas Centrales del Norte. Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte, p 50.
- Cueto,W, J.A, y H,M. Quiroga 1989. Extracción de nutrimentos por alfalfares en la Comarca Lagunera. In Memorias de XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. México. p.86
- Dickinson, B. 1995. Irrigation and nutrient management: A Conference and Trade Fair. February 2. Salinas, CA.

- El Siglo de Torreón. 2003. Resumen económico de la Comarca Lagunera. Edición Especial. Torreón, Coahuila 2003. P.32
- FAO. 1994. La agricultura de riego en México. Proyecto UTF/030/Méx. 70 p.
- Fasssbeder, H.W. (1987). Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. Centro América.
- 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 – 86. Dep.. Agron. Cornell Univ. Ithaca. NY, EUA.
- Fick, G.W., D.A. Holt and D.G. Lugg. 1988. Enviromental physiology and crop-growth. Pp 163-195.In alfalfa and alfalfa improvement. 1988. Number 29 in the series AGRONOMY. Madison Wisconsin, USA.
- Garatuza, P.J., Shuttleworth, W. J., Encinas, D. and Mc Neil, D.D. 1998. Measurement and modeling evaporation for irrigated crops in north- west México. Hydrological Processes. 12: 1397 – 1418.
- García, F.V. 2001. Criterios para el Manejo de Fertilizantes Fosfatados del Cultivo del Maíz. Argentina
- Godoy A., C., Pérez G., A Torres E., C.A., Hermosillo, L.J. y Reyes J.,I. 2003. Uso de agua, producción de forraje y relaciones Hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. Agrociencia. 37: 107 - 116
- Godoy A, C., C.A.Torres E., I. Reyes J., I López M. 1997. Sistemas de irrigación y eficiencia en el uso del agua. Informe de Investigación. CIFAP Comarca Lagunera. p: 25-30.

- Godoy A., C., H. Garza S. y Ma. V. Huitrón R. 1998. Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid bajo diferentes condiciones Hídricas. Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 94: 129-137.
- Godoy A., C. 1994. Manejo del agua en diferentes etapas fenológicas del nogal. Memorias de XII Conferencias Internacionales sobre el Cultivo del Nogal. Delicias, Chih. p.128-137.
- Grimes, D. W., P.L. Wiley and W. R. Sheesley. 1992. Alfalfa yield and plant water relation with variable irrigation. Crop Science 32: 1381-1387.
- Guerrero.,A. 1992. Cultivos Herbáceos extensivos. Quinta edición. Editorial Mundi-Prensa. México D.F. p 24
- Hanson, B. R., L. Schwanki, S. Grattan and T. Prichard. 1997. Drip irrigation for row crops. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, Davis. Publication3376. p 238.
- Hartz, T.K. 1994. Drip irrigation and fertigation management of vegetable crops. California Department of Food and Agriculture. Sacramento, CA
- Hennggeler, J. 1997. Foraging for efficiency: Subsurface drip for alfalfa. Agricultural irrigation. February 11-14.
- Hills, D. J., Tajrishy, A.M. y Gu, Y. 1989. Hydraulic considerations for compressed subsurface tape. Transaction of the Am.Soc. of Agric. Eng. 32: 1197- 1201.
- Inzunza I., M. A. 1989. Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Informe de Investigación. CENID-RASPA. INIFAP-SARH. Gómez Palacio, Dgo. p. 7-14.

- Inzunza I, M, A. 1996. Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Resúmenes 1er Día de Demostración Técnica de Riegos en Alfalfa. Abril: 7-13. CIAN-INIFAP. Matamoros, Coah.
- Kalu, B. A., G.W. Fick.1983. Morphological state 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.* 30 (6).
- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plant. Academia Press. New Cork. P 489.
- Lang, A. and H. Daring. 1991. Partitioning control by water potencial gradient: evidence for compartmentation breakdown in grape berries. *J. Exp.Bot* 27:579-596
- Lauer, D.A. 1988. "Vertical distribution in soli of Sprinkler – Applied phosphorus" *Soil Science Society of America Journal.* 52:862-868
- Nuñez H., 2000. Valor Nutritivo de la Alfalfa. Pp 157 – 166. 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.
- Ortega, T.E. 1963. Correlaciones entre métodos de análisis de fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos de maíz. *Agric. Tec. En México.* 2: 148-151.

- Phene, C.J. 1999. Producción de alfalfa con riego por goteo. Memorias del 1^{er} Simposium Internacional de Irrigación y Nutrición Vegetal. León, Guanajuato, México. Julio 15-17: 75-83.
- Putman, D. 2005. Alfalfa Agronomic Practices. California alfalfa and forage. Symposium Home. Visalia California.
- Quiroga G., H.M., J.E. Winch and D.M.Brown. 1993. El uso de la Acumulación de Grados Día como base para el establecimiento de un calentamiento de cortes en alfalfa. Información Técnica Económica Agraria (ITEA).89 (2): 91-102.
- Quiroga G., H.M. 2000. Manejo de la alfalfa en producción. p 1-14 – 1-17. In; Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Primera Edición IMTA – Jiutepec, Morelos México.
- Raunshkolb, R.S., D.E. Rolston, R.J. Millar , A.B. Carlton, and R.G. Burau. 1976. “ phosphorus fertilizer whith drip irrigation” . Soil Science Society of America Journal
- Rojas, G.M. 1972. Fisiología vegetal aplicada Editorial Mc. Graw-Hill. Segunda edición, México, D.F. 294 p.
- Sabed, 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.
- Sammis, T.W. 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. Agron. J. 72: 701-704.

- Small, E., and M. Jomphe. 1988. A synopsis of the genus *Medicago* (Leguminosae). *Can J. Bot* 67: 3260-3294.
- 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
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson y J.D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizers* 4th ed Macmillan New York
- Vaadia, J. 1986. The impact of plants stresses on crop yield. *Memorias del Simposio sobre Sequia México-Israel*. Pabellon, Aguascalientes, Mexico. p 38-42.
- 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.
- Zamuni, E.C. 2005. Formas de fósforo en un suelo bajo labranza convencional y siembra directa. *XIX Congreso Argentina de la Ciencia del Suelo*.

Anexo 1 Carta de recepción del Artículo científico I. enviado a la revista Terra Latinoamericana.



Anexo 2. Carta de recepción del Artículo científico II. enviado a la revista
Fitotecnia Mexicana



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

CARTA DE RECEPCIÓN

31 OCTUBRE 2005

DR. JOSÉ E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ
CALLE RODOLFO GONZÁLEZ TREVIÑO NÚM. 61
COLONIA VILLA FLORIDA
27019 TORREÓN, COAHUILA

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la "REVISTA FITOTECNIA MEXICANA" intitulado:

EL FÓSFORO APLICADO EN RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL Y SU EFECTO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE ALFALFA

AUTORES: Esteban Favela Chávez, José Eligio Sánchez Hernández, Pedro Cano Ríos, Vicente de Paúl Álvarez Reyna, Jesús Vázquez Arroyo y Enrique Martínez Rubin de Celis, Arturo Palomo Gil

Para su evaluación, el manuscrito con clave: **RFM/05082**, será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto como esté disponible.

Para que este Comité pueda iniciar dicho proceso es requisito indispensable que nos regrese la forma anexa, debidamente contestada.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio, que envíe la correspondencia por correo registrado o por servicio de paquetería especializada, y que nos proporcione su número telefónico, de preferencia con fax, y su correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Director

Anexo