

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Trabajo Final de grado para optar al título de
Ingeniero Agrónomo

**EFFECTOS DE LA REFERTILIZACION SOBRE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL
AGUA EN EL CULTIVO DE ALFALFA (*Medicago sativa*)**

AUTOR: Anelo, Ezequiel Jesús

D.N.I: 32939415

DIRECTOR: Pagliaricci, Héctor

Rio Cuarto - Córdoba

Diciembre 2014

DEDICATORIA

A mi familia y compañeros por haber contribuido directa e indirectamente con la meta de obtener mi título profesional.

A todos los integrantes de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, que contribuyeron con mi formación profesional.

RESUMEN

La alfalfa es un cultivo forrajero perteneciente a la familia de las leguminosas. Se caracteriza por tener un alto valor nutritivo en la alimentación animal constituyéndose en la base de la producción de carne y leche en muchos establecimientos ganaderos.

Es un cultivo altamente adaptable a las condiciones edafoclimáticas de la región sur de Córdoba y ha demostrado tener un alto potencial de rendimiento en forraje, más aún bajo condiciones de regadío, ya que si bien es tolerante a condiciones de sequía, demanda grandes cantidades de agua para la obtención de altos rendimientos.

Siendo el cultivo de alfalfa uno de los más difundidos del país, el presente trabajo pretende ampliar los conocimientos sobre el comportamiento agronómico del mismo bajo condiciones de regadío.

Partiendo de datos obtenidos en ensayos realizados en un establecimiento tambero del sur de Córdoba, en lo que respecta a diferentes tratamientos de refertilización fosforada, se analizó el impacto en la Eficiencia en el Uso del Agua, e indirectamente en otras variables como rendimiento de Materia Seca y desarrollo de corona y raíces, al fin de concluir en aspectos de manejo nutricional y del recurso agua.

Se observó que los tratamientos con altas dosis de fósforo presentaron un mejor comportamiento (producción, eficiencia y estabilidad), tanto en condiciones hídricas favorables como en condiciones de fuerte estrés hídrico.

Palabras claves: Alfalfa - Materia Seca - Eficiencia de uso del agua - Fósforo.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 El cultivo de alfalfa en la Argentina	5
1.2 Fósforo	7
1.3 Azufre	10
1.4 Calcio	11
2. HIPÓTESIS.	12
3. OBJETIVOS	
3.1 Objetivo general	12
3.2 Objetivos específicos	12
4. MATERIALES	
4.1 Datos edafoclimáticos	13
4.2 Datos del cultivo y su manejo	13
4.3 Datos del ensayo	
4.3.1 Suelo	13
4.3.2 Diseño	14
4.3.3 Re-fertilización	15
4.3.4 Datos del riego y precipitaciones	16
5. METODOLOGIA	
5.1 Aspecto fitosanitario	17
5.2 Eficiencia en el uso del agua (EUA) y sus componentes	
5.2.1 Índice de Cosecha	18
5.2.2 Materia Seca	18
5.2.3 Suelo	18
5.2.4 Salidas por Percolación	19
5.2.5 Salidas por Ecurrimiento	19
5.2.6 Entradas por Precipitaciones y Riego	20
5.3 Variables indirectas al balance	20

5.4 Sobre el análisis económico	20
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
6.1 Análisis de suelo	22
6.2 Análisis de la materia seca	23
6.2.1 Análisis por fecha	
6.2.1.1 Primera Fecha	24
6.2.1.2 Segunda Fecha	25
6.2.1.3 Tercera Fecha	26
6.2.1.4 Cuarta Fecha	27
6.2.1.5 Quinta Fecha	29
6.2.1.6 Sexta Fecha	30
6.2.2 Relación entre refertilización y producción de materia seca	31
6.3 Análisis de la eficiencia en el uso del agua y sus componentes	
6.3.1 Entradas por precipitaciones y riego	33
6.3.2 Salidas por escurrimiento	34
6.3.3 Balance de agua en el suelo	39
6.3.4 Evapotranspiración y Eficiencia en el uso del agua	43
6.4 Peso y Diámetro de la corona	
6.4.1 Peso de la corona	50
6.4.2 Diámetro de la corona	52
6.4.3 Correlación entre las variables peso y diámetro de la corona con la EUA	53
6.5 Análisis económico (Presupuestos parciales)	54
7. CONCLUSIONES	58
8. CONSIDERACIONES FINALES	59
9. BIBLIOGRAFIA	61
10. ANEXOS	
9.1 Anexo I – Resultados estadísticos – Materia Seca	64
9.2 Anexo II – Ensayo de Infiltración	67
9.3 Anexo III - Dinámica en el Contenido Hídrico del Suelo	68
9.4 Anexo III – Resultados estadísticos – Eficiencia en el uso del agua	70
9.5 Anexo IV - Resultados Estadísticos - Peso y Diámetro de la Corona	72

1. INTRODUCCION

1.1 El cultivo de alfalfa en la Argentina

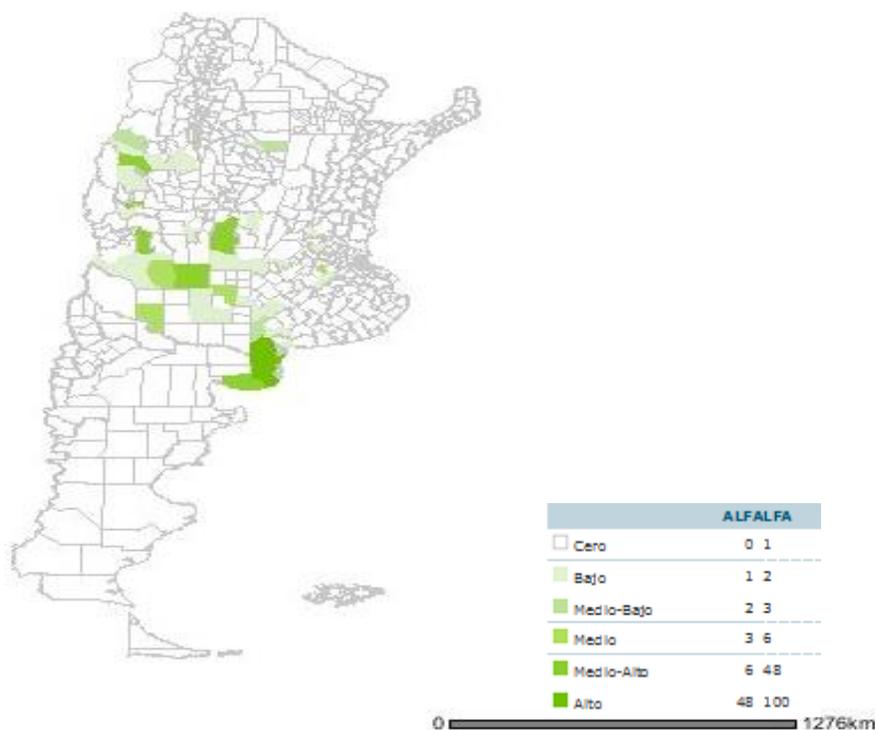
La alfalfa es una leguminosa que presenta un gran interés en los sistemas de producción animal intensiva. Este interés está dado por tener una alta producción total de materia seca combinada con alta calidad, y con elevadas tasas de crecimiento primavero-estival (Díaz-Lago *et al*, 1996).

En los años 1996-97 la superficie implantada con alfalfa en la Argentina, sea pura o consociada con otras forrajeras, era de poco más de 7 millones de ha. A partir de 1998-99 comienza a registrarse un descenso del área de siembra, para ubicarse en 2000-01 en las cercanías de los 5 millones de hectáreas (INDEC 1995, 1996, 1997, 1999, 2000 y 2001).

El abandono de la convertibilidad a partir del 2002 y la consecuente devaluación del peso argentino condicionaron fuertemente el mercado de alfalfa en la campaña 2002-03. La incertidumbre por la que atravesaba el sector agropecuario en materia de precios de insumos y productos originó que en 2002 no se superaran los 3,5 millones de hectáreas implantadas con alfalfa, la cifra más baja en las últimas décadas. Durante 2004, el flujo de dinero generado por las exportaciones produjeron mejores condiciones para el sector rural en particular; se evidenció una franca recuperación de los precios de la leche y de la carne, lo que se tradujo en una mayor demanda de semillas de alfalfa. La superficie implantada con alfalfa para ese año se estimó en unos 4,7 millones de hectáreas. Aunque con moderación, esa tendencia se mantuvo durante el 2005, año en que la superficie con alfalfa rondó los 5 millones de ha (Basigalup, 2007).

Para el año 2007, con aproximadamente 5.5 millones de hectáreas cultivadas, Argentina es el segundo productor de alfalfa en el mundo. En ese sentido, es bien conocida la importancia que tiene el cultivo no sólo para la producción ganadera sino también para la estabilidad de los sistemas agropecuarios, constituyéndose como uno de los recursos forrajeros de mayor relevancia en la región pampeana (Basigalup, 2007). En la Figura 1 se puede observar el rango de superficie porcentual cultivada con alfalfa según el Instituto Nacional de Semillas para el año 2006. En la misma se puede observar que las regiones del sur oeste de Córdoba y Buenos Aires junto con el sur de San Luis son las zonas que presentan un mayor porcentaje de superficie implantada con alfalfa.

Para la campaña 2009-10 la superficie se reduce a los 4 millones de hectáreas y para el año 2012 se registra el valor más bajo de los últimos 60 años, no obstante sigue siendo el segundo cultivo más importante en superficie de la Argentina (TodoAgro, 2012).



Fuente: SIG Agropecuario de la República Argentina, 2006.

Figura 1. Extracto del SIG (Sistema de integración geográfica) del INASE con el propósito de brindar información sobre la distribución espacial de las especies registradas

Para una alta producción de forraje, la alfalfa requiere suelos profundos (>1,2 m), bien aireados, de reacción más bien neutra (pH 6,5 a 7,5) y buena fertilidad (especialmente Fósforo y, en menor proporción, Azufre). A medida que las condiciones reales se alejen de este marco ideal, el cultivo disminuye su rendimiento y persistencia. En muchos casos, las deficiencias nutricionales se pueden cubrir con fertilizaciones y la acidez de los suelos con enmiendas cálcicas (Basigalup, 2007).

A su vez, la alfalfa está morfológica y fisiológicamente adaptada a tolerar períodos de deficiencia hídrica de cierta duración. De no existir impedimentos en el perfil (piso de arado, capa de tosca, horizontes muy densificados, etc.), sus raíces pueden extraer humedad desde los 2 metros de profundidad a los dos años y desde los 4 metros a los tres años de vida (Kiesselbach *et al*, 1929). No obstante, para mantener altas producciones de forraje, la especie requiere de una apreciable cantidad de humedad. En el año 1983 Heichel, analizando información de diversas condiciones climáticas, concluyó que como promedio general se requieren entre 56 y 73 mm de agua para obtener 1 Tn MS ha⁻¹. Estudios realizados en la zona central de Córdoba bajo condiciones de regadío, indicaron que se requirió un promedio de 1550 mm de agua para producir 28 Tn MS ha⁻¹ (López *et al*, 1997).

Los datos anteriores certifican las altas demandas hídricas del cultivo, más aún cuando se trabaja con nuevas variedades con mayores potenciales de producción. No obstante, es importante tener presente que el cálculo directo de la productividad esperable en función de la humedad disponible puede llevar a

incurrir en errores significativos, dado que los cambios diarios y estacionales en el uso del agua y el crecimiento de las plantas varían ampliamente con las condiciones climáticas y las prácticas culturales (Basigalup, 2007). Por ejemplo, se midieron en un suelo de mediana fertilidad al norte de la provincia de Buenos Aires producciones de 9 y 14 kg MS ha⁻¹ por cada milímetro de lluvia en los tratamientos testigo y fertilizado con fósforo y azufre, respectivamente (Romero *et al*, 1977).

Anteriormente se mencionó que el cultivo de alfalfa es tolerante a la sequía, pero también es muy sensible al anegamiento del suelo. El encharcamiento de los lotes produce la falta de oxigenación de las raíces, lo que puede llevar a la muerte rápida de las plantas. La magnitud de los daños por anegamiento es variable según el estado fisiológico del cultivo y la temperatura ambiente; en este sentido, la tolerancia es mayor en plantas adultas y con tiempo fresco (Romero *et al*, 1995).

1.2 Fósforo (P)

Según Basigalup, 2007. el fósforo es un elemento fundamental en la nutrición de la alfalfa porque interviene en múltiples procesos como:

- Desarrollo de la biomasa aérea y radical.
- Capacidad de nodulación y de fijación del nitrógeno atmosférico.
- Funcionamiento de regiones meristemáticas.
- Fotosíntesis.
- Síntesis de carbohidratos y proteínas.
- Transferencia de energía (ATP).

Una adecuada provisión de fósforo es fundamental no sólo para la productividad de la planta sino también para su tolerancia a factores de estrés y su persistencia. El análisis de suelo, para determinar el nivel de fósforo extractable, es una herramienta de utilidad para diagnosticar ambientes con potenciales necesidades de fertilización fosfatada (Berardo y Darwich, 1974). En general, la máxima productividad de gramíneas forrajeras se alcanza con menores niveles extractables de fósforo del suelo que para leguminosas, y dentro de éstas son mayores las exigencias del cultivo de alfalfa (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos críticos de Fósforo extractable en el suelo (0 a 15 cm de profundidad), determinados por el método Bray Kurtz I, para distintas especies forrajeras.

Especie	Rango crítico (ppm)
Alfalfa	20-30
Trébol blanco	15-16
Trébol rojo	12-14
Lotus (<i>L. corniculatus</i>)	10-12
Gramíneas	8-10

Adaptado de Quintero *et al*, 1999. y Adaptado de Bordoli, 1998.

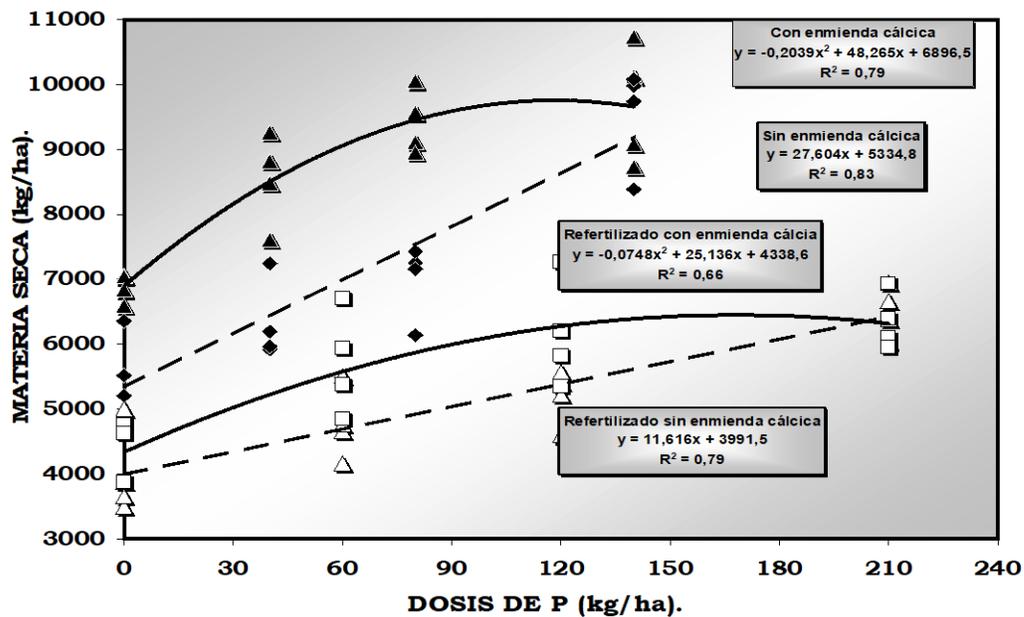
Los datos observados en la Tabla 1 nos indican que en suelos con niveles de P extractable inferiores a 25 ppm, se requiere el agregado de fertilizantes fosfatados para la correcta implantación y el desarrollo de alfalfa. No obstante estos niveles críticos pueden variar dependiendo del nivel de producción y de la disponibilidad relativas de otros nutrientes (Vivas y Quaino, 2001). Los suelos molisoles de la región pampeana suelen presentar una baja disponibilidad de P tanto por sus características edáficas como por el prolongado uso agrícola sin la debida reposición del nutriente (Berardo y Grattone, 1994).

En cuanto a la efectividad de las diferentes fuentes fosforadas, depende no sólo de las propiedades del suelo sino también del tipo de fertilizante empleado y su forma de aplicación. En suelos con pH alcalino (mayor a 6,5) no se recomiendan aplicaciones con fuentes de baja solubilidad, porque presentan una reacción muy lenta. Por el contrario, para condiciones de pH neutro o ligeramente ácido no existen restricciones significativas en cuanto a la solubilidad de las fuentes de fósforo (García et al., 2006).

En general, dado la baja dinámica de movimiento del P en el suelo y el proceso de captación por las raíces (difusión), los tratamientos de refertilización fosfatada muestran una menor eficiencia de aprovechamiento que las correcciones al momento de la siembra (Gráfico 1) (Vivas, y Quaino, 2001). No obstante, cuando no se realiza una fertilización al implantar el cultivo, o ésta es insuficiente para una óptima producción, un recurso importante para la reposición de los nutrientes (principalmente el fósforo por su baja dinámica en el suelo) es la refertilización luego de que la pastura está implantada. Esta práctica se realiza con el fin de corregir las deficiencias nutricionales presentes en el suelo, y que el

cultivo alcance el óptimo de producción (Fontanetto y Bianchini, 2007). Cabe aclarar que la refertilización es una alternativa poco utilizada por la escasa información que demuestre sus beneficios.

Gráfico 1. Variación de la materia seca de alfalfa en condiciones fertilizadas (9 cortes) y refertilizadas (4 cortes) con fósforo, con y sin enmienda cálcica.



Adaptado de vivas y Quaino, 2001.

La corrección de la condición nutricional del suelo por lo tanto constituye un factor esencial en un programa de alta producción de materia seca pero además es necesario destacar que los sistemas predominantes son de secano y ello implica una gran aleatoriedad en las precipitaciones, en la producción de Materia Seca y en la magnitud de las respuestas. No obstante, cuando la disponibilidad de agua no es limitante, las variaciones en las respuestas que se observan en el cultivo luego de la corrección de la fertilidad del suelo, estarán explicadas principalmente por el nivel nutricional del que dispone el mismo (Basigalup, 1996). Por lo tanto, es necesario contar con la información de un análisis de suelo, previo a la labor de refertilización, para conocer la condición nutricional de la cual se parte.

1.3 Azufre (S)

Cuando la alfalfa se encuentra correctamente nutrida con P y con N se pueden detectar deficiencias de otros elementos cuya corrección se traducen en mejoras en la producción forrajera, tal es el caso del azufre, el cual es un elemento con similares funciones al nitrógeno dado las siguientes características:

- Es un componente de varias proteínas.
- Interviene en procesos relacionados a la eficiencia de uso de la radiación.
- Contribuye a la calidad del forraje.

Además de estas funciones, el S produce un estímulo en la capacidad de nodulación por lo que tiene un fuerte impacto en la fijación del nitrógeno (Basigalup, 2007). Al ser un elemento muy móvil en el suelo captado por flujo masal, en muchas ocasiones la única alternativa para reponer este nutriente es la fertilización con fuentes azufradas. En relación a esto, no se han desarrollado métodos confiables para la determinación de las necesidades de este nutriente, por lo que su utilización en las labores de fertilización dependen básicamente de experiencias regionales. En suelos de mediano contenido de materia orgánica, y en la región centro-este de Santa Fé, se han obtenido efectos positivos en la aplicación de S (Fontanetto y Bianchini, 2007) (Tabla 2).

Tabla 2. Producción total de MS (27/08/2005 al 07/03/2007) de alfalfa fertilizada a la siembra incorporada y al voleo. Pilar (Santa Fe), campaña 2006/07.

Tratamientos	Fertilización incorporada a la siembra			Fertilización al voleo (pastura de 1 año)		
	Sumatoria de 16 cortes	Incremento Respecto al testigo (Kg/ha)	Incremento Respecto al testigo (%)	Sumatoria de 16 cortes	Incremento Respecto al testigo (Kg/ha)	Incremento Respecto al testigo (%)
Testigo	13848			14117		
P40-S0	16199	2352	17	17682	3565	25,3
P0-S24	15009	1161	8,4	16606	2489	17,6
P40-S24	18128	4280	30,9	18855	4738	33,6
P80-S0	18742	4894	35,3	20796	6679	47,3
P0-S48	16895	3047	22	18868	4751	33,7
P80-S48	22149	8301	59,9	23990	9873	69,9

Adaptado de fontanetto y Bianchini, 2007.

1.4 Calcio

Cuando se refiere a la acción del Ca interactuando con el P, Andrew y Johansen (1978) afirman que la producción de MS es mayor cuando estos nutrientes actúan en forma conjunta que de manera separada, esto se debería a un aumento de los iones positivos tanto en la solución (a causa de la ruptura de los compuestos insolubles que el fósforo forma con el aluminio y el hierro), como en la superficie radicular que facilitarían la absorción de los fosfatos. Otro beneficio en la química del suelo que trae la presencia adecuada de Ca en el perfil es, que al corregir la acidez edáfica, disminuye la solubilidad de la mayoría de los micronutrientes (a excepción del Molibdeno), evitando que muchos de ellos puedan alcanzar niveles tóxicos para el cultivo. Además de los beneficios en la química del suelo, este nutriente ejerce otros efectos beneficiosos como:

- Beneficios físicos: la estructura del suelo mejora con la presencia de Ca, debido a que el mismo favorece la generación y la estabilidad de los agregados. Este beneficio permite lograr una mejor aireación e infiltración de agua en el perfil, además de disminuir los riesgos de encostramiento superficial (Pabon *et al*, 2003).
- Beneficios biológicos: la acidez afecta la actividad de los microorganismos del suelo involucrados en los procesos de amonificación, nitrificación, desnitrificación e inmovilización del N, pudiendo modificar por ende la disponibilidad de este elemento. La fijación tanto simbiótica como no simbiótica, se ve severamente reducida cuando el suelo es ácido (Toniutti *et al*, 1977).
- Beneficios sobre la densidad y la longevidad de la pastura: la disminución del número de plantas en una pastura de alfalfa, en relación con la densidad inicial, también reconoce a la acidez como una de sus causas (Jove, 1977).
- Beneficios sobre la producción de forrajes: la mejora de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo que se logran con el agregado de enmiendas calcáreas, incrementan los rendimientos de la alfalfa (Basigalup, 2007).

2. HIPÓTESIS

La práctica de refertilización en el cultivo de alfalfa mejora la eficiencia en el uso del agua.

A medida que se incrementa la dosis de fósforo en la refertilización, la producción de forrajes aumenta significativamente.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la variación en la eficiencia en el uso del agua (EUA) en un cultivo de alfalfa ya implantado, bajo distintos tratamientos de refertilización en un sistema de producción bajo riego, buscando una estrategia para maximizar las ganancias por rendimiento.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar para los distintos tratamientos el consumo de agua.
- Determinar las causas de las variaciones ocurridas en la EUA.
- Comparar peso de corona, raíz y diámetro entre tratamientos.
- Realizar un análisis económico y productivo.

MATERIALES Y METODOS

4. MATERIALES

El estudio se realizó en el establecimiento “La Mascota” de Mareuba S.A. (33°20′11.64″S-64°24′58.71″O), que se encuentra ubicado a la vera de la ruta 35 (Km 693) a 12 kilómetros al sur oeste de la localidad de Holmberg, ubicada en el departamento Río Cuarto (Córdoba).

4.1 Datos edafoclimáticos

El suelo sobre el cual se realizaron los ensayos es un Haplustol éntico de color oscuro desarrollado sobre material franco arenoso, ubicado en un área plana o de ligeras concavidades la cual presenta una pendiente menor al 1,5%, sobre un relieve suavemente ondulado, con un contenido de materia orgánica en el primer horizonte de 2,8%. (Jarsun *et al*, 1989).

La zona presenta un clima templado, con temperatura media anual de 16° C, una media en enero de 24°C y una media en julio de 9°C, sin presentar una gran amplitud térmica (INTA - ACASE. 2007). El período de heladas comienza el 21 de mayo, y se extiende hasta el 11 de septiembre.

Las precipitaciones se concentran en la estación estival, condicionando a la actividad agrícola para el caso de los cultivos invernales, con una media anual de 872 mm. Los vientos predominantes son del N-NE y los vientos fríos del S-SO.

4.2 Datos del cultivo y su manejo

La pastura sobre la que se realizaron los ensayos se sembró sobre rastrojo del cultivo antecesor maíz (sembrado de forma directa), dicha operación se llevó a cabo durante el mes de marzo del año 2011, y se utilizaron 15 kg de semilla por hectárea de una alfalfa grupo 8 Pioneer, implantada con una sembradora de grano fino a una distancia entre hileras de 18 cm.

Junto a la siembra se realizó una fertilización con 80 kg de superfosfato triple y 40 kg de superfosfato simple por hectárea.

El cultivo se encuentra bajo un sistema de riego de tipo pívot, administrándose 12 mm. de agua por semana cuando se producen periodos prolongados sin lluvias en forma conjunta con altas temperaturas, o cuando las mismas son escasas. Cabe aclarar que este criterio es determinado por el encargado del establecimiento.

El manejo de la pastura corresponde a un sistema de pastoreo directo.

4.3 Datos del ensayo

4.3.1 Suelo: Se extrajeron cuatro muestras de suelo con barreno previo a la instalación del ensayo (septiembre 2011), a una profundidad de 15 cm, y se envió una alícuota a laboratorio para evaluar el nivel P, materia orgánica, S y Ca, con el fin de determinar la evolución de estos nutrientes y la respuesta que tendrán los diferentes tratamientos sobre la pastura implantada (Tabla 3). Al finalizar el ensayo (Octubre

2012), se efectuó otro muestreo de suelo con el fin de medir los mismos nutrientes antes mencionados, estableciendo su uso y dinámica durante el periodo de estudio.

Tabla 3. Resultados analíticos de las muestras de suelo enviadas a laboratorio (primer informe).

Octubre 2011.

RESULTADOS ANALITICOS			
Análisis	Método	Resultado	Disponibilidad (kg/ha)
MO (%)	Walkley y Black	3,2	76160
N Total (Nt %)	Calculado	0,16	3808
P Asimilable (P ppm)	Bray y Kurtz	43,1	102,58
N Asimilable N-(NO3)=ppm	Harper Fenoldisulfónico	20,1	47,8
S Asimilable S-(SO4)=ppm	Turbidimétrico	21,3	50,7
pH agua	Potenciómetro	7,98	
Cond. Eléctrica (Ce) mS/cm	Conductímetro	0,09	
Ca+ (me/100g)		20	
Mg+ (me/100g)		3	
Na+ (me/100g)	Fotómetro de llama	5,8	
K+ (me/100g)	Fotómetro de llama	2,4	

Fuente: Laboratorios Loyun

4.3.2 Diseño: Bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. En el caso de las parcelas, estas arrojaron una medida de 5 m de largo, sobre 10 surcos distanciados a 18 cm., acusando una superficie de 9 metros cuadrados, la cual se delimitó con estacas y se respetó una distancia de un surco entre parcela (Figura 2).

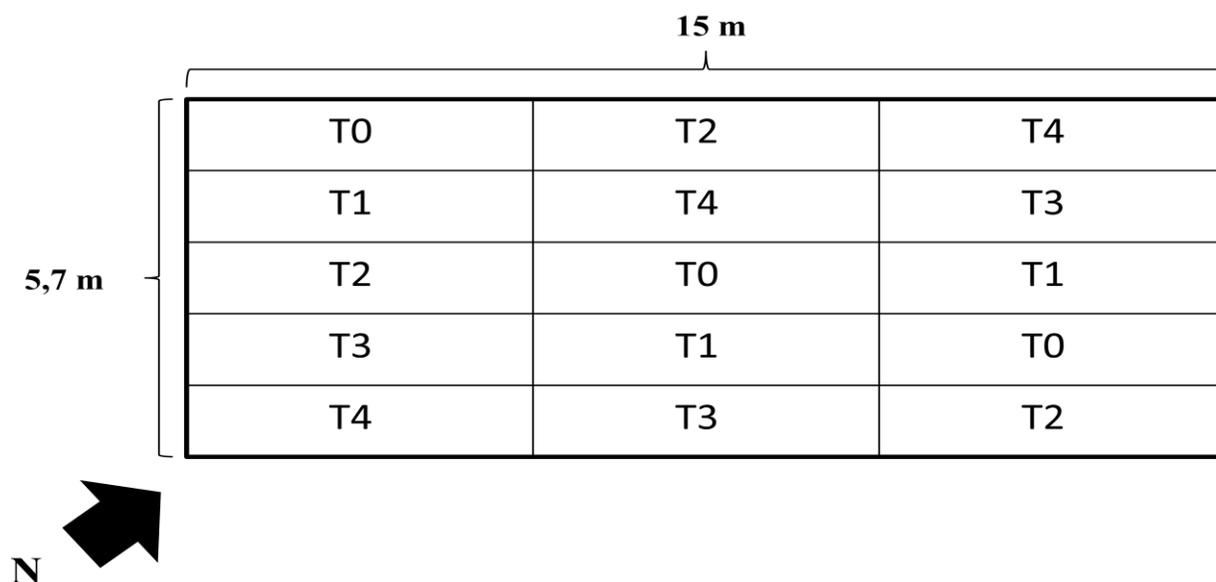


Figura 2. Esquema del diseño de las parcelas (bloques completos al azar)

4.3.3 Re-fertilización: El P que se utilizó en la corrección de la fertilización inicial fue bajo la forma de superfosfato triple, el cual posee un 46% de P en forma de P_2O_5 , equivalente a un 20% de P, el mismo fue aplicado al voleo sobre las parcelas en octubre del 2011 al inicio del estudio. El Ca y S por otra parte se administraron como sulfato de calcio, comúnmente denominado yeso agrícola, y que está compuesto por un 21% de S y un 23% de Ca.

Los niveles de fertilización por tratamiento en kg de nutrientes por hectárea se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Cantidad de P, Ca y S según tratamientos

NUTRIENTES (kg/ha)	P	S	Ca
TRATAMIENTOS			
T0	0	23	26
T1	25	23	26
T2	50	23	26
T3	75	23	26
T4	100	23	26

Las razones por la cual todos los tratamientos poseen el mismo nivel de S y Ca es por:

- Los altos requerimientos de Ca que posee el cultivo, y si bien el análisis mostró un contenido inicial muy elevado (20 meq/100gr), se pretende uniformizar su disponibilidad para no tener efectos asociados a su déficit en los cortes sucesivos.
- En el caso del azufre, hay una deficiencia normal en los suelos de la región, y si bien el resultado de S-SO₄ mostró un valor medio (21,3 ppm), se busca lograr que el efecto de los tratamientos no sea alterado por el déficit de este nutriente.
- En este sentido la fertilización con sulfato de calcio apuntó a incrementar los niveles de azufre por sobre los de calcio, ya que los niveles del segundo se mostraron elevados, no obstante esta fuente dispone de ambos elementos.

4.3.4 Datos del riego y precipitaciones: Otro tipo de información que se recolectó, es la relacionada con la cantidad de aplicaciones de láminas de riego, a través de la información brindada por el encargado de la empresa, y la ocurrencia de precipitaciones en el periodo de evaluación mediante la instalación de un pluviómetro sobre la cabecera del lote.

5. METODOLOGÍA

5.1 Aspecto fitosanitario

Debido a la clausura con boyero sobre los bloques, los tratamientos químicos eventuales desarrollados en el establecimiento no ejercieron un control sobre los riesgos sanitarios ocurridos, principalmente el daño por malezas. Por lo que se realizó un control manual sobre las mismas.

En cuanto a los daños por insectos y enfermedades, estos no se hicieron presentes por lo que no se aplicó ningún tipo de medida al respecto.

5.2 Eficiencia en el uso del agua (EUA) y sus componentes:

En los distintos tratamientos se calculó, con los datos de materia seca producida y de la evapotranspiración del cultivo, la eficiencia en el uso del agua a partir del mes de enero del 2012 ya que la aplicación de fertilizante se realizó al voleo cuatro meses atrás y se asumió que la incorporación estaría completa para entonces. Para esto se tuvo en cuenta el agua acumulada en el perfil en cada medición, para así poder realizar un balance económico y productivo sobre el cultivo de alfalfa bajo riego en un establecimiento tambero.

La eficiencia en el uso del agua (EUA), se define como la cantidad de agua utilizada (evapotranspirada) para producir una cantidad de producto cosechable, siendo el índice de cosecha (IC) la relación entre la producción cosechable y la producción total (Cisneros *et al*, 2004), por tanto se calcula de la siguiente manera:

$$EUA = (\text{materia seca total} / \text{evapotranspiración}) \times IC$$

Donde:

EUA= eficiencia en el uso del agua;

IC= Kg producto cosechable / Kg materia seca total.

5.2.1 Índice de Cosecha: Este dato se estimó en un valor de 0.70, ya que se pretende simular la situación de pastoreo actual, que corresponde a un sistema rotativo con un tiempo de descanso aproximado de 35 días según la estación del año y no más de 7 días de utilización, por lo tanto se considera un remanente foliar del 30% al momento de realizar los cortes.

5.2.2 Materia Seca: La materia seca se obtuvo arrojando un aro de una superficie de $0,25\text{cm}^2$ tres veces en cada parcela, recolectando la biomasa de dicha superficie, llevando luego el material a laboratorio para ser pesado y así obtener el dato de biomasa, luego ese material fue trasladado a estufa durante dos días a una temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$ para obtener el dato de materia seca. Este procedimiento se realizó cada vez que el cultivo llegó a un 10% de floración.

5.2.3 Suelo: Sobre el mismo se realizaron las siguientes mediciones:

- Se tomó una muestra de suelo por parcela con barreno a distintas profundidades según los horizontes presentes (Figura 3), hasta un metro y medio de profundidad cada 15 a 30 días dependiendo de las condiciones climáticas para obtener datos sobre agua disponible, y así poder realizar un balance de agua específico del periodo estudiado, el cual se extendió desde el mes de enero del 2012 hasta octubre del mismo año.
- Densidad aparente (DAP) de los distintos horizontes; este dato se obtuvo con el fin de transformar los datos de humedad gravimétrica a lámina, hasta un metro y medio de profundidad. Se utilizó del método del cilindro, para esto se realizó una calicata a dicha profundidad con el objeto de determinar los horizontes presentes (figura 3) y tomar datos de densidad aparente de los mismos.

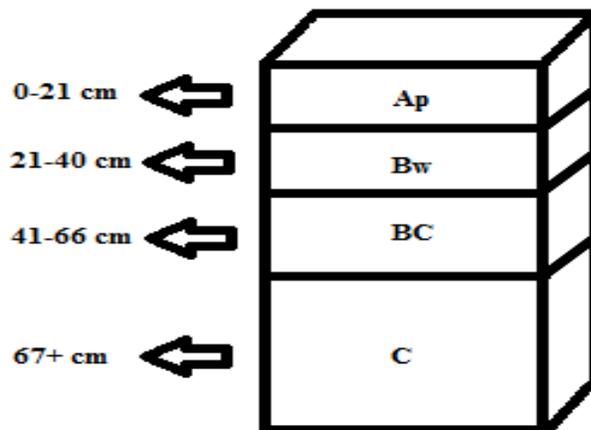


Figura 3. Horizontes prospectados en calicata

- Para conocer la capacidad de almacenaje de agua en el suelo se tomó una muestra a cada horizonte y se determinaron las constantes hídricas a 0.3 y 15 bares de succión. Se estimó la capacidad de almacenaje del suelo (agua útil) a través de las diferencias de ambas constantes. El método que se utilizó para obtener estas variables fue el de la olla a presión (Richards, 1971).

- La extracción de muestras para determinar la DAP y las constantes hídricas del suelo se realizó al momento de efectuar la re-fertilización.

5.2.4 Pérdidas por Percolación: Son consideradas despreciables debido a la profundidad de muestreo y a la capacidad de enraizamiento del cultivo de alfalfa. Por otro lado, al ser el primer año de implantación de la alfalfa y a la gran profundidad a la que se encuentra la napa freática, no se considera al ascenso del nivel freático como un aporte a la recarga de agua en el perfil explorado.

5.2.5 Pérdidas por Escurrimiento: Se estimaron a través del método de la curva número (CN) (USDA, 1968). Para llevar a cabo dicha metodología se determinó un valor de CN de acuerdo al grupo hidrológico del suelo y el uso y manejo del mismo. Para determinar correctamente el grupo hidrológico al que pertenece el suelo se considero necesario conocer la capacidad y velocidad de infiltración de dicho suelo (infiltración base), para esto se utilizó un infiltrómetro de doble anillo y se obtuvieron los valores de lámina infiltrada (mm) en unidad de tiempo (seg), dichos valores se aplicaron a la ecuación de Kostiakov para obtener la curva de infiltración. Para obtener el valor de infiltración base se utilizaron las derivadas de la ecuación de Kostiakov.

El valor obtenido de infiltración base se refiere a la velocidad de infiltración cuando la misma se hace constante, y por lo tanto permite no solamente inferir a qué grupo hidrológico pertenece el suelo en cuestión, sino que además a través del mismo se puede saber que intensidad de lluvia o riego producirá escorrentía en un determinado tiempo (cuando el suelo posee un contenido hídrico muy elevado). Una vez determinado el grupo hidrológico del suelo, se estimó el valor de CN. A su vez, se estimaron valores diferentes de CN según la cantidad de precipitación ocurrida y del riego aplicado, de esta manera se sensibiliza más el método pudiendo discriminar entre precipitaciones intensas y suaves, considerando además que la precipitación y/o riego que esté por debajo de la infiltración básica no producirá escorrentía.

Al tener el dato de CN, se procedió a calcular la retención potencial de agua por el terreno (S) a partir de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Por último, se estimó la lámina de escurrimiento para cada caso a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{(P - 0,2 \times S) + S}$$

Donde:

Q= volumen escurrido (mm)

P= precipitación acumulada

S= retención potencial de agua por el terreno

5.2.6 Entradas por Precipitaciones y Riego: Dichos datos se obtuvieron de las lecturas del pluviómetro instalado en la cabecera del lote y de la información aportada por el encargado del establecimiento sobre las láminas de riego aplicadas.

De dicho balance, teniendo en cuenta los contenidos de humedad inicial, parciales y final, junto con las variables de entrada y salida del agua en el suelo, por diferencia se obtuvo la cantidad de agua utilizada por el cultivo y se aplicó dicho dato en la ecuación de EUA como el parámetro de evapotranspiración.

5.3 Variables indirectas

Para concluir, a final de ensayo (Octubre del 2012), se extrajeron diez plantas de cada parcela para evaluar el peso de corona y raíces (primeros 20 cm), con el fin de determinar el impacto de los distintos tratamientos sobre el crecimiento radicular. Se concluye el ensayo en la fecha citada debido a que en la misma se cumple un año desde el inicio del mismo, considerando que en dicho tiempo se obtendrá información fehaciente de lo que se pretende investigar.

5.4 Análisis económico

Para analizar el impacto económico que tuvieron los distintos tratamientos, se procedió con la metodología de presupuestos parciales propiamente dichos. Dicha metodología arroja un resultado económico parcial, producto de cambios en el plan original de la empresa, el cual se considera como el testigo en los distintos tratamientos realizados.

En el cálculo de los presupuestos parciales solo se consideran los cambios en el valor de lo producido (ingreso marginal), y las variaciones en los costos (costo marginal) generadas por los cambios originados en cada tratamiento.

El formato propuesto para organizar la información necesaria se describe en la Tabla 5.

Tabla 5. Metodología para presupuestar los distintos tratamientos

PRESUPUESTACION PARCIAL	
1. Nuevos Valores producidos adicionales \$/trat Vpa= Vsa - Vea + Vefa - Veia	3. Reducciones en valores producidos \$/trat VPr= VSr - VEr + VEfr - VEir
2. Reducción de costos \$/trat Gr + Ar + Ir	4. Incrementos de costos \$/trat Gi + Ai + Ii
A. Incremento de utilidades (1+2)	B. Disminución de utilidades (3+4)
BENEFICIO ADICIONAL \$/trat (+) Genera beneficio (-) No genera beneficio	

FUENTE. Material de Aula - Cátedra "Administración Rural"

Donde:

VP= Valor producido (adicional o reducido).

VS= Valor de salida (adicional o reducido).

VE= Valor de entrada (adicional o reducido).

G= Gastos (adicionales o reducidos).

A= Amortizaciones (adicionales o reducidas).

I= Intereses (adicionales o reducidos).

Cada tratamiento de fertilización fue analizado bajo esta forma, teniendo en cuenta los costos adicionales de fertilización en cada caso y si hubo o no un incremento en lo producido, lo que pudo generar o no un beneficio.

Esta metodología permitió además calcular el costo de producir un kg de materia seca para cada tratamiento en particular, el cual se considerará como el valor de una unidad de insumo para la producción de leche. De esta forma, se realizara la relación insumo-producto para cada tratamiento, lo que permitirá conocer (multiplicando esta relación con el número de unidades de insumo necesarios para producir un litro de leche) el costo de insumo primario para producir un litro de leche.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis de suelo

Los resultados de la muestra de suelo extraída al finalizar el estudio se detallan en la Tabla 2

Tabla 6. Resultados analíticos de las muestras de suelo extraídas a fin del ensayo (20/10/12)

Dosis de P (Kg/ha)	pH	Ca (Cmol/kg)	P (ppm)	MO (%)
0	8,2	8	24,2	2
25	8,42	8,25	25,3	1,61
50	8,15	6,26	15,5	1,9
75	7,68	5,75	25,6	1,79
100	7,7	6	26,7	1,6

Fuente. Laboratorio GERMINAR

Algunos de los datos obtenidos no concuerdan con los que surgieron del primer análisis realizado al comenzar el ensayo (Tabla 3), los motivos se podrían deber a la diferencia en la profundidad de muestreo ya que en el primer caso fue a una profundidad de 15 cm al desconocer la amplitud del horizonte Ap, y al final del periodo se realizaron a los 20 cm intentando abarcar todo el horizonte superficial, lo que produjo diferencias en el contenido de materia orgánica. Otra de las razones sería la falta de muestras al comienzo, ya que con solo una muestra el margen de error es muy elevado. Para el caso del fósforo, la diferencia en los valores encontrados se deben a que en el primer caso se utilizó la metodología de extracción de Bray y Kurtz no correspondiendo para el caso del suelo en cuestión, ya que el mismo mostró valores de pH alcalinos con lo que la metodología de extracción que más se adecua es la de Olsen.

En cuanto al pH, todos los tratamientos rondan en valores similares (entre 7,7 y 8,5 aproximadamente), por lo que la disponibilidad del fósforo no es la más adecuada, ya que a esos valores el mismo precipita como fosfato dicálcico y es también adsorbido por los carbonatos de Calcio.

En ninguno de los tratamientos se encuentran valores dentro del rango de mayor disponibilidad (6-7), incluso en tratamientos de menor dosis se dan los valores más elevados de pH, por lo que se potencia la diferencia entre los mismos y eso se reflejará en los resultados que se expongan posteriormente.

6.2 Análisis de la materia seca:

Los valores promedio de los 6 cortes realizados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Valores promedio de materia seca (kg/ha) obtenidos en todo el periodo de análisis, para los distintos tratamientos y repeticiones en las seis fechas de cortes efectuadas:

FECHA CORTE	TRATAMIENTO	MS (Kg/ha)	FECHA CORTE	TRATAMIENTO	MS (Kg/ha)
07/01/2012	T0	533,4	10/05/2012	T0	1941,5
	T1	635,3		T1	2606,4
	T2	866,3		T2	2300,9
	T3	991,9		T3	3266,6
	T4	1278,9		T4	3829,1
23/02/2012	T0	528,8	30/06/2012	T0	1838,5
	T1	604,1		T1	2303,3
	T2	638,6		T2	2141,9
	T3	975,8		T3	2865,4
	T4	1190,5		T4	3436,9
28/03/2012	T0	493,1	20/10/2012	T0	2715,9
	T1	583,6		T1	3094,4
	T2	766,3		T2	3004,1
	T3	1382,2		T3	3680,0
	T4	1660,9		T4	4328,3

Como se expone en la Tabla 7 hay un incremento lineal en la producción de materia seca a medida que se aumenta la dosis de fósforo en la refertilización. Vivas y Quaino (2001) en un suelo pobre de nutrientes de la localidad de San Justo encontraron respuestas lineales similares cuando se refertilizaba el cultivo con fósforo y enmiendas cálcicas.

En el aspecto estadístico, los resultados se resumen en la Tabla 8. A posterior se procederá a analizar cada fecha en particular.

Tabla 8. Resumen del ANAVA para la producción de materia seca por hectárea de todos los tratamientos y repeticiones para todas las fechas de cortes

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	90	0,12	61,74	0,004	0,6148

El análisis de varianza (anexos I) demuestra que solamente el 12% en la variación en la MS entre tratamientos es explicada por la refertilización con fósforo, mostrando una alta variación en ésta componente (CV 61,7%), existiendo seguridad estadística de lo afirmado ($p < 0,05$). Por su parte entre

repeticiones se obtuvo un valor de "p" de 0,61 lo que indica que no existen diferencias significativas entre las tres repeticiones realizadas.

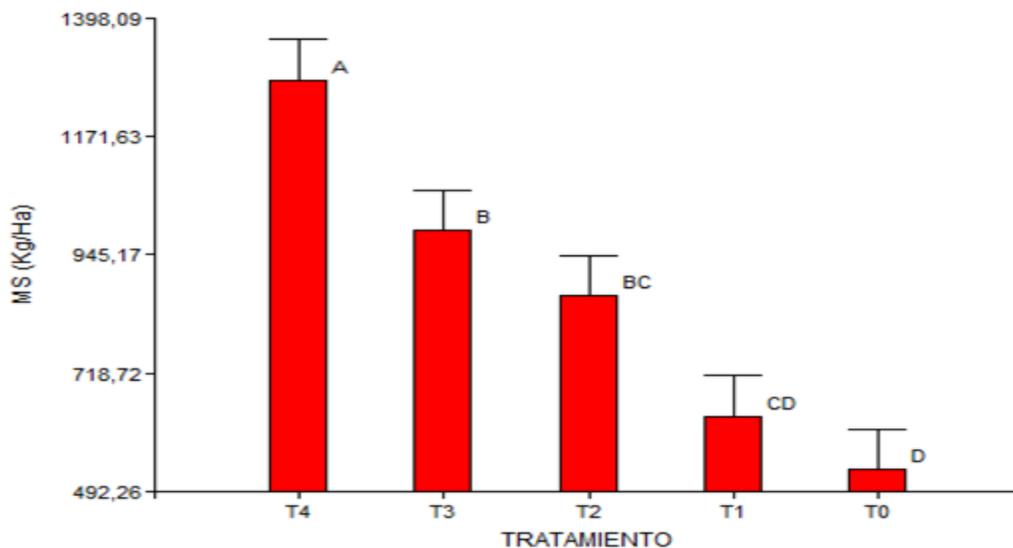
Lo expuesto anteriormente afirma que si bien existen diferencias entre tratamientos en cuanto al rendimiento de MS, a lo largo de todo el periodo de análisis no fue la práctica de refertilización la que produjo la mayor parte de la variación. La misma está fuertemente influenciada por la componente ambiental, principalmente en el contenido hídrico del suelo. Basigalup (2007) afirma que en la región pampeana la producción de alfalfa está limitada principalmente por restricciones en el consumo del agua. Por lo tanto para poder medir el impacto de la práctica de re fertilización es necesario aislar la componente ambiental y analizar cada fecha de corte por separado, así pues, se logran condiciones hídricas de suelo relativamente similares.

6.2.1 Análisis por fecha:

Como se mencionó anteriormente, para cada fecha se realizó un análisis particular para lograr aislar los resultados de cada tratamiento con las condiciones ambientales reinantes.

6.2.1.1 Primer corte (07/01): Existió un aumento progresivo en la materia seca obtenida a medida que se incrementaron las dosis de fósforo en la re-fertilización tal como se puede ver en el Gráfico 2. Por otra parte, se observó que el aumento fue significativo a partir de los 50-75 kg de fósforo aplicado.

Gráfico 2. Medias y Varianza en el peso de la materia seca (07/01/12)



Dicha época de corte se caracterizó por la ocurrencia de altas temperaturas acompañadas de condiciones muy bajas de humedad ambiental (año niña), por lo que la demanda evapotranspiratoria fue muy elevada y los riegos aplicados no bastaron para lograr los rendimientos esperados.

Algunos autores afirman que las altas temperaturas reducen el contenido de carbohidratos en las raíces (Jensen et al, 1967). Cortes frecuentes en períodos de alta temperatura en variedades sin latencia han sido correlacionados con una disminución de la producción y pérdida de plantas (Feltner et al, 1966).

Del análisis estadístico (Tabla 9) se puede decir que el 81% de la variación del rendimiento de materia seca está siendo explicado por los niveles de re fertilización fosfatada, con un coeficiente de variación del 15,7%, existiendo evidencia estadística significativa de lo mencionado entre tratamientos, no siendo así entre las repeticiones, en la que el valor de p fue mayor a 0,05 por lo que son similares.

Tabla 9. Producción de materia seca por hectárea (07/01/2012) resultados del ANAVA

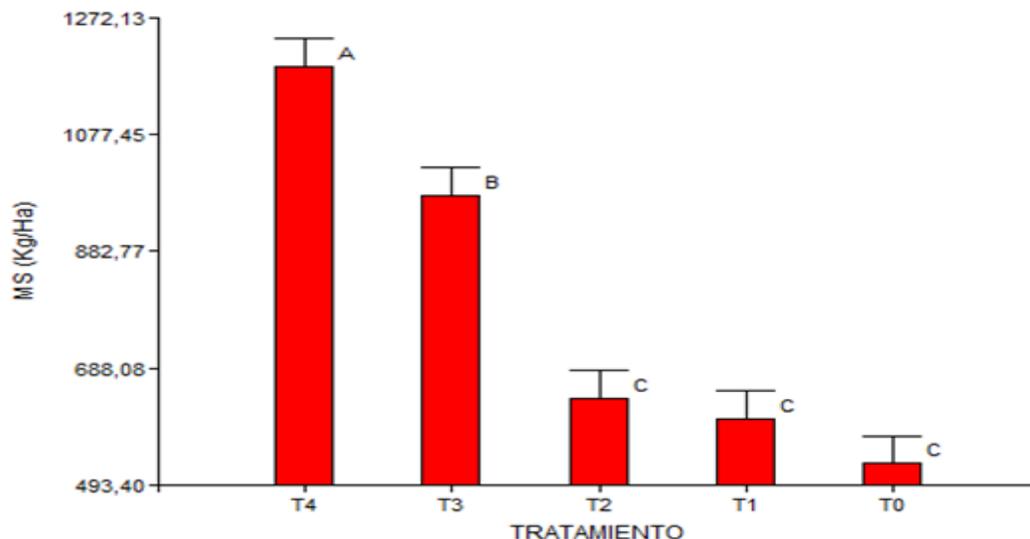
VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	15	0,81	15,7	0,001	0,0943

Como puede observarse en el Gráfico 2, por medio del test de Fisher, el tratamiento T4 (100P) es estadísticamente superior a los demás, pero existe similitud entre los tratamientos T3 (75P) y el T2 (50P), y este último es semejante a los tratamientos T1 (25P) y T0 (0P).

Se puede concluir que lo mencionado acerca de un aumento progresivo en la materia seca tiene evidencia estadística, con excepción al tratamiento 4 donde el aumento fue más significativo para esta fecha.

6.2.1.2 Segundo corte (23/02/12:) Observando el Gráfico 3, se puede afirmar que los rendimientos en MS no alcanzan los valores esperados a la época del corte debido a la permanencia de las condiciones hídricas desfavorables. La ocurrencia de un mes de enero de altas temperaturas y baja humedad ambiental se reflejó en los bajos rendimientos en todos los tratamientos, arrojando en esta fecha valores de rendimiento relativo al testigo más estables que en la fecha de corte anterior.

Gráfico 3. Peso y varianza en el peso de la materia seca (23/02/12)



El análisis de varianza (Tabla 10) demuestra que en esta fecha aproximadamente el 90% de la variación en el rendimiento de la materia seca se encuentra explicado por los niveles de fósforo aplicados, con un CV de aproximadamente un 10% lo que indica una mayor estabilidad en el rendimiento que en la fecha anterior, existiendo evidencia estadística de esto entre los distintos tratamientos ($P=0,0001$).

Tabla N°10. Producción de materia seca por hectárea (23/02/2012) resultado del ANAVA

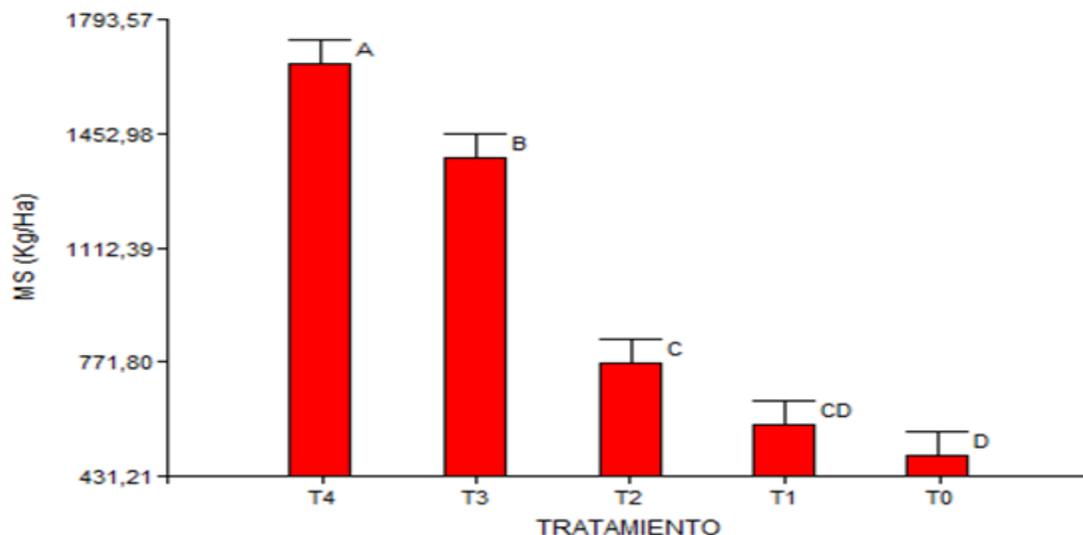
VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	15	0,91	10,17	0,001	0,0931

El test de fisher en este caso indica que existe semejanza entre los tratamientos en los que se utilizaron de 0 a 50kg de P. Además los tratamientos en los que se utilizaron 75 y 100Kg son diferentes entre sí, y a su vez se diferencian de los demás (Gráfico 3).

Por lo tanto, se puede afirmar que las diferencias significativas en el rendimiento de esta fecha se observan a partir de los 75Kg de P aplicado, probablemente debido a un mayor desarrollo del sistema radical permitiendo una exploración en el suelo más extensa.

6.2.1.3 Tercer corte (28/03/12): Como se puede observar en el Gráfico 4, las condiciones ambientales que se presentaron a fines de marzo, están caracterizadas por una leve disminución de las temperaturas y la ocurrencia de lluvias más generalizadas, estas resultaron en un aumento en la producción de materia seca, especialmente en los tratamientos con niveles de P superiores (75P y 100P). No obstante, la condición hídrica del suelo aun no alcanzó valores suficientes como para garantizar un rendimiento elevado.

Gráfico 4. Media y varianza en el peso de la materia seca (28/03/12)



Al observar el ANAVA (Tabla 11) se puede afirmar que el 94% de la variación observada en el rendimiento fue a causa de los niveles de fósforo aplicados en cada tratamiento, con un CV aproximadamente 2,5% superior al corte anterior. Al igual que en las fechas anteriores el valor de p en los tratamientos fue menor a 0,05 por lo que está probado estadísticamente que lo expuesto anteriormente es cierto.

Tabla 11. Producción de materia seca por hectárea (28/03/2012) resultados del ANAVA

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	15	0,94	12,54	0,0001	0,4771

El análisis de Fisher admite que los tratamientos T3 (75P) y T4 (100P) son diferentes entre sí y superiores a los demás los cuales son similares a sus sucesivos (Gráfico 4).

Esto ratifica el supuesto de que el rendimiento es notablemente superior a partir de los 75Kg de fósforo aplicado se mantiene.

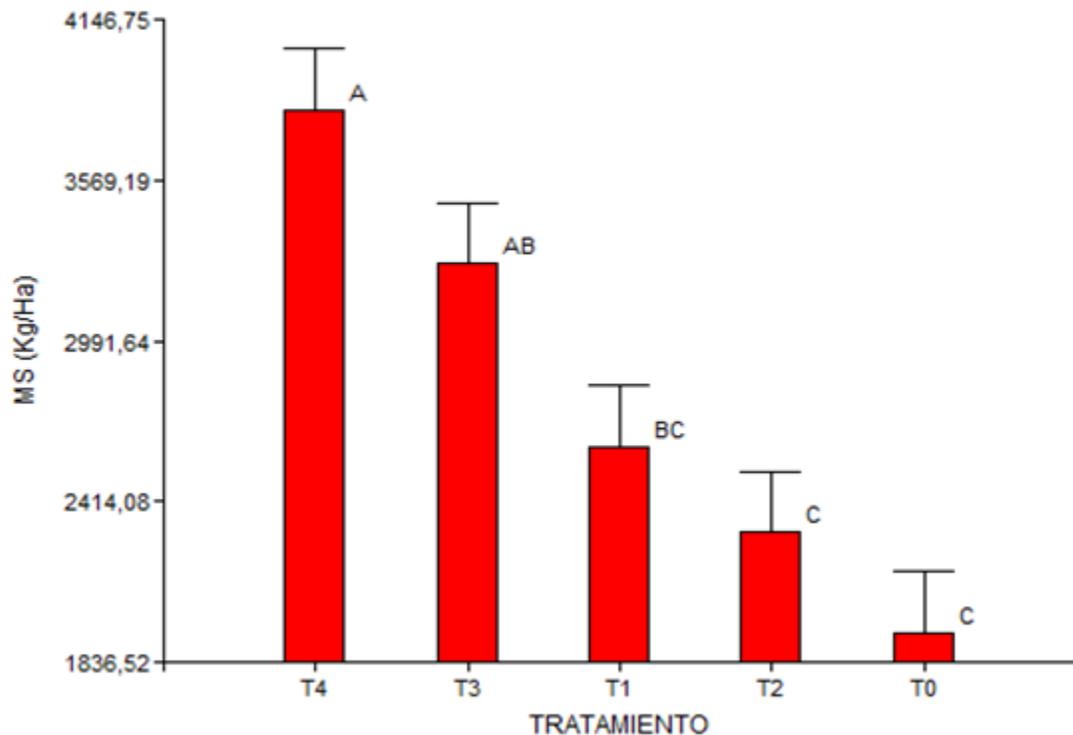
6.2.1.4 Cuarto corte (10/05/2012): Las precipitaciones ocurridas en otoño junto con las aplicaciones de riego, y en forma asociada a una menor demanda evapotranspiratoria del cultivo, permitieron la recarga del perfil completo, hecho que posibilitó la obtención de rendimientos elevados en los cortes realizados (Gráfico 5).

Basigalup (2007) afirma que tanto el consumo de agua como la producción son mayores en el período estival que en el otoñal, debido a que también en este último hay removilización de

fotoasimilados hacia la corona. Este hecho no ocurrió debido a las condiciones nombradas anteriormente que reinaron en el periodo estival.

En esta fecha ocurrieron anomalías que alteraron la estabilidad del ensayo, siendo una muy importante la ocurrencia de un valor extremo en el T4 de la repetición 1 (6387 kg de MS). Otra anomalía encontrada fue el encharcamiento aproximadamente en el 50% de la superficie correspondiente a la parcela del tratamiento T2, repetición 1, lo que produjo un estado de anegamiento que redujo el stand de plantas al ser muy sensible esta especie a este estado. Esta cuestión, junto con el menor nivel de fósforo encontrado en la muestra compuesta correspondiente a los tratamientos T2 (50P), se refleja en un rendimiento promedio menor de este tratamiento (1897 kg de MS).

Gráfico N°5. Media y varianza en el peso de la materia seca (10/05/12)



Independientemente de lo mencionado anteriormente, no se encontró una gran inestabilidad entre valores extremos en las demás repeticiones. Dicho análisis (resumido en la Tabla 12) confirma que aproximadamente un 80% de la diferencia en el rendimiento en el peso MS entre tratamientos lo explica el nivel de P utilizado en la re fertilización, con un CV mayor a lo esperado (13,8%) debido a las

cuestiones tratadas con anterioridad, habiendo evidencias significativas de lo postulado ($p < 0,05$) entre tratamientos, y encontrándose diferencia entre las medias de las distintas repeticiones ($p < 0,05$).

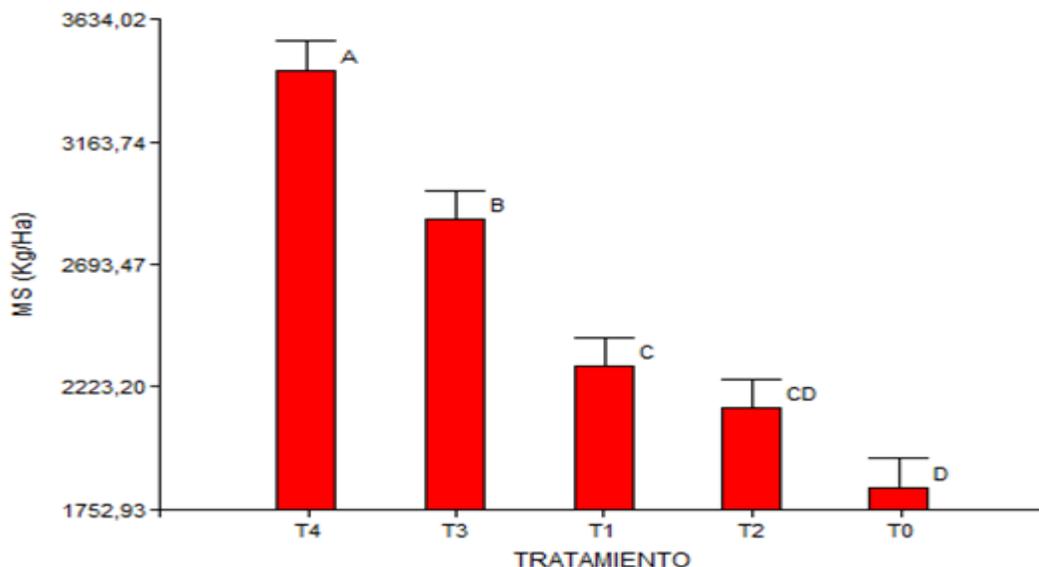
Tabla 12. Producción de materia seca por hectárea (10/05/2012) Resumen del ANAVA

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	15	0,78	13,82	0,0021	0,0419

En el Gráfico 5, el test de Fisher señala que una alteración producida en el tratamiento T2 (50P) produjo una baja en el rendimiento del mismo, resultando en un rendimiento menor a sus tratamientos sucesivos, y además se reafirma la inclinación a lograr los mayores rendimientos con una aplicación mayor a 75 kg de P en la refertilización.

6.2.1.5 Quinto corte (30/06/12): Para la entrada del invierno las condiciones hídricas se mantuvieron en valores elevados, habiendo una marcada disminución en la temperatura y en las condiciones de evapotranspiración por lo que los rendimientos si bien fueron altos, mostraron una merma comparado con los logrados en la fecha de corte anterior, como se puede observar en el Gráfico 6.

Gráfico 6. Medias y varianza en el peso de la materia seca (30/06/12)



En la Tabla 13 se observa una variación significativa entre tratamientos ($p < 0,05$) la cuál esta explicada en un 91% por los niveles de fósforo empleados, con un CV de solo un 7,7%.

Tabla 13. Producción de materia seca por hectárea (30/06/2012) resultados del ANAVA

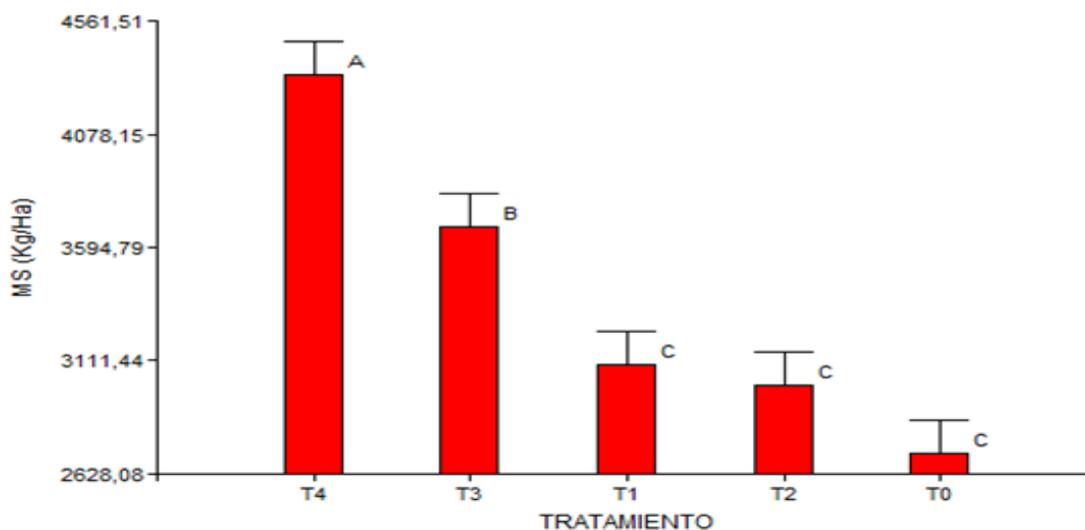
VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	15	0,91	7,68	0,0001	0,0143

Al igual que en los cortes anteriores se dio en este caso una superioridad en el rendimiento de los tratamientos T3 (75P) y T4 (100P).

6.2.1.6 Sexto corte: Luego del corte analizado anteriormente el cultivo entro en reposo invernal mermando su crecimiento. Al reanudar el mismo entrando en la primavera, el cultivo se encontró con condiciones hídricas muy buenas permitiendo lograr un rendimiento cuantioso (Gráfico 7), el cuál aumentó junto con el progreso de los tratamientos, habiendo una merma en las medias del tratamiento T2 (3004 kg de MS). Una particularidad de este corte fue la alta similitud entre las repeticiones que se refleja en el valor de p (0,62).

Coincidiendo con dichos resultados, en Paraná y sobre un suelo Argiudol vértico, Pautasso y col en el 2008 encontraron las mayores producciones en cortes realizados en octubre, alcanzando los 3400 kg de materia seca por hectárea.

Gráfico 7. Medias y varianza en el peso de la materia seca (20/10/12)



Estadísticamente continúa siendo la práctica de refertilización con fósforo la que explica la principal variación en el rendimiento de MS (84%), con un CV de 7,4% mostrando una elevada estabilidad en los rendimientos cuando las condiciones hídricas son prominentes (Tabla 14).

Tabla 14. Resumen del ANAVA para la producción de materia seca por hectárea (20/1/2012)

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
MS (Kg/ha)	15	0,84	7,48	0,0003	0,6225

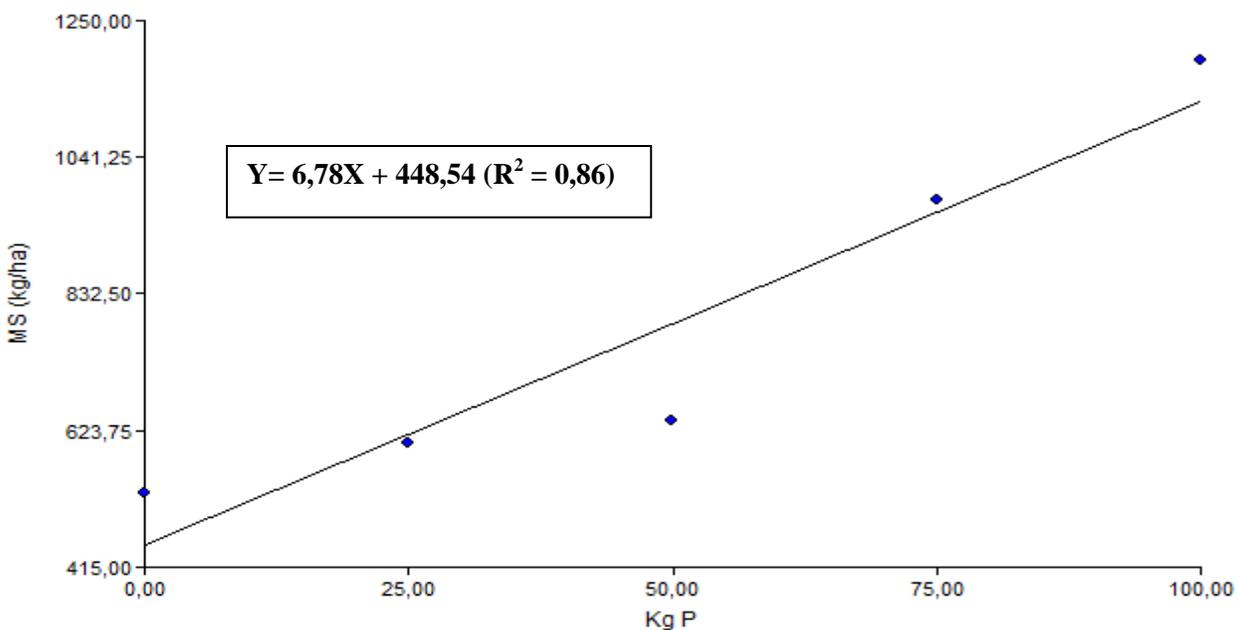
Otra confirmación que se produce, observando el test de Fisher (Gráfico 7), es la obtención de un rendimiento destacado a partir de los 75 kg de fósforo aplicado.

6.2.2 Relación entre refertilización y producción de materia seca:

La relación existente entre la producción de MS y los kgs de P que se administraron en cada tratamiento se encuentra altamente influenciada por los factores del ambiente. Esta circunstancia hace que sea meritorio analizar esta relación en dos situaciones ambientales totalmente opuestas como se caracterizó el estudio realizado (Segundo corte vs Sexto corte)

Para condiciones de crecimiento desfavorables, en el mes de febrero, se obtuvo un incremento de 6,78 kg en la producción de MS por kg de P utilizado en la refertilización (Gráfico 8).

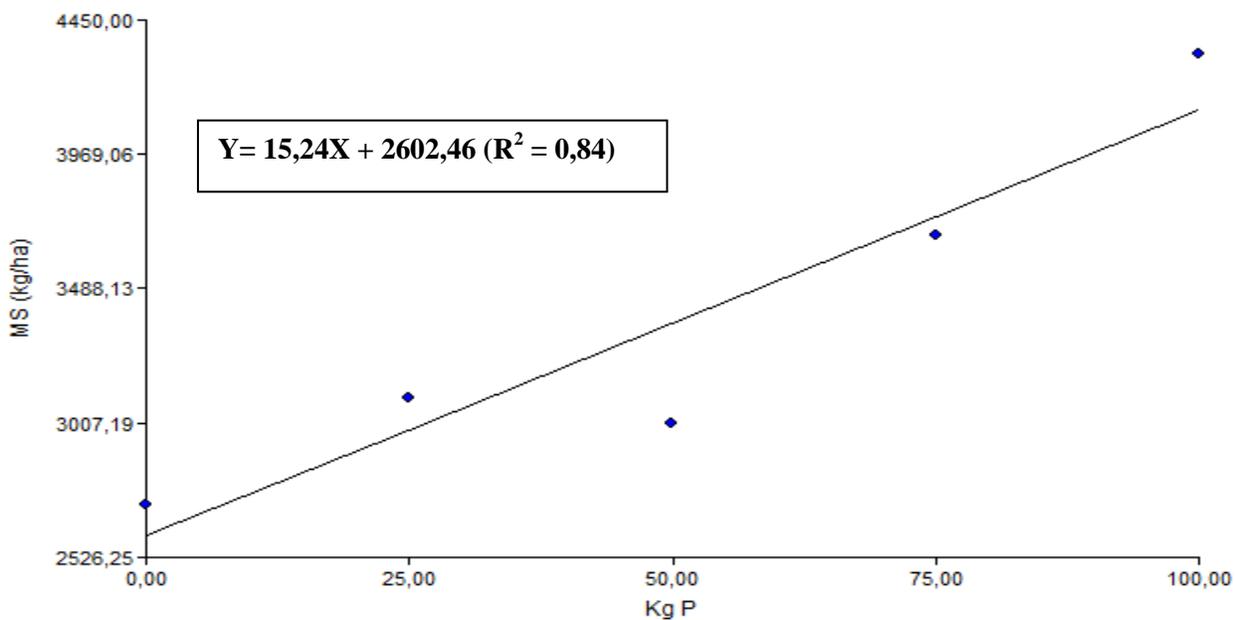
Gráfico 8. Relación entre la producción de materia seca y los Kg de P incorporados en la refertilización (23/02/12)



Por otro lado, ante condiciones hídricas favorables, existe un incremento de 15,24 kg de MS por kg de P utilizado, aumentando notoriamente la eficiencia en el uso de los nutrientes del suelo (Gráfico 9).

Estos resultados son más bajos que los obtenidos por Vivas y Quaino en el 2001, los que indican un aumento de entre 11,6 y 27,6 kg de MS por kg de P utilizado en la refertilización.

Gráfico 9. Relación entre la producción de materia seca y los Kg de P incorporados en la refertilización (20/10/12)



6.3 Análisis de la eficiencia en el uso del agua y sus componentes

Para la obtención de la eficiencia en el uso del agua por el método del balance cada componente registrada se analiza por separado para luego ser integrada en un análisis global.

6.3.1 Entradas por precipitaciones y riego:

Tabla 15. Precipitaciones y láminas de riego aplicadas

FECHA	ENTRADAS (mm)	FECHA	ENTRADAS (mm)
04/01/2012	12	15/07/2012	2
11/01/2012	12	05/08/2012	8
19/01/2012	12	22/08/2012	20
25/01/2012	10	03/09/2012	1
03/02/2012	12	04/09/2012	0
08/02/2012	25	05/09/2012	5
13/02/2012	12	06/09/2012	22
20/02/2012	22	07/09/2012	51
25/02/2012	12	10/09/2012	5
29/02/2012	32	19/09/2012	13
05/03/2012	12	23/09/2012	12
11/03/2012	11	01/10/2012	7
14/03/2012	10	06/10/2012	12
20/03/2012	15	07/10/2012	6
28/03/2012	19	08/10/2012	5
31/03/2012	12	09/10/2012	1
07/04/2012	12	10/10/2012	3
11/04/2012	50	15/10/2012	41
18/04/2012	24	16/10/2012	12
25/04/2012	5	20/10/2012	3
28/04/2012	12	22/10/2012	23
04/05/2012	12	23/10/2012	1
10/05/2012	17	25/10/2012	6
16/05/2012	12	26/10/2012	10
23/05/2012	27	29/10/2012	7
03/06/2012	12	30/10/2012	4
15/06/2012	12	TOTAL	679

Aplicaciones de Riego
Precipitaciones

Las entradas totales de agua por precipitaciones y riego alcanzaron en el periodo estudiado los 679 mm aproximadamente (Tabla 15), de los cuales 192 mm se incorporaron con la utilización del equipo de riego, el cuál fue muy utilizado en verano (de enero a principios marzo), y posteriormente en otoño hacia fines de abril y principios de junio.

6.3.2 Salidas por escurrimiento:

Como se mencionó anteriormente, esta componente se analizó con la metodología de la Curva Número, en donde para determinar su valor se realizó un estudio de infiltración, valorándolo en forma conjunta con otros factores intervinientes como la pendiente, el cultivo desarrollado y su manejo.

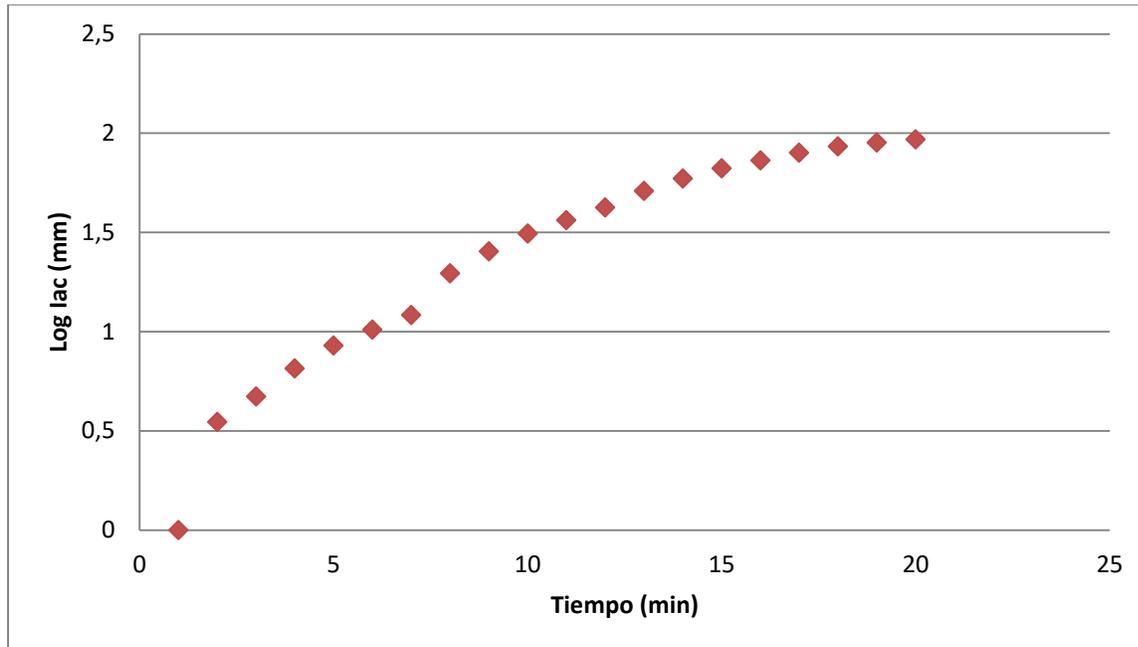
Los resultados obtenidos del ensayo de infiltración con doble anillo se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de Infiltración

INFILTRACION		
Tiempo (min)	Lámina (mm)	Infiltración
0,5	0,7	0,539
1	0,9	0,425
2	1,2	0,335
3	1,6	0,292
4	1,9	0,264
5	2,25	0,245
10	3,65	0,193
15	4,7	0,168
20	5,8	0,152
25	6,8	0,141
30	7,9	0,133
40	9,55	0,120
50	11	0,111
60	12,4	0,105
70	13,6	0,099
80	14,8	0,095
90	15,95	0,091
100	16,6	0,088
110	17,2	0,085

Se calculó el logaritmo de la infiltración acumulada, con lo que se obtuvo la curva real de infiltración del suelo estudiado, y que se detalla en el Gráfico 10.

Gráfico 10. Curva Real de infiltración Acumulada

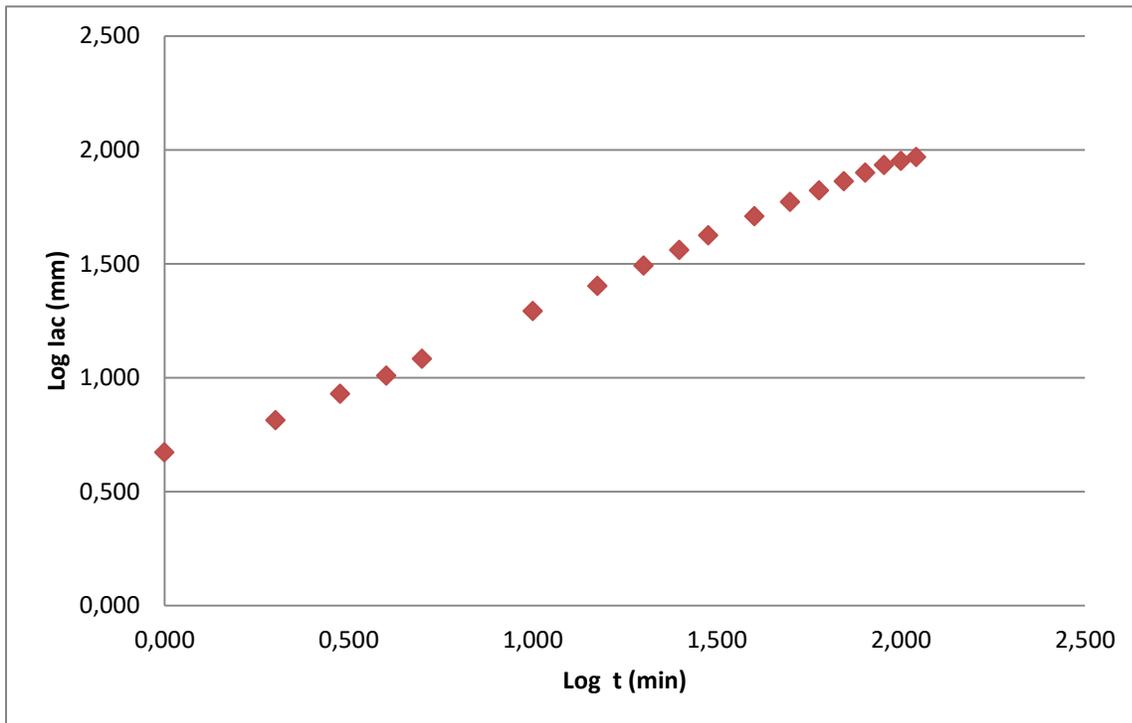


La ecuación de Kostiakov nos dice que la infiltración acumulada es igual a:

$$I_{ac} = a \times t^b$$

Para la obtención de los parámetros de ajuste a y b se linealizó la ecuación de Kostiakov, aplicando logaritmo a la infiltración acumulada y al tiempo, donde de la gráfica resultante (*Gráfico 11*) la ordenada al origen corresponde al valor de a y la pendiente acusa al valor de b.

Gráfico 11. Logaritmo de la Ecuación de Kostiakov



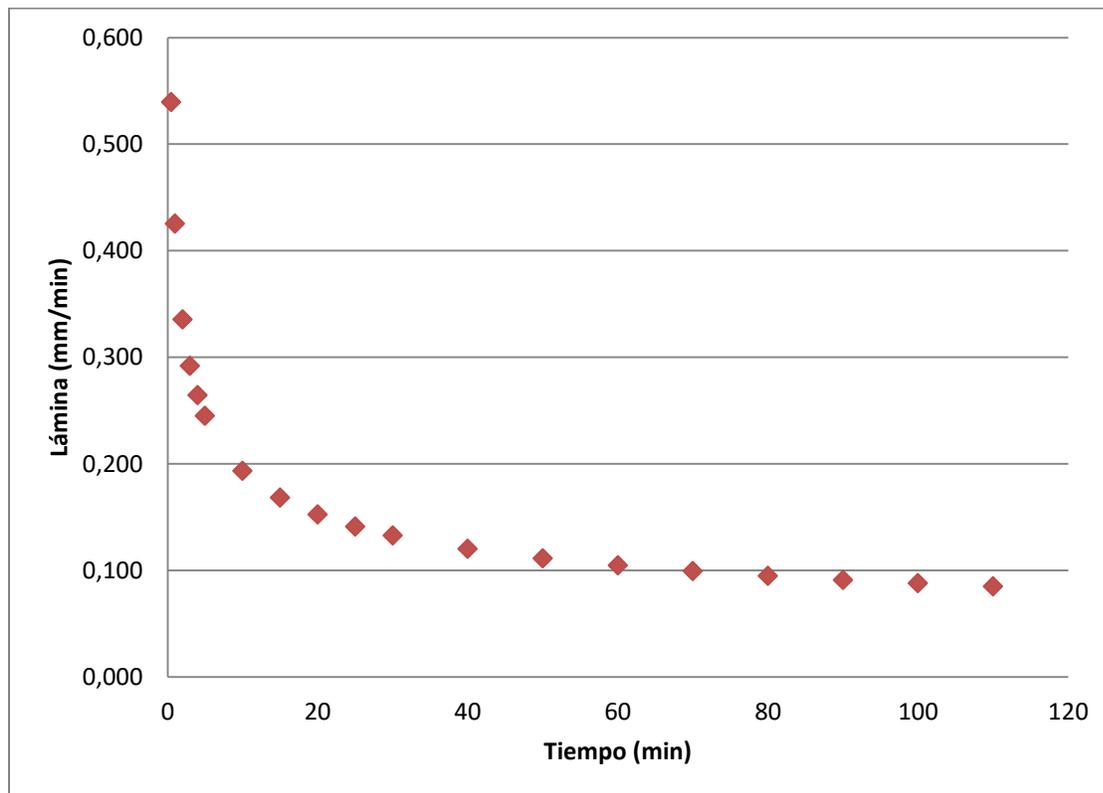
Por último al derivar la ecuación de Kostiakov se obtuvo la fórmula de infiltración base con la cual se obtuvo la curva observada en el Gráfico 12:

$$I_{ac} = a \times T^b$$

$$\frac{\delta I}{\delta t} = \underbrace{a \times b}_{a'} \times \underbrace{T^{b-1}}_{b'}$$

$$I_{base} = a' \times t^{b'}$$

Gráfico 12. Curva de Velocidad de infiltración



En la curva de velocidad de infiltración se puede observar que a partir de los 90 minutos la variación en la lámina infiltrada no es muy significativa, por lo que la velocidad de infiltración básica varía entre 0,091 y 0,085 mm/min, es decir entre 5 y 6 mm/h aproximadamente. Se asume un valor de infiltración base promedio de 9 mm/h ya que las condiciones de la superficie con un cultivo cortando la pendiente y una pastura densa, aumentan la retención del agua en superficie disminuyendo la escurrentía. Por estas cuestiones, toda lluvia o aplicación menor a este milimetraje no se consideró que produjo escurrimiento. Por la misma razón, sumado a que la intensidad de las lluvias de la zona no fueron elevadas, los valores de Curva Número que se asumieron varían de 20 para lluvias menores a 25mm, 23 para lluvias de entre 25-50mm, y de 25 para lluvias mayores a 50mm. Con estos valores se procedió al cálculo de los valores de escurrimiento que se pueden observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores de escurrimiento superficial

FECHA	ENTRADAS (mm)	ESCURRIMIENTO (mm)
04/01/2012	12	0,36
11/01/2012	12	0,36
19/01/2012	12	0,36
25/01/2012	10	0,10
03/02/2012	12	0,36
08/02/2012	25	5,07
13/02/2012	12	0,36
20/02/2012	22	3,63
25/02/2012	12	0,36
29/02/2012	32	10,28
05/03/2012	12	0,36
11/03/2012	11	0,21
14/03/2012	10	0,10
20/03/2012	15	1,04
28/03/2012	19	2,37
31/03/2012	12	0,36
07/04/2012	12	0,36
11/04/2012	50	26,16
18/04/2012	24	4,57
25/04/2012	5	0,00
28/04/2012	12	0,36
04/05/2012	12	0,36
10/05/2012	17	1,65
16/05/2012	12	0,36
23/05/2012	27	6,12
03/06/2012	12	0,36
15/06/2012	12	0,36
15/07/2012	2	0,00
05/08/2012	8	0,00
22/08/2012	20	2,77
03/09/2012	1	0,00
04/09/2012	0	0,00
05/09/2012	5	0,00
06/09/2012	22	3,63
07/09/2012	51	27,00
10/09/2012	5	0,00
19/09/2012	13	0,56
23/09/2012	12	0,36
01/10/2012	7	0,00
06/10/2012	12	0,36
07/10/2012	6	0,00
08/10/2012	5	0,00
09/10/2012	1	0,00
10/10/2012	3	0,00
15/10/2012	41	18,85
16/10/2012	12	0,36
20/10/2012	3	0,00
22/10/2012	23	4,09
23/10/2012	1	0,00
25/10/2012	6	0,00
26/10/2012	10	0,10
29/10/2012	7,1	0,00
30/10/2012	4	0,00
TOTAL	679,1	123,38

Aplicaciones de Riego

Precipitaciones

6.3.3 Balance de agua en el suelo:

Como se mencionó anteriormente, para establecer los niveles de almacenamiento de agua en el suelo, se requirió la medición, en cada horizonte establecido, de la densidad aparente para transformar los datos de humedad gravimétrica a volumétrica y luego a lámina, y las constantes hídricas para saber los límites inferior (punto de marchitez permanente) y superior (capacidad de campo) que determinan el nivel de agua útil en cada horizonte.

Los valores de densidad aparente, obtenidos con un cilindro de volumen conocido pueden observarse en la Tabla 18.

Tabla 18. Valores obtenidas de densidad aparente

HORIZONTE	DAP (Mg.m ⁻³)
Ap	1,23
Bw	1,52
BC	1,32
C	1,27

Por su parte, los valores de constantes hídricas se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores de Constantes Hídricas en porcentaje (izquierda) y en lámina (derecha)

	CC	PMP	H ^o u	CC	PMP	H ^o u
Horizonte	%			Lamina (mm)		
Ap	21,29	8,94	12,35	44,709	18,774	25,935
Bw	24,62	10,29	14,33	46,778	19,551	27,227
BC	23,6	8,32	15,28	61,36	21,632	39,728
C	19,45	7,38	12,07	163,38	61,992	101,388
				316,227	121,949	194,278

Con estos valores se lograron conocer los niveles de almacenamiento de agua en el suelo. Como a modo de ejemplo se comparan dos fechas opuestas en cuanto a los niveles de almacenamiento para el tratamiento testigo (Tablas 21 y 21).

Tabla 20. Valores de Agua útil para el tratamiento Testigo (07/01/12)

Horizonte	Lámina (mm)	AU (mm)	AU (%)
A	24,92	6,15	23,70
B	31,66	12,11	44,47
BC	30,37	8,74	22,00
C	12,08	9,74	9,61
C	17,93		
C	16,37		
C	25,35		
TOTAL	158,68	36,73	18,91

Tabla 21. Valores de Agua útil para el tratamiento Testigo (20/04/12)

Horizonte	Lámina (mm)	AU (mm)	AU (%)
A	43,37	24,60	94,85
B	47,20	27,23	100,00
BC	38,93	17,30	43,53
C	15,85	28,41	28,02
C	21,85		
C	23,93		
C	28,77		
TOTAL	219,90	97,53	50,20

Como se logra ver en las Tablas 20 y 21, los porcentajes de agua útil del suelo en ambas fechas reflejan las condiciones climáticas que azotaron en la campaña 2011-2012, donde la ocurrencia del fenómeno "La Niña" determinó (pese a la utilización de riego) una escasa acumulación de agua en el perfil durante el periodo estival, mejorando estas condiciones en el periodo otoñal a raíz de un aumento en las precipitaciones y un mayor aprovechamiento de las láminas de riego aplicadas.

Como se pudo observar en las dos tablas anteriores, la cantidad de agua útil en el perfil osciló entre valores del 19% (o menos) para el mes de enero, y valores de aproximadamente 50% en el mes de abril. Se pueden comparar estos valores con los pronosticados por la facultad de agronomía de la UBA en la Figura 3.

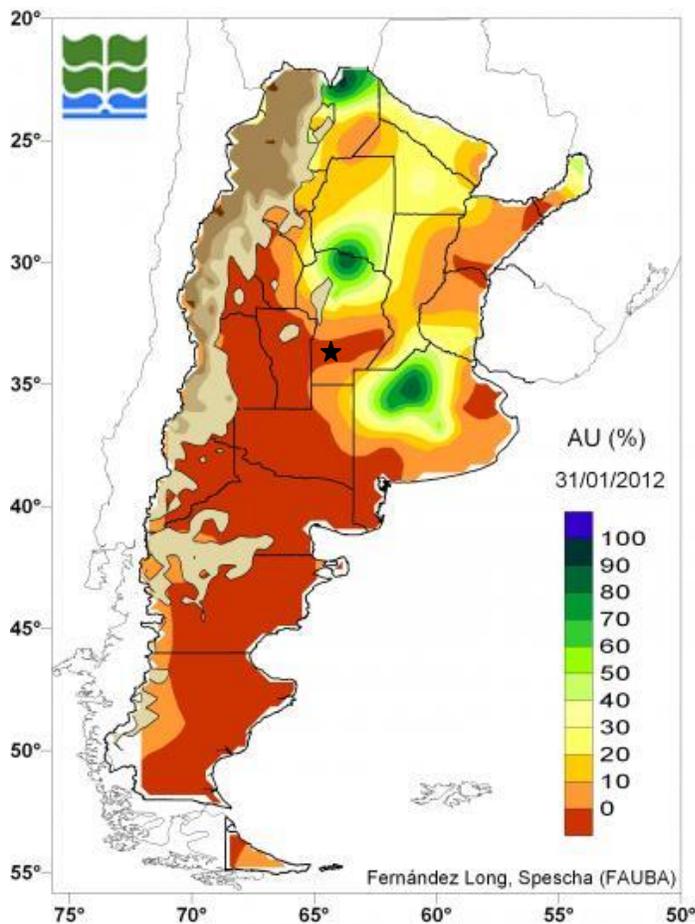


Figura 3. Porcentaje de agua útil hasta un metro de profundidad para el mes de enero del 2012

Fuente: Fernandez Long (FAUBA), 2012.

En la figura 3 para la zona en estudio (departamento Río Cuarto) se observa que los niveles de agua útil fluctuaron entre 0 y 10%. En el caso del establecimiento analizado, se encontró un nivel de agua útil hasta el metro de profundidad de aproximadamente un 25%, esta diferencia encontrada se puede explicar a raíz del uso de riego, que a pesar de no permitir valores de rendimiento elevados para la época, fue de mucha utilidad para la mantención del stand de plantas.

Como se puede contemplar en la Figura 4, los niveles de agua útil para el mes de abril en la zona en cuestión varían entre 70 y 90%, estando dentro del rango los datos obtenidos in situ hasta un metro de profundidad (aproximadamente un 75%).

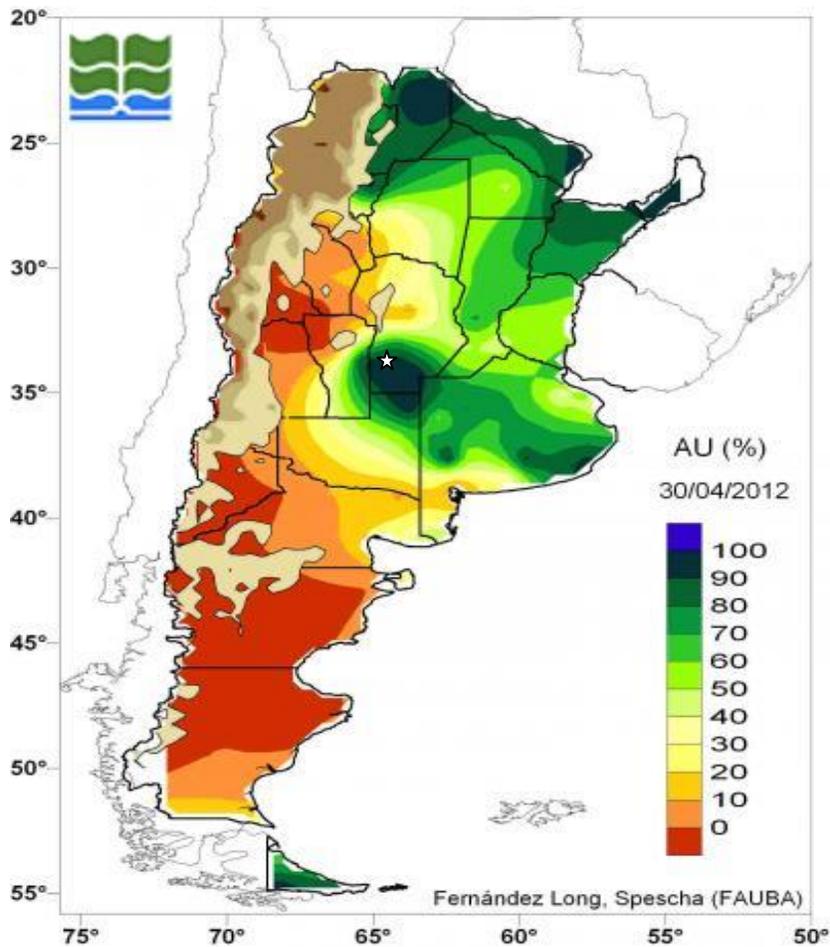


Figura 4. Porcentaje de agua útil hasta un metro de profundidad para el mes de abril del 2012

Fuente: Fernandez Long (FAUBA), 2012.

Para una mejor comprensión de la dinámica en el almacenamiento de agua en el perfil se adhieren al *anexo II* los valores obtenidos en forma de gráfica, correspondientes a todos los tratamientos.

La dinámica de acumulación de agua en el perfil muestra que, para un año caracterizado por escasas lluvias estivales (año niña), el almacenaje en esa época del año alcanza valores efímeros, que en todos los casos no superó el 18% de agua útil para el mes de enero, y un escaso 3% en el mes de febrero donde se encontraron los valores más bajos de agua útil para todo el periodo estudiado. Las posteriores lluvias otoñales, sumadas a las aplicaciones de riego, determinaron la recarga del perfil en el periodo otoñal, época donde se dilucidaron los mayores valores de Agua útil (aproximadamente un 50% hasta metro y medio de profundidad). Los altos valores de producción en la materia seca correspondientes a los meses de mayo y junio determinaron, que en el periodo invernal se note una merma en los contenidos hídricos en el perfil debido al alto consumo de agua en las fechas citadas. Por último, con la reanudación

de las lluvias en el periodo primaveral, comenzó la recarga constante del perfil, a excepción de los tratamientos T3 (75P) y T4 (100P) donde a razón de una alta producción (y por ende un alto consumo de agua), mostraron una tendencia a disminuir los contenidos hídricos hacia finales del mes de octubre.

6.3.4 Evapotranspiración y Eficiencia en el uso del agua:

Una vez definido el balance de agua en el suelo, solo resta definir la incógnita "evapotranspiración", con la cuál es posible determinar la eficiencia en el uso del agua

A modo de ejemplo se esquematizan en la Tabla 22 los valores promedio de los componentes del balance de agua en el suelo para el tratamiento T2 (50P).

Tabla 22. Componentes del Balance y EUA para el Tratamiento T2

TRATAMIENTO 2								
Fecha	Cortes (KgMS)	Lámina (mm)	Diferencial	Precip + riego período (mm)	Escurrem periodo (mm)	Evapotranspiración (mm)	EUA KgMS/mm	EUA * IC
07/01/2012		33,11						
23/02/2012	638,60	6,36	26,75	105	10,61	121,13	5,27	3,69
14/03/2012		44,10	-37,73	67	10,85	18,41		
28/03/2012	766,34	35,24	8,86	36	1,35	43,51	12,38	8,66
20/04/2012		94,30	-59,06	117	33,83	24,11		
23/05/2012	2300,88	83,33	10,97	58	2,38	66,59	25,37	17,76
12/06/2012		71,87	11,46	51	6,48	68,94		
30/06/2012	2141,88	61,62	10,25	12	0,36	22,61	23,39	16,38
20/07/2012		56,15	5,47	2	0	7,47		
18/08/2012		54,03	2,12	8	0,00	10,12		
10/09/2012		76,14	-22,12	99	33,40	43,49		
05/10/2012		89,44	-13,30	37	0,92	22,78		
20/10/2012	3004,11	92,46	-16,32	80	19,57	44,10	23,48	16,43
SUMA/PROM	8851,81					493,28	17,94	12,56

Se puede observar en la dinámica de la evapotranspiración que no siempre los valores más elevados reflejaron los mejores rendimientos, ya que por ejemplo, para el mes de enero en donde se observaron los mayores valores, se deduce que a causa de una escasa cobertura vegetal, la mayor parte de la evapotranspiración corresponde a la componente evaporativa, a razón de las sucesivas aplicaciones de riego que impedían cortar el flujo capilar en los horizontes superficiales, así pues, ante condiciones de fuerte estrés, la componente "transpiración" adquirió los menores valores por lo que la producción de

materia seca, y por ende la eficiencia en el uso del agua, asumieron los valores más bajos para la época estival.

Se pueden observar en la Tabla 23 los valores promedio de EUA obtenidos en todos los tratamientos realizados, para las cinco fechas de corte evaluadas.

Tabla 23. Eficiencia en el uso del agua de todos los tratamientos y repeticiones

TRATAMIENTO	FECHA	EUA	DESVIO	CV
T0	07/01/12	4,10	7,9	52,3
	23/02/12	9,37		
	28/03/12	20,87		
	23/05/12	20,35		
	30/10/12	21,24		
T1	07/01/12	4,94	10,6	57,3
	23/02/12	9,52		
	28/03/12	29,22		
	23/05/12	24,53		
	30/10/12	23,94		
T2	07/01/12	5,27	8,8	48,9
	23/02/12	12,40		
	28/03/12	25,30		
	23/05/12	23,39		
	30/10/12	24,07		
T3	07/01/12	8,01	10,6	41,6
	23/02/12	23,29		
	28/03/12	34,32		
	23/05/12	31,64		
	30/10/12	30,36		
T4	07/01/12	9,79	14,5	45,4
	23/02/12	28,09		
	28/03/12	49,12		
	23/05/12	37,68		
	30/10/12	35,20		

Lo mencionado anteriormente se refleja en esta tabla, ya que se puede contemplar en todos los casos la ocurrencia de valores escasos en la EUA para el caso de las dos primeras fechas de corte (febrero y marzo respectivamente), explicados principalmente por una componente ambiental que puso en estrés permanente al cultivo promoviendo el cierre de los estomas, lo que produce un menor intercambio gaseoso, menor fotosíntesis, y por ende menor crecimiento y rendimiento. Preston (1992) sostiene que la transpiración de la alfalfa es mayor cuando la temperatura del aire es mayor a la de la hoja, sin embargo entre las 12 y las 2PM esta situación se revierte debido al cierre parcial de estomas, demostrando que en situaciones de estrés hídrico el cultivo disminuye el área efectiva de transpiración y por ende la eficiencia en el uso del agua ya que la componente evaporación aumenta relativamente.

Sin embargo, otros autores sostienen que ante condiciones de estrés hídrico ligeras la eficiencia en el uso del agua se incrementa (Collino et al, 2005). Así mismo, se notó que para los tratamientos T3 (75P) y T4 (100P) fundamentalmente, hacia la segunda fecha de corte se lograron eficiencias mucho mayores a los demás tratamientos a pesar de que las condiciones hídricas del suelo fueron sub-óptimas,

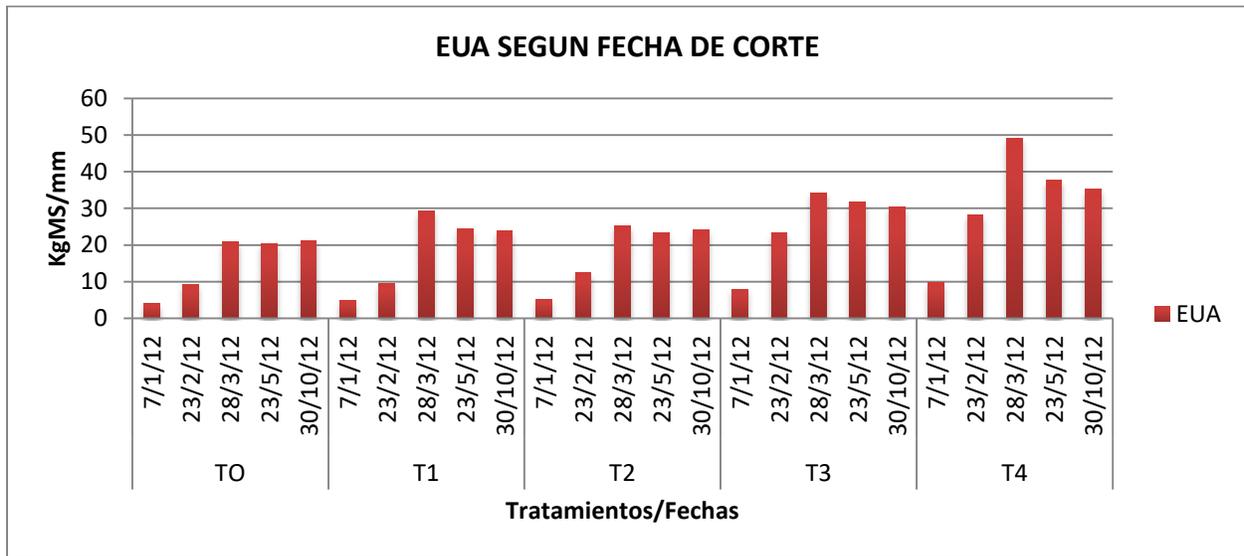
esto supone la idea de que en estos tratamientos el cultivo desarrollo un mayor sistema radical que le permitió extraer una mayor cantidad de agua, efecto que se vio reflejado en la obtención (en la mayoría de los casos) de láminas menores en estos tratamientos. Tampoco se descarta la idea de que en los tratamientos con niveles superiores de P el cultivo haya logrado una mayor profundización de raíces que la estudiada, permitiendo la extracción de agua de estratos inferiores. Todos estos supuestos se estudiaron nuevamente en el análisis de componentes indirectas al balance (peso y diámetro de la corona).

Las demás fechas de corte analizadas (mayo, junio y octubre), se dieron bajo condiciones hídricas favorables al cultivo, con lo que se magnificaron las diferencias entre los tratamientos en cuanto a la EUA. En la mayoría de los casos, la fecha de corte correspondiente al 23/05/12 fué la que mayores valores arrojó, hecho que va de la mano con la obtención de los mayores porcentajes de agua útil, por lo que a pesar de que las temperaturas para el crecimiento del cultivo no fueron las óptimas, el mismo no encontró dificultades para la absorción de agua en los distintos estratos del suelo. Este hecho no concuerda con el normal comportamiento del cultivo el cuál asume los mayores valores de eficiencia en el uso del agua en el período estival. En este sentido, Basigalup (2007) sostiene que las bajas eficiencias en el uso del agua obtenidas en otoño e invierno son producidas por limitaciones de la temperatura y por la movilización de fotoasimilados hacia la corona.

Analizando los distintos desvíos y coeficientes de variación se notó que, para la mayoría de las repeticiones, una mayor cantidad de fósforo supone una mayor estabilidad en el rendimiento (menor CV) bajo distintas condiciones ambientales (óptimas y sub-óptimas), ya que un sistema de raíces más desarrollado tiene una mayor capacidad de "competir" ante condiciones ambientales adversas y cubre por ende una mayor superficie efectiva de absorción. En este sentido, Barber (1980) a través de estudios realizados en Wisconsin (EEUU) sostiene que el estímulo del P en el desarrollo radicular favorece la eficiencia en el uso del agua.

Se puede observar la dinámica de la eficiencia en el uso del agua en el Gráfico 13 correspondiente a los distintos tratamientos.

Gráfico 13. EUA promedio de los distintos tratamientos



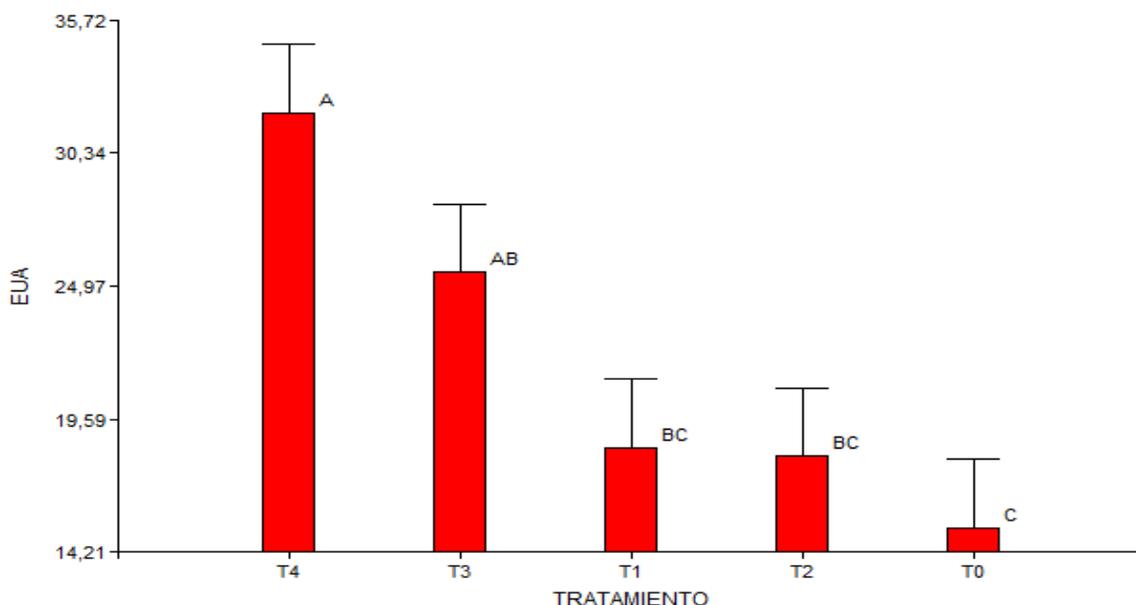
El análisis estadístico resumido en la Tabla 24 comprueba que la variación en la eficiencia del uso del agua entre tratamientos esta explicada en un 21% por la refertilización fosfatada, habiendo significancia estadística de esto ($p < 0,05$). Así mismo, se obtuvo un valor elevado en el CV (49%) lo que prueba que la variación en la EUA se encuentra explicada principalmente por otras variables como la componente genética y las condiciones ambientales, sobre todo por el contenido hídrico del suelo. Fuera de estas cuestiones, las fluctuaciones notadas entre tratamientos para las mismas fechas, se deberían en potencial a un mayor crecimiento del sistema radical lo que permitió el desarrollo de una mayor superficie en la captación del recurso agua.

Tabla 24. Resumen del ANAVA para la Eficiencia en el Uso del Agua promedio de todas las fechas de corte:

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
EUA	15	0,21	49,11	0,0003	0,6106

El test de Fisher que se puede observar en el Gráfico 14 ratifica que existe una similitud entre tratamientos sucesivos, habiendo diferencias significativas entre tratamientos extremos.

Gráfico 14. Eficiencia del uso del agua en función del tratamiento promedio para todo el periodo evaluado



Como se mencionó anteriormente, se presupone que la componente ambiental es la que explica la mayor parte de la variación en la EUA, por lo que para comprobar este supuesto se aisló esta componente realizando un análisis estadístico de los distintos tratamientos para una misma fecha, comparando una situación con baja disponibilidad hídrica (23/02) y otra con condiciones óptimas (20/10).

Lo expuesto en la Tabla 25 corresponde a una condición de alto estrés hídrico, como se caracterizó durante todo el periodo estival donde se realizaron los ensayos, por lo que los datos de EUA son los más bajos del periodo estudiado.

Tabla 25. Eficiencia en el uso del agua de los distintos tratamientos para la fecha 23/02/12

FECHA	TRATAMIENTO	EUA
23/02/2012	T0	4,10A
	T1	4,94B
	T2	5,27C
	T3	8,01C
	T4	9,79C

El segundo caso corresponde a los valores de EUA obtenidos a la entrada de la primavera, como se puede observar en la Tabla 26.

Tabla 26. Eficiencia en el uso del agua de los distintos tratamientos para la fecha 20/10/12

FECHA	TRATAMIENTO	EUA
20/10/2012	T0	21,24A
	T1	23,94B
	T2	24,07C
	T3	30,36C
	T4	35,20C

Cuando se elimina la fluctuación ambiental, observando solamente los valores correspondientes a una misma fecha, aumenta la estabilidad en la variación tratamientos-repeticiones, acusando valores de CV de 10,53% para la situación de estrés y 7,54% para la condición óptima, como se puede dilucidar en la Tabla 27, lo que afirma que la variable EUA es más estable en condiciones hídricas óptimas.

Para ambos casos existe una alta respuesta (aproximadamente un 90%) que afirma que cuando las condiciones ambientales son las mismas para todos los tratamientos, la mayor variación fue explicada por el nivel de fósforo utilizado en la re fertilización (Tabla 27).

Tabla 27. Eficiencia en el Uso del Agua para las fechas del 23/02 y 20/10; Resumen del ANAVA

VARIABLE	FECHA	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
EUA	23/02/2012	15	0,91	10,53	0,0001	0,3586
	20/10/2012	15	0,89	7,54	0,0001	0,0021

Con los resultados del test de Fisher se afirma que para ambas situaciones los tratamientos T0 (0P), T1 (25P) y T2 (50P) son similares entre sí, mientras que los tratamientos T3 (75P) y T4 (100P) son diferentes entre sí y superiores a los demás.

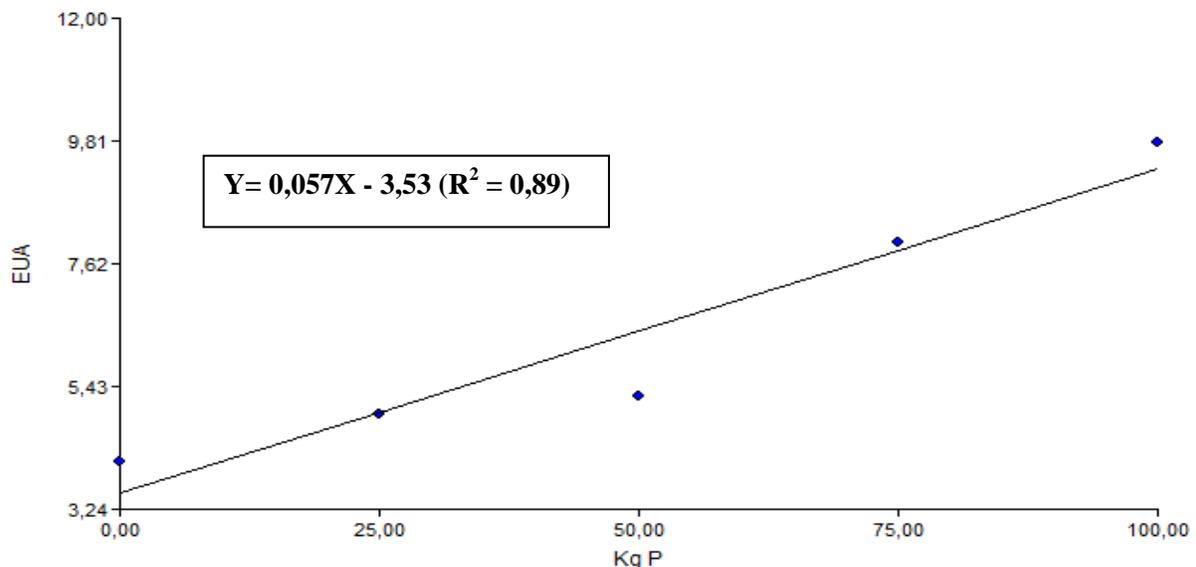
Se puede concluir que, al igual que con la producción de materia seca, se destacan los tratamientos más ofensivos (T3 y T4) en todos los casos, a pesar de que si bien en los mismos el consumo de agua es mayor, también la eficiencia en su uso aumenta ya que, como se citó anteriormente, la EUA es más estable y mayor en condiciones hídricas óptimas, y en ese sentido la re fertilización con fósforo permite la existencia de un sistema de raíces más desarrollado, el cual facilita que el cultivo se encuentre en situaciones más favorables que otros cultivos rezagados en su crecimiento radical. En relación con lo expuesto, Basigalup (2007) afirma que el fósforo es importante para la producción de biomasa aérea y radical, la síntesis de carbohidratos y proteínas, la transferencia de energía, etc.

"Con buenas condiciones nutricionales el cultivo crea su propio ambiente favorable"

Por otra parte, para encontrar la relación que existe entre la eficiencia en el uso del agua y los kilogramos de fósforo utilizados hay que tener en cuenta las condiciones ambientales en las cuáles el cultivo se encuentra navegando, ya que como se vio anteriormente, es la componente que mayor influencia tiene en la determinación de la eficiencia con que el cultivo utiliza el recurso agua. Para eso se compararon dos fechas opuestas en cuanto a disponibilidad edáfica de agua.

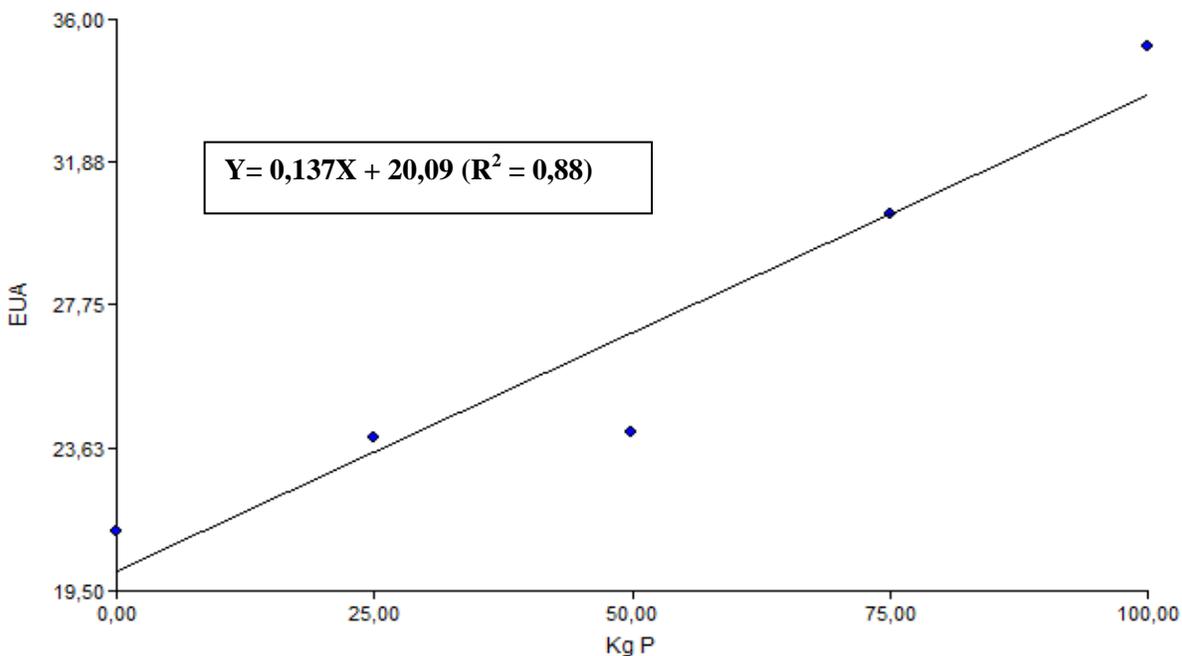
El Gráfico 15 muestra la relación hallada entre la Eficiencia en el uso del agua y los kilogramos de fósforo utilizados en la refertilización, determinándose un incremento de 0,057 unidades de eficiencia por kilogramo de fósforo utilizado en los tratamientos de refertilización cuando las condiciones hídricas son desfavorables. Si bien la eficiencia en este caso es menor que en buenas condiciones hídricas, existe un aumento progresivo de la misma a medida que aumenta el fósforo utilizado. En este sentido, Basigalup (2007) afirma que el fósforo es fundamental no solo para asegurar una mayor productividad, sino que también para aumentar su tolerancia al estrés.

Gráfico 15. Relación entre la EUA y los kg de P utilizados en la refertilización (23/02/12)



Cuando hay buena disponibilidad hídrica, sumado por temperaturas medias favorables para el cultivo de alfalfa como las que se dan durante la época primaveral, se puede ver en el Gráfico 16 que el aumento de EUA por kilogramo de fósforo utilizado es de 0,137 demostrando que la eficiencia aumenta en condiciones hídricas más prominentes.

Gráfico 16. Relación entre la EUA y los kg de P utilizados en la refertilización (20/10/12)



6.4 Peso y Diámetro de la corona

6.4.1 Peso de la corona

En la Tabla 28 se muestran los pesos promedio de corona de alfalfa para cada tratamiento y los valores relativos al tratamiento testigo.

Tabla 28. Peso de Corona promedio y valor relativo al testigo

TRATAMIENTO	PESO CORONA (gr)	P. RELATIVO AL T0 (%)	DESVIO	CV
T0	10,00	100,00	5,30	52,70
T1	11,75	117,43	5,97	51,79
T2	16,90	168,91	7,54	43,47
T3	20,04	200,34	10,75	53,54
T4	24,51	245,06	15,07	58,98

Los resultados de la Tabla 28 nos muestran un notable aumento en el peso de la corona entre los distintos tratamientos, producto de una mayor acumulación de reservas. Si se comparan los tratamientos extremos (T0 vs. T4) resulta que el peso del tratamiento T4 (100P) es 2,45 veces mayor que el testigo. En

relación con esto Parga (1994) afirma que para mantener vigoroso un alfalfar sometido a diversos cortes y favorecer la acumulación de reservas es fundamental una adecuada fertilización de mantenimiento.

Los valores correspondientes al desvío estándar muestran un incremento al aumentar las dosis de P producto de un mayor valor de las medias y la ocurrencia de valores extremos en tratamientos superiores. El CV (intra-tratamientos) no muestra una tendencia clara, lo que supone que la ocurrencia de valores extremos en los tratamientos con niveles de P superiores (T3 y T4) enmascaró la estabilidad de los mismos.

El análisis de varianza en la Tabla 29 indica que la fertilización fosfatada explica el 80% de la variabilidad en el peso de la corona (R^2 0,80), mostrando esta variable un CV del 18% entre tratamientos.

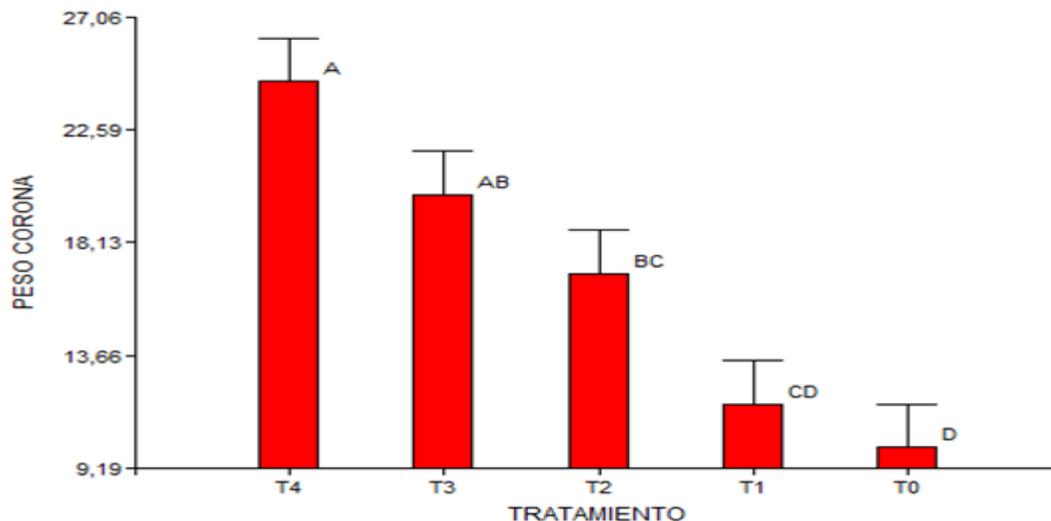
Se puede notar que tanto en los distintos tratamientos como en las repeticiones, los valores de p fueron $<$ a 0,05, esto quiere decir que hay una relación lineal significativa entre la fertilización con P y el peso de la corona.

Tabla 29. *Peso de corona de todos los tratamientos; Resultados del ANAVA*

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
PESO CORONA	15	0,8	18,01	0,0019	0,014

En cuanto al Test de Fisher, en el Gráfico 17 se puede observar que hubo un aumento progresivo en el peso de la corona a medida que aumentaron las dosis fosfatadas, razón por la cual hay similitudes entre tratamientos sucesivos observando diferencias estadísticas considerables entre tratamientos extremos.

Gráfico N°17. *Medias y Varianza en el peso de la corona*



6.4.2 Diámetro de la corona:

Como se observa en la Tabla 30, el diámetro de la corona presentó una variación (con respecto al tratamiento testigo) mucho menor que el peso de la corona, arrojando una fluctuación promedio entre valores extremos de 1,65 veces más en favor del T4 con respecto al testigo.

Tabla 30. Diámetro de corona y valores relativos al testigo para todos los tratamientos

TRATAMIENTO	DIAMETRO CORONA	D. RELATIVO AL T0 (%)	DESVIO	CV
T0	32,30	100,00	1,29	28,82
T1	32,16	99,57	6,16	35,53
T2	38,47	119,11	5,54	29,49
T3	49,33	152,73	3,77	27,88
T4	53,30	165,02	7,02	25,77

El desvío estándar tiende a subir a medida que aumenta la fertilización con P que, al igual que en la variable peso, se debe a que presenta una media más elevada y a la aparición de datos extremos con respecto a la media. Por su parte, el CV (intra-tratamiento) mostró una tendencia a disminuir en los tratamientos más fertilizados con excepción al tratamiento T1. Esto quiere decir que un aumento en la fertilización fosfatada promueve una mayor uniformidad en el crecimiento de la corona.

Según lo indica el análisis de varianza en la Tabla 31, la refertilización con P explica el 90% de la variación en el diámetro de corona, arrojando a su vez un CV entre tratamientos del 6,4%, mostrando una mayor estabilidad de esta componente en relación al peso de corona.

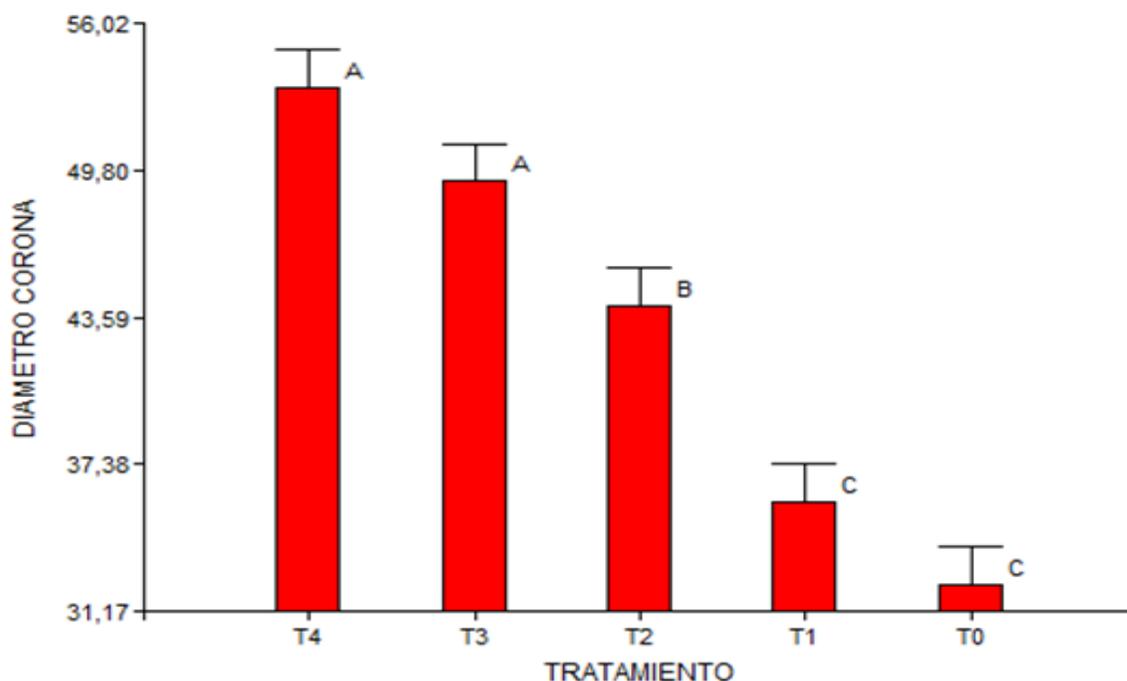
Tabla 31. Diámetro de la corona para todos los tratamientos; Resultados del ANAVA:

VARIABLE	N	R2	CV	p-TRATAMIENTOS	p-REPETICIONES
DIAMETRO CORONA	15	0,9	6,39	0,0001	0,0401

Por otra parte los valores de p tanto para repeticiones como para tratamientos mostraron valores < a 0,05, por lo que existe evidencia estadística que afirma que hay relación lineal entre el diámetro de la corona y los niveles de re fertilización con P.

En el Gráfico 18 se observan los valores que arrojó el test de Fisher, concluyendo en este caso que las diferencias encontradas entre tratamientos fueron mayores que en el peso de la corona a pesar de que la estabilidad de la componente diámetro fuera mayor que la variable peso. En este sentido, se puede observar una notable superioridad de los tratamientos con mayores niveles de P (T3 y T4), los cuáles superaron en promedio los 49cm, mientras que los demás tratamientos no alcanzan los 40cm.

Gráfico 18. Medias y varianza en el diámetro de la corona



6.4.3 Correlación entre las variables peso y diámetro de la corona con la eficiencia en el uso del agua:

Los coeficientes de correlación entre estas variables se pueden ver en la Tabla 32. En la misma se observa una alta relación entre las variables analizadas.

Tabla 32. Coeficientes de correlación entre peso y diámetro de la corona con la EUA

CORRELACIÓN DE PEARSON			
VARIABLE 1	VARIABLE 2	PEARSON	p-VALOR
Peso Corona	Diámetro corona	0,93	0,0001
EUA	Diámetro corona	0,56	0,0297
EUA	Peso corona	0,71	0,0001

Del siguiente análisis se extraen las siguientes conclusiones:

- Existe una alta correlación entre las variables peso y diámetro de la corona (0,93 coeficiente Pearson).

- La variable EUA se encuentra más correlacionada con el diámetro de la corona (0,71) que con el peso de la misma (0,56). Esto se puede deber a que el diámetro de la corona está más relacionado con la exploración del sistema radical en el perfil, permitiendo una mayor captación del recurso agua, mientras que el peso de la corona si bien aumenta a medida que el sistema de raíces crece, se encuentra más relacionado a la dinámica de acumulación de reservas en las mismas.
- En todos los casos hay evidencia estadística significativa de que las variables se encuentran correlacionadas ya que los valores de p nunca son $> 0,05$.

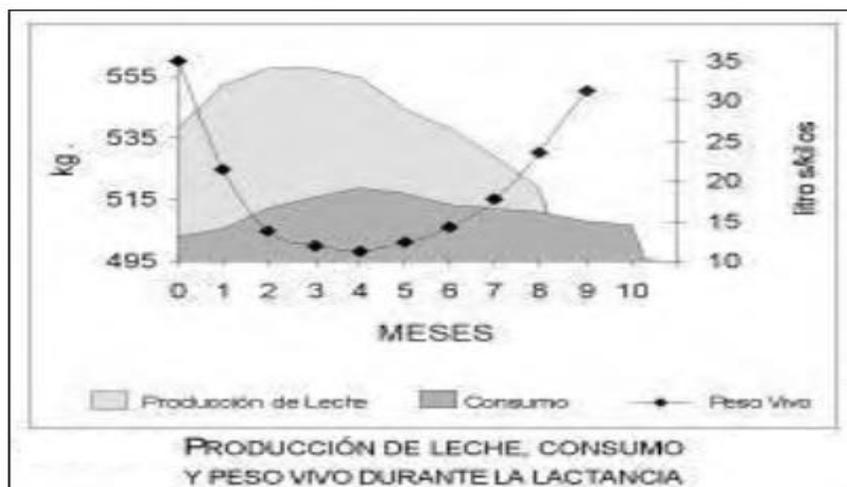
6.5 Análisis económico:

Para el análisis económico se utilizó la metodología de presupuestación parcial, en la que se considera el balance entre los nuevos ingresos y costos generados por los distintos tratamientos. Para el caso de los nuevos ingresos generados, se estableció un valor para el kg de MS derivado del consumo y producción de leche para una vaca promedio del establecimiento.

Se consideró una vaca Holando de 550 kg con un consumo de MS de 20 kg/día y una producción de 32 litros/día (promedio establecimiento).

Contemplando la situación observada en el Gráfico 19 se puede afirmar que se requieren en promedio unos 0,625 kg/MS para producir un litro de leche. Por lo tanto, se obtienen 1,6 litros de leche por Kg MS y, considerando el precio del litro de leche promedio para el 2012 (\$ 1,95 *fuentes infotambo*), se estableció un precio para el kilogramo de MS igual al valor de lo que produce, o sea \$3,12.

Gráfico 19. Relación entre consumo, producción y peso vivo



Adaptado de Bavera, G. M, 2000.

Para una mejor comprensión se detallan en la Tabla 33 todos los costos que surgieron durante el ciclo del cultivo desde su siembra hasta el último corte, para así proceder luego con la metodología citada.

Tabla 33. Costos totales y por kilogramo de materia seca derivados de un margen bruto de producción

TRATAMIENTOS	T0		T1		T2		T3		T4	
	Cdad	Costo (U\$S)								
LABORES										
Siembra directa	1	50	1	60	1	60	1	60	1	60
Fertilización	1		2		2		2		2	
Pulverización	2	10	2	10	2	10	2	10	2	10
INSUMOS										
Semilla (Kg/ha)	15	115,5	15	115,5	15	115,5	15	115,5	15	115,5
Herbicidas (l/ha)										
2,4DB	0,75	3,3	0,75	3,3	0,75	3,3	0,75	3,3	0,75	3,3
2,4D	0,5	4	0,5	4	0,5	4	0,5	4	0,5	4
Glifosato	2	8,4	2	8,4	2	8,4	2	8,4	2	8,4
Insecticidas (l/ha)	0,4	2,7	0,4	2,7	0,4	2,7	0,4	2,7	0,4	2,7
Fertilizante (kg/ha)										
Superfosfato triple	80	55,5	205	142,2	330	228,9	455	315,7	580	402,4
Superfosfato simple	40	15,2	40	15,2	40	15,2	40	15,2	40	15,2
Sulfato de Calcio	100	18	100	18	100	18	100	18	100	18
MATERIA SECA COSECHABLE (kg/ha)/Costo (U\$S)	7517,8	282,6	9191,7	379,3	8851,8	466	12169,9	542,8	15298,5	639,5
	1	0,038	1	0,041	1	0,053	1	0,045	1	0,042
Costo/Kg (\$)	0,21		0,23		0,29		0,25		0,23	

Como se puede observar, la gran diferencia en los costos de cada tratamiento se debe a la fuerte aplicación de superfosfato triple, lo que si bien hace que los mismos se eleven mucho entre tratamientos, la producción también mostró la misma tendencia con excepción al tratamiento T2. Esta situación permite que el costo por Kg de MS no muestre grandes diferencias entre tratamientos acusando una leve tendencia a aumentar, sin embargo para saber si estas diferencias en los costos asumidos al aplicar una mayor cantidad de fertilizante fosforado generan o no beneficios a la empresa, se deben observar las presupuestaciones parciales (Tabla 34 y Gráfico 20).

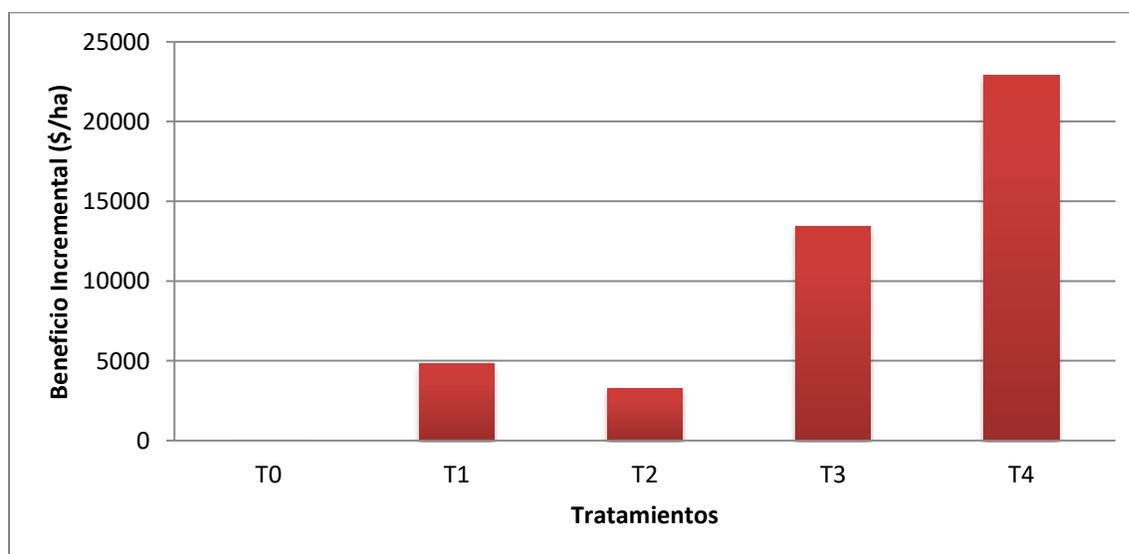
Tabla 34. Presupuestos parciales de los distintos tratamientos

	T1	T2	T3	T4
ASPECTOS POSITIVOS				
Nuevos ingresos (\$)	5356,5	4268,8	14886,72	24898,24
Disminución de costos(\$)	0	0	0	0
ASPECTOS NEGATIVOS				
Disminución de ingresos (\$)	0	0	0	0
Aumento de costos (\$)	541,52	1027,04	1457,12	1998,64
BALANCE	4814,98	3241,76	13429,6	22899,6

Como se puede notar, el presupuesto parcial se utiliza para organizar de manera sencilla los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de tratamientos en un experimento. Los aumentos en los costos se obtuvieron de la diferencia en los costos para el tratamiento testigo y los demás tratamientos extraídos de la tabla anterior y expresados en pesos. Por su parte, los nuevos ingresos se extrajeron de la diferencia de producción de cada tratamiento relativo al testigo, multiplicada por el precio por kilogramo de materia seca considerado anteriormente.

En todos los casos, los aspectos positivos resultaron ser mayores a los negativos, por lo que el productor debería considerar favorablemente el cambio en todos los tratamientos

Gráfico 20. Beneficio incremental de cada tratamiento (presupuestos parciales)



Como lo muestran los resultados, existe un notable aumento en los beneficios incrementales a medida que aumentan las dosis de P. Sin embargo, esta metodología, no necesariamente identifica la

alternativa que maximiza el margen neto. Por lo que sirve para evaluar los cambios parciales en la empresa resultantes de introducir la práctica de refertilización a distintos niveles, suponiendo que el resto de los factores permanece inalterado. Bajo estos supuestos, se puede afirmar que cualquier alternativa escogida superara los beneficios generados por el testigo, sin lograr precisar cuál de las distintas alternativas genera el margen más beneficioso.

7. CONCLUSIONES

Si bien el consumo de agua aumenta a medida que se incrementan las dosis de fósforo utilizado en la refertilización, la eficiencia en el uso del agua no muestra una tendencia a la inversa debido principalmente al desarrollo de un mayor sistema radicular que permite explorar y captar una mayor superficie con agua útil para el cultivo, lo que se traduce en una mayor producción, proporcionalmente mayor a ese consumo.

Ese mayor desarrollo se vio reflejado en un mayor peso y diámetro de corona a medida que las dosis de fósforo aumentaban. Además existió una alta relación entre estas variables y a su vez con la eficiencia en el uso del agua.

Los beneficios obtenidos con la práctica de refertilización fosforada en el cultivo de alfalfa no solo se tradujeron en una mayor producción de materia seca, sino que también los beneficios económicos obtenidos de esta práctica superaron a los costos asumidos para realizarla. Por lo que refertilizar las pasturas de alfalfa con fósforo mejora la performance productiva del cultivo y la estabilidad económica del establecimiento tambero al lograr un mayor beneficio por esa producción y una mayor perdurabilidad de la pradera.

8. CONSIDERACIONES FINALES

La disponibilidad de fósforo en los suelos de la región pampeana viene disminuyendo, por lo que la vía más significativa de reposición es la fertilización. Para el caso del cultivo de alfalfa, donde la demanda y extracción de fósforo es elevada a causa de los numerosos cortes o periodos de pastoreo, la práctica de re fertilización es una alternativa viable para mantener los niveles edáficos de fósforo y asegurar altos rendimientos. Además, existe un marcado efecto residual del fósforo utilizado en la re fertilización en el sistema de producción.

Es por esto, que el manejo de la nutrición debe considerar la fertilidad de los suelos y la producción de la pastura que se pretenda implantar. Es entonces en función de la residualidad, donde se debe revertir el proceso de empobrecimiento, realizando siempre un balance de fósforo para utilizar en cada situación las dosis acordes al sistema de producción que se pretenda lograr, incorporando dosis adicionales cuando la disponibilidad en el suelo es muy baja, siempre considerando que para la producción de pasturas base alfalfa se requieren valores mucho mayores que para los cultivos anuales tradicionales de la zona.

El cultivo de alfalfa respondió de manera positiva a la refertilización fosforada, explicando en casi todos los tratamientos aproximadamente el 90% del rendimiento en la MS para una misma fecha. Sin embargo, cuando se analizan la totalidad de los datos (incluyendo todas las fechas de corte), la principal variación en el rendimiento no es explicada por el nivel de fósforo en el suelo (solo el 12%), sino que la componente ambiental es la que genera la mayor fluctuación en la producción de materia seca, específicamente el contenido hídrico del suelo.

Además de incorporar un mayor nivel de P cada tratamiento sucesivo, los valores de pH tendieron a disminuir en los mismos, acercándose más al rango de mayor disponibilidad, por lo que la diferencia entre los rendimientos de estos tratamientos con los demás se magnificaron, ya que además de poseer más P en el medio, el mismo se encontraba más disponible. Es por estas razones que la mayor respuesta a la refertilización se dio a partir de los 75 kg de P y un pH cercano a 7,7.

En todos los tratamientos, los niveles de acumulación de agua en el perfil mostraron un comportamiento acorde al año climatológico que transcurría, donde el fenómeno "la niña" determinó que en el periodo estival se observaran los valores de agua útil más escasos, seguido por una recarga del perfil en los meses otoñales y una merma en el periodo invernal a causa de una elevada producción obtenida en los últimos cortes previos a la entrada del cultivo en reposo invernal por fotoperiodo mas latencia por las bajas temperaturas. En el reinicio del crecimiento primaveral, el cultivo encontró buenas condiciones hídricas en el perfil, debido al comienzo de un periodo con más precipitaciones y en donde la eficiencia

de aplicación de las láminas de riego fue mayor a causa de una menor demanda evapotranspirativa del ambiente.

En cuanto a la componente del balance "evapotranspiración", la misma mostro ser mayor en el período estival, pero esta condición no se vio reflejada en la producción de materia seca, la cuál a razón de la ocurrencia de altas temperaturas y una escasa humedad ambiental sufrió una merma, explicada por la entrada del cultivo en latencia inducida por estrés hídrico. Estas condiciones determinaron que la eficiencia en el uso del agua mostrara valores ínfimos para este periodo, ya que la misma surge del cociente entre la producción y la sumatoria de la transpiración del cultivo con la evaporación sobre la superficie del mismo, y en este período en particular la segunda componente determina la mayoría del valor de evapotranspiración. Esta situación se invierte en el periodo otoñal y en la entrada de la primavera, donde a razón de una menor demanda evaporativa, el perfil logró recargarse y reanudar su crecimiento aumentando la componente transpiración y por tanto la eficiencia en el uso del agua.

Con respecto a la refertilización, la misma explico el 21% de la variación en la EUA entre tratamientos para la totalidad de los valores obtenidos con un elevado coeficiente de variación (49% aproximadamente), lo que nos indica que la componente ambiental determina la principal variación en la eficiencia en el uso del agua al igual que en la producción de materia seca. Cuando se analizó estadísticamente cada fecha de corte por separado, se pudo observar una fuerte respuesta en la variación entre tratamientos explicada por la refertilización con fósforo (aproximadamente un 90%). Este fuerte impacto se debe a que se aisló la componente ambiental, y en ausencia de la misma, la mayor parte de la variación en la EUA la explica la práctica de refertilización.

La aplicación de fósforo cuando el cultivo ya se encuentra establecido tiene un fuerte impacto en el crecimiento radical, aumentando notablemente tanto el diámetro como el peso de la corona y raíces hasta los 20cm de profundidad, explicando aproximadamente el 90% de la variación entre tratamientos para el primer caso y el 80% para el segundo.

Esta fuerte respuesta encuentra una íntima relación con la capacidad del cultivo de administrar eficazmente los recursos en su perfil, principalmente el diámetro de la corona, que nos brinda una idea de lo desarrollado que se encuentra el sistema de raíces y por lo tanto admitiendo tener una fuerte correlación con la EUA (71%).

9. BIBLIOGRAFIA

- Andrew, C. S y Johansen, C.** 1978. Diferences Between pasture species in their requirements for nitrogen and phosphorus. En: Plant relations in pastures. Wilson, J. R. (ed). CSIRO, Australia. p. 86-89.
- Basigalup, D.H.** 2007. El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina. EEA Manfredi - INTA.
- Basigalup, D.H.** 1996. La alfalfa hacia el año 2010. "V Jornadas Nacionales: La alfalfa en el negocio de la alimentación animal". EEA INTA Manfredi - AER INTA Villa María, Septiembre, 1996.
- Bavera, G. A.** 2000. Relacion entre producción de leche, consumo y peso durante la lactancia. Visitado el 1 de octubre del 2013. Disponible en la web: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/00-principal_produccion_leche.htm.
- Berardo, A. y Darwich, N.** 1974. Fertilización de pasturas en el Sudeste Bonaerense. IDIA N° 313-314: 8-16.
- Berardo, A., Grattone, F.** 1994. Residual phosphorus evaluated for soils of Southeast Buenos Aires province. Better Crops International. June 1994. 3 -5.
- Bordoli, J. M.** 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. Jornada de fertilización en Cultivos y Pasturas. EEA Concepción del Uruguay-INTA, s/p.
- Canales Elorduy, Armando.** 1989. Hidrología Subterránea. Ed. Insto. Tecnológico de Sonora. 224 p.
- Cisneros, J.M., Cantero Gutierrez, A., Cholaky, C.G., Reynero, M., Gonzalez, J.G.** 2004. Apoyo Didáctico Manejo de la Condición Física de los Suelos: Manejo del Agua. Cátedra Uso y Manejo de Suelos. FAV-UNRC. Ediciones CEIA.
- Díaz Lago, J.E.; García, J.; Rebuffo, M.** 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. INIA Serie Técnica N° 71. 12p.
- Feltner, K. C. and M. A. Massengale.** 1966. Influence of temperature and harvest management on growth, level of carbohydrates in the roots, and survival of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Crop Sc. 5:585-588.
- Fernandez Long, F.** 2012. Información agroclimática. Agua útil en el perfil. Visitado el 15 de diciembre del 2012. Disponible en la web: <http://www.agro.uba.ar/centros/ciag/info/AU>.
- Fontanetto, H., Bianchini, A.** 2007. Fertilización fosfatada y azufrada de alfalfa a la siembra y al año de implantación en el centro - este de Santa Fe. Instituto de la Potasa y el Fósforo. INPOFOS. Georgia. US. no.36 (dic.2007). p.22-25. il.
- García, F.O; L.I. Picone y A. Berardo, 2006.** Fosforo, Pag. 99-121. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.

- Heichel, G. H.** 1983. Alfalfa. In: I. D. teare & M. M. Peet (ed) Crop Water Relations. Jhon Wiley and Sons, Inc., New York, USA, pp. 127-155.
- INDEC.** Encuesta Nacional Agropecuaria, años 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001.
- INTA-ACASE.** 2007. "Los suelos de Córdoba", Córdoba, Argentina, 2007.
- Jarsún, B.; Gorgas, J.; Bosnero, H.; Zamora, E. y Lovera, E.** 1989. Atlas de Suelos de la Provincia de Córdoba, escala 1:500.000. Convenio INTA-BID. pp. 449-450.
- Jensen, E. H. , M. A. Massengale and D. O. Chilcote.** 1967. Enviromental effects on growth and quality of alfalfa. Nevada Agric. Exp. Sta. T9. 36 p.
- Jove, P.** 1977. Experiencias de encalado de alfalfa en el sur de la Pcia. de Córdoba. In: II Jornadas Nacionales sobre Corrección y Mejoramiento se Suelos con Encalado. Convenio ENCaLAR-NTA-Universidad Nacional de Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional. Vaquerías, Córdoba, Nov. 13-14.
- Kiesselbach, T. A., J. A. Russely and J. A. Anderson.** 1929. The significance of subsoil moisture in alfalfa production. J. of Am. Soc. of Agronomy 21 (3): 241-268.
- Lopez, A., J. L. Dardanelli, D. Collino, R. Sereno y R. W. Racca.** 1997. Efecto del grado de reposo invernal sobre la producción, consumo y eficiencia en el uso del agua en alfalfa cultivada bajo riego. RIA 28 (2): 41-48.
- Nutriterra.** 2012. Disponibilidad de fósforo en función del pH del medio. Visitado el: 15 julio 2013. Disponible en la web: http://www.nutriterra.com/doc/disponibilidad_fosforo_ph.pdf.
- Pabón, J., E. Strobelt, J. Mina, C. Riva, W. Griva, L. Peurgini, M. Sibuet, N. Gilardoni y W. Hofer.** 2003. Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la región pampeana. INTA AER Roldán. Informe interno, 22 pp.
- Parga, J.** 1994. Consideraciones técnicas para el establecimiento y manejo de la alfalfa. En: Seminario de Producción y Utilización de alfalfa en la X región. Instituto de Investigaciones agropecuarias (Chile). Centro regional de investigación Remehue. Serie Remehue N°54, p: 3-24.
- Pautasso J.M., Isaurralde R.M., Massa E.** 2008. Producción de alfalfa en el departamento Diamante. INTA Paraná.
- Preston K. A., D. J. Chalmers, and M. Moremong.** 1992. Canopy-air temperature differences and soli water as predictors of water stress of apple trees grown in a humid, temperature climate. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117(3): 453-458.
- Quintero, C., G. Boschetti y R. Benavidez.** 1999. Alfalfa - Refertilización Fosfatada: Cuando, Cómo y por qué?. Fertilizar 17: 8-11.

- Romero, N. A., C. Bariggi y G. Schenkel.** 1977. Exploración de deficiencias nutritivas para la alfalfa en suelos pampeanos mediante ensayos de campo. INTA, EEA Anguil. Proyecto FAO-INTA Argentina 75/006. Documento de trabajo N° 3, 76 p.
- Romero, N. A., N. A. Juan y L. A. Romero.** 1995. Establecimiento de la alfalfa en la región pampeana. In: H. Hijano y A. Navarro (ed). La alfalfa en la Argentina. INTA, Subprograma alfalfa. Enciclopedia Agro de Cuyo Manuales 11, Capítulo 2, pp. 21-36.
- SIG Agropecuario.** 2006. SERVICIO DE MAPAS INTERACTIVOS DEL INASE. Visitado el 30 abril del 2013. Disponible en la web: <http://www.sigagropecuario.gov.ar/mapas/inase.htm>.
- TodoAgro.** 2010. La alfalfa es el segundo cultivo en importancia de Argentina, si se mensura el área implantada. Disponible en la web: <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=10987>.
- Toniutti, M. A., L. Fornasero y D. Tenorio.** 1977. La alfalfa: inoculación, fertilización y encalado. In: II Jornadas Nacionales sobre Corrección y Mejoramiento de Suelos con Encalado. Convenio EnCaLAR_NTA-Universidad Nacional de Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional. Vaquerías, Córdoba, Nov. 13-14.
- U.S.D.A., S.C.S.** 1968. The Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds. Washington D.C.: USDA Soil Conservation Service.
- Vivas, H. y O. Quaino.** 2001. Fertilización y refertilización fosfatada de alfalfa en un suelo del Centro-Este de Santa Fe, con y sin enmienda cálcica. In: INPOFOS (org) Jornadas de Intercambio Técnico "Pasturas en Siembra Directa", pp. 71-72.

10. ANEXOS

9.1 Anexo I – Resultados estadísticos – Materia Seca:

Análisis de varianza para la producción de materia seca para todas las fechas:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	90	0,18	0,12	61,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24564023,59	6	4094003,93	2,94	0,0119
REPETICION	1362458,76	2	681229,38	0,49	0,6148
TRATAMIENTO	23201564,83	4	5800391,21	4,17	0,0040
Error	115565180,67	83	1392351,57		
Total	140129204,25	89			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=605,97502

Error: 1392351,5743 gl: 83

REPETICION	Medias	n	E.E.
1	2014,13	30	215,43 A
2	1981,21	30	215,43 A
3	1738,23	30	215,43 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=782,31039

Error: 1392351,5743 gl: 83

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	2762,89	18	278,12 A
T3	2193,65	18	278,12 A B
T1	1637,86	18	278,12 B C
T2	1619,68	18	278,12 B C
T0	1341,88	18	278,12 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la producción de materia seca (fecha: 07/01/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	15	0,89	0,81	15,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1167607,73	6	194601,29	10,65	0,0019
REPETICION	117632,87	2	58816,43	3,22	0,0943
TRATAMIENTO	1049974,86	4	262493,72	14,36	0,0010
Error	146201,21	8	18275,15		
Total	1313808,94	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=254,53343

Error: 18275,1510 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	1278,87	3	78,05 A
T3	991,87	3	78,05 B
T2	866,27	3	78,05 B C
T1	635,33	3	78,05 C D
T0	533,43	3	78,05 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la producción de materia seca (fecha: 23/02/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	15	0,89	0,81	15,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1167607,73	6	194601,29	10,65	0,0019
REPETICION	117632,87	2	58816,43	3,22	0,0943
TRATAMIENTO	1049974,86	4	262493,72	14,36	0,0010
Error	146201,21	8	18275,15		
Total	1313808,94	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=254,53343

Error: 18275,1510 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	1278,87	3	78,05 A
T3	991,87	3	78,05 B
T2	866,27	3	78,05 B C
T1	635,33	3	78,05 C D
T0	533,43	3	78,05 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la producción de materia seca (fecha: 28/03/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	15	0,96	0,94	12,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3219964,70	6	536660,78	35,74	<0,0001
REPETICION	24355,17	2	12177,58	0,81	0,4778
TRATAMIENTO	3195609,53	4	798902,38	53,21	<0,0001
Error	120110,91	8	15013,86		
Total	3340075,61	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=230,70690

Error: 15013,8638 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	1660,90	3	70,74 A
T3	1382,20	3	70,74 B
T2	766,33	3	70,74 C
T1	583,57	3	70,74 C D
T0	493,13	3	70,74 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la producción de materia seca (fecha: 23/05/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	15	0,87	0,78	13,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8273975,12	6	1378995,85	9,30	0,0030
REPETICION	1435207,02	2	717603,51	4,84	0,0419
TRATAMIENTO	6838768,11	4	1709692,03	11,53	0,0021
Error	1186429,87	8	148303,73		
Total	9460404,99	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=725,08745

Error: 148303,7337 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	3819,40	3	222,34 A
T3	3266,60	3	222,34 A B
T1	2606,40	3	222,34 B C
T2	2300,90	3	222,34 C
T0	1941,53	3	222,34 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la producción de materia seca (fecha: 30/06/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	15	0,95	0,91	7,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5409079,89	6	901513,31	24,15	0,0001
REPETICION	565343,12	2	282671,56	7,57	0,0143
TRATAMIENTO	4843736,77	4	1210934,19	32,44	0,0001
Error	298623,59	8	37327,95		
Total	5707703,48	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=363,77379

Error: 37327,9488 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	3436,97	3	111,55 A
T3	2865,43	3	111,55 B
T1	2303,27	3	111,55 C
T2	2141,90	3	111,55 C D
T0	1838,43	3	111,55 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la producción de materia seca (fecha: 20/10/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (Kg/Ha)	15	0,91	0,84	7,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5019560,57	6	836593,43	13,21	0,0009
REPETICION	63747,80	2	31873,90	0,50	0,6225
TRATAMIENTO	4955812,78	4	1238953,19	19,56	0,0003
Error	506612,77	8	63326,60		
Total	5526173,34	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=473,81349

Error: 63326,5963 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	4328,33	3	145,29 A
T3	3680,03	3	145,29 B
T1	3094,47	3	145,29 C
T2	3004,10	3	145,29 C
T0	2715,97	3	145,29 C

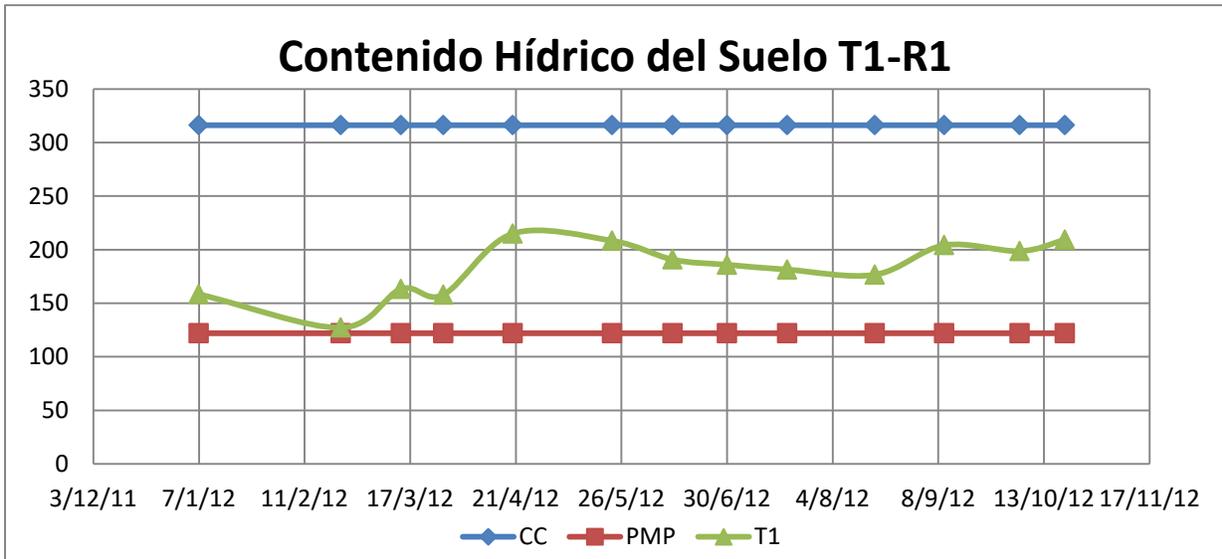
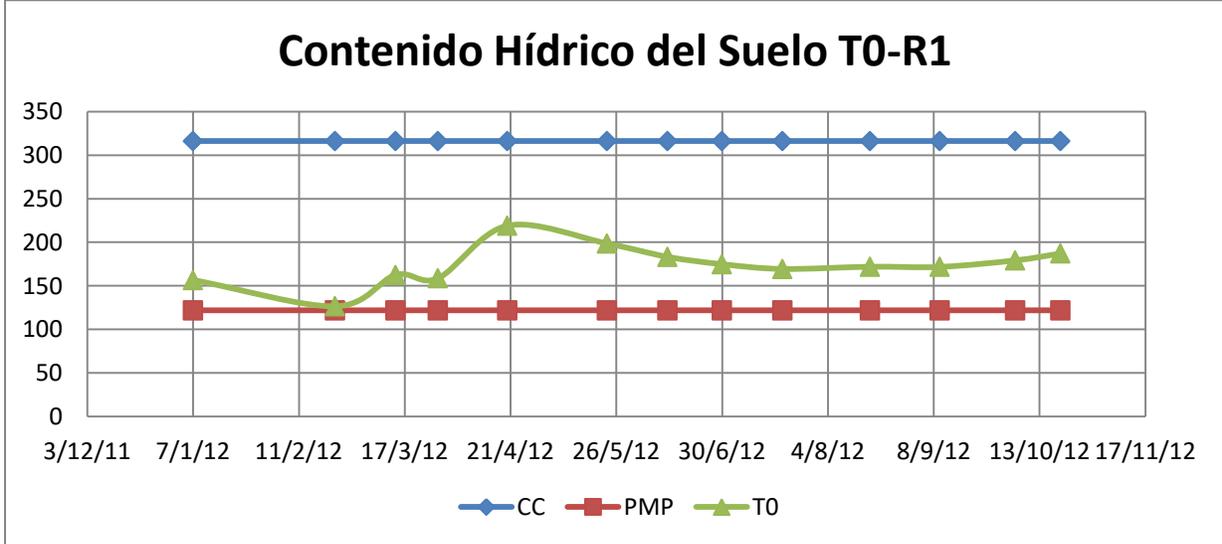
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

9.2 Anexo II. Ensayo de Infiltración a campo

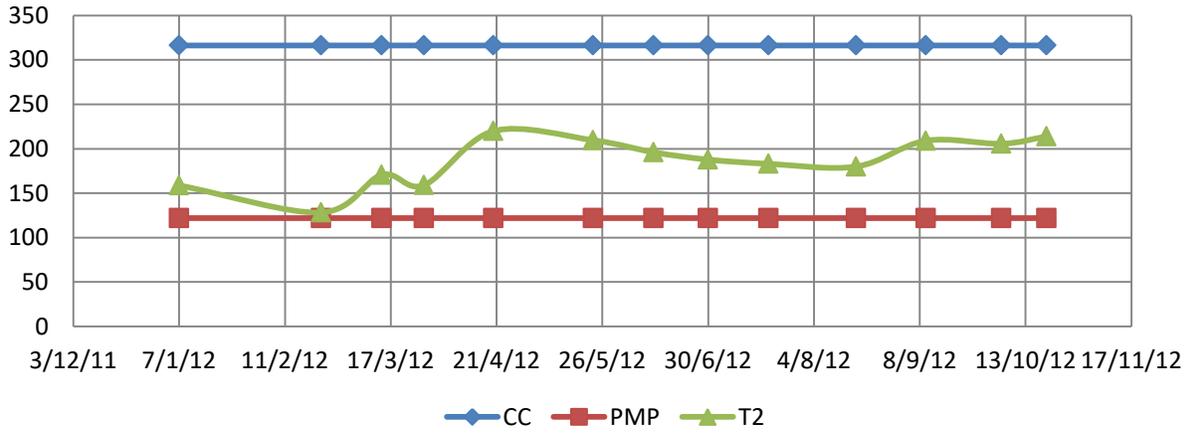
INFILTRACION							
TIEMPO (MIN)	MEDIDA (CM)	LÁMINA (MM)	DIFERENCIAL	CADA 10'	LOG IAC	LOG TIEMPO	I BASE (mm/min)
0,5	3,5	0,7	0	2,95	0,544	-0,301	0,539
1	4,7	0,9	0,2		0,672	0,000	0,425
2	6,5	1,2	0,3		0,813	0,301	0,335
3	8,5	1,6	0,4		0,929	0,477	0,292
4	10,2	1,9	0,3		1,009	0,602	0,264
5	12,1	2,25	0,35		1,083	0,699	0,245
10	19,6	3,65	1,4	2,15	1,292	1,000	0,193
15	25,3	4,7	1,05		1,403	1,176	0,168
20	31,1	5,8	1,1		1,493	1,301	0,152
25	36,4	6,8	1	2,1	1,561	1,398	0,141
30	42,2	7,9	1,1		1,625	1,477	0,133
40	51,1	9,55	1,65	1,65	1,708	1,602	0,120
50	59	11	1,45	1,45	1,771	1,699	0,111
60	66,3	12,4	1,4	1,4	1,822	1,778	0,105
70	72,9	13,6	1,2	1,2	1,863	1,845	0,099
80	79,4	14,8	1,2	1,2	1,900	1,903	0,095
90	85,7	15,95	1,15	1,15	1,933	1,954	0,091
100	89,5	16,6	0,65	0,65	1,952	2,000	0,088
110	92,8	17,2	0,6	0,6	1,968	2,041	0,085

9.3 Anexo III – Dinámica en el contenido hídrico del suelo:

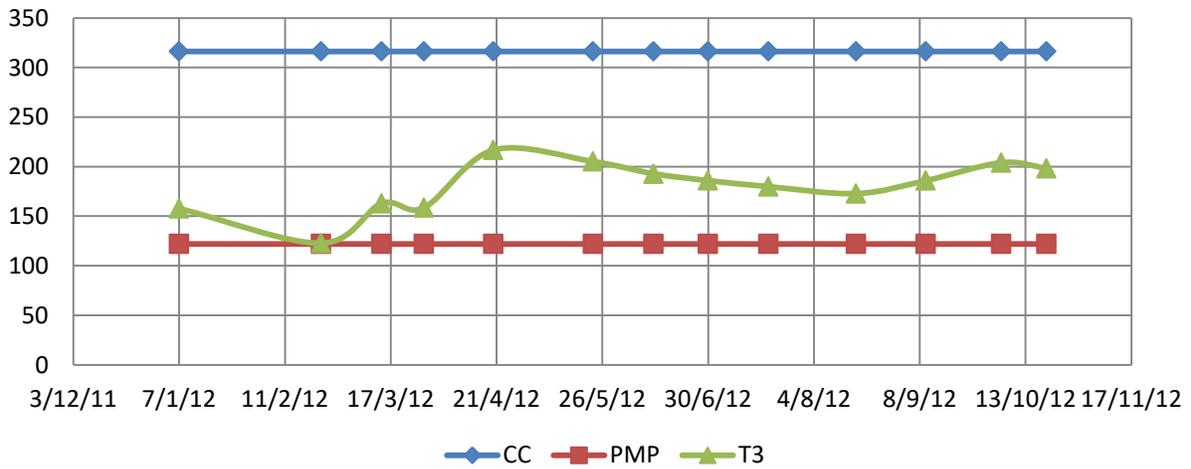
Dinámica en el contenido hídrico del suelo hasta 1,5m de profundidad para los distintos tratamientos de la repetición 1



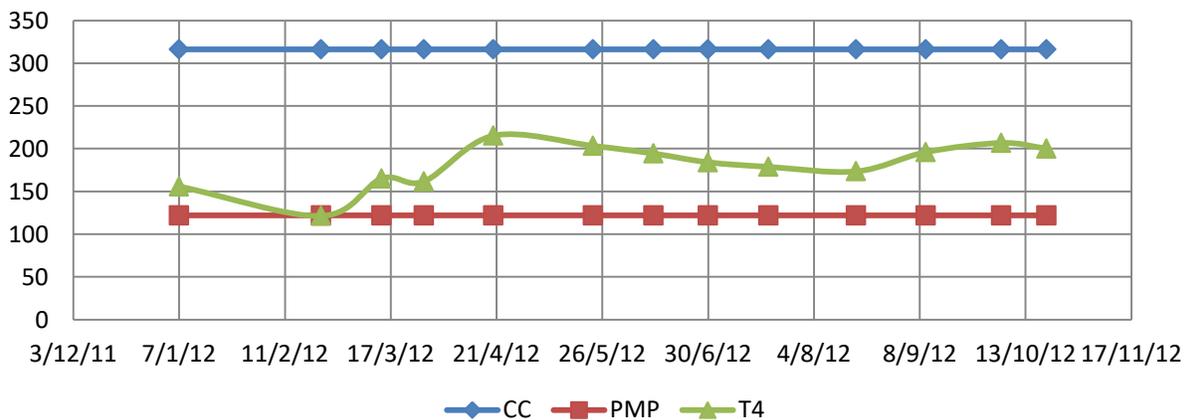
Contenido Hídrico del Suelo T2-R1



Contenido Hídrico del Suelo T3-R1



Contenido Hídrico del Suelo T4-R1



9.3 Anexo IV – Resultados estadísticos – Eficiencia en el uso del agua:

Análisis de varianza de la eficiencia en el uso del agua para todas las fechas:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA	75	0,27	0,21	49,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2909,19	6	484,86	4,21	0,0012
REPETICION	114,35	2	57,17	0,50	0,6106
TRATAMIENTO	2794,84	4	698,71	6,07	0,0003
Error	7823,62	68	115,05		
Total	10732,80	74			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,05396

Error: 115,0532 gl: 68

REPETICION	Medias	n	E.E.
2	23,01	25	2,15 A
1	22,38	25	2,15 A
3	20,13	25	2,15 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,81562

Error: 115,0532 gl: 68

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	31,98	15	2,77 A
T3	25,52	15	2,77 A B
T1	18,43	15	2,77 B C
T2	18,08	15	2,77 B C
T0	15,19	15	2,77 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la eficiencia en el uso del agua (fecha: 23/02/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA	15	0,95	0,91	10,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	69,32	6	11,55	25,26	0,0001
REPETICION	1,07	2	0,53	1,17	0,3586
TRATAMIENTO	68,25	4	17,06	37,31	<0,0001
Error	3,66	8	0,46		
Total	72,98	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,98625

Error: 0,4573 gl: 8

REPETICION	Medias	n	E.E.
1	6,79	5	0,30 A
2	6,31	5	0,30 A
3	6,16	5	0,30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,27325

Error: 0,4573 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	9,79	3	0,39 A
T3	8,00	3	0,39 B
T2	5,27	3	0,39 C
T1	4,94	3	0,39 C
T0	4,10	3	0,39 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de varianza para la eficiencia en el uso del agua (fecha: 20/10/2012)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA	15	0,94	0,89	7,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	509,91	6	84,99	20,56	0,0002
REPETICION	120,59	2	60,29	14,58	0,0021
TRATAMIENTO	389,33	4	97,33	23,54	0,0002
Error	33,07	8	4,13		
Total	542,99	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,96539

Error: 4,1341 gl: 8

REPETICION	Medias	n	E.E.
2	29,51	5	0,91 A
3	28,36	5	0,91 A
1	23,01	5	0,91 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,82831

Error: 4,1341 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	35,20	3	1,17 A
T3	30,36	3	1,17 B
T2	24,07	3	1,17 C
T1	23,94	3	1,17 C
T0	21,23	3	1,17 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

9.4 Anexo V - Resultados Estadísticos - Peso y Diámetro de la Corona:

Análisis de la varianza en el peso de la corona

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO CORONA	15	0,89	0,80	18,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	561,85	6	93,64	10,43	0,0020
TRATAMIENTO	424,97	4	106,24	11,83	0,0019
REPETICION	136,88	2	68,44	7,62	0,0140
Error	71,83	8	8,98		
Total	633,68	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,64174

Error: 8,9784 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T4	24,52	3	1,73	A	
T3	20,04	3	1,73	A	B
T2	16,90	3	1,73		B C
T1	11,75	3	1,73		C D
T0	10,00	3	1,73		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de la varianza en el diámetro de la corona

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIAMETRO CORONA	15	0,94	0,90	6,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1015,78	6	169,30	22,43	0,0001
REPETICION	74,58	2	37,29	4,94	0,0401
TRATAMIENTO	941,21	4	235,30	31,18	0,0001
Error	60,37	8	7,55		
Total	1076,15	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,17223

Error: 7,5462 gl: 8

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T4	53,30	3	1,59	A	
T3	49,33	3	1,59	A	
T2	44,10	3	1,59		B
T1	35,80	3	1,59		C
T0	32,30	3	1,59		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)