UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

CRECIMIENTO DE ALFALFA SEGÚN PROFUNDIDAD DEL SUELO

por

Juan Ignacio DAMBORIARENA SOLER
Eduardo Aníbal STINGER CAMACHO

TESIS presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2008

Tesis aprobada por:

Director:_____

Ing. Agr. PhD. Enrique Perez Gomar

_____

Ing.Agr.Ph D. Francisco Formoso

_____

Ing.Agr. PhD. Mario Perez

Fecha: _____

Autores: _____
Eduardo STINGER CAMACHO

_____
Juan Ignacio DAMBORIARENA SOLER

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el apoyo incondicional durante toda la carera.

Al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), en particular a la Estación Experimental del Norte, junto a su director Ing Agr Gustavo Ferreira por permitirnos llevar
a cabo el presente estudio, aportando el material experimental y la infraestructura necesaria para la correcta ejecución del mismo.

Al personal técnico, en especial a Daniel Gutiérrez, y personal de campo de la Unidad Experimental “Glencoe”.

Al Ing Agr Juan Manuel Soares de Lima por su trabajo en el procesamiento estadístico de los datos.

A las bibliotecas de la Facultad de Agronomía en Montevideo y de INIA Tacuarembó sin las cuales no hubiera sido posible hacer la revisión bibliográfica.

Finalmente, deseo destacar y agradecer la colaboración y confianza brindada por nuestro director de tesis Enrique Pérez Gomar, Mario Pérez y Francisco Formoso.

TABLA DE CONTENIDO

Pagina

PAGINA DE APROBACIÓN…… II

AGRADECIMIENTOS…… III

LISTADO DE CUADROS E ILUSTRACIONES …… .VI

1. INTRODUCCION…… 1

2. REVISION BIBLIOGRAFICA…… 3
2.1 CARACTERIZACION DE LOS SUELOS…… 3
2.1.1 Litosoles …… 3
2.1.2 Vertisoles…… 4
2.2 PROPIEDADES DEL SUELO QUE DETERMINAN EL DESARROLLO VEGETAL…… 4
2.2.1 Estructura del suelo……4
2.2.1.1 El sistema poroso del suelo…… 5
2.2.2.1 Resistencia mecánica…… 6
2.3 AGUA…… 8
2.3.1 Agua en el suelo…… 9
2.3.1.1 Dinámica del agua…… 9
2.3.1.2 Pérdidas de agua del suelo…… 11
2.3.2 Efecto del déficit y exceso…… 12
2.3.2.1 Exceso hídrico…… 12
2.3.2.2 Déficit hídrico…… 14
2.3.3 Capacidad de almacenaje de los suelos…… 15
2.4 PROPIEDADES QUIMICAS…… 15
2.4.1 Nutrientes…… 15
2.4.2 Nitrógeno…… 15
2.4.3 Fósforo…… 16
2.4.3.1Requerimientos de fósforo…… 17
2.4.4 Potasio…… 18
2.4.5 Azufre…… 18
2.4.6 Magnesio…… 18
2.4.7 Acidez…… 19
2.4.8 Fertilización…… 20
2.5 FACTORES RADICALES RELACIONADOS A PROFUNDIDAD DEL SUELO Y EXPLORACION RADICULAR…… 21
2.5.1 Extracción de agua por las raíces …… 21

2.5.2 Distribución radicular en el perfil……..21
2.6 ALFALAFA CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE FORRAJE……. 22
2.6.1 Crecimiento…… 23
2.6.1.1 Crecimiento inicial…… 23
2.6.1.2 Crecimiento vegetativo…… 23
2.6.1.3 Crecimiento reproductivo……. . 24
2.6.2 Producción de materia seca..... 24
2.6.3 Reservas para el rebrote..... 25
2.6.4 Rebrote luego del corte…….…… 26
2.6.5 Manejo…… 27
2.6.6 Relación entre población de plantas y malezas…….…… 28
3. MATERIALES Y MÉTODOS……. 31
3.1 SUELO……... 31
3.2 CLIMA**…**…….…... 33
3.3 MANEJO DEL CULTIVO…….……..…….. 33
3.4 MANEJO DEL RIEGO……..…….. 34
3.5 DETERMINACIONES REALIZADAS…… 34
3.5.1 Agua en el suelo…… 34
3.5.2 Estudio de planta..... 34
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL ……. 35
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN…… 36
4.1 EVOLUCIÓN DE AGUA EN EL SUELO…… 36
4.2 DESARROLLO ANATÓMICO DE LA PLANTA DE ALFALFA…….. 38
4.2.1 Diámetro de raíz y corona.....38
4.2.2 Peso radicular……... … 41
4.2.3 Número de tallos…… 45
4.3 PRODUCCION Y COMPOSICION BOTANICA DEL FORRAJE……..……..46
5. CONCLUSIONES…… ….50
6. RESUMEN……..…… 51
7. SUMMARY…….……52
8. BIBLIOGRAFÍA…… .. 53

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No. Página

1. Caracterización química de los suelos……..…..…..32
2. Precipitaciones medias de una serie histórica y de los meses en estudio…...….32
3. Significancia estadística en el diámetro de raíz a diferentes profundidades del suelo, entre diferentes tipos de suelo……..……...…...40
4. Peso de raíces según estrato de profundidad (gramos de raíz/Kg de suelo) y nivel de significancia estadística……..……41
5. Significancia estadística de la diferencia de producción de materia seca de alfalfa, entre diferentes tipos de suelo……..48
6. Tasa de crecimiento de materia seca de alfalfa en el periodo estudiado……...48
7. Porcentaje de la fracción alfalfa en de la pastura en los cortes realizados…….49

Figura No.

1. Evolución de los niveles de carbohidratos de reserva en la raíz de alfalfa……..28
2. Profundidad del suelo en la cuadricula realizada a 5 mts. de distancia entre puntos…….……..31
3. Evolución del contenido de agua para los tres suelos……...…..…….36
4. Diámetro de raíz según profundidad del suelo para cada perfil…….….38
5. Concentración del sistema radicular en los primeros 40 cm del perfil……..…42
6. Curva de peso radicular según profundidad del perfil, para cada tipo de suelo, (gr de raíz/Kg de suelo)…….……...43
7. Numero de tallos según tipo e suelo……..…..…..45

8. Producción de forraje en función de la profundidad del suelo……...46

9. Producción de materia seca (Kg / ha) según profundidad del suelo……..…….47

1. INTRODUCCION

En la región centro norte del Uruguay se encuentra una extensa región de origen basáltico. Esta ocupa el 21% del territorio nacional (Carambula, 1977) e incluye más del 30% de los productores ganaderos.

La región basáltica es la más extensa del país, ocupando una superficie cercana a los cuatro millones de hectáreas, 21 % del territorio nacional, Termezana (1976), Bologna (1996), Arias (1998). Cubre prácticamente en forma ininterrumpida todo el departamento de Artigas; la mayor parte de los departamentos de Salto y Paysandú; el extremo oriental del departamento de Río Negro; el tercio occidental del departamento de Durazno y una angosta faja al oeste de los departamentos de Rivera y Tacuarembó (Bossi, 1969).

El sistema de producción predominante en la región es la ganadería extensiva desarrollándose básicamente sobre campo natural (Ferreira et al., 1998). La producción forrajera del mismo presenta una gran variación estacional con valores mínimos en el período invernal y máximo en el período primavero estival. A su vez existe una marcada variación de la producción forrajera estival entre años, íntimamente relacionada con los regímenes hídricos en dicho período (Berretta y Bemhaja, 1998).

Las deficiencias hídricas que ocurren en el período estival en la región Norte del Uruguay, se ven magnificadas en los suelos desarrollados sobre basalto por la gran variación en profundidad que presentan y por la textura arcillosa. Pudiendo variar desde Litosoles con profundidades inferiores a los 25 cm a Vertisoles de más de 80cm, lo que determina una mayor retención y acumulación de agua en el suelo a tensiones de menor disponibilidad para las plantas (Durán, 1985).

Como respuesta a la necesidad de intensificar la producción ganadera se encontró pertinente la búsqueda de alternativas que intensifiquen y a la vez uniformicen la producción de forraje a lo largo del año.

Los mejoramientos de campo existentes consisten en su mayoría en la introducción de especies (de ciclo de crecimiento invernal) y la elevación de los niveles de fósforo en el suelo (mediante la fertilización fosfatada), permite corregir la limitante del déficit forrajero invernal (Pigurina et al., 1991), persistiendo el problema de producción durante los meses estivales en años que los déficit hídricos son más acentuados a lo normal.

La alfalfa es uno de los cultivos más difundidos en el mundo, ya que está adaptado a un amplio rango de condiciones climáticas y de suelo. Esta especie es una leguminosa perenne de ciclo estival, con un alto potencial de producción de forraje y de muy buena calidad. Dadas estas características, esta especie podría ayudar a contribuir a solucionar las dificultades estacionales de producción de forraje.

Sin embargo los vertisoles de basalto se caracterizan por presentar altos porcentajes de arcillas expansivas que determinan un lento movimiento de agua en el perfil en condiciones de saturación de agua (Puentes et al., 1983), lo cual puede determinar que la alfalfa presente problemas en los períodos que ocurren excesos de agua por falta de aireación. Rebuffo y Garcia (1997) menciona que la alfalfa es la especie leguminosa perenne que más tolera la sequía y que requiere suelos de buen drenaje interno y con buen escurrimiento superficial, que aseguren buenas condiciones de aireación ya que es muy sensible a la falta de oxigenación en su sistema radicular.

Por otro lado los suelos de basalto presentan gran variabilidad en su profundidad, determinada por la variación de la distancia a la cual se encuentra el contacto lítico de la superficie. Numerosos autores afirman que la alfalfa se desarrolla en suelos de buena profundidad, en condiciones favorables de suelo y contenido de agua en el mismo, la raíz pivotante de la alfalfa puede llegar a penetrar hasta 9 m de profundidad.

En suelos desarrollados sobre basalto aparecen tres grandes interrogantes para considerar la introducción de la alfalfa como una pastura a ser tenido en cuenta para incluir en un sistema de producción: a) La textura pesada con niveles de arcillas expansivas de 50 % que determinan condiciones de pobre aireación en los períodos de exceso de agua ; b) las diferencias en profundidad de suelo que también identifica a los suelos desarrollados sobre basalto y c)la sensibilidad que presenta la especie para las condiciones de suelo mencionadas en (a) y (b).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la alfalfa sin déficit hídrico, en la secuencia dada por la variación de profundidad del suelo de la región de Basalto.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 CARACTERIZACION DE LOS SUELOS

Dentro de este panorama es posible reconocer dos áreas de suelos que a pesar de haberse desarrollado sobre el mismo material madre poseen un potencial productivo muy diferente: a) áreas con predominio de suelos profundos de muy alta fertilidad y elevado potencial productivo.
b) áreas con dominancia de suelos superficiales con serias limitantes que restringen su uso al pastoreo extensivo (Bologna, 1996).

Los diferentes tipos suelos del basalto se encuentran en la superficie con un arreglo espacial complejo, en el cual es necesario considerar grandes superficies, para determinar áreas relativamente homogéneas de suelos.

Los suelos predominantes (65 % de la región) son litosoles (suelos poco desarrollados) con elevada ocurrencia de pedregosidad y afloramientos rocosos (Duran, 1998). El principal factor limitante es la poca profundidad de estos suelos con muy reducida capacidad de acumulación de agua, y constituye una de las regiones del país más propensas a las sequías (Termezana, 1976). Como asociados se encuentran suelos de mediana y alta profundidad de texturas pesadas, fértiles y con menor ocurrencia de pedregosidad (Duran, 1998).

2. 1. 1 Litosoles

Son suelos poco desarrollados que presentan un horizonte superficial apoyado directamente sobre la roca (Durán, 1985) este horizonte superficial de no mas de 30 cm puede ser melanico u ócrico (Durán, 1998).

Los Litosoles del área basáltica se dividen en negros y pardo rojizos. Los suelos superficiales negros tienden a ubicarse en la base de amplias concavidades que aparecen en zonas planas, altas, pequeñas concavidades en las pendientes suaves, en los bordes de áreas planas con suelos profundos locales o en zonas transicionales entre suelos profundos y superficiales rojos. Los litosoles rojos aparecen en lomas convexas, hacia el borde de mesetas o en áreas de pendientes fuertes (Durán, 1998).

Los litosoles negros poseen mayor contenido de materia orgánica, arcilla y una capacidad de intercambio catiónico más elevada, en tanto que los suelos rojizos son más ricos en óxidos de hierro y aluminio, son de textura más liviana, menor contenido de arcilla y mayor de arena. El PH y la saturación de bases no son significativamente diferentes. A su vez los suelos negros poseen mayor contenido de de sílice, siendo la diferencia en contenido de sílice del 10 % (Durán, 1998).

El origen de las diferencias entre los litosoles negros y rojos no es totalmente claro aunque podría estar asociado a diferencias en el material madre y/o condiciones de formación diferentes (Reynaert, 1961).

Por la posición que ocupan en el paisaje los suelos rojos estarían sometidos a un rejuvenecimiento constante por lavado erosivo. Los suelos negros por lo contrario, frecuentemente están sujetos a aportes de materiales y el agua contribuiría a su desarrollo gracias a su ubicación en zonas planas o de escurrimiento superficial más lento (Duran, 1985).

2. 1. 2 Vertisoles

Son suelos que presentan un horizonte oscurecido por la presencia de materia orgánica, (normalmente entre 4% y 8%), el contenido de arcilla de los vertisoles es elevado, superando el 35 % en el horizonte superficial. El mineral arcillosos dominante es del grupo de las montmorillonita, lo que le da las llamadas características vérticas tales como grietas durante los períodos secos, caras de deslizamiento, autogranulado en el horizonte superficial y un microrrelieve de montículos o menos frecuentemente de ondas (Durán, 1985).

Debido al alto contenido de materia orgánica y alto contenido de arcilla en su granulometría la saturación en bases es alta, también el alto contenido de arcilla le da al suelo alta capacidad de intercambio catiónico (Durán, 1985, 1998).

2.2 PROPIEDADES DEL SUELO QUE DETERMINAN EL DESARROLLO VEGETAL

2.2.1 Estructura del suelo

El término "forma estructural" del suelo es utilizado por Kay (1990), para describir el arreglo heterogéneo del espacio de poros y sólidos que existe en un suelo en un tiempo dado. Dicha expresión refiere a la porosidad total, distribución del tamaño de poros y continuidad del sistema poroso, así como el arreglo de las partículas primarias del suelo en categorías estructurales jerárquicas. La estructura del suelo puede cambiar considerablemente en el espacio y en el tiempo, siendo el resultado dinámico de muchos factores y procesos bióticos y abióticos.

En ambientes naturales, los principales factores formadores de estructura son: textura, materia orgánica, organismos del suelo y condiciones climáticas (Kooistra y Tovey, 1994). La estructura del suelo domina todas sus propiedades físicas y por lo tanto su funcionamiento, determinando la efectividad e impacto de muchas prácticas de manejo.

La estabilidad al agua de los agregados y los poros que hay entre ellos afecta la infiltración, el drenaje y almacenamiento de agua, la actividad de los organismos del suelo, la erosión y el crecimiento de los cultivos (Tisdall, 1994).

2.2.1.1 El sistema poroso del suelo

Una manera de entender la complejidad del funcionamiento del suelo es centrando la atención en su sistema poroso, en donde se cumplen todos los procesos físicos, químicos y biológicos (Gil, 2001).

Russell (1971), considera que el término estructura del suelo puede ser usado desde el punto de vista de un grupo de propiedades concernientes con la distribución del espacio poroso del suelo, ya que este impacta directamente sobre el balance de agua (entradas y salidas), el funcionamiento hídrico (relaciones agua planta), la entrada y difusión de gases y calor, y el desarrollo y crecimiento de las raíces.

Las propiedades físicas que afectan directamente al crecimiento de un cultivo son: contenido de agua del suelo, disponibilidad de oxígeno, temperatura y resistencia mecánica a la penetración. También se encuentran las propiedades del suelo que influyen indirectamente en el desarrollo de la planta (por afectar las primeras), y estas son: densidad del suelo, textura, agregación del suelo, estabilidad de la estructura y tamaño y distribución de la porosidad (Letey, 1985).

En este sentido da Silva et al. (1994) afirma que la productividad de un cultivo esta íntimamente relacionado con la cantidad de oxigeno, agua así como la inhibición del desarrollo de las raíces por parte de la matriz del suelo; dependiendo los primeros básicamente de la estructuración del suelo y el contenido de agua.

Como es sabida una de las principales características físicas del suelo es la densidad aparente, medida esta de la cantidad de espacios ocupados por aire o agua y la porción sólida del volumen del suelo.

La capacidad de almacenaje de agua del suelo, actúa como un buffer entre las adversidades climáticas y las necesidades del cultivo, siendo además un factor regulador de la temperatura, aireación y resistencia mecánica del suelo; condiciones físicas que afectan directamente al crecimiento y desarrollo de las plantas. Los efectos provocados por estas propiedades del suelo no actúan separadamente, y por tal motivo, resulta difícil cuantificarlos en forma individual (Maddalena, 1994).

La densidad aparente varia en función entre otras cosas, y dentro de un mismo suelo, de la compactación del mismo .Por otra parte es conocida la gran sensibilidad que presenta la alfalfa a la anoxia, encostramiento del suelo y exceso hídrico, consecuencias de la compactación. Al respecto (Formoso, 2007) afirma que la compactación del suelo

como indicadora de degradación física del suelo, repercute en disminución del desarrollo radicular por resistencia mecánica a la penetración de las raíces en el suelo, así como una disminución del tamaño cantidad y continuidad de los macro poros, desencadenando esto un ambiente en el suelo mas anaerobio y con menos capacidad de infiltración.

La anterior afirmación se desprende del estudio del desarrollo de la cobertura del cultivo de alfalfa en suelos compactados, no compactados y a distintos niveles de humedad para las distintas densidades aparentes del suelo (nivel de compactación).El experimento se desarrollo bajo dos niveles de densidad aparente del suelo; los suelos compactados presentaron valores de densidad aparente promedio de 1.37 (0 a 8 cm) de 1.45 (8 a 16 cm) y para los suelos no compactados los valores fueron de 1.25 (0 a 8 cm) y 1.38 gr/cm3 (8 a 16 cm., Formoso, 2007).

Para este experimento, el investigador reporta que la disminución en cobertura vegetal en alfalfa, comparando, (bajo un nivel adecuado de humedad) el suelo no compactado con el suelo compactado es de 40% a favor de los suelos sin compactar.

La depresión productiva permanente de esta pastura perenne (la más sensibles de las leguminosas al anegamiento) es a causa de la perdida en gran magnitud del stand de plantas, a su vez derivada el exceso de humedad y anoxia provocada por la compactación (Formoso, 2007).

Como agentes de influencia positiva para la descompactación (regeneración) se encuentran el crecimiento radicular y muerte de raíces, la acción de la entomofauna y, el proceso de secado y humedecimiento de las arcillas expansivas, de estar presente en el suelo (Formoso, 2007)

2.2.2.1 Resistencia mecánica

Las plantas son afectadas directamente por lo que se denomina resistencia mecánica del suelo. Hace referencia a la dificultad de las raíces de las plantas en crecer en un suelo densamente compactado o con cualquier otro tipo de impedimento. También la dificultad que las semillas encuentren en la emergencia a través de la superficie del suelo (Letey, 1985).

Las raíces que crecen en un medio poroso, como es el suelo, deben superar la resistencia mecánica que el mismo les impone. Ello se logra ya sea a través de la penetración de poros y canales ya existentes de un tamaño mayor que el de las raíces, o deformando la estructura del medio (Martino, 1997). Para deformar esta estructura las raíces deben superar las barreras mecánicas, fracturando o comprimiendo el suelo.

Las raíces al ser sometidas a elevadas resistencias mecánicas reducen su tasa de elongación e incrementan su diámetro, se vuelven contorciones y tienden a crecer

horizontalmente. La concentración interna de varios elementos y compuestos es también alterada por la restricción del suelo, los cambios morfológicos se deben no solo a consecuencias mecánicas sino que también a mecanismos hormonales (Martino, 1997).

Según Maddalena (1994) existen una gran cantidad de factores que afectan la capacidad de fuerza ofrecida por el suelo siendo las más importantes la distribución de tamaño de las partículas, el contenido de humedad y la porosidad o densidad aparente, en relación a la producción agrícola.

Para contrarrestar la fuerza ejercida por el suelo Barley et al. (1967) menciona que hay tres componentes que actúan en el proceso de penetración: la presión ejercida por la punta de la raíz, la adhesión y la fricción de la corteza. Existen diferentes tipos de deformaciones producidas por las raíces, como así también fuerzas requeridas para dichas deformaciones

Cornish (1987) refiriéndose al crecimiento de las raíces de forrajeras en suelos compactados, afirma que mayores densidades del suelo hacen a un suelo más fuerte pero limita el potencial de crecimiento de la raíz; de acuerdo a esto también hace referencia a la disminución de los espacios porosos al aumentar la densidad aparente de un suelo determinado, con dos consecuencias fundamentales para el sistema radicular y la planta en su conjunto:1) disminución de los espacios de intercambio gaseosos para la raíz, y 2) aumento del riesgo de anaerobiosis.

Suelos con buenas condiciones físicas, presentan menores requerimientos de manejo y generalmente tienen un mayor rango no limitativo de agua (Kiel, 1985).

Bentancourt et al. (2001) realizaron un estudio que consistió en determinar el grado de asociación entre diferentes características y propiedades del suelo y estas sobre el rendimiento del cultivo de alfalfa .Este ensayo se llevo acabo sobre suelos erosionado y compactados en una zona templada y húmeda de México. Donde concluyeron que la aeración del suelo en general solo es un problema para el crecimiento de cultivos en suelos húmedos. La restricción de aireación perjudica el crecimiento de plantas por severos mecanismos y en último lugar reduce el potencial de cultivos.

Estudiando la respuesta en producción (Calviño et al., 1999) grano en soja, maíz, girasol y trigo a la profundidad del suelo, estimaron que la disminución en la producción de grano por centímetro de profundidad en el suelo fue: 0,41% en la soja, 0,45% en el trigo, 0,54% en girasol y 0,76% en maíz, por cada centímetro que perdía de profundidad el suelo. La explicación se fundamenta según el autor en tres puntos principales 1) el ciclo del cultivo 2) el momento del año donde se ubica el periodo crítico, 3) las características de la planta que hacen a la plasticidad vegetativa y reproductiva del cultivo.

Lo citado anteriormente se desprendido de un experimento realizado sobre suelos Typic Argiudols y Petrocalcic Paleudols de una profundidad que varió entre 0,35 y 1 metro de profundidad. Otra observación relevante fue que el déficit hídrico de la estación de crecimiento explico entre un 43 y 90 por ciento del rendimiento en soja y trigo respectivamente, (asociándose en gran medida la profundidad del suelo a la probabilidad de déficit)

Reducciones en los rendimientos de cultivos son resultado de compactación por pobre aireación de suelo o restricción al crecimiento de raíz por mecanismos imperantes (Boone et al., 1994).

Entre algunos de los resultados que obtuvieron los autores es que el rendimiento de alfalfa en este suelo estuvo influenciado en gran magnitud y en forma negativa por el contenido de arcilla y la resistencia a la penetración. A su vez se determino que el contenido de arcilla estuvo correlacionado positivamente (46%) con la capacidad de campo del suelo, y que la resistencia a la penetración actuó negativamente sobre el desarrollo de la raíces pero positivamente en la estabilidad del suelo.

Suelos con horizonte pesados con alta densidad aparente, dificultan la penetración de las raíces, esto puede tener dos causas, la primera un impedimento mecánico a la penetración y la segunda la baja concentración de oxígeno y su baja difusión que puede ocurrir en estos horizontes [1].

Lo anterior fue verificado en un trabajo experimental llevado a cabo por Scott et al. (1989), donde los investigadores en una experiencia desarrollada sobre un suelo con un horizonte compactado con espesor de 10 cm. y una densidad aparente de 1,9 gr/cm^3 vieron que las raíces no fueron restringidas en cuanto al crecimiento vertical, por la capa compactada, pero no proliferaron hasta que no se les suministro O_2 en forma de peroxido de Calcio.

2.3 AGUA

Los requerimientos hídricos de la alfalfa como en todas las plantas, dependen de la pérdida evaporativa, que está regulada por factores ambientales (temperatura, velocidad del viento y humedad relativa) y morfológicos (número y tamaño de los estomas, área foliar, estructura del canopeo y resistencia al movimiento del agua dentro de la planta).Estos factores generan diferencias entre distintos estados de desarrollo fenológico (Romero et al., 1995).

[1] Pérez Gomar,I. 2007. Com. personal.

A grandes rasgos las plantas deben transpirar continuamente y reponer el agua transpirada con la que absorben del suelo. Si no existe una napa cercena a su superficie, el agua del suelo en la zona radicular proviene de las lluvias. Por lo tanto, el suelo actúa como reservorio que se carga durante las lluvias y se vacía gradualmente por la evapotranspiración diaria. El suelo logra balancear, hasta cierto punto, las necesidades continuas de las plantas con el aporte no uniforme de las lluvias (García, 1980).

A su vez la eficiencia del uso del agua aumenta al mejorar las condiciones nutricionales de la planta (Romero et al., 1995)

2.3.1 Agua en el suelo

Para llegar a lograr una buena implantación, desarrollo y rendimiento de un cultivo la disponibilidad de agua en el suelo es una de los principales factores para los procesos mencionados, ya que el suelo es su única fuente (Unger, 1988).

Existen diversos factores que afectan la capacidad de almacenaje de agua en los suelos pero pueden sintetizarse en dos grupos, según Sawchik et al. (2005) por un lado aquellos relacionados con la génesis del suelo, como la textura o la profundidad del perfil y por otro lado factores de manejo que afectan la capacidad de recarga de agua de los suelos como la época de siembra, la duración del período de barbecho, el cultivo antecesor y el estado estructural de los suelos, entre otros.

Los parámetros hídricos en el suelo están básicamente definidos por, la textura, la estructura y la materia orgánica. Los suelos de textura fina retienen, por unidad de volumen y a cualquier potencial de matriz, mas agua, esto relacionado a una mayor porosidad total y especialmente más microporos, además de una mayor actividad superficial de la fase sólida. La estructura afecta principalmente al espacio poroso más grande, al ser mas compacto un suelo, disminuyen los poros que retienen agua con energía de retención en el rango de capacidad de campo (0,3-0,1 Atmósfera) (García, 1980).

2.3.1.1 Dinámica del agua

De toda el agua que llega al suelo y penetra, (suponiendo que lo satura), una parte se pierde por drenaje profundo; a esta agua se le llama gravitacional, que por ocupar los espacios porosos más grandes en el suelo, no es retenida y desaparece al cabo de un periodo de 1 a 3 días, siempre que no haya una napa freática alta o un horizonte subsuperficial impermeable. El contenido agua que queda retenido luego de este periodo e 1-3 días es llamado capacidad de campo (García, 1980).

La energía con que es retenida el agua depende de la cantidad de esta en el suelo, siendo mayor la energía de retención a medida que disminuye el contenido de humedad en suelo (Hillel, 1998).

En el sistema suelo-planta-atmósfera el agua posee la capacidad de realizar trabajo, en forma de energía cinética o potencial. En el caso de existir dentro de tal sistema, agua en un lugar con mas energía que en otro, esta se moverá del lugar con mas capacidad de trabajo hacia el lugar donde el agua tiene menos energía (García, 1980).

La disponibilidad de agua del suelo es uno de los principales factores que afectan el desarrollo de los cultivos, a su vez el contenido de humedad afecta marcadamente la tasa de difusión de oxígeno, la temperatura y resistencia mecánica de un suelo. El agua ocupa el espacio poroso y es afectada por la matriz por diversas fuerzas. Para extraer agua una planta debe superar esas fuerzas que son muy reducidas cuando el contenido de humedad es cercano al de saturación y se incrementan a medida que el suelo se seca. Solo una fracción del agua del suelo está disponible para las plantas entre capacidad de campo y punto de marchites permanente (Martino, 1997).

Para absorber el agua desde el suelo el potencial de las plantas debe ser menor que el potencial de matriz del suelo, esto para que exista un gradiente cuyo sentido sea hacia la planta. Esto significa que a medida que el suelo vaya perdiendo humedad (y disminuyendo el potencial de matriz), la planta deberá disminuir más su potencial para mantener el gradiente, sumado a esto al secarse el suelo también disminuye la conductividad hidráulica con la consecuente disminución de la velocidad de movimiento del agua por lo que tendrá la planta que crear un gradiente aún mayor para mantener la cantidad de agua absorbida por unidad de tiempo (García, 1980).

Para que el agua no limite el crecimiento de la planta no es el contenido de agua en el suelo lo que importa sino que la energía con la que el agua es retenida por el suelo y consecuentemente a la energía que es necesaria para que el agua sea removida del suelo a la raíz de la planta. Diferentes tipos de suelo tienen diferentes cantidades de agua a un determinado potencial (Letey, 1985).

Del agua presente en el suelo sólo una fracción puede ser utilizada por las plantas, es la que se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchites permanente. La capacidad de campo es la cantidad de agua máxima que el suelo puede retener luego de ser saturado, y corresponde a un potencial de matriz entre -10 y -50 kpa. El punto de marchitez permanente es el límite de tensión al cual la planta puede crecer, (Gupta et al., 1989).

Godoy et al. (2003) encontraron relaciones muy estrechas entre los valores del potencial hídrico de la planta y el índice de crecimiento relativo, concluyendo que para valores del potencial hídrico menores a -1,0 MPa el crecimiento fue relativamente bajo.

El mismo autor, señala que cuando el potencial hídrico de la hoja es menor a -1,0 MPa se disminuye significativamente la acumulación de materia seca del tallo y de la hoja de la alfalfa.

Los suelos presentan diferente capacidad de retención de agua y por lo tanto distintas capacidades de almacenaje. Cuando las texturas se hacen más finas, se incrementa la capacidad de retención o almacenaje de agua al igual que la marchites permanente. Esto sucede por presentar mayor porcentaje total de material coloidal, mayor espacio poroso total y mayor adsorción en superficie de las partículas (Blevins et al., 1971)

El coeficiente de marchitez permanente es el contenido de agua en el suelo en el cual las raíces no pueden absorber aunque la demanda atmosférica sea nula (García, 1980). Agua disponible para las planta se define al agua retenida en el suelo entre los limites superior (capacidad de campo) e inferior (coeficiente de marchitez permanente) de disponibilidad.

El crecimiento óptimo de la alfalfa se da con el 35% a 85% de la humedad disponible en torno a la rizofera, según Stanberry et al. (1955).Sin embargo Pessant y Dionne (1976) sostienen que los rendimientos óptimos para la alfalfa, se alcanzan con un 70% de agua disponible (-4 atmósferas en el suelo).

2.3.1.2 Pérdidas de agua del suelo

Las pérdidas de agua se pueden producir directamente a través de la evaporación desde el perfil, o indirectamente a través de la extracción por las plantas.

La evapotranspiración de un cultivo es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, e incluye los términos evaporación desde el suelo, la lamina de agua y la planta; y transpiración desde la planta. Está influenciada por diversos factores climáticos como radiación, humedad relativa, temperatura y viento; factores de suelo como la disponibilidad de agua y factores de cultivo como tipo y estado fenológico del cultivo.

Luego de un corte la transpiración se hace prácticamente nula debido al bajo remanente foliar, en cambio la evaporación de la superficie del suelo puede llegar a ser máxima dependiendo de la época del año en que se coseche el forraje (Dovart, 1997).

Para la región Basáltica, Bologna (1996), señala que la evolución de la evapotranspiración potencial muestra una marcada estacionalidad siendo casi siete veces mayor en enero en relación a junio. También remarca que el efecto sobre los cultivos estará mediado por el tipo de suelo, siendo más nocivo al menguar la capacidad de almacenaje de agua del suelo en cuestión

El mismo autor reporta a partir de una serie histórica de años, que el periodo de deficiencias hídricas para la Zona de basalto profundo comienza promedialmente a fines del mes de noviembre, si bien la ETP es mayor que las precipitaciones desde mediados de octubre, esto explicado obviamente por la acumulación de agua en el perfil del suelo en los meses invernales básicamente

La relación entre la ETP y las lluvias muestra marcadas diferencias entre invierno y verano, el efecto de estas diferencias sobre las pasturas varía según el tipo de suelo presente, siendo mas grave en los suelos superficiales.

Concordando con lo anterior Caorsi et al. (1978) mencionan que los litosoles son los suelos que se secan primero en verano y los que alcanzan antes la saturación en otoño

2.3.2 Efecto del déficit y exceso

El agua disponible depende de factores climáticos y de la capacidad del suelo en almacenarla y liberarla; la determinación de la disponibilidad está dada por el balance final entre las precipitaciones recibidas; el agua evaporada desde el suelo y la superficie vegetal; el agua infiltrada en el suelo y la que escurre en forma superficial y profunda. Este balance está determinado principalmente por la evapotranspiración potencial, la real, el exceso y déficit hídrico (Letey, 1985).

2.3.2.1 Exceso hídrico

El exceso del agua en el suelo genera una reducción del intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera. Esto ocasiona una disminución de la disponibilidad de O_2 para las raíces de la planta, disminuyendo así la respiración y consecuentemente el crecimiento de la planta (Harris, 1990).

El problema de exceso hídrico es mas frecuente en suelos con mal drenaje, donde las lluvias tienen dificultades en infiltrar dentro del perfil del suelo, generando condiciones de sobre saturación (Picasso et al., 1984).

Una condición predisponente al anegamiento es la topografía, Durán (1985) menciona que los Vertisoles del centro-norte del Uruguay la topografía es de baja pendiente casi plana (menores a 1%).

En el mismo sentido, el problema se puede acentuar con el uso de riego, por la ocurrencia de lluvias después del riego o por aplicaciones excesivas de este, que aumentan las probabilidades de generar la situación de saturación hídrica en el perfil del suelo (Ruiz, 1982).

Las altas temperaturas en el suelo, aumenta la respiración y el consumo de O_2, es probable entonces que en estas condiciones se alcance antes la situación anaeróbica en el suelo (Cameron, 1973).

Al respecto Funes (2004) remarca la sensibilidad de la alfalfa a la falta de oxigenación producida por el anegamiento, el autor se refiere también a una experiencia realizada en San Luis (Argentina) donde se vio que en situación de anegamiento del suelo durante un día y medio y temperaturas superiores a 30 ^{o}C, se producen efectos letales en las plántulas de alfalfa, las plantas adultas pueden tolerar hasta 7-8 días en suelos saturados con agua.

Dunbier et al. (1982) se refieren a la incidencia de enfermedades, el efecto de estas fueron mayores a medida que aumentaba el periodo de anegamiento. Afirman que una gran cantidad de lluvia no solo tiene influencia negativa por el efecto de las enfermedades, si no que excesos de humedad también promueven especies que ejercen competencia al cultivo de alfalfa, estas pueden ser malezas de hoja ancha, gramíneas perennes o anuales.

El nivel de susceptibilidad del cultivo de alfalfa a los excesos esta en parte determinada por el de crecimiento fonológico. Es más susceptible cuando se encuentra en pleno crecimiento, periodos inmediatos al corte, durante el establecimiento del cultivo y en general en momentos donde todos los órganos se encuentran creciendo activamente (Cameron, 1973).

Rogers (1974) afirma que la temperatura a nivel de las raíces en condiciones de anegamiento es el principal factor que afecta la reacción negativa de la planta de alfalfa.

Heinrichs (1972) encontró después de una inundación de 28 días no sobrevivió ninguna planta de alfalfa cuando la temperatura a nivel de las raíces fue de 25 ^{o}C; cuando la temperatura a nivel de la raíz fue de 19 ^{o}C el 25% del stand de plantas inicial sobrevivió a la inundación y permanecieron vivas el 95% de las plantas cuando la temperatura fue de 13 ^{o}C durante el periodo de estrés.

El mismo autor reporta que la resistencia de las coronas en estas condiciones desfavorables es mayor que la que presenta la raíz de la planta. Lo anterior lo deduce el autor desde la observación de plantas que brotaron a partir de las coronas a pesar de tener todas las raíces podridas. El estudio muestra entonces que el daño es menor, bajo las mismas condiciones hídricas, en primavera que en verano donde el suelo tiene una temperatura mas elevada. El investigador concluyó sobre la alfalfa que tiene una tolerancia baja a moderada a la inundación a medida que la temperatura a nivel de las raíces decrece de 25^{o}C, a 19 ^{o}C y 13 ^{o}C.

2.3.2.2 Déficit hídrico

Las plantas se encuentran bajo estrés hídrico cuando la humedad disponible en el suelo no puede satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera esto se traduce en una disminución de la evapotraspiración y una reducción en la producción de materia seca (MS) (Dovart, 1997).

El déficit hídrico y marchitamiento en las plantas de alfalfa pueden ser causados por bajas temperaturas en la zona de enrraizaiento, aun cuando la cantidad de agua en el suelo no sea limitante para la absorción (Jung y Larson, 1972).

Jung y Larson (1972) se refiere a la afección de la sequía sobre el hábito radical. Mediante un ensayo, se colocaron cortes de tallos, tomados de muestras testigos y de plantas que sufrieron estrés por sequía, en un medio favorable para el crecimiento; los cortes que habían sufrido estrés enraizaron rápidamente, mientras que los testigos lo hicieron pobremente. Además, la recuperación del crecimiento de las plantas que habían sufrido estrés produjo un crecimiento nuevo más exuberante y los testigos que fueron regados.

Sinskaya (1961) concluye que la sequía favorece la acumulación de productos de asimilación, tal como o evidencio el rápido crecimiento de recuperación y enrraizamiento de plantas sometidas a estrés hídrico.

Sin embargo Dirksen y Raats (1985) encontraron que la planta tomaba agua a una alta tasa al regarla luego de un periodo de 50 días sin agua. Si bien la producción no fue afectada, la eficiencia en el uso del agua fue baja, atribuyendo los autores a la baja cobertura del suelo aun cuando las raíces no fueron afectadas por el estrés.

Greacen y Oh (1972) crearon un modelo para explicar la distribución de los asimilados entre la raíz y el tallo a medida que aumentaba la sequía. De acuerdo a este modelo al bajar el potencial osmótico en el suelo, se debía mantener la turgencia y expansión de las células de la planta. Los autores ante esta situación estudiaron el comportamiento fisiológico de las plantas de alfalfa bajo esta situación estresante, de acuerdo a lo observado reportan que a medida que disminuye el potencial osmótico en el suelo aumenta la partición de asimilados hacia la raíz con el fin de obtener una mayor exploración y balancear la oferta y demanda de agua en la planta.

Denison y Loomis (1989) realizaron un modelo de simulación de riego para la estimación de las necesidades de respiración de mantenimiento, en el cual vieron que esta se mantenía latente en condiciones de déficit hídrico, por lo que en primera instancia concluyeron que las plantas morían debido a la falta de hidratos de carbono.

Los mismos autores no observaron esta misma situación en situaciones de campo, luego de esta observación concluyeron que la cantidad de energía necesaria para mantener un planta de alfalfa en estado latente debería ser muy pequeña

2.3.3 Capacidad de almacenaje de los suelos

Molfino y Califra (2001) realizando una aproximación del agua disponible de los suelos del Uruguay, clasifican a la unidad cartográfica de suelo (escala 1:1000000) Queguay Chico como de clase muy baja, esta clase está constituidas fundamentalmente por suelos muy superficiales,(Litosoles) derivados de rocas basálticas o sedimentarias (areniscas) a veces silicatadas, difícilmente edafizables, con áreas de afloramiento y pedregosidad asociadas. Consecuentemente con baja capacidad de retener agua en forma disponible, 50,2 milímetros en el perfil en forma potencial y corregida por pedregosidad y rocosidad esta llega a 37 milímetros de acumulación de agua disponible neta.

2.4 PROPIEDADES QUIMICAS

2.4.1 Nutrientes

El crecimiento de las pasturas y su capacidad de responder a la fertilización está influenciado por un complejo conjunto de factores que interaccionan entre sí. Entre los factores que afectan la respuesta a la fertilización se pueden destacar las variaciones estacionales (luz, temperatura y agua), el tipo de suelo (PH, compactación), las enfermedades y plagas, el manejo previo, las especies (composición botánica), los fertilizantes aplicados anteriormente (cantidad y época) y su utilización (Morón, 1983).

La investigación científica confirma la importancia de agregar por medio de fertilizantes los elementos minerales necesarios para alcanzar rendimientos adecuados de forraje en las pasturas (Carámbula, 2002).

Es de vital importancia el manejo nutricional en alfalfa si se tiene como objetivo de un alto nivel de producción, debido a que produce niveles elevados en materia seca, que remueve grandes cantidades de nutrientes desde el suelo.

2.4.2 Nitrógeno

El nitrógeno en las plantas de leguminosas en general y de alfalfa en particular puede tener dos orígenes:1) N (amonio o nitrato) mineral, proveniente este de la mineralización de la materia orgánica y/o de fertilizaciones aplicadas a el suelo; y 2) N proveniente de la FBN (fijación biológica de nitrógeno) (Morón, 2000).

El nutriente mas extraído por la planta de alfalfa es el nitrógeno, aproximadamente la mitad de lo que requiere la planta lo obtiene a través de la simbiosis mantenida con los Rizobios y estos fijándolo de la atmósfera (Vivas, 2004).

A nivel global se debe tener en cuenta que por FBN ingresan al sistema 32Kg N/1000 Kg de materia seca de alfalfa, determinado esto por Morón (2000) en La Estanzuela (departamento de Colonia).

Morón (2000) sugiere que los factores que pueden ser limitantes en la FBN son: factores genéticos de los microorganismos y de la leguminosa, disponibilidad de agua, temperatura, disponibilidad de fósforo, molibdeno, cobre, azufre entre otros factores.

2.4.3 Fósforo

Es necesario conocer con la mayor exactitud posible, cual es la demanda de cada uno de los nutrientes involucrados en la producción. Para esto último, se debe tomar en cuenta el punto de vista individual de cada elemento y el balance con los demás nutrientes. En función de las distintas etapas de desarrollo, la pastura exige cierta disponibilidad de P para su crecimiento. El conocimiento de cada una de ellas y como influyen en la determinación del rendimiento, es un factor principal. La disponibilidad de nutrientes y agua en estas etapas, tiene gran importancia.

Numerosas funciones le son atribuidas al fósforo en las plantas entre las cuales se encuentran: Promueve un rápido desarrollo radicular, interviene en todas las funciones energéticas de la planta, aumenta la eficiencia de uso de agua, es parte constituyentes de compuestos esenciales para la fotosíntesis, contribuye a la fijación de anhídrido carbónico y facilita la fijación de N atmosférico a través del aporte de ATP proveniente de la actividad nitrogenada, además de ser componente de las proteínas (Lanyon y Griffith 1988, Vivas 2004).

Romero (2007) relacionaron dos niveles de P, en suelos similares en otras características, con producción de materia seca en 25 cultivares de alfalfa. Estos observaron que en un periodo de tres años sobre suelos con 44ppm acumularon en promedio 49,8tt/ha de MS en el periodo y en los suelos de 22ppm 16,5tt/ha de MS para los tres años.

Berardo et al. (1999) en un ensayo de diferentes dosis de fertilización fosfatada (en suelos del sudeste bonaerense) a la siembra, con cuatro tratamientos (0; 57,5; 115; y 230 kg de P_2O_5) ,encontraron una respuesta lineal positiva a medida que aumentaban las dosis. Para el caso de la de la dosis superior el incremento respecto al testigo fue 101; 71; 51; y 45% en producción de MS desde primer al cuarto año respectivamente. Concluyendo en una disminución de la respuesta del cultivo a la fertilización fosfatada

por la alta residualidad de las fertilizaciones anteriores que presentan los suelos de la región.

En experiencias nacionales similares Morón (2000) en cuatro años de evaluación observo una eficiencia máxima de 70Kg de MS/Kg de P_2O_5 con 80 Kg de P_2O_5 y una mínima de 47Kg de MS/ Kg de P_2O_5 con el nivel máximo e fertilización estudiado en el ensayo (160 Kg de P_2O_5.).

La disponibilidad del fósforo para la planta esta en gran medida determinada por el pH del suelo, este se bloquea con pH bajos (ácidos) y pH altos (alcalinos), por lo que muy frecuentemente se encuentran plantas deficientes en fósforo creciendo sobre suelo con gran cantidad del elemento (Romero, 2007).

Un nivel adecuado de P es necesario para el establecimiento de sistemas radiculares fuertes y los beneficios de la fertilización son más importantes sobre suelos infértiles o cuando en primaveras frescas se ve restringida la absorción de P por las raíces (Lanyon et al., 1988).

El contenido total de fósforo en los suelos es bajo. La mayoría de los suelos contienen entre 0,02 y 0,08 % de P total. Para diferentes suelos del país se encontró un rango de entre 0,013 y 0,089 %, con un promedio de 0,032% (Hernández, 1992).

2.4.3.1 Requerimientos de fósforo

Smith (2005) concluye que 57 kg/ha de P (Bray No.1) fue un nivel adecuado de P en el suelo para rendimientos de 7 a 8 toneladas de materia seca de alfalfa por hectárea.

La cátedra de fertilidad de suelos durante muchos años fue creando una importante base de información, la cual permitió definir – como pauta aceptable del nivel crítico de P para suelos medios y pesados del sur – un valor superior a las 20 ppm (Bray No.1) (Cerveñansky y Casanova, 2002).

Para todos los sitios evaluados e independientemente del tipo de suelo, recomiendan fertilizar con P cuando el nivel del mismo se encuentra por debajo de las 20ppm (Bray No.1) (Cerveñansky y Casanova ,2002).

Bordoli et al. (1984) determinó para la alfalfa un nivel crítico de P asimilable (método Bray No.1) para suelos de texturas medias y pesadas del sur de 20 a 25 ppm.

2.4.4 Potasio

El potasio es un macro nutriente que cumple varias funciones entre ellas incrementa el número y el volumen de las raíces, aumenta el número, tamaño y actividad de los nodulos entre otras funciones (Lazcano y Ferrat, 1996).

Un buen suministro de K aumenta la eficiencia fotosintética de la planta, esto es un factor crítico en el desarrollo temprano de la alfalfa debido a que existe un aumento en la tasa de intercambio de Carbono con un adecuado nivel del nutriente, a medida que se va desarrollando la planta el Potasio continúa ejerciendo el efecto sobre el intercambio del gas pero se necesita mayores niveles del nutriente en comparación con etapas tempranas (Lanyon y Griffith, 1988).

Morón (2000) señala que la invasión de malezas y gramíneas y baja persistencia de la alfalfa en las pasturas sembradas esta asociada con bajos niveles de Potasio. También este investigador reporta un aumento del nutriente a nivel de la planta a medida que la relación K/ (Ca+Mg) crece en el suelo.

2.4.5 Azufre

El azufre (S) es un elemento esencial para la síntesis de proteínas, entra en una relación 10/1 con el Nitrógeno (Romero, 2007).

En un relevamiento llevado acabo por os en este medio. El rango óptimo para la mayoría de las pasturas y cultivos es 6,5-7,5. (Romero, 2007). Sobre 97 chacras de alfalfa, a partir de análisis de azufre en planta no se detectaron niveles que inducieran a pensar en la existencia de déficit para tal nutriente en los cultivos de alfalfa (Morón, 2000).

2.4.6 Magnesio

El Magnesio es un macro nutriente componente de la clorofila vegetal, en condiciones locales se ha detectado un alto porcentaje de cultivos de alfalfa con niveles por debajo de los óptimos y/o niveles cercanos al limite inferior del rango optimo (Morón, 2000).

Un informe brindado por el International Plant Nutrition Institute a partir de un ensayo llevado acabo en México sobre suelo clasificados como Vertisoles, reza sobre la necesidad de mantener por lo menos una saturación del 10% de Mg del total de la

capacidad de intercambio cationico de forma de evitar la inhibición que puede causar en la absorción de este los altos valores de K que presentan estos tipos de suelos. Así mismo se concluye en el trabajo que se debe mantener una relación K/Mg entorno a 6 para que se de la absorción de estos nutrientes con normalidad.

2.4.7 Acidez

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de un suelo, esta tiene gran relevancia en los procesos químicos y biológicos desencadenad

La escala de pH es logarítmica lo que se debe leer como que un suelo es diez veces más o menos ácido en función de que baje o suba un punto en la unidad respectivamente, de ahí que variaciones mínimas en los valores de pH en un suelo (ejemplo décimas) repercutan en importantes cambios en el comportamiento de los distintos cultivos básicamente por cambios en disponibilidad de nutrientes (Romero, 2007)

Según Marschner (1995), afirma que los suelos ácidos presentan distintas limitantes para el desarrollo del cultivo de alfalfa en particular;1) afectan la nutrición fosfatada por parte de la planta ,2) presentan toxicidad por aluminio y/o manganeso,3) deficiencias de minerales como magnesio, potasio, y mobilideno,4) inhiben o deprimen el proceso de fijación biológica, de nitrógeno, y 5) la acidez en el suelo trae aparejado mal formaciones y restricciones sobre el desarrollo radicular.

Por otra parte Grewal y Williams (2003) , trabajando con diez variedades de alfalfa, reportan que un aumento en el nivel de ph (de 4,8 a 5,3) , tubo como efecto (promedios de las distintas variedades), 1) disminución significativa de la caída de hojas, medida estas a los 120 días de la siembra(aproximadamente 10 % menos),2)Aumento de 2 a 5 puntos porcentuales los niveles de proteína cruda en planta,3)Pesos mayores de raíces y nódulos ,y, 4)mayor producción de materia seca en un rango de aumento de 10 a 30%.

La alfalfa es una leguminosa muy sensible a bajos ph, los óptimos para el cultivo se encuentran en el rango de 6,0 a 6,5, por debajo de 5,5 son especialmente críticos y superiores a 7,5 también seria nocivos por provocar desbalances en las relaciones K/Ca y K/Mg así como la disminución en la disponibilidad de algunos micro nutrientes (Morón, 2000).

Tognola (1998) reafirma en el mismo sentido de lo anterior que para una buena producción de alfalfa se debe manejar niveles entre 6,0 y 7,5 de ph y niveles inferiores a 5,5 resultan en una pobre nodulación y producción de materia seca

Romero (2007), reporta rendimientos relativos de 100%,100%,42%,9%,2%, cuando los Ph de suelo fueron 7,5; 6,8; 5,7; 5,0; 4,7 respectivamente (tomándose como referencia el suelo con pH 7,5).

Como resultado de 14 ensayos de fertilización fosfatadas en pasturas de alfalfa en predios comerciales de Entre Ríos, Boschetti et al. (2007) observaron que el efecto pH no fue significativo mientras existieron limitaciones nutricionales en la planta por escasez de fósforo al levantar esta limitante encontraron máximos rendimientos alrededor de pH 7.

Soto et al. (2000) se refiere a que un pH por debajo de 5,6 actúa en detrimento de la producción de el alfalfar causado por los efectos que tiene sobre la nodulación la presencia de aluminio intercambiable y toxicidad del manganeso.

Yokota y Ojima (1995) observan una fuerte restricción de la elongación radicular en suelo con pH 5,0 o inferiores y niveles de aluminio mayores a 10mmol por metro cúbico de suelo.

2.4.8 Fertilización

En la zona centro-sur de Chile Soto et al. (2000) realizaron un ensayo donde se midió bajo distintos niveles de fertilización, la respuesta en producción de MS de alfalfa en suelos con la napa freática a tres profundidades diferentes, estas fueron en promedio 1,22m, 1,3m, y 1,5m.

La mayor producción de materia seca se dio en el nivel freático profundo (NFP), a su vez presento la menor respuesta relativa a la fertilización completa (N, P, K, S, Ca, Mg); entre los suelos de nivel freático intermedio y superficial (NFI y NFS respectivamente) no mostraron diferencias importantes en producción de MS, pero presentaron diferencias significativas con respecto a NFP en cuanto a que tuvieron mayor (en forma significativa) respuesta a la fertilización. La producción de MS se incrementó con fertilización completa, y los efectos en promedio en dos temporadas fueron de 31, 183, 177% para NFP, NFI y NFS, respectivamente.

Los autores concluyen que la menor respuesta a la fertilización a mayor profundidad de la napa freática, esta directamente relacionada con los resultados en profundidad y distribución del sistema radicular de las plantas de alfalfa. Lo que también afectara la producción de MS. En el caso de NFP lo describen como un enraizamiento que llega a 1,5 metros y con abundante desarrollo de raíces secundarias en los primeros 75 centímetros, en los tratamientos NFI y NFS la profundidad de exploración radicular fue 1,2 y 1,0 metros respectivamente.

2.5 FACTORES RADICALES RELACIONADOS A PROFUNDIDAD DEL SUELO Y EXPLORACIÓN RADICULAR

2.5.1 Extracción de agua por las raíces

Es conocida la capacidad de la alfalfa para resistir el déficit hídrico y que esta resistencia es atribuible a su profundo sistema radicular.

Estudiando el origen del agua extraída por la planta desde el perfil del suelo, Houston (1955) noto que el 46% de agua absorbida por la planta provenía de los primeros 30,5 cm del suelo, el 22% de los siguientes 30,5 y el 10% de cada uno de los terceros, cuartos y quintos 30,5 cm del suelo. Así como también concluyeron que estos porcentajes podrían ser variables según, condiciones climáticas, la profundidad y la cantidad de raíces dentro del perfil, la textura del suelo y probablemente otros factores.

Al respecto Janson et al. (1998) advierte que si bien en suelo sin restricciones para el desarrollo radicular estas pueden alcanzar hasta 6 metros de profundidad, la zona activa de las mismas se extiende tan solo a 2 metros. Dentro de esta zona activa, el 40% de la absorción de agua se realiza en los primeros 50 cm de profundidad, el 30% en los segundos 50 cm y el 20 y 10% restante de los terceros y cuartos 50 cm respectivamente.

En experimentos llevados a cabo por el mismo autor en el sur de California, bajo riego, se obtuvieron profundidades de arraigamiento que alcanzaron los 1,5 metros, se observo también que el 60% del agua absorbida fue extraída de los primeros 30 cm de profundidad.

Cohen y Strickiling (1968) encontraron en alfalfa de dos años sembradas en suelos francos, que no existía casi extracción de agua por debajo de los 70 cm del perfil. Los mismos supusieron que las raíces profundas no absorben y trasmiten el agua con la misma eficiencia de las raíces superficiales o la otra suposición que hicieron fue que la cantidad de raíces bajo esa profundidad no fue suficiente como para suministrar el agua necesaria para un buen crecimiento.

Peterschimdt et al. (1979) señala que cuando se mantiene húmedo el suelo, el porcentaje mas alto de las raíces se desarrolla cerca de la superficie, donde se dan las mejores condiciones gaseosas para la planta y rizobios.

2.5.2 Distribución radicular en el perfil

Stanberry (1955), encontró que el 83% de las raíces se encontraban en los primeros 91,44 cm del perfil en un suelo profundo, FrAr fino; la distribución porcentual de las raíces fue la siguiente: en los 0-30 cm el 52%, de 31-60 cm el 19% y de 61 a 90 cm el 12% de las raíces.

El mismo autor para el caso de suelos con características desfavorables en sus horizontes inferiores (densidad aparente 1,64 entre 45 y 60 cm) observó una acumulación de 75% de las raíces de un cultivo de alfalfa en los primeros 60,9 cm de profundidad del suelo.

Savova (1978), determinó en un cultivo de alfalfa de primer año, que del 88 al 92% de las raíces se localizan en los primeros 60 cm de profundidad del suelo, además considera que un cultivo bien desarrollado (2 o3 años de instalado) donde las raíces pueden llegar a 1,5 metros de profundidad la máxima actividad radicular se da en los primeros 30 cm. Mientras que las raíces más profundas son órganos fundamentalmente de sobre vivencia.

Graver (1922) sugirió que el enrraizamiento en la alfalfa depende del suelo, el clima, practicas culturales y afecciones sanitarias de la planta. Varios autores han reportado a partir de experimentos realizados, que en suelos arcillos mas compactos la planta tiende a formar un sistema radicular mas superficial y con un componente de raíces laterales importante; en contraste con los suelos arenoso mas porosos donde la hegemonía esta dada por la raíz pivotante(Johnson et al., 1998).

En igual sentido Cornish (1987) hace referencia a que en el momento que la raíz encuentra una obstrucción mecánica, el sistema radicular muestra una variación morfológica y fisiológica, en cuanto a la morfología, estos autores observaron un aumento en el crecimiento de raíces laterales y disminución de la tasa de extensión, cuando la planta detectaba un restricción en el crecimiento en profundidad.

Eck et al. (1977), en un ensayo de modificación de perfil, midieron penetración de las raíces hasta los 2,3 metros de profundidad para alfalfa de hasta seis años de edad, en un suelo con los 20 cm superiores moderadamente permeables, un horizonte B2t entre los 20 y 60 cm, de permeabilidad lenta y un B22t después de los 60 cm de menos permeabilidad que el anterior. Observaron que cuanto mayor era la profundidad a la que trabajaban el suelo, tanto mayor era la abundancia y el tamaño de las raíces.

2.6 ALFALFA CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE FORRAJE

La alfalfa es una planta herbácea de porte erecto y semierecto de hasta 1 metro de altura. Las hojas son trifoliadas, alternas y pecioladas, con foliolos verde oscuro y dentados en el tercio superior. Los tallos son erguidos y herbáceos, en la base de estos se encuentra una formación semi leñosa y perenne, la corona, en esta se originan los brotes de renuevo y, se ubica a nivel o ligeramente por debajo de la superficie del suelo (Maddaloni y Ferrari, 2001).

Posee un sistema radicular conformado por una raíz principal (pivotante), capaz de alcanzar varios metros de profundidad y raíces secundarias. Las flores (inflorescencias) son en racimos axilares simples, pedunculados. Flores azul violáceas, excepcionalmente blanquecinas de un centímetro de longitud. A su vez el fruto de estas flores es una vaina en espiral, castaño negruzco, dentro de este se encuentran semillas pequeñas y arriñonadas de color amarillo castaño, con un peso de las mil semillas de 2,2 gramos (Maddaloni y Ferrari, 2001).

La corona presenta ramificaciones estas presentan yemas en la parte periférica, estas yemas al desarrollarse pasan a ser los tallos de la corona o tallos primarios (Formoso, 2000).

2.6.1 Crecimiento

Se Pueden distinguir claramente 3 etapas de crecimiento en el cultivo de alfalfa

1) inicial
2) vegetativo
3) reproductivo

2.6.1.1 Crecimiento inicial

Periodo inmediatamente post siembra.

En esta etapa en numero máximo de brotes por planta aumenta con la edad y el máximo numero se da aproximadamente a los 14 días luego de comenzado el rebrote y terminada la maduración de la planta (Leach, 1969).

El rendimiento del crecimiento inicial depende primariamente del número de brotes. La reducción de agua del suelo reduce sustancialmente el número de brotes para el rebrote luego de la defoliación (Cohen et al. 1972, Perry y Larson 1974).

2.6.1.2 Crecimiento vegetativo

La máxima tasa lineal de crecimiento vegetativo varia entre 13 (Primavera) y 19 g/m2/dia (verano) manteniéndose aproximadamente 10-20 días hasta que comienza la floración provocando un descenso de crecimiento (Dovrat, 1997).

Se asocian también temperaturas altas con el desarrollo fonológico mas rápido, acortando los periodos de máximo crecimiento e intervalos de cosecha.

Investigaciones sobre tolerancia al calor Atribuyen este fenómeno a:

1) Aumento de la respiración con temperaturas altas que reducen el vigor (Mc Williams, 1970).

2) Disminución de la fijación de nitrógeno (Rogers, 1974).

4) Disminución de reservas de raíz y corona que retrasan el numero inicial de rebrotes y brotes luego de la defoliación (Robson, 1973).

2.6.1.3 Crecimiento reproductivo

Paralelamente con la floración hay una disminución de la capacidad de fotosíntesis de las hojas basales reflejado por el aumento de senescencia en estas y abscisión (Dovrat, 1997).

2.6.2 <u>Producción de materia seca</u>

La alfalfa parece pertenecer al grupo de plantas de capacidad fotosintética inferior a mayoría de los pastos tropicales. Este grupo de especies menos eficientes tienen en general menor absorción de CO_2, menores intensidades de saturación lumínica, fotorespiración mensurable, una alta (mayor a 30 ppm) concentración de compensación de CO_2 y una reducción de la fotosíntesis neta con altas concentraciones de O_2 (Brown et al., 1972).

La capacidad fotosintética de cada hoja juega un papel muy importante en la producción de materia seca (MS). El método práctico para aumentar la productividad del cultivo es la selección de estirpes de alta capacidad fotosintética e incorporar esta característica a los que no la poseen (Brown et al., 1972).

Pearce et al. (1969) demostraron que las hojas de alfalfa de distintos cultivares, diferían hasta en un 33% en cuanto a la capacidad fotosintética.

Integrando y cuantificando la absorción de CO_2 y el crecimiento del cultivo de alfalfa Thomas y Hill vieron que el promedio neto de absorción de CO_2 fue de 45,1 gr/m^2/día, y la respiración nocturna fue de 5,9 gr/m^2/día. La asimilación neta fue de 39,2 gr/m^2/día que equivale a un ritmo de crecimiento del cultivo de 24,3 gr de materia seca m^2/día.

Según Dovart (1997) la máxima tasa de crecimiento vegetativo varia entre 13 y 19 gr/m^2/día, primavera y verano respectivamente, manteniéndose 10 – 20 días hasta que comienza la floración provocando un descenso de este crecimiento.

Brown et al. (1972) afirman que el porcentaje de CO_2 asimilado que aparece como crecimiento en la parte aérea (producción de forraje) es variable. Estos autores

vieron que en el año de implantación de la alfalfa, el 59% del CO_2 asimilado se lo destinaba la planta como crecimiento de la parte superior, para el segundo año este fue de 84%.En este trabajo se concluyo sobre la prioridad de la planta en el primer año de desarrollar el sistema radicular.

A partir de una revisión realizada por Brown et al. (1972) concluyeron que el crecimiento de la parte aérea tiene prioridad en cuanto a la acumulación de fotosintatos al comienzo de la época de crecimiento, prioridad que va disminuyendo a medida que transcurre la estación.

Cornacchione (2003), señala que las altas temperaturas aumentan la actividad metabólica, aumentando en consecuencia la tasa de crecimiento y favoreciendo un mayor crecimiento de la parte aérea con respecto a las raíces; por el contrario con las bajas temperaturas de otoño e invierno se reduce dicha actividad metabólica, redundando esto en un menor crecimiento favoreciendo una mayor acumulación de reservas en las raíces.

2.6.3 Reservas para el rebrote

En este sentido Formoso (2000) hace referencia a variaciones cíclicas en las reservas (medidas como acumulación de carbohidratos y peso de raíz) de corto y largo plazo. Las primeras describen la evolución que siguen las reservas en el periodo comprendido entre dos cortes. Las variaciones de largo plazo hacen referencia a la evolución de los máximos contenidos de sustancia de reservas que pueden llegar a ser almacenadas en cada una de ls estaciones del año.

En concordancia con Cornacchione (2003) este autor afirma que los menores valores máximos de reservas se registran en las estaciones mas propicias para el crecimiento, siendo en nuestro país la primavera.

Dichas reservas son compuestos de carbono, principalmente azucares y almidones denominados carbohidratos de reserva, ya que son elaborados, acumulados y usados por la planta para su mantenimiento y desarrollo futuro de la parte aérea y radical (Romero, 2007).

El nivel de carbohidratos disminuye durante el rebrote vegetativo temprano y corte, aumentando cuando el aérea foliar es suficiente para fotosintetizar permitiendo crecer la planta y acumular carbohidratos. El corte frecuente puede dar por resultado bajas reservas de carbohidratos, disminución de densidad poblacional con la consiguiente perdida de rendimiento. Por consiguiente el nivel de carbohidratos a nivel de raíz y corona puede ser usado como indicador de la frecuencia a la que se deben hacerse los cortes (Sheaffer et al., 1988).

Sin embargo Versteeg (1985), en el sur de Perú encontró que los tratamientos con diferentes frecuencias en los cortes, tenían pobre efecto sobre las reservas en raíz, aunque estas están implicadas en el rebrote vegetativo. Concluyo el autor que las reservas (carbohidratos no estructurales) no eran un parámetro adecuado para evaluar el potencial de rebrote luego del corte.

Las plantas que presenta rebrotes mayores a 20 cm ya formaron suficiente cantidad de hojas y la energía fijada por fotosíntesis, supera lo que las plantas requieren para continuar creciendo (Formoso, 2000).

En crecimiento vegetativo de la alfalfa (otoño, invierno y primer tercio de la primavera) llegados los 35-45 cm según los ambientes, las plantas se encuentran en el nivel máximo de reservas y peso de raíz.. En estos momentos se puede apreciar en la parte inferior de los tallos, en los nudos inferiores marchitamiento y caída de las hojas; este proceso se acelera al transcurrir el tiempo y redunda en perdida de calidad en el forraje. Concomitantemente con esta perdida de hojas, en las base de la corona comienzan a crecer nuevos tallos (Fromoso, 2000).

Sin embargo si se toma en cuenta solo el vigor del cultivo y su capacidad de producción futura el mismo autor reconoce al estado comprendido entre 50-100% como el mejor momento de corte, pero esto corre encontra de la calidad de forraje y la potencial producción animal por Kilo de materia seca. En cortes en este momento también generaría la máxima velocidad de rebrote.

Experimentos realizados en California central y sur (Maerble 1974,1980, 1989, Hagenann et al. 1989) demostraron que el corte de alfalfa en estado vegetativo y comienzo de floración reduce el rendimiento en MS comparado con el corte entre 25-75% de floración.

2.6.4 Rebrote luego del corte

Brown et al. (1972) reportan que durante los primeros 14 días de rebrote luego del corte el estrés por agua causaba una disminución significativa en el número de brotes. Esto concuerda con lo publicado por Hodgkinson (1973), Rains et al. (1981) donde reportan el escaso crecimiento en los primeros 7 días luego de la cosecha.

La proporción de tallos originados en la corona o en las yemas asilares varia según la época del año y por la frecuencia e intensidad del pastoreo. En pastoreos demasiados frecuentes Formoso (2000), afirma que adquiere mayor importancia el rebrote axilar en relación a los brotes generados desde la corona.

Al respecto Leach (1970), Singh et al. (1997) concluyeron que el rebrote después de un corte, en su mayoría provenía de tallos originados desde las yemas axilares de los

tallos remanentes del pastoreo, por lo que la remoción de los mismos causa un alargamiento de las yemas de corona, demora el rebrote y reduce el número de tallos por planta.

Romero et al. (1995) asevera que el número de tallos axilares después del corte es superior que los de la corona, pero a media que avanza la madurez mucho de estos mueren, a diferencia de los tallos generados en la yemas de la corona que aumentan con la madurez y hacen un aporte mas productivo que los tallos axilares.

La capacidad de crecimiento y velocidad de rebrote (determinantes de la producción de MS) están directamente influenciados por el nivel de reservas y peso de las raíces. Pastoreos continuos en alfalfa bajan los dos parámetros (Formoso, 2000).El mismo autor hace referencia a que si este proceso se agrava comienza una muerte de yemas presentando el alfalfar plantas con menos tallos y mas susceptibles a enfermedades.

Cornacchione (2003), establece que en las alfalfas implantadas el crecimiento se inicia a partir de las yemas ubicadas en la corona y en crecimientos posteriores se suma el crecimiento de los tallos provenientes de las yemas axilares ubicadas en tallos remanentes.

Al avanzar el crecimiento de la planta disminuye la proporción de hojas (en peso relativo) y aumenta la proporción de tallos. Las hojas constituyen la parte que sufre menos la perdida de calidad con el avance de la madurez, y es la parte de mayor calidad alimenticia de la planta (mayor nivel de proteína, minerales, y vitaminas que los tallos).La relación hoja / tallo varia entre estaciones y por supuesto en el periodo entre dos cortes (Cornacchione, 2003).

2.6.5 Manejo

La alfalfa es una leguminosa que anatómica, morfológica y fisiológicamente esta adaptada a pastoreos rotativos, poco frecuentes y de corta duración. Para maximizar la producción de forraje 3 aspectos son fundamentales en la toma de decisiones:

a) frecuencia de defoliación
b) intensidad de defoliación
c) duración

a) La alfalfa presenta como atributo notable la característica de indicar claramente cuando su condición fisiológica se ha restablecido del pastoreo o corte previo y por lo tanto se encuentra en condiciones de ser pastoreada o cortada nuevamente. Uno de los indicadores son los nuevos tallos que emergen de la corona.

Una vez cortada o pastoreada la pastura, se inicia el proceso de refoliación a partir de la reserva de carbohidratos.

b) En términos generales se considera una altura de rastrojo adecuada desde el punto de vista del rendimiento y persistencia, aquella que deja un remanente post pastoreo 5 cm. La característica de presentar las yemas de la corona localizadas en su mayoría inmediatamente por debajo de la superficie del suelo, o sea fuera del horizonte de pastoreo, permite altas inte

c) nsidades de pastoreo en cultivos vigorosos.

d) En cuanto a este punto primeramente se debe ajustar la carga animal de tal forma que el forraje producido sea consumido antes que comience el rebrote basal.

Con formato: Numeración y viñetas

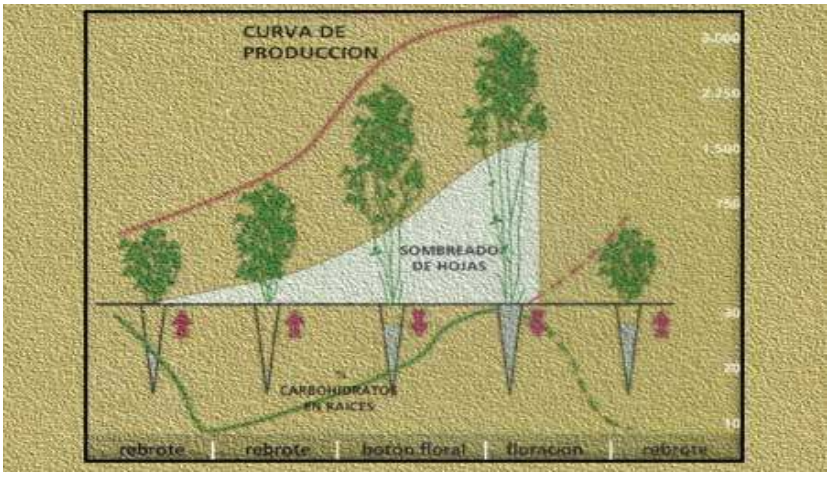


Figura No. 1. Evolución de los niveles de carbohidratos de reserva en la raíz de alfalfa (Cornacchione, 2003).

La duración del pastoreo depende de la tasa de crecimiento basal de cada cultivo. Esta seria tanto mayor cuanto mas vigoroso se el cultivo y cuanto mas propicias sean para el crecimiento las condiciones climáticas (Formoso, 1997).

2.6.6 Relación entre población de plantas y malezas

A medida que el número de plantas por hectárea aumenta, el tamaño y rendimiento de cada planta disminuye y por lo tanto no se incrementa el rendimiento. La relación

entre el número de plantas y el rendimiento de una curva que se hace asintótica desde 20 a 30 plantas por metro cuadrado.

Cuando el stand crece las plantas mayores matan a las menores y los stands de alfalfa tienden a terminar con el mismo número de plantas de alfalfa aunque se haya sembrado a grandes poblaciones. Stands de entre 1000 y 2500 plantas por hectárea terminan llegando a rangos de 500 a 750 mil plantas en 74 días. Aumentos en el número de plantas por encima de 300 mil por hectárea generan un pequeño aumento en el rendimiento si se las maneja bien y se mantienen sanas (Palmer et al., 1990).

En ensayos realizados por Palmer et al. (1990) después del establecimiento, las tasas de muerte de la alfalfa fueron dependientes de la densidad del cultivo. A menores tasa de siembra no cambio sustancialmente la población después de seis años lo que si ocurrió a densidades de siembras mayores.

Un factor que va en detrimento de la producción es la presencia de malezas en el cultivo. La alfalfa se resiente cuando las malezas interfieren en el pasaje directo de la luz que llega a las coronas (Lauder, 1978) y reducen así la productividad del cultivo, (hecho que puede concluirse a partir del trabajo realizado por Hunt et al., 1965).

Según Palmer et al. (1990) el balance natural alfalfa-malezas, comienza con una elevada proporción de alfalfa y es seguida por la dominancia de anuales estivales hasta otoño después de la siembra. Durante la última parte del otoño.

A medida que el cultivo avanza en edad el número de plantas de alfalfa disminuye y comienzan a aparecer los espacios vacíos. Estos se llenan en verano con el follaje del cultivo, pero también hay espacio para malezas anuales estivales. Finalmente los espacios se hacen lo suficiente grandes para permitir el ingreso de malezas estivales y gramíneas perennes.

El ingreso de malezas es favorecido por factores tales como excesos de agua en el suelo, tasas de fertilización inadecuadas, intervalos demasiado reducidos ínter cortes o enfermedades del cultivo.

Las plantas de alfalfa crecen lentamente y no compiten fuertemente con malezas ni cultivos protectores, sin embargo varias experiencias han demostrado que ni malezas ni cultivos protectores matan la alfalfa y que una vez retirados estos, la alfalfa crece hasta su pleno desarrollo en el primer verano después de la siembra y produce tanto como si hubiese crecido sin competencia (Palmer et al., 1990).

El contenido de malezas se correlaciona negativamente tanto con el rendimiento, la vida productiva del cultivo así como con la calidad del mismo (Cords, 1973).

En cuanto a la incidencia del factor agua sobre la densidad del cultivo y su relación con la presencia de malezas, hay experimentos realizados por Palmer et al. (1990). Estos remarcan que las mayores perdidas relativas por poblaciones de malezas se dio en primavera y fue relativamente pequeña en verano. Esto sugiere que en medios más secos, donde la disponibilidad de agua es determinante de los rendimientos, poblaciones mas abiertas pueden ser lo suficientemente densas para la población máxima permitida por las condiciones (30 plantas por metro cuadrado).

Si se considera el otro extremo de disponibilidad de agua, se observa que determinados niveles desfavorecen el cultivo por facilitar la invasión de malezas. Stephen (1964) encontró que en áreas donde las precipitaciones superaron los 650 mm los cultivos de alfalfa parecen sustancialmente susceptibles a la invasión de gramíneas como Poa annua y otros.

Russel et al. (1971) midieron contenido de malezas de alfalfa en suelos pobremente drenados y obtuvieron un 40% mientras que en suelos moderadamente y bien drenados fue despreciable.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo está localizado en la Unidad Experimental "Glencoe" del INIA Tacuarembó Uruguay, ubicada a 32° 01´ 337 latitud sur y 57° 16 ´138 longitud oeste, en el área perteneciente a la unidad de riego.

El sitio experimental se encuentra sobre suelos que forman parte de la unidad Queguay Chico (escala 1: 1.000.000, URUGUAY. MAP, 1976). El cual tiene como suelo dominante Litosoles y asociados a estos Vertisoles asociados.

3.1 SUELO

En los suelos donde fue desarrollado el ensayo existe una variación gradual en la profundidad, presentando un impedimento físico que limita el desarrollo radicular por la presencia de un contacto lítico. El arraigamiento está limitado por la profundidad del suelo y únicamente la presencia de grietas o diaclasas en la roca permite la penetración de las raíces a mayor profundidad (Pérez Gomar et al., 2007).

La distribución de la profundidad es como se ve en la Figura No. 2 la cual muestra la asociación de los Vertisoles con los Litosoles.

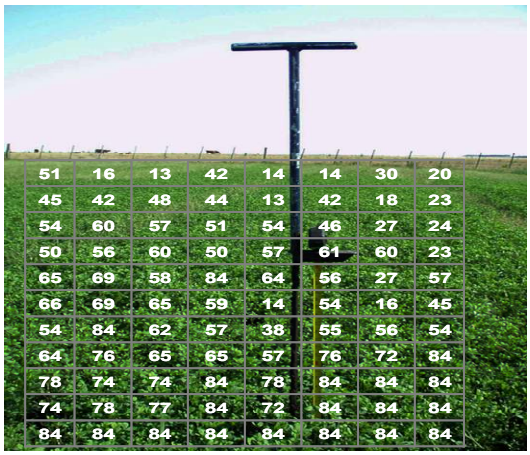


Figura No. 2: Profundidad del suelo en la cuadricula realizada a 5 m de distancia, entre puntos, los números en blanco indican la profundidad en cada punto.

La topografía del terreno presenta una pendiente del 1 % ubicándose los suelos superficiales en las partes más elevadas y los profundos en las más bajas.

Se realizó una caracterización química de la composición de los suelos del área experimental. Para ello, se extrajeron 3 muestras de suelo por tipo de suelo. Las muestras analizadas fueron extraídas de los primeros 20 cm con un calador, luego etiquetados y enviados al Laboratorio de Análisis de Suelos, de INIA La Estanzuela. En el Cuadro No. 1 se pueden observar los valores promedio encontrados para las distintas situaciones estudiadas.

Cuadro No. 1 Caracterización química de los suelos

	PH (H2O)	**C. Org** (%)	**Cítrico** (mg P/Kg)	**Ca** (meq/100g)
Superficial	5,7	4,33	28,3	20,7
Medio	5,8	4	23,3	21,7
Profundo	5,9	4	30,1	25,6

3.2 CLIMA

El cuadro No. 2 muestra los registros pluviométricos de los meses estivales (diciembre, enero y febrero) del año en que se realizó el experimento (2006-2007) y de una serie histórica (1986-2007). Registrado por la estación meteorológica de la unidad experimental "Glencoe".

Cuadro No. 2 Precipitaciones (mm) medias de una serie histórica y de los meses en estudio

	Diciembre	Enero	Febrero
Pp media	98	107	117
Pp estivales (2006-2007)	162	151	232

El promedio medio anual de precipitaciones histórico para la región norte del país es de 1300 mm, (Caorsi, 1978)

La precipitación media de una serie años (1971-2006) para los meses estivales calculada por la estación meteorológica de la unidad experimental "Glencoe" es del orden de los 355.8 mm.

Como se puede observar en el cuadro 2 el año en el que se llevo a cabo el ensayo ocurrieron abundantes y copiosas precipitaciones superando ampliamente la media nacional estacional.

3.3 MANEJO DEL CULTIVO

La alfalfa cv. Cisco fue sembrada el 7 de setiembre de 2006 en siembra directa sobre un rastrojo de sorgo. Para la siembra se utilizó una sembradora John Deere de 12 líneas a una distancia de 17 cm entre hileras. La semilla fue inoculada, sembrada con una densidad de 25 Kg/ha y 1.5 cm de profundidad de. Conjuntamente con la siembra se fertilizó con 36 unidades de nitrógeno y 92 unidades de fósforo.

El momento óptimo de corte fue cuando comienza el rebrote de la base de la corona o en floración temprana (alrededor de 10% de floración) de modo de favorecer la utilización de las reservas de las plantas (Formoso, 2000, ver figura No. 1). Los cortes se realizaron con una segadora de tambores el 29 de enero y 7 de marzo, dejando un remanente de aproximadamente 5 centímetros.

Se realizaron dos aplicaciones de Clorpirifos (Organofosforado) para evitar daños de *Epicauta adspersa y Colias lesbia.*

3.4 MANEJO DEL RIEGO

Dado las copiosas precipitaciones del periodo (cuadro 2) Se realizaron 2 riegos sin uniformidad en el tiempo, con el objetivo de mantener sin déficit hídrico al cultivo. Este fue regado mediante un aspersor con alcance de 24mts de radio el cual genero un gradiente de precipitación que fue captado mediante recipientes ubicados en la grilla de profundidad de suelo previamente realizada. Las precipitaciones de dicho periodo fueron medidas en un pluviómetro ubicado sobre el campo experimental.

3.5 DETERMINACIONES REALIZADAS

Se realizaron determinaciones de la producción de materia seca en cada punto de la grilla; se midió el contenido de agua en el suelo y se efectuaron mediciones con el objetivo de caracterizar y medir el efecto de la profundidad del suelo en el desarrollo de la planta de alfalfa.

La producción de forraje se evaluó mediante dos cortes correspondiéndose al crecimiento de los meses de diciembre, enero, febrero y primeros días de marzo. Dichos cortes fueron realizados en un área de 1 m2 teniendo como centro del cuadrado los puntos de la cuadrícula. Con dichas muestras se realizo un análisis botánico separando alfalfa y malezas. Con esto se estimó la producción de forraje total y la de alfalfa en base fresca y en base seca de cada punto de la grilla.

3.5.1 Agua en el suelo

Durante el desarrollo del cultivo se midió la evolución de la humedad en el perfil. Para esto se midió con un TDR en los primeros 20cm y por el método gravimétrico, siendo ésta muestreada con un taladro holandés en las profundidades de 0-20, 20-40 y de 40 en adelante hasta que permitiera la profundidad del suelo. Las muestras se pesaban en fresco (PF), se secaron en estufa a 105 ^{o}C y eran nuevamente pesadas (PS).

Humedad gravimétrica (%) = (PF-PS)/PS * 100

Ambas mediciones fueron realizadas en paralelo semanalmente durante el periodo estudiado con el fin de ver la evolución del agua en el suelo.

3.5.2 Estudio de planta

Para los tres tipos de suelo en estudio (superficial, medio y profundo) se sacaron plantas, las cuales fueron tomadas al azar. Se midió con un calibre electrónico el diámetro de las mismas a intervalos de 2.5 cm de profundidad hasta los 12.5 cm. A estas mismas plantas se les contabilizó el número de tallos por corona. Esto se realizó para cada una de las situaciones.

Con el objetivo de estimar la densidad y distribución de arraigamiento en el perfil del suelo se realizaron calicatas de 100 por 50 cm con una profundidad que variaba según el suelo. De cada calicata se tomaron cinco muestras estratificadas en todo el perfil. Los estratos fueron de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40; 40-50. A partir de estas sub muestras por el método gravimétrico se estimo la humedad de cada estrato y la materia seca con lo restante de la muestra se procedió al tamizado de esta para separar la fracción sólida del suelo de las raíces, para esto se utilizaron distintos tamices. Con las raíces extraídas se estimó la materia seca de estas, las cuales se mantuvieron durante 48hs en la estufa a 60 ^{o}C, luego de retiradas fueron pesadas en una balanza de precisión.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Fue un diseño completamente al azar donde cada tipo de suelo fue un tratamiento y los puntos de la cuadricula una repetición del tratamiento correspondiente, según la profundidad.

El ensayo se realizó sobre una parcela de 80 por 30 metros donde se llevó a cabo un relevamiento de campo, así como también de profundidad de suelo mediante un asta de acero de 85 cm de largo, conformando así una grilla de puntos distanciados entre si a 5 m (Ver figura No. 2). Con esto se logró corresponder cada punto de la grilla con una

de las tres situaciones predeterminadas, estas son: superficial (hasta 20 cm), medio (hasta 60cm) y profundo (mas de 60cm). Con esto se delimitaron tres bloques de los cuales fueron obtenidos los resultados.

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SAS, utilizando para los análisis de varianza y de regresión lineal los procedimientos Proc Glm y Proc Reg (SAS Institute, 2002).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVOLUCIÓN DE AGUA EN EL SUELO

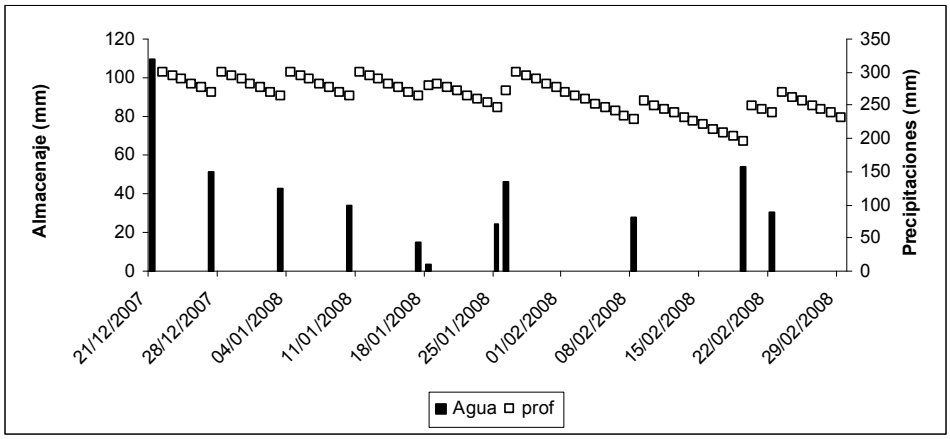
El día 21 de diciembre de 2006 se registró una precipitación de 105 mm los cuales aseguraron la recarga del suelo a capacidad de campo (Grafica 1). Durante todo el mes de enero ocurrieron lluvias del orden de 40 a 60 mm, distribuidas semanalmente, realizándose por lo tanto un solo riego para el período en estudio. El total de precipitaciones en el período comprendido entre el 21 de diciembre de 2006 al 31 de enero de 2007 fue de 335 mm. Es de destacar que este nivel de precipitaciones permite definir a este período como lluvioso, si se tiene en cuenta que el promedio de lluvias para el mes de enero en la región del experimento es de 121 mm (Bologna, 1996).

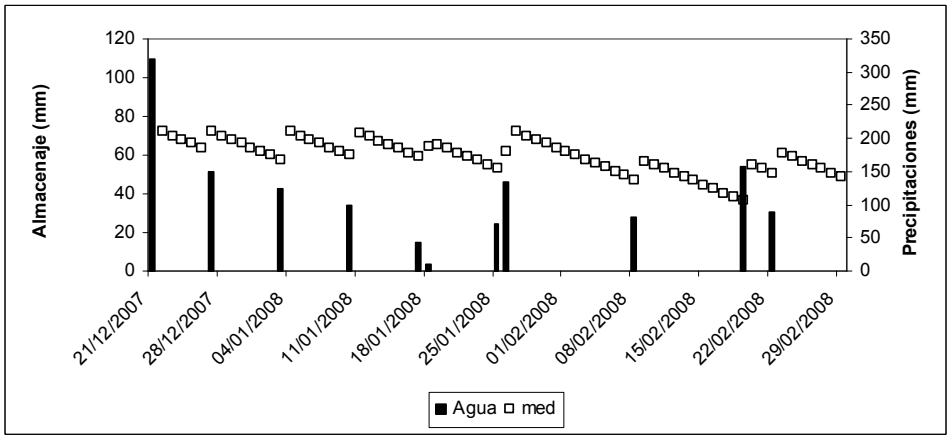
La capacidad de almacenaje de agua estuvo directamente relacionada al espesor del perfil del suelo, esto esta de acuerdo con lo reportado por García (1980) quien afirma que esta varia principalmente por la textura, la estructura y materia orgánica en un volumen de suelo determinado.

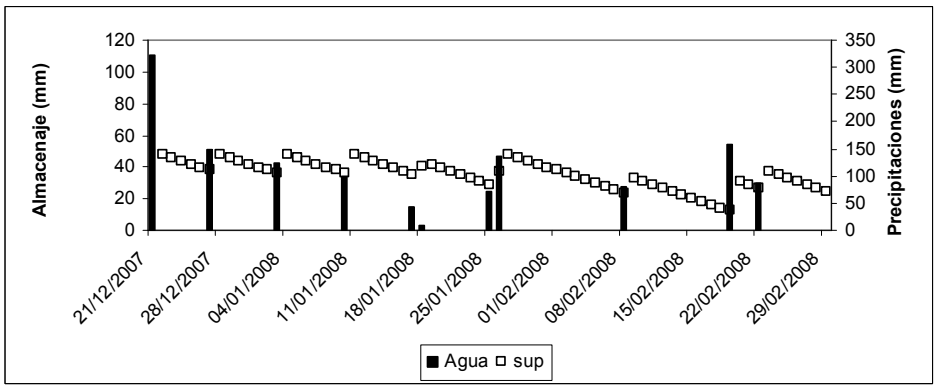
Vemos entonces para los tres tipos de suelos que un mismo nivel de evapotranspiración (ETP) representa distintos niveles de utilización del agua disponible en el suelo, para cada uno de los tipos de suelo, el descenso del contenido de agua llegó a significar en promedio un 16 % del contenido de agua total en el suelo profundo, mientras que en el suelo superficial dicho descenso fue del 33% y en el suelo de profundidad media fue de 23 %.

Analizando los excesos hídricos ocurridos en el periodo estudiado, se nota que ocurrieron en el suelo superficial y medio, y no en el suelo mas profundo, esto debido a la capacidad de almacenar agua que les da el espesor del perfil.

Figura No. 3 Evolución del contenido de agua para los tres suelos (profundo, medio y superficial).


Almacenaje (mm)
Precipitaciones (mm)
120
100
80
60
40
20
0
350
300
250
200
150
100
50
0
21/12/2007
28/12/2007
04/01/2008
11/01/2008
18/01/2008
25/01/2008
01/02/2008
08/02/2008
15/02/2008
22/02/2008
29/02/2008
Agua
prof


Almacenaje (mm)
Precipitaciones (mm)
120
100
80
60
40
20
0
350
300
250
200
150
100
50
0
21/12/2007
28/12/2007
04/01/2008
11/01/2008
18/01/2008
25/01/2008
01/02/2008
08/02/2008
15/02/2008
22/02/2008
29/02/2008
Agua
med


Almacenaje (mm)
Precipitaciones (mm)
120
100
80
60
40
20
0
350
300
250
200
150
100
50
0
21/12/2007
28/12/2007
04/01/2008
11/01/2008
18/01/2008
25/01/2008
01/02/2008
08/02/2008
15/02/2008
22/02/2008
29/02/2008
Agua
sup

4.2 DESARROLLO ANATÓMICO DE LA PLANTA DE ALFALFA

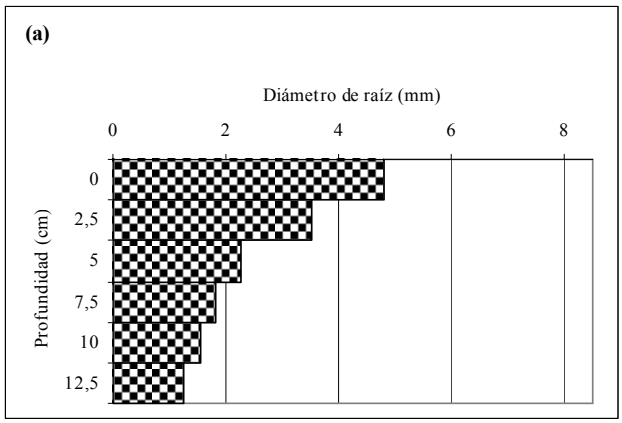
4.2.1 Diámetro de raíz y corona

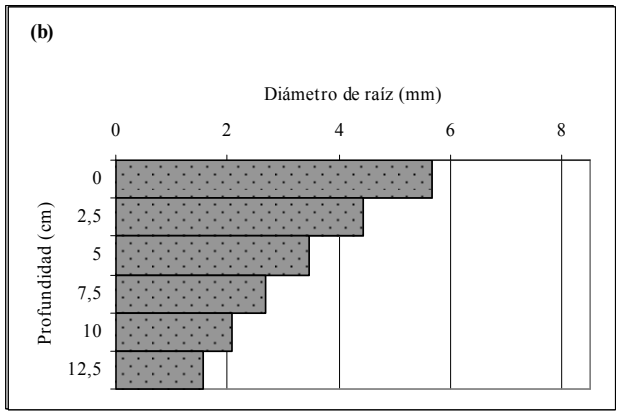
Se espera a priori para este parámetro que a estratos de profundidad mayores disminuya el diámetro para cualquiera de los tres tipos de suelo; también que comparando una profundidad determinada tenga un mayor crecimiento las raíces pertenecientes al suelo profundo que al tipo superficial.

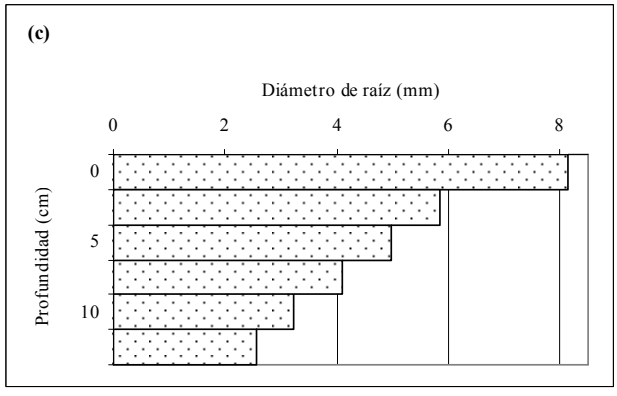
El diámetro de raíz y corona como indicador del desarrollo radicular, toma relevancia como parámetro estimador del nivel de reservas de la planta de alfalfa, jugando este un papel fundamental en la producción de forraje y la persistencia del cultivo. Por lo que es pertinente la medición de diámetro de corona y raíz, la cual es presentada en las figuras siguientes.

Se ve que el perfil de distribución de las raíces en el suelo según diámetro, presenta un patrón similar para los distintos suelos, la diferencia se encuentra en el valor que adquiere el diámetro en cada estrato para cada tipo de suelo. Viéndose claramente el mayor desarrollo para cada uno de los estratos a medida que pasamos del suelo superficial al medio y de este al profundo.

Figura No. 4 Diámetro de raíz según profundidad del suelo para cada perfil.
(a) Suelo superficial, (b) Suelo medio y (c) Suelo profundo


(a)
Diámetro de raíz (mm)
0
2
4
6
8
Profundidad (cm)
0
2,5
5
7,5
10
12,5


(b)
Diámetro de raíz (mm)
0
2
4
6
8
Profundidad (cm)
0
2,5
5
7,5
10
12,5


(c)
Diámetro de raíz (mm)
0
2
4
6
8
Profundidad (cm)
0
5
10

En el cuadro 2 vemos los niveles de significancia estadística para el diámetro de raíz y corona para distintas profundidades entre los distintos tipos de suelo. Entonces al comparar el desarrollo radicular del suelo profundo con respecto a los suelos superficial y medio, se encuentran diferencias significativas ($P<0.05$) en todos los estratos estudiados.

Cuando se comparan las raíces desarrolladas en suelos superficiales y medios, las diferencias fueron encontradas solo en las profundidades de 5 y 7.5 cm en términos estadísticos, si bien se ve una tendencia al mayor desarrollo en los suelos medios para el resto de las profundidades a excepción de 12,5 cm.

Cuadro No.3. Significancia estadística en el diámetro de raíz (Ø) a diferentes profundidades (Prof) del suelo, entre diferentes tipos de suelo.

Variables	Superficial Vs Medio	Superficial vs Profundo	Profundo Vs Medio
Ø a Prof 0 (cm)	0,1788ns	**	**
Ø a Prof 2.5 (cm)	0,0648ns	**	**
Ø a Prof 5 (cm)	0,0189*	**	**
Ø a Prof 7.5 (cm)	0,0461*	**	**
Ø a Prof 10 (cm)	0,1746ns	**	**
Ø a Prof 12.5 (cm)	0,379ns	**	**

Los resultados obtenidos en cuanto a diámetro de raíz concuerdan con la información presentada por Cornish (1987), afirman que ante una restricción mecánica al desarrollo radicular en profundidad, las plantas generan variaciones morfológicas tendientes a compensar esa limitante en exploración radicular, esta modificación es un mayor desarrollo de las raíces laterales en detrimento del crecimiento de una raíz principal.

Teniendo en cuenta que el estudio se realizo sobre la raíz pivotante de la planta, y de acuerdo a lo anterior el desarrollo de esta pudo estar limitado en el caso del suelo superficial y de menor manera en el medio, por un contacto lítico relativamente superficial con respecto al profundo. Siendo factible esperar que esto sea compensado mediante un mayor crecimiento lateral del sistema radicular de las plantas, lo que será posteriormente comprobado al analizar el peso del sistema radicular por unidad de suelo para los tipos superficial y medio.

Una explicación que puede ser valida para entender la ausencia de diferencias significativas entre los suelos superficial y medio en relación a las encontradas entre estos dos en comparación con el suelo profundo, para los diámetros medidos, puede radicar en la menor diferencia entre el rango de profundidades que abarca el tipo de suelo superficial y medio en comparación al rango de profundidad que abarca el suelo profundo.

La diferencia del diámetro en profundidad entre los distintos suelos puede ser explicada por una mayor capacidad de exploración radicular en suelos profundos, lo que esta condicionando la absorción de nutrientes por parte de cada planta. Un menor crecimiento de la parte aérea en los suelos superficiales conlleva a un menor nivel de foto-asimilados que podrán ser reservados en la raíz y corona de la planta determinando una raíz y corona de menor diámetro.

Esta de acuerdo a los conceptos sostenidos por Romero et al. (1995), quienes remarcan que la parte aérea de la planta sintetiza los componentes necesarios para el desarrollo radicular y vegetativo, estos componentes al desarrollarse el aérea foliar nuevamente, se acumulan en raíces, y coronas, en menor medida. También señalan que los periodos de almacenamiento y utilización de los carbohidratos son cíclicos.

Según Formoso (2000), la ausencia de competencia de malezas en el cultivo de alfalfa en el primer año, le permite a este un mayor desarrollo de la raíz y corona. Esto puede ser otro motivo determinante en los resultados, ya que como se presentara posteriormente existió una correlación elevada entre el nivel de enmalezamiento y la profundidad del suelo como se puede ver en el cuadro N^{o} 2.

4.2.2 Peso radicular

En el cuadro Numero 3 se presentan los resultados de la medición del peso de raíces en profundidad para cada tipo de suelo.

Cuadro No. 4 Peso de raíces según estrato de profundidad (gr raíz/Kg de suelo) y nivel de sigificancia estadística

Estrato	Profundo	Medio	Superficial
05	29,80 a	29,37 a	35,74 a
5a10	13,30 a	12,54 a	7,88 a
10a15	11,32 a	9,35 a	9,00 a
15a20	6,41 b a	6,33 a	1,68 a
20a30	2,44 a	3,90 a	-
30a40	2,14 a	3,09 a	-

a,b,c Medias con distinta letra en una misma columna son diferentes con p< 0,05

A partir del análisis estadístico realizado, no se encontró efecto significativo del tipo del suelo sobre el peso radicular a una misma profundidad, y si como se ve en el cuadro anterior, existió efecto del estrato o profundidad que se este observando dentro de un mismo suelo, si bien no se encontraron diferencias significativas entre todos los estratos de cada tipo de suelo a un mismo nivel.

Para los tres tipos de suelo se da que en los primeros 5 cm se encuentran una gran proporción del total en peso, del sistema radicular de las plantas en las profundidades analizadas, aproximadamente el 45% para los suelos profundos y medios y mas del 65% en el caso de los superficiales.

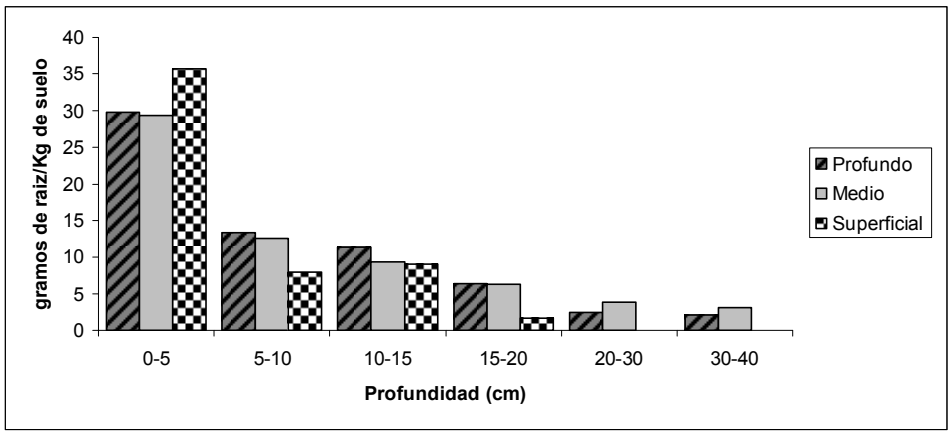
Saova (1978), reporta que en el primer año de vida de un cultivo de alfalfa, del 88 al 92% de las raíces se forman en los primeros 60 centímetros de profundidad en un suelo. Esto obviamente no es comparable con los datos obtenidos en los suelos de tipo superficial y medio, debido a que ni si quiera alcanzan una profundidad de 60 cm. En el caso del suelo profundo se ajusta de manera muy similar a lo presentado por Sanova, en este trabajo y para este suelo se vio que un 95% de las raíces se acumulan en los primeros 60 cm de profundidad.

Los datos obtenidos son también concordantes con lo señalado por Johnson et al. (1998) quien afirma la existencia de una tendencia al crecimiento radicular en superficie en suelos arcillos, en contraste al crecimiento en profundidad que se da en los arenosos. Lo señalado por Johnson et al. (1998) junto a lo antes mencionado por Savova pueden explicar en gran parte la acumulación en los primeros centímetros de profundidad la mayor parte de las raíces, como se encontró en este ensayo.

De acuerdo a descripción realizada a partir de ensayos llevados a cabo por la empresa Estero en esta variedad, se a descrito la misma como una variedad con un sistema radicular ramificado en superficie, adaptada a suelos no muy profundos o con drenaje imperfecto; en esta descripción se menciona la mayor actividad que puede lograr gracias a su desarrollo radicular mas superficial que escapa de la zona de mayor saturación en los caso de excesos hídricos y menor concentración de oxigeno.

Lo anterior se adecua a lo obtenido en este ensayo y presentado en la siguiente grafica que intenta mostrar gráficamente la concentración en peso del sistema radicular en los primeros centímetros de suelo.

Figura No. 5 Concentración del sistema radicular en los primeros 40 cm del perfil.



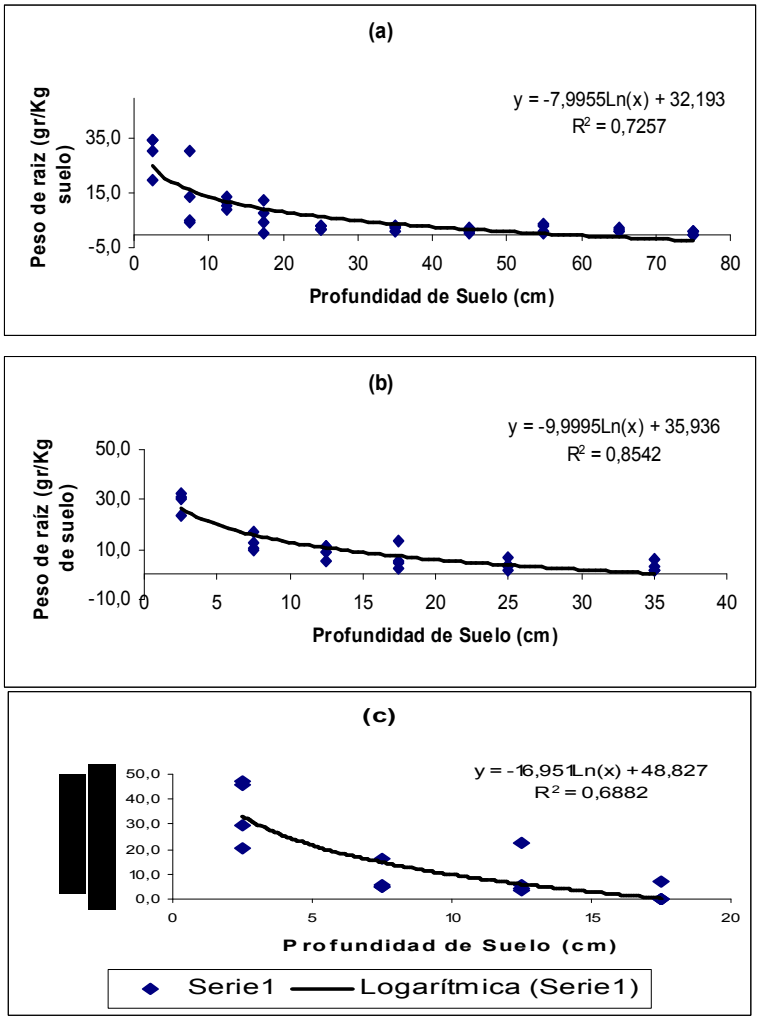
Como ya se menciono anteriormente no existen diferencias significativas en peso de raíz para un mismo estrato en los distintos tipos de suelo, se nota que el suelo medio y profundo siguen un patrón similar de distribución en las profundidades estudiadas y este esta definido por estos dos suelos; para el tipo superficial no esta bien definido el patrón de distribución y se ve una tendencia a acumular una mayor porción de raíces que los otros tipos de suelo en los primeros 5 centímetros.

Con los datos de la masa radicular se puede aceptar la posibilidad citada por Cornish (1987) mencionada en párrafos anteriores el cual señala la existencia de una suerte de crecimiento compensatorio de raíces laterales, cuando la raíz pivotante o principal se enfrenta a una restricción mecánica para el crecimiento en profundidad.

Esta teoría podría no ser valida para el caso de este ensayo ya que la masa del sistema radicular no es significativamente superior en los primeros centímetros para el tipo de suelo superficial como seria dable esperar a partir de lo reportado por Russell (1976).

Las siguientes figuras ilustran la evolución de la cantidad de peso radicular a través del perfil para cada tipo de suelo.

Figura No.6 Curva de peso radicular según profundidad del perfil, para cada tipo de suelo, (gramos de raíz/Kg. de suelo). Profundo(a), Medio (b), Superficial(c).



Para hacer un análisis más ajustado de los resultados se normalizo la variable para obtener un mejor ajuste del modelo a lo realmente representado, la función que se adecuo de mejor manera para estos datos fue la función Logarítmica.

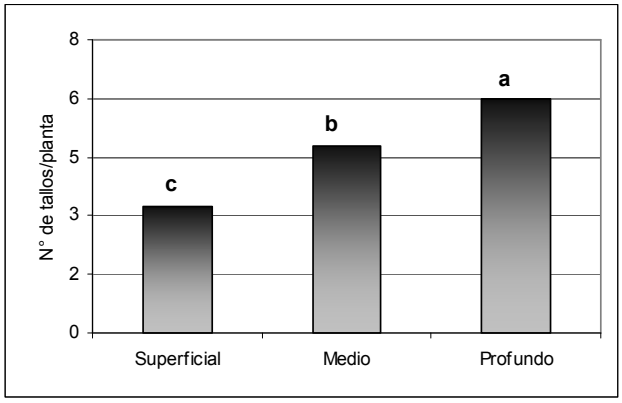
Como se menciono en el párrafo anterior para los tres tipos de suelo se ajusto el mismo tipo de función, pero en cambio la pendiente fue distinta en cada caso, existiendo una clara tendencia a aumentar la pendiente a medida que pasamos desde el suelo profundo la de tipo superficial. En términos prácticos se traduce en la disminución más

acentuada de la masa radicular para el suelo superficial en comparación con el medio y más aun con el suelo de tipo profundo.

Por cada centímetro que avanzamos en profundidad, se disminuye 8; 10 y 17 gramos de raíz por kilogramo de suelo, para el suelo profundo, medio y superficial respectivamente, en el rango de profundidades estudiado. También es destacable que el grado de ajuste del modelo para los tres tipos de suelo en estudio fue alto como se ve en las leyendas de las figuras precedentes.

4.2.3 Número de tallos

Figura No. 7 Número de tallos según tipo de suelo



Como se ve en la figura anterior existieron diferencias significativas entre los tipos de suelo para la variable número de tallos. Estos resultados se pueden asociar con el tamaño de la corona para cada uno de los tipos de suelo, lo que fue analizado previamente. Ahí se vio que existían diferencias significativas entre los suelos superficial y medio en comparación con el profundo(a favor de este ultimo), y si bien estadísticamente no fueron diferentes los suelos medios en comparación a los superficiales, existió una tendencia a favor del primero como ya se menciono anteriormente.

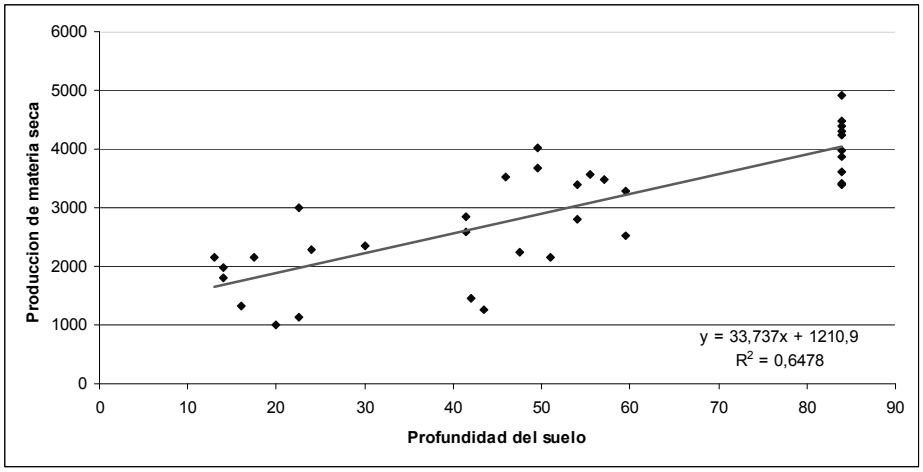
Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se podría señalar que existe una relación positiva entre el tamaño de corona y el número de tallos para los datos obtenidos en este ensayo. Esto esta en plena concordancia con el concepto señalado por Formoso (2000), quien afirma que el obtener el mayor tamaño posible de la corona determina que esta tenga un mayor potencial de generar yemas, y este carácter en la

práctica se traduce en la posibilidad de presentar alta cantidad de tallos provenientes de la corona y traducirse esto en mayor crecimiento.

Tomando al tamaño y peso de raíz y corona como indicador del vigor del cultivo, se puede afirmar que el número de tallos es consecuencia de este y causa el rendimiento y persistencia de las pasturas de alfalfa.

4.3 PRODUCCIÓN Y COMPOSICION BOTANICA DEL FORRAJE

Figura No. 8 Producción de forraje en función de la profundidad del suelo.



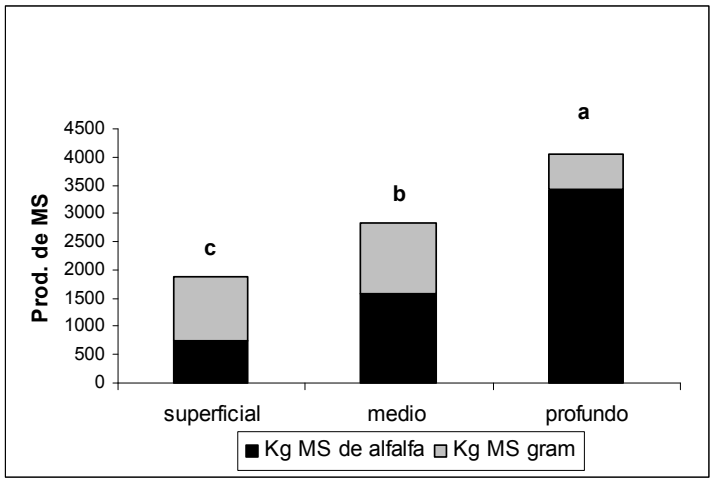
La grafica anterior muestra la relación encontrada entre profundidad del suelo y producción acumulada en el periodo comprendido entre el 8 de diciembre del 2006 y el 7 de marzo del año 2007. Los datos de materia seca se desprenden de la suma de dos cortes en los puntos de las grilla de profundidad.

Se presenta una correlación entre las variables que se podría calificar de media-alta (R^2 0,65), o sea que buena parte de la producción de materia seca, esta explicada por la profundidad del suelo, para las condiciones de este ensayo. Cada centímetro más de suelo represento en términos de producción, 33,7 kilos más de materia seca por hectárea.

Para el mismo periodo en el año Leborgne (1978) presenta datos de producción de materia seca de alfalfa de primer año, al igual que la alfalfa utilizada en este trabajo, 2475 Kg/Ha es lo que el autor muestra para el periodo de referencia.

Para el mejor análisis de la información presentada en la figura 7, se identificaron los dos grandes grupos botánicos (alfalfa y gramíneas) del total de la producción y se cuantificaron los mismos por separado, lo que se puede apreciar en la siguiente grafica.

Figura No. 9 Producción de materia seca (kg/ha) según profundidad del suelo.



Dos aspectos importantes se extraen de esta figura, por un lado la diferencia significativa en la producción de materia seca entre las tres profundidades de suelos, también es destacable que existieron diferencias significativas en lo que respecta a la composición de la misma.

En los suelos profundos, medios y superficiales el porcentaje de alfalfa en la materia seca fue de 84,2%; 55,6% y 40,2% respectivamente; esto se traduce en términos prácticos que existió mayor nivel de enmalezamiento en los suelos más superficiales además de menos producción de materia seca en total.

Vale mencionar que la composición de la fracción gramínea fue casi exclusivamente digitaría (*Digitaria sanguinalis)*, esta es citada por Rainero et al. (1995) como una de las principales malezas luego de establecido el alfalfar. Por otra parte Garay (2006) señala que en años de mucha humedad y de alta temperatura (condiciones dadas en el periodo del ensayo) se presentan muy favorables para la invasión de malezas gramíneas.

Cuadro No. 5 Significancía estadística de la diferencia de producción de Materia Seca de alfalfa, entre diferentes tipos de suelo.

	Sup Vs.	Sup. Vs.	Med Vs
Variable	Med	Prof	Prof
Corte 1	*	**	**
Corte 2	0.1066ns	**	**

Como es señalado en el cuadro anterior, vemos los niveles de significancia que se encuentran, para los dos cortes, en lo que respecta a la producción comparada de materia seca entre los suelos. A excepción de la producción de forraje de los suelos superficial y medio en el segundo corte, todos los tipos suelos mostraron diferencias significativas en producción de forraje. Demostrando claramente la hipótesis del efecto de la profundidad del suelo.

Cuadro No. 6 Tasa de crecimiento de materia seca de alfalfa en el periodo estudiado (kg/ha/ día)

Suelo	Tasa de Crecimiento (Kg/ha/día)	
Superficial	8,6	c
Medio	18	b
Profundo	39,3	a

Las tasas de crecimiento de los diferentes suelos son significativamente distintas. Los kilogramos producidos por hectárea cada día son exclusivamente de alfalfa, esto puede ser parte de la explicación de las diferencias, ya que en la composición botánica de la pasturas tenia mayor participación la alfalfa a medida que el suelo era mas profundo el suelo (40,2%; 55,6%; 84%) superficial, medio y profundo respectivamente.

Al respecto Dovart (1997) señala como tasa máxima de crecimiento de la especie en periodos de primavera y verano, luego de cortes y previo al comienzo de la floración de la planta entre 130 y 190 kilos de materia seca por hectárea y por día.

Thomas y Hill determinaron una tasa máxima de ganancia de 243 kilogramos por hectárea y por día.

Estos valores antecedentes son visiblemente superiores, si bien no son estrictamente comparables(se muestran a modo de referencia) debido a que son tasas máximas en periodos óptimos de crecimiento, y los valores generados en el presente trabajo se obtuvieron en un periodo de aproximadamente 90 días incluyendo distintas etapas fisiologías de la planta de alfalfa.

Cuadro No. 7 Porcentajes de la fracción alfalfa de la pastura en los cortes realizados (% MS

	Sup	Med	Prof
corte 1	b 43,3%	b 54,9%	a 77,1%
corte 2	c 37,2%	b 57,7%	a 92,6%

a,b,c Medias con distinta letra en una misma fila son diferentes con p< 0,05

El porcentaje de alfalfa en el total de la pastura difiere como se ve según la profundidad del suelo, esto se ve acentuado en el segundo corte donde existen diferencias significativas entre todas las profundidades.

Esto esta en concordancia con Palmer (1978) quien sostiene que entre otros factores el enmalezamiento es favorecido por los excesos hídricos en el suelo, situación que se dio mas frecuentemente en los suelos superficiales.

Datos antecedentes generados por Russel et al. (1971), muestran también que en suelos pobremente drenados (como los son los superficiales) los niveles de enmalezamiento son de un 40% mientras que en suelos moderadamente y bien drenados los niveles de malezas fueron despreciables tal como se puede apreciar en el presente trabajo.

La pastura luego del periodo de estudio estuvo afectada por un exceso hídrico prolongado, lo que determino la desaparición absoluta de la misma en todas las profundidades estudiadas.

5. CONCLUSIONES

Existió una correlación positiva de R^2 0,65 entre las variables de profundidad de suelo y producción de forraje, para el estudio, cada centímetro de profundidad represento un aumento de 33,7 Kg de materia seca de alfalfa por hectárea. Por lo que la dependencia del cultivo a la profundidad del suelo fue positiva y media-alta.

No se encontraron, para las condiciones del experimento, diferencias significativas en lo que respecta a la masa radicular para los diferentes suelos, en las profundidades comparables. Si bien fue mayor significativamente el diámetro de corona en el suelo mas profundo respecto al suelo superficial y medio.

Se puede concluir a partir de los datos generados por el estudio que el número de tallos esta relacionada de la profundidad del suelo, ya que se encontraron diferencias significativas entre los suelos de distinta profundidad.

Se concluye para el experimento que el nivel de enmalezamiento difirió estadísticamente entre los distintos suelos, de manera que los suelos profundos presentaron menor nivel relativo de enmalezamiento que los medios y estos que los suelos superficiales.

A partir de lo observado al final del estudio (desaparición total de la pastura) se puede concluir que con las condiciones climáticas reinantes en el verano 2006-2007, el cultivo de alfalfa evaluado fracaso en persistir en los suelos del ensayo.

6. RESUMEN

En la basta región basáltica del Uruguay (21% de la superficie total), la tarea productiva que domina ampliamente es la ganadería extensiva. La principal limitante para el desarrollo del rubro es la producción de forraje del campo natural, base forrajera de esta región, los mejoramientos extensivos de las pasturas se realizan básicamente con especies invernales. El verano es la estación con mayor variación en la oferta forrajera entre años; esto esta explicado básicamente por las deficiencias hídricas y a su vez estas explicadas por la vegetación y las propiedades del suelo, que hacen variar la situación hídrica de los suelos en los veranos. Por lo anterior se planteo estudiar la interacción entre una especie estival con muy buena resistencia a la sequía (alfalfa) y suelos de distintas profundidades. El experimento consistió específicamente en un conjunto de puntos con distintas profundidades, en los cuales se midieron: producción de materia seca (composición y cantidad), diámetro de raíz y corona, masa radicular y número de tallos. El ensayo se llevo a cabo con una pastura(Alfalfa cv Cisco) implantada en la primavera de 2006, este comenzó en el día 12 de diciembre, con un corte que homogenizo la altura del tapiz en todos los puntos. Posteriormente se realizaron dos cortes para determinar la materia seca y la composición de esta (29/01/07 y 7/03/07).La caracterización del sistema radicular se hizo mediante la construcción de calicatas en los puntos de referencia para retirar la masa radicular del terreno, con el posterior tamizado del suelo donde fueron identificadas, pesadas y medidas las raíces. Se encontró como resultado que el número de tallos aumenta con la profundidad del suelo, los suelos mas profundos presentaron mayor diámetro de corona, no se encontró diferencias significativas en lo que respecta a masa radicular a la misma profundidad en los distintos suelos.Existió una correlación positiva de R^2 0,65 entre las variables de profundidad de suelo y producción de forraje, para el estudio, cada centímetro de profundidad represento un aumento de 33,7 Kg de materia seca de alfalfa por hectárea. Al final del ensayo la pastura murió debido al anegamiento del suelo por las copiosas precipitaciones del momento, por lo que independiente a la profundidad del suelo con estas condiciones climáticas es muy cuestionable la instalación de este tipo de cultivar, o la viabilidad de la misma.

Palabras clave: Alfalfa; Profundidad; Suelo; Materia Seca

7 .SUMMARY

In the basaltic region of Uruguay (21% of the total area), the productive task that dominates among farmers is widely ranching. The main limitant for the development of the area is the low production of natural fields, wich is the principal forage base in this region. Extensive improvements are made basically with winter species. Summer is the season with greater forage production variation between years, this is explained mainly by water deficiencies and in turn these explained by vegetation and soil properties, wich are responsible of the variation of the situation of soil water in summer. For all this reasons it was decided to study the interaction between a summer specie with very good resistance to drought (alfalfa) and soils of different depths. The experiment was specifically to determine in a set of points with different depths, which was measured the production of dry matter (composition and quantity), diameter of root and crown, root mass and number of stalks. The test was carried out with a pasture(Lucerne cv. Cisco) implanted in the spring of 2006, it began on December 12, with a cut to homogenize the height of tapestry at all points. Later, two cuts were made to determine the dry matter and composition of the pasture (29/01/07 and 7/03/07). Characterization of the root system was made by constructing a calicata benchmarks for withdrawing mass root of the terrain, with the subsequent sifted soil where the roots were identified, weighed and measures. It was found as a result that the number of branches increases with the depth of soil, soils more profound had a higher diameter crown; it was not found significant differences in terms of root mass at the same depth in different soils. We found a positive R2 correlation of 0.65 between depth of soil and forage production, every inch of depth represented an increase of 33.7 kg of dry matter per hectare alfalfa. At the end of the trial the pasture died due to heavy rainfall, so regardless of the soil depth, with these weather conditions is highly questionable the installation of this type of pasture, or the viability of the same.

Keywords: Lucerne; Depth; Soil; Dry Matter

.

8.BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS, N. M. 1998. Evaluación de la capacidad reguladora de fósforo en diferentes suelos. In: Arias,N.M. ed. Evaluación de pasturas en vertisoles. s.l., INTA. pp. 88-90 (Información Técnica no. 4).

2. BARLEY, K.P.; GREACEN, E.L. 1967. Mechanical resistance influence in the root growth. Advances in Agronomy. 19: 1-43.

3. BEMHAJA, M. 1996. Producción de pasturas en basalto. In: Risso, D.F.; Berretta, E.J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 231-240 (Serie Técnica no. 80).

4. BENTANCOURT, P.; HERNANDEZ, A.; OROPEZA, J.L.; ORDAZ,V. 2001. Rendimientote especies forrajeras y caracterización de suelos degradados por erosión hídrica. Revista Facultad de Agronomía.18:56-67.

5. BERARDO EHRT, S.; BORDOLI, J.M.; BORGES, R. 1999. Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield. Agronomy Journal. 91: 37-45.

6. _____.; GRATTONE, F.; AMIGORENA, M. 2003. Evaluación de la respuesta a fósforo de los cultivos estivales; maíz, girasol y soja. (en línea). Informaciones Agronómicas (Infopos). 18: 1-13. Consultado 25 nov. 2007. Disponible en http://www.ppippic.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/BAACE202F9AC36C503256D6B006AB8B0/$file/Berardo+P+cultivos+estivales.pdf.

7. BERRETTA, E. J.; BEMHAJA, M. 1998. Producción estacional de comunidades naturales sobre suelos de basalto de la unidad Queguay Chico. In: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 11-20 (Serie Técnica no. 102).

8. BLEVINS, R.L.; COOK, D. PHILLIPS, S.H.; PHILLIPS, R.E. 1971. Influence of no- tillage on soil moisture. Agronomy Journal. 63: 593-596.

9. BLACK, C. A. 1975. Relaciones suelo planta. Méjico, CRAT. s.p.

10. BOLOGNA, J. 1996. Studies on strategies for perennial legume persistence in lowland pastures. Thesis MSc. Canterbury, New Zealand. Lincoln University. 220 p.

11. BOONE, F. R.; VEEN, B. W. 1994. Mechanisms of crop responses to soil compaction. Soil Compaction in Crop Production. 11: 237-264.

12. BORDOLI, J.M.; COLLARES, C.; MALLARINO, A.P. 1984. Efecto residual de la fertilización y refertilización fosfatada de pasturas de trebol rojo y raigras. In: Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía (7ª., 1984, Montevideo).Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomia. pp. 101-102.

13. BOSCHETTI, G.; QUINTERO, C.; LUCCA, C. 2007 Alta producción en suelos de la cuenca lechera entrerriana. (en línea). s.l., Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. s.p. Consultado 18 abr. 2007. Disponible en http://www.fertilizando.com/articulos/Alta%20Produccion%20Cuenca%20Lechera.asp - 20k

14. BOSSI, J. 1969. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones. 464 p.

15. BROWN, R.H.; PEARCE, R.B.; WOLF, D.D.; BLASER, R.E. 1972. Acumulación y Utilización de la Energía. In:. Hanson, C.H. ed. Ciencia y tecnología de la alfalfa. Montevideo, Hemisferio Sur. s.p

16. CAMERON, D.G.1973.Lucerne in wet soils; the effect of stage regrowth, cultivar, air temperature and root temperature.Australian Journal of Agricultural Research.24: 851-861.

17. CARÁMBULA, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464 p.

18. _____. 2002. Pasturas y forrajes; insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.2, 259 p.

19. _____. 2003. Pasturas y forrajes; manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.3, 323 p.

20. CERVEÑANSKY, A. 2000. Azufre. Montevideo, Facultad de Agronomía. 26 p.

21. _____.; CASANOVA, O. 2002. Deficiencias de Azufre en pasturas. Agrotémario I.S.U.S.A. 24: s.p.

22. CORNISH, P.S. 1987 Root growth and function in temperate pastures.In: Wheeler, J.L.;Pearson, C.J.; Robards, G.E. eds. Temperate pasture their production, use and management.s.n.t. pp.79-98

23. DA SILVA, A.P.; KAY, B..; PERFECT, E.1994. Characterization of the least limiting water range of soil. Soil Science Society of American Journal. 58:1775-1781.

24. DIAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G.; FERNADEZ, V. 2000.La siembra directa y los sistemas mixtos en el oeste de Buenos Aires. Publicación Técnica INTA. no. 33: 5-13.

25. DIRKSEN, C.; RAATS, P.A. 1985. Water uptake and felace by alfalfa roots. Agronomy Journal. 75: 207.

26. DOVART, A.1997. Irrigated forage production. Developments in Corp Science. Agricultural System. 53(2-3):321-323.

27. DURAN, A. 1985. Los suelos del Uruguay. Montevideo Hemisferio Sur. 398 p.

28. _____. 1991. Los suelos del Uruguay. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.

29. _____. 1998. Caracterización de suelos de la región basáltica del Uruguay. INIA Tacuarembó. In: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Rrecursos Forrajeros del Área Ttropical y Subtropical (14ª., 1998, Tacuarembo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 3 – 10 (Serie Técnica no. 94).

30. _____. 2001. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.

31. FERREIRA PACHECO, E.; MONTAUBAN ZARDO, E. F. 1998. Incidencia de factores climáticos sobre rendimiento y componentes y vías de construcción del rendimiento en cultivares de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 186 p.

32. FORMOSO, F. 1993. *Lotus corniculatus*, performance forrajera y características agronómicas asociadas. Montevideo, INIA. 20 p. (Serie Técnica no. 37).

33. FUNES, M. 2004. La alfalfa en San Luis. (en linea). San Luis, INTA. s.p. Consultado 18 abr. 2007. Disponible en http://www.inta.gov.ar/SANLUIS/info/documentos/Forrajeras/Alfalfa_sanluis.htm - 63k

34. GARCIA, F. 1980. Relaciones agua-planta. Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Direccion de Uso y Manejo de Agua. Boletín no. 5. p. 21.

35. GIL, R. 2001. El comportamiento físico-funcional de los suelos; algunos criterios para la cuantificación y diagnóstico del comportamiento estructural del suelo y su relación con la dinámica del agua y la producción de los cultivos. INTA. Cuaderno de Actualización – Proyecto de Agricultura de Precisión . s.p.

36. GODOY, C.; PEREZ, A.; TORRES, C.; HERMOSILLO, L.; REYES, I.2003.Uso de Agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. Agrociencia.37:107-115.

38. GUPTA, SHARMA, P.P.; DEFRANCHI, S.A.1989. Compaction effects on soil structure. Advances in Agronomy. 42: 311-338.

39. HARRIS, G.; HESTERMAN, O. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two susseding crops using nitrogen-15. Agronomy Journal. 82: 129-134.

40. HERNANDEZ, J. 1992. Potasio. Montevideo, Universidad de la Republica. Departamento de Publicaciones. 36 p.

41. _____. 1999. Fósforo. Montevideo, Universidad de la Republica. Departamento de Publicaciones. 89 p.

42. HILLEL, D. 1998. Soil and water; principles and processes. New York, Academic Press. 288 p.

43. HUNT, L. A., 1965. Some implication of death and decay in pasture production. Journal of the British Grassland Society. 20:27-31.

44. INIA. GRAS. 2006. Banco de datos meteorológico. (en línea). Tacuarembó, INIA. Consultado 18 ago. 2008 .
Disponible en
http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/index.html

45. IPNI. 2007 Optimize potassium and magnesium fertilization to alfalfa grown on Vertisol soils of Central Mexico. (en línea). s.l. Consultado 23 abr. 2007. Disponible en http://www.ipni.net

46. JOHNSON, L.D.; MARQUEZ-ORTIZ, J.J.; LAMB, J.F.S.; BARNES, D.K.1998. Root morphology of alfalfa plant introductions and cultivars. Crop Science. 38: 497-502.

47. JUNG, G.A.; LARSON, K.L.1972. Tolerancia al frió, a la sequía y el calor. In: Hanson, C.H. ed. Ciencia y tecnología de la alfalfa. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 239-263.

48. KAY, B.D. 1990. Rafes of changes of soil structure. Advances of Soil Science. 12:1-52.

49. KIEL, E.J. 1985. Fertilizantes orgánicos. Piracicaba, SP, Ceres. pp. 28-43.

50. KOOISTRA, M.J.; TOVEY, N.K. 1994. Effects of compaction on soil microstructure.In: Soane, B.D.; Van Ouwerkerk, C. eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, Elsevier Science. pp. 91 – 111.

51. LANYON, L.E.; GRIFFITH, W.K. 1988. Nutrition and fertilizar use.In: Hanson, A.A; Barnes, D.K. ; Hill, J. eds. Alfalfa and alfalfa improvement.

Madison,WI, ASA pp.33-372.

52. LAZCANO-FERRAT, I.1996 El Potasio y el concepto de la fertilización balanceada. (en línea).Informaciones Agronómicas (Inpofos). 1(6):3-10. Consultado 24 nov. 2007. Disponible en http://www.potafos.org

53. LETEY, J.1985.Relationship between soil physical propieties and crop prodution. Advances in Soil Science . 1: 277-294.

54. MCWILLIAM, J.; CLEMENTS, R.; DOWLING, P. 1970. Some factors influencing the germination and early seedling development of pasture plants. Australian Journal of Agricultural Research. 21: 19-32.

55. MADDALENA, M.A. 1994. Propiedades físicas del suelo en siembra directa y laboreo convencional y sus efectos sobre el desarrollo de trigo. Tesis Ing.Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 85 p.

56. MADDALONI, J.; FERRARI, L. 2001. Descripción botánica y grados de Latencia. In: Maddaloni, J.; Ferrari, L. eds. Forrajeras del ecosistema templado húmedo de la Argentina. Lomas de Zamora, INTA. 520 p. Consultado 6 may. 2007. Disponible en http://produccionbovina.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/21-descripcion_botanica_y_latencia.htm

57. MAGRA, G.; AUSILIO, A.2004 Corrección de la acidez de los suelos.(en línea). Agromensajes. 13: s.p. Consultado 18 abr .2007.Disponible en http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/13/9AM13.htm - 55k

58. MARSCHNER, H. 1995. Function of mineral nutrients: macronutrients. In: Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants.Chicago, Academic Press . pp. 229 – 312.

59. MOLFINO, J.H.; CALIFRA, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay; segunda aproximación. (en línea). Montevideo, MGAP. División Suelos y Agua. Dirección de Recursos Renovables. Consultado 18 ago. 2006. Disponible en http:// www.mgap.gub.uy/.

60. MORON, A. E. 1982. Fuentes de pasturas. Miscelánea CIAAB. no. 42: 24.

61. _____. 1996a. Azufre; consideraciones sobre su situación en el Uruguay. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 73-79 (Serie Técnica no. 76).

62. _____. 1996b. El P en los sistemas productivos; dinámica y disponibilidad en el suelo (I). In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA.pp. 37-44 (Serie Técnica no. 76).

63. _____. 2000. Fertilidad de suelos y estado nutricional. Montevideo, INIA. 159 p. (Serie Técnica no. 69).

64. PALMER, B. 1978. Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth. Agronomy Journal. 70: 858-864.

65. _____.; ISMUNADJI, M.; VO-TONG XUAN.1990. Phosphorus management in lowland rice-based cropping systems. In: Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania (1990, Manila). Proceedings. Manila, IRRI. p. 326.

66. PETERSON, D.F.1974. Research need for on-farm water management. s.l., Uthah State University. 220 p.

67. PIGURINA, G.; METHOL, M.; ACOSTA, Y.; BASSEWITZ, H.; MIERES, J.1991. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo, INIA. 56 p. (Serie Técnica no. 5).

68. PUENTES, R. 1983. Una metodología para evaluar la capacidad de uso de las tierras. Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. 46 p.

69. REBUFFO, M.; GARCIA, J. 1997. Importancia del ciclo de las variedades forrajeras en los sistemas intensivos. In: Restaino, E.; Indarte, E. eds. Pasturas y producción animal en áreas ganaderas intensivas. Montevideo, INIA. pp. 9-15 (Serie Técnica no. 15).

70. _____.; RISSO, D.F.; RESTAINO, E. eds. 2000. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 66-68. (Boletín de Divulgación no. 69).

71. REYNAERT, E. E. 1961. Aspectos de los suelos del Uruguay. Anuario de la Sociedad de Mejoramiento de Praderas. 5:13 – 21.

72. RISSO, D.F.; BERETTA, E. J.; MORON, A. 1996. Ecología del Rhizobium en la región Noreste.Montevideo, INIA. pp. 41- 45. (Serie Técnica no. 80).

73. ROBSON, M. J.1973. The growth and development of simulated swards of perennial ryegrass I. Leaf growth and dry matter weight as related to the ceiling yield of a seedling sward. Annals of Botany. 37:487-500.

74. ROGERS, V.E.1974. The response of lucerne cultivars to levels of waeterlogging. Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry. 14:520-525.

75. ROMERO, N. A.; COMERON, E. A.; USTARROZ, E. 1995a. Crecimiento y utilización de la alfalfa. In: Hijano, E.H.; Navarro, A. eds. La alfalfa en la Argentina. s.l., INTA. pp.151-156.

76. _____.; JUAN, N.A.; ROMERO, L.A. 1995b. Establecimiento de la alfalfa en la región pampera. In: Hijano, E.H.; Navarro, A. eds. La alfalfa en la Argentina. s.l., INTA. s.p.

77. _____. 2007. Alfalfa; limitantes productivas en la Region Pampeana (en linea). s.l., INTA. s.p. Consultado 18 abr. 2007. Disponible en http://produccionbovina.com.ar/

78. RUSSELL, E.W. 1971. Soil structure; its maintenance and impromevent. Journal of Soil Science. 22 (2): 197-151.

79. SANOVA, N.1978. Growth of root sistem of one-year-old lucerne at diferent levels of water supply and minerals nutrients. Rasteniev dui Navki. 15: 25-30.

80. SAWCHIK, J.; CERETTA, S. 2005. Consumo de agua por sojas de distintos grupos de madurez en diferentes ambientes de producción. In: Jornada Técnica de Cultivos de Verano (2005, Colonia). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 41-45 (Actividades de Difusión no. 417).

81. SCOTT, D.; HOGLUND, J.R.; KEOGHAN, J.M. 1989. Environmental selection of legumes.In; Marten, G.C.; Matches, A.G.; Barnes, R.F.; Brougham, R.W.; Clements, R.J.; Sheth, G.W. eds. Persistence of forage legumes.Wisconsin, ASA/ CSSA/SSSA. pp. 205-214.

82. SHEAFFER, C.; TANNER, C.B.; KIRKHAM, M.B.1988. Alfalfa water relation and irrigation. Alfalfa and Alfalfa Improvement. 29:.373-402.

83. SINGH, D.; SALE, P.; McKENZIE, B. 1997. Water relations of white clover (*Trifolium repens L.*) in a drying soil, as a function of phosphorus supply and defoliation frequency. Australian Journal of Agricultural Research. 48: 675-681.

84. SMITH, D.; NELSON, C. J. 1967. Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. I. Responses to height and frequency of cutting. Crop Science. 7(1): 130-133.

85. SMITH, L. 2005. Overseeding annual ryegrass and cereal rye into soybean for winter forage and as a cover crop for weed control and soil conservation. Thesis Master of Science. Columbia, United States. University of Missouri-Columbia. Faculty of the Graduate School. 53 p.

86. SOSA, O.; MARTIN, B.; ZERPA, G.1997. Efecto del pisoteo de bovinos sobre la evolución del stand de plantas de una pastura coasociada. Archivo Latinoamericano producción Animal. 5: 33-35.

87. SOTO, O.P.; JAHN, B.E.; MALDONADO, I.I. 2000. Alfalfa (Medicago sativa L.) improvement with fertilization in different soil conditions. Agricultura Técnica.60: 236-250.

88. STANBERRY, C.O. 1955.Prácticas de riego para la producción de alfalfa U.S.DA. In: Stanberry, C.O. Agua; su aprovechamiento en la agricultura. México, CRAT. pp. 471-481.

89. TERMEZANA, A. 1976. Región basáltica. Avances en Pasturas IV. 1:9 – 37.

90. TISDALL, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil. 159: 115-121.

91. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. C.I.A.A.B. 1971. Boletin de Divulgación no.5. 40 p.

92. _____. _____. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; escala 1:1.000.000. Color. Montevideo.

93. VERSTEEG, M.N.1985. Factors influencing the productivity of irrigated crops in southern Perú in relation to prodiction by simulation models. Ph.D Thesis. Wageningen, The Netherlands. Agricultural University. 18 p.

94. VIVAS, S. 2004 .La fertilización como herramienta para aumentar la producción de alfalfa.(en línea). Anuario 2004:75-96. Consultado 18 ago. 2008 . Disponible en http://www.inta.gov.ar.

95. WANG, F.Y.; WANG, P.S.; CUI, I.X.; CHEN, Z.Z.; SCHNGUN, E.; HANEKLAU, S.2003. Effect of sulphur suplly on the morphology of shoot and root of alfalfa (*Medicago sativa.L)*. Grass and Forage Science. 58(2):160-167.

96. YOKOTA, S., OJIMA, K. 1995. Physiological response of root tip of alfalfa to low pH and aluminium stress in water culture. Plant and Soil. 171: 163 – 165.