

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final presentado
para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

EL CULTIVO DE ALFALFA Y LA UTILIZACION DE
AGUA RESIDUAL URBANA.

ALUMNO: Tarico Juan Carlos
DNI: 29000680

DIRECTOR: Lic. M.Sc. Saroff, Cecilia

CODIRECTOR: Ing. Agr. Plevich, José Omar

Río Cuarto - Córdoba

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: **“El cultivo de alfalfa y la utilización de agua residual urbana.”**

Autor: **Tarico Juan Carlos**

DNI: **29.000.680**

Director: **Lic. M.Sc. Saroff, Cecilia**

Co-Director: **Ing. Agr. Plevich, José Omar**

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Ing. Agr. M.Sc. Grosso Liliana E.

Ing. Agr. M.Sc. Caminos Teresa

Lic. M.Sc. Saroff Cecilia

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

Este trabajo final esta dedicado a mis padres, Jorge y Martha, a mi hermana Monica.

A mis familiares y amigos que siempre me acompañaron.

Le agradezco:

A mi directora de tesis Cecilia Saroff y a mi co-director Omar Plevich quienes me guiaron en la elaboración del trabajo final, a Tomas Arce Garcia y Nicolas Garcia que me acompañaron en el ensayo.

A mis compañeros de convivencia en Río Cuarto y a mis amigos de Universidad, de los cuales me llevo muchos recuerdos guardados.

A mi prima Lorena; a Julieta y su familia por su apoyo y cariño.

A Lucas y Ezequiel por la amistad que nos une.

A mis familiares que me apoyaron.

INDICE GENERAL

Portada.....	I
Certificado de Aprobación.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Índice General.....	V
Índice de Cuadros.....	VII
Índice de Gráficos.....	VIII
Índice de Fotos.....	IX
1-Resumen.....	X
2-Summary.....	XI
3-Introducción.....	12
4-Hipótesis. Objetivo General. Objetivo Especifico.....	14
5-Antecedentes.....	
5.1-Tratamiento de las aguas residuales.....	15
5.2-Presencia de nutrientes en las aguas residuales.....	16
5.3-Características principales de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	17
5.4-Características del área en estudio.....	17
6-Materiales y Métodos.....	
6.1-Localización del ensayo.....	20
6.2-Características climáticas del año en estudio.....	20
6.3-Características de la Planta Experimental.....	21
6.4-Características del ensayo.....	24
6.5-Características del perfil del suelo.....	25
6.6-Determinación del contenido hídrico del suelo.....	25
6.7-Determinación de la cantidad de materia seca producida por corte de alfalfa.....	25
6.8-Eficiencia en el Uso del Agua.....	26
6.9-Valor Nutritivo Relativo del forraje.....	26
6.10-Análisis estadístico de los resultados de rendimientos.....	27
7-Resultados y Discusión.....	
7.1-Características del perfil del suelo.....	28
7.2-Determinación de la cantidad de materia seca producida por corte de alfalfa.....	28
7.3-Materia Seca Acumulada en los cuatro cortes.....	29

7.4-Determinación de la Eficiencia en el Uso del Agua.....	30
7.5- Determinación del Valor Nutritivo Relativo del forraje.....	31
8-Conclusión.....	33
9-Bibliografía.....	34
10-Anexos.....	
10.1 Anexo 1: Determinación de las constantes hídricas (Capacidad de Campo y Punto de Marchites Permanente).....	38
10.2 Anexo 2: Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L) en riego con distinta calidad de agua. Primer corte.....	39
10.3 Anexo 3: Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L) en riego con distinta calidad de agua. Segundo corte.....	40
10.4 Anexo 4: Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L) en riego con distinta calidad de agua. Tercer corte.....	41
10.5 Anexo 5: Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L) en riego con distinta calidad de agua. Cuarto corte.....	42
10.6 Anexo 6: Análisis de varianza de la biomasa aérea total producida por alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L) en riego con distinta calidad de agua. Materia seca acumulada.....	43
10.7 Anexo 7: Análisis del material vegetal, en laboratorio.....	44

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Determinación analítica del agua residual urbana, usada para el riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.....	23
Cuadro 2: Determinación analítica del agua de perforación, usada para el riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.....	23
Cuadro 3: Valores de Densidad Aparente, Capacidad de Campo y Punto de Marchites Permanente, para cada profundidad de suelo.....	28
Cuadro 4: Producción de biomasa aérea de alfalfa, con distintos tratamientos de calidad de agua. Cuatro fechas de corte.....	29
Cuadro 5: Producción total de biomasa aérea de alfalfa, con distintos tratamientos de calidad de agua. Materia seca acumulada.....	30
Cuadro 6: Análisis del valor nutritivo del cultivo de alfalfa.....	32

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Precipitaciones media mensual registradas en la estación experimental de la UNRC. Periodo 1998 – 2008.....	18
Grafico 2: Temperatura media mensual registrada en la estación experimental de la UNRC. Periodo 1998 – 2008.....	18
Grafico 3: Precipitación acumulada por mes, registrada en la estación experimental de la UNRC. Correspondiente al periodo Julio 2007 – Junio 2008.....	20
Grafico 4: Temperatura media mensual registrada en la estación experimental de la UNRC. Correspondiente al periodo Julio 2007 – Junio 2008.....	21

INDICE DE FOTOS

Foto 1: Planta de tratamiento y reutilización de efluentes urbanos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.....	21
Foto 2: Reactor biológico. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.....	22
Foto 3: Laguna de maduración. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.....	22
Foto 4: Ensayo propiamente dicho UNRC. Río Cuarto. Córdoba.....	24

1 - RESUMEN

La necesidad de distintos productores de la región pampeana de aumentar y/o estabilizar la producción agropecuaria, hace necesario disponer de una fuente de agua para ser utilizada en el riego de cultivos, praderas, entre otros. Esta funcionaría como amortiguadora de las variaciones climáticas de la región pampeana. Para tal fin es posible pensar en el empleo de agua residual urbana, la cual es importante en volumen y disponibilidad. El presente trabajo se realizó en el Centro Sur de la provincia de Córdoba, con el objetivo de analizar el efecto del agua residual urbana sobre la producción de biomasa aérea del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Se confeccionaron tres parcelas, las cuales recibieron en forma indistinta el aporte de agua de precipitaciones. Además una de ellas se regó con agua residual urbana y otra con agua de perforación. Para estudiar el efecto del riego con agua residual urbana sobre la producción de dicho cultivo y poder compararla con las otras dos parcelas, se recolectaron muestras de biomasa aérea y se secaron en estufa hasta peso constante. Los datos fueron sometidos al análisis de la varianza por un diseño en bloque completo al azar y se utilizó la prueba de comparación DGC para diferencias entre medias. La producción de biomasa aérea presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, con valores de 14178,81 kg MS ha⁻¹ en agua residual urbana, 11885,22 kg MS ha⁻¹ en agua de perforación y 10749,65 kg MS ha⁻¹ en secano. Se concluye que la producción del cultivo de alfalfa (*Medicago saliva* L.), aumentó cuando se regó con agua residual urbana en relación a la situación de secano y de riego con agua de perforación.

Palabras claves: alfalfa, biomasa aérea, riego, agua residual urbana.

2 - SUMMARY

The necessity of different producers in the Pampas region to increase and/or stabilize the agricultural production will need a water source to be used in the irrigation of the crops, grassland, among others. This would act as buffer of climatic variations of the Pampas region. For this purpose, it is possible to consider the use of urban wastewater which is of great volume and availability. This work was done in the central south of Cordoba, with the aim to analyze the effect of urban wastewater on the aerial biomass production of alfalfa crops (*Medicago sativa* L.). Three plots were prepared, which interchangeably received input from storm water. Besides one of them was irrigated with urban wastewater and another one with drilling water. To study the effect of urban wastewater irrigation on production of this crop, and to compare it with the other two plots, collected samples of aerial biomass and dried in an oven to constant weight. The data were subjected to an analysis of variance through a randomized complete block design and it was used the DGC comparison test to differences between means. The aerial biomass production presented statically significant differences between treatments, with values of 14178,81 kg MS ha⁻¹ in urban wastewater, 11885,22 kg DM ha⁻¹ in drilling water and 10749,65 kg MS ha⁻¹ in rainfed. It is concluded that the production of alfalfa crop (*Medicago sativa* L.), increased when irrigated with urban wastewater in relation to the situation of rainfed and irrigated with drilling water.

Keywords: lucerne, aerial biomass, irrigation, urban wastewater.

3 - INTRODUCCION

De los recursos naturales existentes, el agua es el más esencial, es el recurso fundamental para todos los procesos vitales en la naturaleza. La población requiere agua para usos domésticos, públicos, también es usada como recurso para la producción (en agricultura, industria y servicios) y para la evacuación de desechos industriales y domésticos.

Ante la creciente demanda ejercida por todos estos sectores, originada por el aumento en la eficiencia productiva y en la demanda de la población, se genera un aumento competitivo intersectorial por el suministro de agua (Marcoux, 1994).

El desarrollo económico, suele implicar la necesidad de disponer de recursos hídricos adicionales para poder llevar a cabo las nuevas actividades industriales y/o agrícolas, o para abastecer la demanda correspondiente a las actividades domésticas, turísticas y de ocio. Por otra parte, este desarrollo suele implicar un aumento de población, lo que incrementa aún más la demanda de agua.

Estas circunstancias suelen conducir en muchos lugares de clima árido o semiárido a la escasez de recursos hídricos, tanto temporal como estructural, lo que conlleva diversas disfunciones y en general una disminución de la calidad del agua. Incluso en determinados lugares con lluvia suficiente, climas no áridos, la acumulación de la demanda en el tiempo y el espacio crea deficiencia. En uno y otro caso, la situación de sequía hace más grave la escasez (RIPDA, 2005).

A todo esto se suma los informes que pronostican el agravamiento de la escasez de agua en los decenios venideros, y como sabemos no se puede practicar agricultura en condiciones de escasez absoluta de agua.

Bajo este contexto pueden discutirse a priori varias alternativas para emplear recursos de agua no convencionales.

Recursos no convencionales:

- Escorrentía
- Agua residual regenerada
- Agua de mar desalinizada

Dentro de estos recursos no convencionales, cabe destacar como los más importantes en volumen y disponibilidad a las *aguas residuales regeneradas* (Klein, 2008).

Los desperdicios procedentes del ser humano se consideran recursos útiles en muchas partes del mundo, destacándose prácticas como el uso de aguas residuales para regar cultivos y uso de excretas para fertilizar el suelo y mejorar su estructura, entre otros (Mara y Cairncross, 1990).

En los últimos años ha habido un gran incremento en la utilización de aguas residuales para regadíos. Este hecho se debe a varios factores, a saber, la escasez de aguas de otra

procedencia para el riego, el costo elevado de los abonos artificiales, la demostración de que los riesgos para la salud y los daños para el suelo son mínimos si se adoptan las precauciones necesarias.

Hoy, es posible diseñar y poner en práctica sistemas de uso de aguas residuales que permiten evitar la transmisión de infecciones relacionadas con las excretas y usar esta práctica con sus beneficios (Mara y Cairncross, 1990).

El aplicar agua residual al suelo implica el uso de las plantas, de la superficie y de la matriz del suelo para su tratamiento. La reutilización de efluentes tratados se ha incrementado en la agricultura ya que tiene como metas promover la agricultura sostenible, preservar las escasas fuentes de agua y mantener la calidad ambiental (Alvarez Bernal *et al.*, 2002).

El propósito de este proyecto es comparar la producción del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), enmarcada en una estructura de riego, utilizando agua residual urbana, agua de perforación, y la presencia de un testigo, (el que solo recibió aporte de agua de las precipitaciones ocurridas durante el transcurso del ensayo).

4 - HIPÓTESIS - OBJETIVO GENERAL - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

HIPÓTESIS

- La producción del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.), aumentará si es regada con aguas residuales en relación a agua de perforación.

OBJETIVO GENERAL

- Analizar el efecto del riego con agua residual urbana sobre la producción de biomasa aérea del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la biomasa aérea del cultivo de alfalfa, bajo riego con agua residual urbana, agua de perforación y la situación de secano.
- Comparar la producción de biomasa aérea de cada corte y total, del cultivo de alfalfa bajo riego con distintas calidades de agua y secano.
- Determinación de la eficiencia del uso del agua para el ciclo del cultivo.
- Estimar el valor nutritivo relativo del forraje.

5 - ANTECEDENTES

5.1-Tratamiento de las aguas residuales.

El empleo de aguas residuales se hace posible a través de su tratamiento, por medio de tecnologías convencionales (las cuales son adoptadas por los países desarrollados), y no convencionales (blandas o de bajo costo, que son implementadas principalmente por países subdesarrollados), dentro de estas últimas podemos mencionar a los filtros verdes y las lagunas de estabilización.

Los filtros verdes pueden remover altas concentraciones de residuos, valiéndose de un mecanismo de fitorremediación. Para tal fin se están utilizando álamos (*Populus sp.*) por ser la especie más idónea por la absorción de nutrientes, por la capacidad de resistir inundaciones en los periodos de reposo invernal y por su rentabilidad maderera (Schnoor *et al.*, 1995).

Las lagunas de estabilización, que constan de una pileta o una serie de ellas, en el cual se depositan los efluentes para ser tratados biológicamente, constituyen la solución adecuada para aquellos núcleos poblacionales donde la tierra es barata, hay falta de personal capacitado y se dispone de poco dinero para mantenimiento. Generalmente los efluentes primero pasan por una laguna anaeróbica (de mayor profundidad), y luego por una laguna aeróbica (de menor profundidad), también conocida a esta última como de maduración (Massa López, 1988).

El tratamiento y reciclaje de aguas servidas, es un factor de importancia al considerar que de esta forma se reduce la presión sobre la calidad y disponibilidad del agua, además de minimizar la descarga de aguas servidas sin tratamiento a los ríos (Homsí, 1990).

El tratamiento de las excretas, además de destruir gérmenes patógenos, mejora la calidad, sobre todo por estabilizar la materia orgánica de modo que resulte un mejor acondicionador de la tierra y transforma los nutrientes en sustancias más fácilmente aprovechadas por la plantas (Mara y Cairncross, 1990).

Los residuos sólidos, líquidos y gaseosos pueden ser modificados, bien reciclándolos para producir nuevos productos, o bien degradándolos para que el producto final sea menos dañino para el entorno. Las primeras operaciones a realizar en una estación de depuración de aguas residuales corresponden al tratamiento primario por el cual se eliminan los sólidos, por otra parte las aguas pasan al tratamiento secundario o biológico. En este proceso los microorganismos quimioorganotróficos (organismos que usan la materia orgánica como fuente de energía para su mantenimiento y reproducción) eliminan la materia orgánica del agua residual en un proceso con presencia de oxígeno, “proceso aerobio” (Rodríguez Jiménez, 2002).

En el caso de pequeños poblados urbanos, con bajos caudales de agua a tratar, pueden ser utilizados los lechos bacterianos, pero el proceso más ampliamente utilizado (sobre todo cuando deben tratarse caudales elevados) es el proceso de lodos activos. Este tiene como

fundamento, poner en estrecho contacto las aguas a tratar con los lodos cargados con una elevada concentración de microorganismos y con el aire burbujeando de manera continua para que aporte suficiente cantidad de oxígeno. El agua permanece durante varias horas (entre 4 y 7) en el denominado tanque de aeración. Durante este tiempo las bacterias degradan la materia orgánica. En la degradación se producen más microorganismos, CO₂, H₂O y cantidades variables de otros productos (Rodríguez Jiménez, 2002).

5.2- Presencia de nutrientes en las aguas residuales.

Las aguas residuales presentan concentraciones de nutrientes en diferentes composiciones químicas, los cuales pueden servir de provecho en el aumento de la producción de cultivos (Bouwer y Idelovitch, 1987).

El reciclaje del agua permite contar con una alternativa de tratamiento en lugares donde el agua superficial posee una capacidad limitada para asimilar los contaminantes tales como el nitrógeno y fósforo, los que permanecen en la mayoría de las descargas de efluentes de aguas servidas tratadas (NAP, 1999).

El agua residual es usada por los agricultores, no sólo por la necesidad del líquido sino por que incrementa la productividad ya que contiene materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Jiménez *et al.*, 2005).

Las formas en que el nitrógeno se presenta usualmente en las aguas servidas son: nitrógeno orgánico, amoníaco y nitrato, así como también el agua residual puede contener pequeñas concentraciones de nitrito. La proporción relativa de estos elementos varía según el origen del agua servida y los tratamientos a que ha sido sometida (Mujeriego, 1990).

Para la zona del Valle del Mezquital, el riego con agua residual sin tratamiento, parcialmente tratada o mezclada con agua de lluvia, produjo un incremento en el rendimiento de algunas hortalizas como en frijol, chile y tomate rojo, siendo algunos de los elementos nutrimentales presentes en el agua residual el nitrógeno de 20 a 40 mg L⁻¹ (Vivanco Estrada *et al.*, 2001), potasio de 26.80 a 35 mg L⁻¹ (Mañas Ramírez *et al.*, 2002; Downs *et al.*, 1999), fósforo de 2.7 a 3.0 mg L⁻¹, calcio de 41.0 a 445.0 mg L⁻¹ y magnesio de 24.0 a 29.0 mg L⁻¹ entre otros; con un pH de 7.16 a 8.1 y una conductividad eléctrica de 1.44 a 1.69 dS m⁻² (Jiménez y Chávez, 2004).

Según Saénz Forero (2002), en estudios realizados sobre distintos cultivos, los mayores rendimientos obtenidos se deben a los nutrientes presentes en las aguas residuales. Este autor realizó ensayos en distintos países, utilizando aguas blancas y efluentes de lagunas de estabilización secundaria (aguas negras). En alfalfa la expresión de rendimiento a favor de las aguas negras fue un 25% mayor en Perú y de 71,4% mayor en México.

Uribe Montes (2000), utilizó distintas dosis de lodos deshidratados (biosólidos) en cultivo de alfalfa (0, 10, 20, 30 y 40 tn ha⁻¹ de biosólidos, más un testigo con fertilización química (35-90-00) N-P-K respectivamente), obteniéndose incrementos en la producción de forraje seco de un 17 a 31%. Esta experiencia fue realizada en el Campo Experimental Delicias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chihuahua, México.

5.3- Características principales de la alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Tomando como referencia a la especie *Medicago sativa* L. (alfalfa), comúnmente denominada la reina de las pasturas en la zona centro de Argentina, ésta posee en su morfología una raíz pivotante que se orienta en forma perpendicular con respecto al suelo pudiendo penetrar en él hasta 8 o 10 metros de profundidad, lo que le permite llegar al agua de las capas profundas. Entre la superficie y los 30 a 60 cm tiene una gran cabellera de raíces que le permite extraer nutrientes. Presenta un ensanchamiento llamado corona que sirve de base a las yemas que dan origen a los tallos. El número de tallos provenientes de dichas yemas de rebrote depende de la edad y vigor de la planta (Carambula, 2007).

Las especies del género medicago se caracterizan por sus elevadas exigencias en cuanto a pH de los suelos, requiriendo valores de 6 o más, y elevadas demandas de fertilidad, muy particularmente de fósforo. De no cumplirse con dichas exigencias, los rendimientos se verán limitados y la persistencia será muy pobre (Díaz Zorita y Gambaudo, 2007).

Hay situaciones donde la implantación de la leguminosa no se realiza en forma pura, sino que se encuentra acompañada con una gramínea, la importancia de la alfalfa en esta pastura mixta es el aporte de nitrógeno y por consiguiente provocar aumentos en los rendimientos de materia seca de la gramínea, también tiene influencia sobre el contenido en proteínas de la dieta (Carambula, 2007).

5.4- Característica del área en estudio.

La zona en que se realizó el ensayo presenta suelos de textura franco arenosos (predominando los Haplustoles típicos), de relieve normal con llanuras suavemente onduladas. La aptitud de uso de estas tierras es agrícola, y teniendo en cuenta la precipitación media anual, los factores del paisaje, el suelo, los procesos de degradación y la influencia potencial salinidad-sodicidad, poseen en una escala de 1-1000, un valor indicativo de la aptitud relativa de 871.8 (Cantero *et al.*, 1986).

Las precipitaciones medias anuales, oscilan entre 700 y 800 mm, donde el 80% de estas ocurren en los meses estivales correspondiendo con un régimen Monzónico. Las temperaturas

medias del verano son superiores a los 20°C, y en invierno las medias no descienden de los 9°C.; el período medio libre de heladas es de 255 días, siendo la fecha media de la primera helada el 25 de mayo (+/- 14 días), fecha media de última helada el 12 de septiembre (+/- 20 días) y una fecha extrema de última helada del 4 de noviembre.

En el grafico 1 y 2, se pueden observar el valor de precipitación y temperatura media mensual ocurrida en la última década.

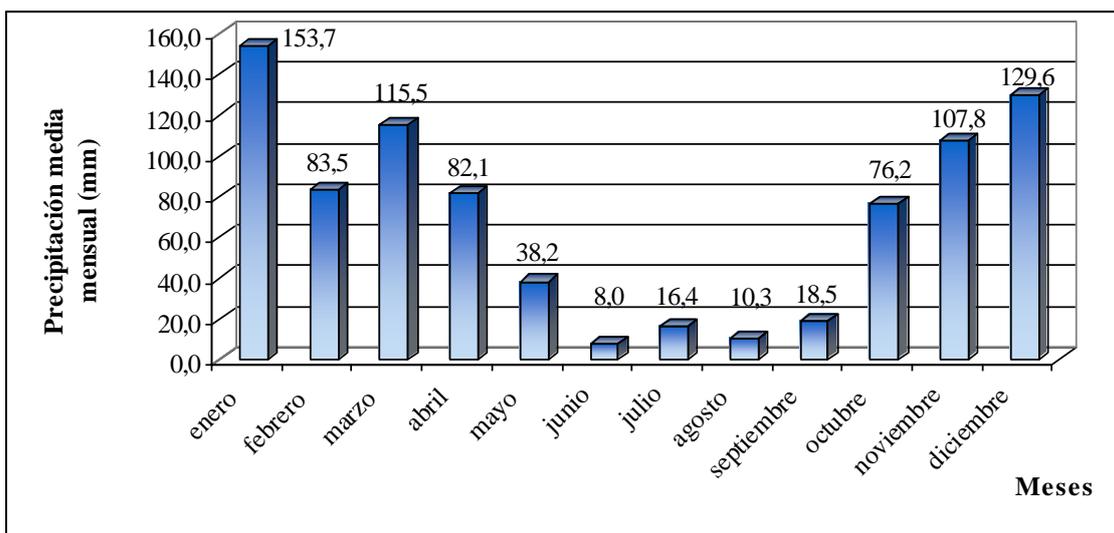


Grafico 1: Precipitaciones media mensual registradas en la estación experimental de la UNRC. Periodo 1998 – 2008.

Los valores de lluvias medias anuales registrados durante el periodo 1998 – 2008 llegan a 839.8 mm, siendo abundantes durante el periodo primavera-estival para disminuir durante el otoño e invierno.

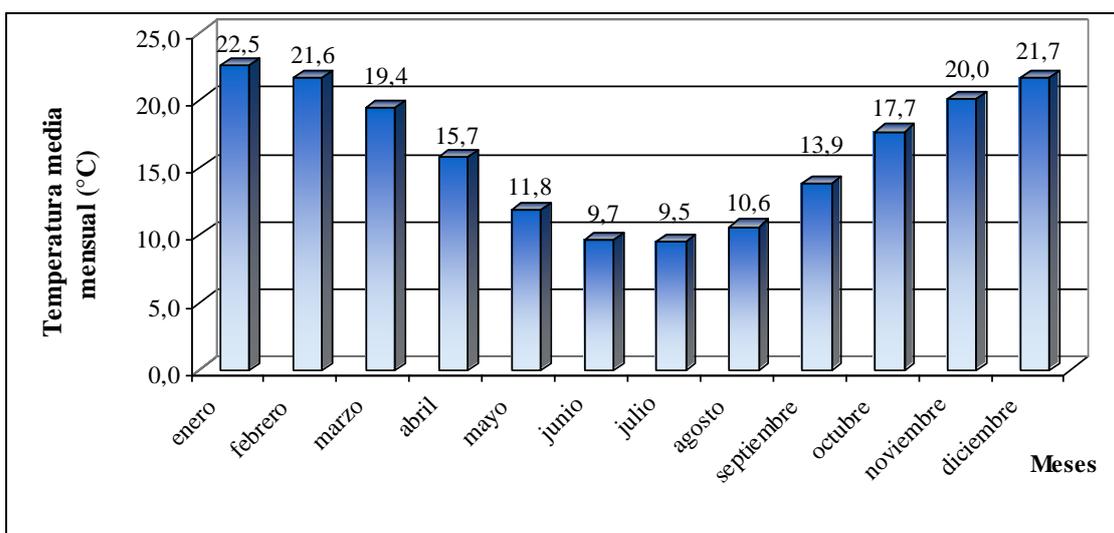


Grafico 2: Temperatura media mensual registrada en la estación experimental de la UNRC. Periodo 1998 – 2008.

La temperatura media anual es de 16.2 °C, siendo la temperatura media del mes más calido de 22.5 °C correspondiente al mes de enero, mientras que la temperatura media del mes más frío es de 9.5°C correspondiente al mes de julio; datos aportados por la asignatura Meteorología Agrícola, de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.

6 - MATERIALES Y METODOS

6.1- Localización del ensayo.

El ensayo se llevó adelante en el Campus Universitario de la Universidad Nacional de Río Cuarto próximo a las Residencias Estudiantiles Universitarias (REU), ubicado a 33° 07' LS, 64° 14' LO y a 421 m sobre el nivel del mar, donde existe una Planta Experimental para el tratamiento y la reutilización de aguas residuales urbanas, con un potencial de captación del efluente erogado por un complejo habitacional de 108 departamentos en los que habitan 432 habitantes. Por la ausencia de estudiantes en periodos de receso estudiantil (desde fines de diciembre hasta mediados de febrero principio del mes de marzo), la disponibilidad de efluentes para el riego es nula.

6.2- Características climáticas del año en estudio.

En los gráficos 3 y 4 se muestran los valores de precipitación y temperaturas que ocurrieron durante el desarrollo del ensayo.

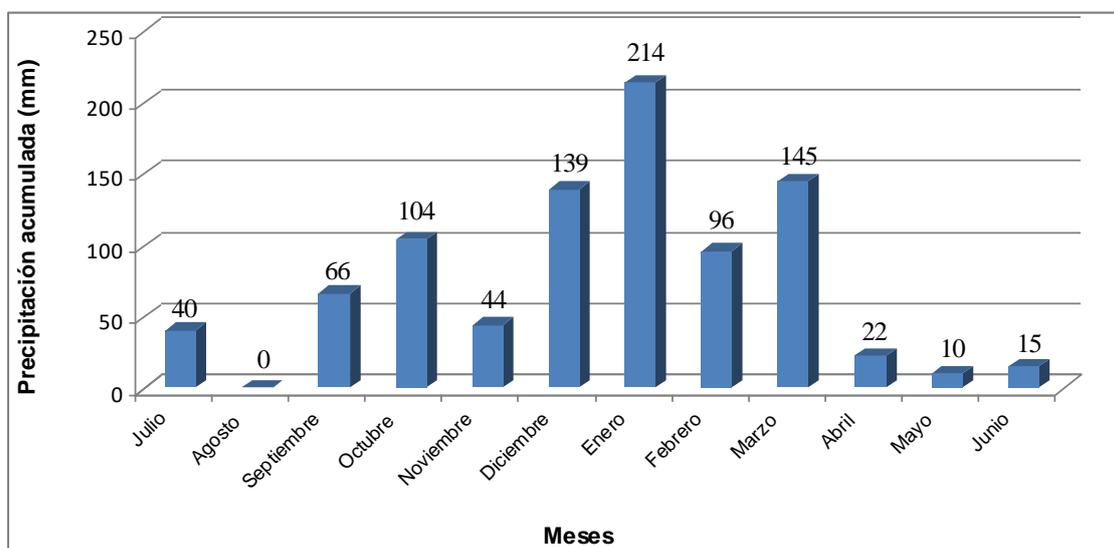


Gráfico 3: Precipitación acumulada por mes, registrada en la estación experimental de la UNRC. Correspondiente al periodo Julio 2007 – Junio 2008.

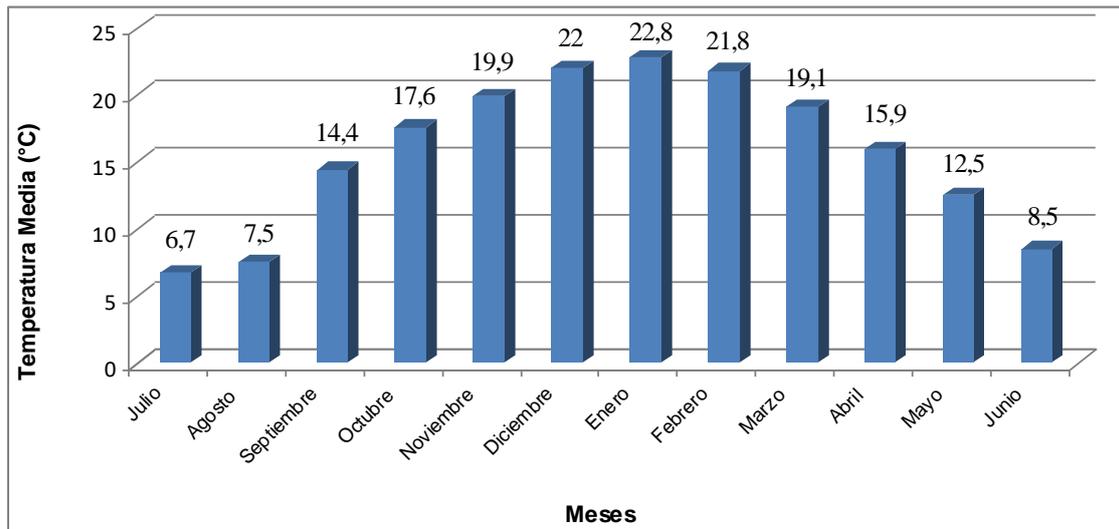


Gráfico 4: Temperatura media mensual registrada en la estación experimental de la UNRC. Correspondiente al periodo Julio 2007 – Junio 2008.

6.3- Características de la Planta Experimental.

El efluente proveniente de las REU se conduce a través de una tubería principal de PVC que con una pendiente de 1.5 % descarga por gravedad a una cámara anaeróbica, donde se separa por medio de un sistema de mallas la parte sólida. Desde allí por medio de bombas que operan alternativamente y en forma automática el agua se conduce por una tubería de PVC clase 10, de 75 mm de diámetro externo y de 55 m de longitud, hasta un tanque receptor en la Planta Experimental (Foto 1). El tanque receptor es un recipiente rectangular de un volumen de 12000 l y cuya función es concentrar el agua derivada. En uno de sus laterales, hay un orificio de 90 mm de diámetro por el cual descarga el agua cruda hacia un reactor biológico.



Foto 1: Planta de tratamiento y reutilización de efluentes urbanos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

El reactor biológico, es un tanque circular de 9.1 m de diámetro con una capacidad de 78000 l (Foto 2) y su función es bajar la demanda biológica de oxígeno (DBO).

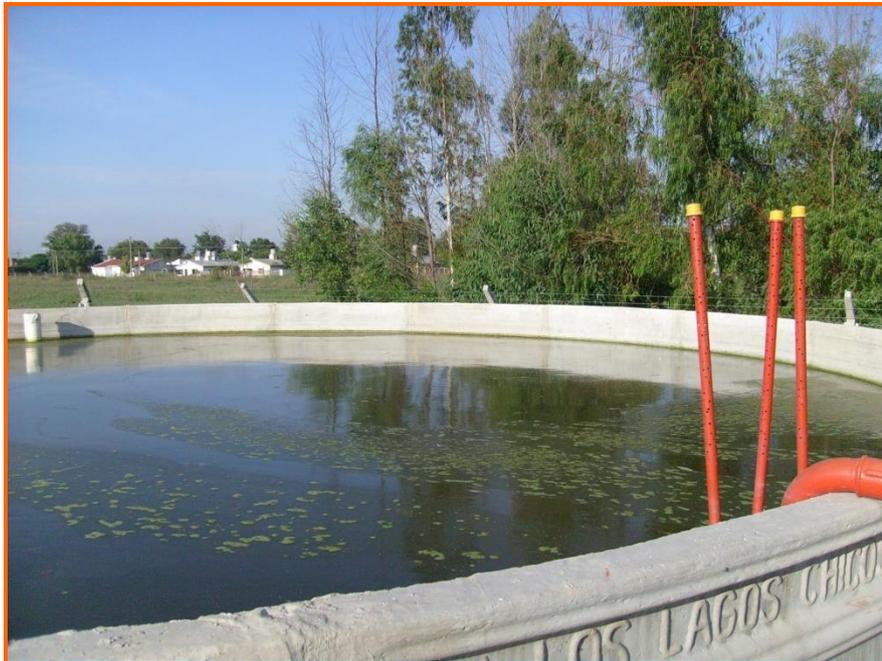


Foto 2: Reactor biológico. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Lagunas de maduración: Lugar para reducir la cantidad de gérmenes a límites permisibles, haciendo uso de la radiación ultravioleta generada naturalmente por el sol. Es un tanque de gran diámetro (15,75 m) y poca profundidad (1,00 m) (Crespi *et al.*, 2007).



Foto 3: Laguna de maduración. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

La descripción del diseño de la planta experimental, se realizó para dar un marco orientativo de la dimensión de ésta. Pero, se debe aclarar que el agua que se utilizó para el riego con aguas residuales urbanas es la que se obtenía del tanque receptor. Por lo cual, el agua con la que se realizaron los riegos solo recibió un tratamiento primario en la cámara anaeróbica.

En el Cuadro 1 y 2 se presentan las características del agua residual urbana y del agua de perforación, utilizadas en el riego del cultivo de alfalfa.

Cuadro 1: Determinación analítica del agua residual urbana, usada para el riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Determinación	Unidades	Valor
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	18,3
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	0,05
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L	0,65
Fósforo reactivo (PO ₄ ⁻³)	mg/L	40
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	511
Conductividad 18,4°C	dS/m	1046
pH		8,01
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	879

Cuadro 2: Determinación analítica del agua de perforación, usada para el riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Determinación	Unidades	Valor
Carbonatos	mg/L	0,00
Bicarbonatos	mg/L	178,12
Cloruros	mg/L	8,51
Sulfatos	mg/L	16,57
Calcio	mg/L	40,08
Magnesio	mg/L	2,918
Potasio	mg/L	19,55
Sodio	mg/L	10,557
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m.	0,45
pH		7,4
Relación de adsorción de Sodio (RAS)		1,21

6.4- Características del ensayo.

Enmarcado en un filtro verde integrado por un sistema silvopastoril (Foto 4), en base a un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* var. *Imperial 6*) grupo 6 y álamos (*Populus deltoides* var. *Catfish 5*).

La estructura del sistema agroforestal es en callejones, de 10 m de ancho, donde se implantó en el año 2006, alfalfa sembrada sobre camellones distanciados a 0,7 metros. Los callejones están delimitados por una doble hilera de álamos, con un marco de plantación de 3 x 3 metros.

Entre los camellones se dejaron surcos con pendiente de $0,02 \text{ m m}^{-1}$ a través de los cuales se realizó el riego correspondiente.

Sobre este cultivo se regó con dos calidades de agua: 1) riego con agua residual urbana y 2) riego con agua de perforación. Además se dispuso de un testigo sin riego.

En lo que respecta a la actividad de riego, al igual que el balance de agua, forman parte de la tesina de grado de Garcia¹.



Foto 4: Ensayo silvopastoril. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

¹ Garcia, N. Dinámica del Agua en un Sistema Silvopastoril. Trabajo final en ejecución, para optar al grado de Ingeniero Agrónomo.

6.5- Características del perfil del suelo.

En cuanto a las características físicas del perfil del suelo, se determinó la densidad aparente por capa (0 – 20; 21 – 40; 41 – 60; 61 – 70; 71- 80 y 81 – 100 cm), utilizando el método de Uhland mediante cilindros de acero inoxidable de 50 mm de altura por 47 mm de diámetro interno, para posteriormente establecer la humedad volumétrica. Las constantes hídricas se determinaron en laboratorio mediante el empleo de ollas de presión a -30 kPa y a -1500 kPa del potencial para capacidad de campo y punto de marchitez permanente, respectivamente, siguiendo la metodología de Black (1965) y se expresaron en forma gravimétrica al igual que el agua útil.

6.6- Determinación del contenido hídrico del suelo.

Para conocer el contenido hídrico del suelo se efectuaron determinaciones periódicas de humedad, utilizando las mismas profundidades mencionadas para la determinación de densidad aparente, usando el método gravimétrico (Gil y Martelotto, 1993).

A partir de estos datos, las constantes hídricas, la densidad aparente, y la profundidad de cada capa, se determinó el agua útil.

6.7- Determinación de la cantidad de materia seca producida por corte de alfalfa.

Para la determinación de la biomasa producida de alfalfa se realizaron muestreos al 10 % de floración, obteniendo un total de 9 muestras por tratamiento, de 0,35 m² cada una. Se cortó con tijera al ras del suelo, separando cualquier tipo de material extraño que no sea propio del cultivo.

Luego del muestreo se procedió a la identificación de las muestras, las cuales fueron secadas en estufa a razón de 100 °C hasta peso constante.

El día 9 de octubre, se hizo la limpieza de las parcelas del ensayo retirando los restos vegetales secos que provenían del crecimiento otoño-invernal y de las malezas que se encontraron en activo crecimiento, dejando de esta forma preparada la parcela para su posterior intervención.

Las fechas en que se realizaron los diferentes cortes fueron las siguientes; 19/12/07, 31/01/08, 08/04/08 y 25/06/08.

Los datos obtenidos expresados en kilogramos de materia seca por hectárea, fueron introducidos en una matriz de Excel para luego ser sometidos a análisis estadístico.

6.8- Eficiencia en el Uso del Agua.

La comprensión de los procesos fisiológicos que determinan los flujos de agua en las plantas permite plantear la cuestión de la eficiencia en el uso del agua como un problema de control gastos (agua) respecto de los ingresos en que, en primer lugar, hay que tener en cuenta las variaciones de la disponibilidad y de la necesidad de agua. La disponibilidad de agua en el suelo depende de los ingresos (lluvia, nieve, corrientes subterráneas, riego), de la capacidad de almacenamiento del suelo (proporción de elementos grueso, potencia, y porosidad del suelo) y de la densidad y profundidad del sistema radicular de la planta, que determina el volumen de suelo utilizado respecto del total. Así, la extensión del sistema radicular es un factor determinante de la disponibilidad real de agua (Medrano *et al.*, 2007).

La biomasa producida por unidad de agua consumida expresa la eficiencia con la cual un cultivo fija carbono en relación con el agua que pierde y se define como eficiencia en el uso del agua (EUA). Para su determinación se utilizarán las siguientes ecuaciones (Martellotto, *et al.*, 2004).

$$Etr = Ri + Pe \pm (Lf - Li) \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde Etr es la evapotranspiración real del cultivo, Ri es el riego, Pe es la precipitación efectiva, (dicho valor abarca a las precipitaciones ocurridas y las escorrentías), Lf es el valor de lamina final, y Li el valor de lamina inicial de agua en el suelo.

$$EUA = Bp / Etr \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde Bp es el valor de Biomasa aérea producida en Kg MS ha⁻¹ y Etr es la Evapotranspiración real del cultivo expresada en mm, la cual se obtiene de la ecuación 1.

6.9- Valor Nutritivo Relativo del forraje.

El valor nutritivo relativo (VNR) es una manera simple de cuantificar el potencial alimenticio de un forraje. En la actualidad, este índice es ampliamente usado en EE.UU. para balancear raciones y fijar el precio de comercialización del heno.

Estimando los valores de Digestibilidad de la Materia Seca (DMS) y el Consumo Voluntario de Materia Seca (CMS) por Goering y Van Soest (1970), luego se combinan en el índice VNR mediante la siguiente fórmula:

$$VNR = [((88,9 - (0,779 \times FDA\%)) \times (120 / FDN\%)] / 1,29 \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde FDA es la fibra detergente ácida, y la FDN es la fibra detergente neutra.

Undersander *et al.* (1991), proponen una categorización del heno de alfalfa en base a su valor nutritivo, (excelente > 151, primera 125-150, segunda 103-124, tercera 87-102, cuarta 75-86, quinta <75).

Del tercer corte se extrajo material vegetal para hacer análisis de calidad (energía metabólica, proteína bruta, fibra detergente neutra y acida). Este material se seco a 75 °C en estufa y se entregó en laboratorio. Un cuarto componente se le sumó al análisis, este consistió en tomar una muestra más de la parcela de alfalfa regada con agua residual urbana, y dejarla deshidratar de forma natural, aparentando lo que ocurre a campo en la confección de heno.

6.10- Análisis estadísticos de los resultados de rendimientos.

Tomando a la producción de biomasa aérea como la variable de mayor importancia en estudio, se procedió al análisis de los datos utilizando el programa estadístico Infostat.

Mediante el Infostat se realizó el análisis de la varianza (ANAVA), y en aquellos casos donde hubo diferencias de medias, se efectuó el método de comparaciones múltiples DGC.

El ensayo se encuadra en un Diseño en Bloques Completo al Azar, y el modelo estadístico es el siguiente (Steel y Torrie, 1997):

$$\text{Modelo estadístico: } Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = observación de la variable dependiente en nuestro caso biomasa aérea (kg MS ha⁻¹) del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa L.*), obtenida de la unidad experimental perteneciente al bloque j a la que se le aplicó el tratamiento i.

μ = media poblacional de la variable dependiente (biomasa aérea (kg MS ha⁻¹)).

α_i = efecto debido al tratamiento (riego).

β_j = efecto debido al bloque.

ε_{ij} = variable aleatoria debida al error entre la unidad experimental con el mismo tratamiento. Esta variable tiene $\sim N(0; \sigma^2)$.

7 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas del año en que se llevo a cabo la experiencia fueron normales para la zona, obteniendo un registro de precipitación anual de 895 mm, mientras que la media anual histórica es de 839.8 mm, como se puede observar en el gráfico 1. En cuanto a las temperaturas fueron similares a las medias históricas, (gráfico 2).

7.1- Características del perfil de suelo.

Se determinaron los valores de densidad aparente y constantes hídricas (Capacidad de Campo y Punto de Marchites Permanente) Anexo 1, para cada capa de suelo del área en estudio, los cuales se expresan en Cuadro 3.

Cuadro 3: Valores de Dap., C.C. y P.M.P., para cada profundidad de suelo.

Profundidad	Dap (gr/cm ³)	CC (gr H ₂ O/100 gr Suelo)	PMP (gr H ₂ O/100 gr Suelo)
0 - 20 cm.	1,25	20,40	10,98
20 - 40 cm.	1,44	20,88	11,62
40 - 60 cm.	1,32	17,31	9,00
60 - 70 cm.	1,32	19,96	8,94
70 - 80 cm.	1,11	30,39	17,82
80 - 100 cm.	1,04	41,43	22,52

7.2- Determinación de la cantidad de materia seca producida por corte de alfalfa.

Previo a la ejecución de los análisis estadísticos, en todos los casos se realizaron los supuestos de normalidad, los cuales indican según grafico Q-Q plot que los datos se ajustan a una distribución normal y en la prueba de Shapiro-Wilks los residuos se distribuyen normalmente. En cuanto a la homogeneidad se realizaron los gráficos de dispersión y se pudo observar una distribución homogénea de los datos (Anexos 2, 3, 4, y 5).

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (riego con agua de origen residual urbana, de perforación o de lluvias) en cada una de las fechas de corte, con valores de probabilidad inferiores a 0,05. Por tal motivo se realizaron las comparaciones de medias correspondientes (Cuadro 4).

En ellas se observan resultados positivos a favor del tratamiento que recibió el aporte de agua proveniente de residuos cloacales.

Cuadro 4: Producción de biomasa aérea de alfalfa, con distintos tratamientos de calidad de agua. Cuatro fechas de corte.

Producción de Biomasa Aérea por Corte en kg MS ha ⁻¹				
Tratamiento	1° Corte	2° Corte	3° Corte	4° Corte
Sin riego	2899,56 b	2820,09 b	2366,54 c	2663,46 b
Riego con agua de perforación	3082,37 b	3101,05 b	2800,76 b	2901,05 b
Riego con agua residual urbana	3303,65 a	4100,22 a	3479,45 a	3295,49 a
R ²	0,32	0,41	0,69	0,61
C.V.	9,94	22,18	12,00	8,16
Probabilidad	0,0365	0,0037	0,0001	0,0001

Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En cada uno de los cortes, la mayor producción de alfalfa fue lograda por el tratamiento regado con agua residual urbana. Difiriendo estadísticamente de los otros tratamientos.

A su vez, no podemos inferir que hubo diferencias entre el tratamiento riego con agua de perforación y el testigo (lo que si se observa es un mayor rendimiento del primero, aunque estas diferencias no fueron significativas).

La misma respuesta favorable en cuanto a producción fue obtenida por Saénz Forero (2002) en dos localidades diferentes.

Resultados similares, son expresados por Uribe Montes (2000), usando lodos deshidratados en distintas concentraciones, comparado con fertilizante químico, encontrando diferencias a favor de los tratamientos con lodos deshidratados, independientemente de la concentración.

En el caso del primer, segundo y cuarto corte las diferencias estadísticas entre no regar y regar con agua de perforación no son significativas. Pero si lo son con respecto al riego con agua residual, justificado esto en la presencia de nutrientes (cuadro 1).

En el tercer corte el análisis estadístico reconoce tres situaciones (señaladas con distintas letras), una de menor producción sin riego, separándola de las otras dos experiencias que recibieron riego pero fueron separadas estadísticamente, debiéndose esto probablemente a la presencia de nutrientes en el agua residual urbana (cuadro 1).

7.3- Materia Seca Acumulada en los cuatro cortes.

Para conocer el efecto de los tratamientos sobre la producción total de biomasa aérea del cultivo de alfalfa (ciclo de producción), se sumo la producción de Materia Seca de los cuatro cortes, (Anexo 6). Los resultados de la comparación de medias se presentan en Cuadro 5.

Los tratamientos de riego tuvieron un efecto positivo sobre la producción de biomasa aérea del cultivo en cuestión, encontrándose diferencias estadísticamente significativas.

Cuadro 5: Producción total de biomasa aérea de alfalfa, con distintos tratamientos de calidad de agua. Materia seca acumulada (kg MS ha⁻¹).

Tratamiento	Medias
Sin riego	10749,65 c
Riego con agua de perforación	11885,22 b
Riego con agua residual urbana	14178,81 a
R ²	0,77
C.V.	7,04
Probabilidad	0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

Observando los diferentes valores de producción total, podemos separar las experiencias que recibieron riego que produjeron en promedio un 21,2 % más, que la situación de secano. Al igual que lo expresado en ensayos de Producción y Calidad del Forraje de Alfalfa Bajo Riego realizados por el INTA Manfredi en el año 2000/2001, donde se compara la producción de materia seca anual de dos cultivares: Victoria SP INTA, que fue un 30% superior bajo riego que secano, y en Bárbara SP INTA la producción fue un 10% mayor bajo riego (p<0,05), (INTA, 2002).

En cuanto a la calidad del agua de riego, también se manifestaron diferencias de producción, un 19,3 % superior a favor del riego con agua residual urbana.

7.4- Determinación de la Eficiencia en el Uso del Agua.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas puede entenderse de manera simple como el volumen de agua que éstas necesitan consumir (evapotranspirar) para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera (en la que se encuentra en forma de CO₂). De esta manera, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: *en primer lugar*, de aquellas características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y *en segundo lugar*, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta. Así, las plantas han desarrollado diferentes respuestas frente al estrés hídrico que en conjunto implican asegurar la supervivencia de la especie, aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia de su uso (Medrano *et al.*, 2007).

Según ecuación 1 y 2 se plantea el cálculo de Etr y EUA para cada situación del ensayo.

Riego con agua residual urbana

$$\text{Etr} = 260 + 645,70 \pm (45,60 - 23,90)$$

$$\text{EUA} = 14178,81 / 927,40$$

$$\text{Etr} = 927,40 \text{ mm}$$

$$\text{EUA} = 15,29 \text{ Kg. MS ha}^{-1}/\text{mm.}$$

Riego con agua de perforación

$$\text{Etr} = 232 + 645,70 \pm (18,60 - 8,40)$$

$$\text{EUA} = 11885,22 / 887,90$$

$$\text{Etr} = 887,90 \text{ mm}$$

$$\text{EUA} = 13,38 \text{ Kg. MS ha}^{-1}/\text{mm.}$$

Secano

$$\text{Etr} = 0 + 645,70 \pm (29,80 - 3,20)$$

$$\text{EUA} = 10749,65 / 672,40$$

$$\text{Etr} = 672,40 \text{ mm}$$

$$\text{EUA} = 15,98 \text{ Kg. MS ha}^{-1}/\text{mm.}$$

Los resultados indican que la EUA en secano fue mayor a la EUA con riego de perforación, pero hay poca diferencia con la EUA en riego de aguas residuales urbanas. Indicando, que el riego con aguas residuales es tan eficiente en la utilización del agua como el testigo o viceversa.

La baja eficiencia del uso del agua manifestada en los tratamientos de riego con respecto al testigo podría deberse a la falta de agua de riego en el periodo estival.

La explicación es otra cuando nos referimos solo a los tratamientos con riego, donde las diferencias en EUA se deben a la calidad del agua de riego (cuadro 1), que tiene principalmente fosfatos (PO_4^{-3}) y nitratos (NO_3^-), necesarios para el crecimiento de la alfalfa.

7.5- Determinación del Valor Nutritivo Relativo del forraje

Muestras del material vegetal del tercer corte fueron llevadas a laboratorio, tratando de comparar el valor nutritivo de cada condición de crecimiento (agua residual urbana, agua de perforación, y sin riego), mostrándose en Cuadro 6 algunos de los indicadores más importante y el análisis completo se expresa en Anexo 7.

Debemos recordar que los cultivos irrigados con efluentes de aguas residuales urbanas que contengan una carga alta de microorganismos, representa un riesgo para la salud pública, estos alimentos no deben ser consumidos crudos, deben ser deshidratados naturalmente antes del consumo (Fasciolo *et al.*, 2005).

Cuadro 6: Análisis del valor nutritivo del cultivo de alfalfa.

Distintos tratamientos de Alfalfa				
Fracciones (en base seca)	Regada con agua residual.	Regada con agua de perforación.	Sin riego.	Regada con agua residual y deshidratada naturalmente.
Proteína Bruta	28,51%	20,01%	20,48%	19,39%
Digestibilidad Química	60,65%	57,97%	53,31%	56,65%
Lignina Detergente Acida	5,74%	7,07%	8,47%	7,11%
Energía Metabólica	2,19 Mcal/kg. MS	2,09 Mcal/kg. MS	1,92 Mcal/kg. MS	2,045 Mcal/kg. MS

Es importante saber que la alfalfa regada con agua residual supera los valores nutritivos del cultivo que crece en condiciones normales de campo, (39% más de proteínas, aumenta la digestibilidad y la energía metabólica en aproximadamente 14%).

En el caso de la muestra de alfalfa deshidratada, se observa que los valores de las cuatro fracciones son semejantes a los que tendría el forraje que crece en seco, e incluso mejora en digestibilidad. Este dato es muy importante, indicando que se puede obtener un forraje deshidratado para la confección de henos, con semejantes características que un forraje en pie.

Utilizando la ecuación 3, se determino el VNR para las cuatro muestras que se llevaron al laboratorio, y se clasificaron según Undersander *et al.* 1991, en forraje de primera para alfalfa regada con agua residual urbana (VNR 145,81) y de perforación (VNR 137,93), y un forraje de segunda en el caso de alfalfa sin riego y de la muestra deshidratada (con valores de VNR de 122,7 y 121,12, respectivamente). Podemos remarcar la buena calidad que posee la alfalfa deshidratada, favoreciendo a su vez la disminución de los coliformes por la exposición al sol durante el proceso de deshidratado natural.

8 - CONCLUSION

La mayor producción del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) se obtuvo cuando se regó con agua residual urbana en relación al riego con agua de perforación y al cultivo en situación de secano. Esta mayor producción se dio en cada uno de los cortes, como en el período de crecimiento del cultivo.

El riego con aguas residuales de origen urbano, produjo un incremento de la Eficiencia del Uso del Agua por parte del cultivo, en relación a similar nivel hídrico aportado por riego con agua de perforación.

El mayor valor del índice nutritivo relativo, se obtuvo en la situación de riego con aguas residuales urbanas. Destacándose a su vez, una buena calidad de forraje cuando este es deshidratado.

La obtención de estos resultados enmarca al agua residual urbana como otra posible fuente de agua, factible de ingresar al sistema suelo quedando disponible para ser utilizada por el cultivo.

9 - BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ BERNAL, D.; S. CONTRERAS RAMOS y H. POGGI VARALDO 2002. Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo. **Avance y Perspectiva**. **21**: 333-340.
- BLACK, C.A. 1965. Methods of soil. Análisis Part 1. Physical and Mineralogical Properties Phis. **Cond. of Wat. in soil 9**: 28-152.
- BOUWER, H. y E. IDELOVITCH 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. **J. Irrig. & Drainage Eng.** **113**: 516-535.
- CANTERO GUTIERREZ, A., E. M. BRICCHI, V. H. BECERRA, J. M. CISNEROS y H. A. GIL. 1986. **Zonificación y Descripción de las Tierras del Departamento de Río Cuarto (Córdoba)**. Córdoba. Argentina. 78 págs.
- CARAMBULA, M. 2007. **Pasturas y Forrajes. Potenciales y alternativas para producir forraje**. Editorial hemisferio sur, Buenos Aires 335. Tomo I. 352 págs.
- CRESPI, R.; O. PLEVICH; A. THUAR; L. GROSSO; C. RODRÍGUEZ; D. RAMOS; O. BAROTTO M. SARTORI; M. COVINICH y J. BOEHLER 2007. Manejo de aguas residuales urbanas. **En: <http://hydriaweb.com.ar/kb/entry/87/>** . Consultado: 05-02-2010.
- DÍAZ ZORITA M. y S. GAMBAUDO 2007. Fertilización y Encalado en Alfalfa. **En: El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina: 227-246**. Ed. D. H. Basigalup. EEA Manfredi-INTA. Buenos Aires. Argentina.
- DOWNS, T. J.; E. CIFUENTES GARCÍA y I. M. SUFFET. 1999. Risk Screening for Exposure to Groundwater Pollution in a Wastewater Irrigation District of the Mexico City Region. **Environmental Health Perspectives 107(7)**: 553-561.
- FASCIOLO, G.; E. CALDERÓN; M. I. MECA y REBOLLO 2005. Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. Mendoza (Argentina) **Rev. FCA UN Cuyo. Tomo XXXVII. N° 1**: 31-40.
- GIL, R. y E. MARTELOTTO 1993. **El agua edáfica. Guia practica para su determinación**. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. INTA. 8 págs.

- GOERING, H.K. y P.J. VAN SOEST 1970. **Forage Fiber Analysis: Apparatus, reagents, procedures and some applications**. U.S. Gov. Print. Office. Washington DC. USA. USDA Agric. Handbook NQ 379.
- HOMSI, J. 1990. Tratamiento y disposición final de aguas servidas. **Cuadernos Universitarios Serie Seminarios N° 2**. Universidad Nacional Andrés Bello, Santiago, Chile. 172 págs.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA 2002. Area de Producción Animal. **En:** www.inta.gov.ar/manfredi/investiga/proyani/pcf1pa.htm. Consultado: 19-08-2010.
- JIMÉNEZ, B. y A. CHÁVEZ 2004. Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: “El Mezquital Valley” case. **Water Science and Technology** **50(2)**: 269-276.
- JIMÉNEZ B.; C. SIEBE y E. CIFUENTES 2005. El Reúso Intencional y no Intencional del Agua en el Valle de Tula: 33-55. **En:** El Agua en México Vista desde la Academia. Jiménez, B.; Marín, L. (eds.). Ed. Academia Mexicana de Ciencias. México D.F., México.
- KLEIN, J. 2008. **Tratamiento de aguas residuales y su reuso en el agro**. La experiencia Israelí. Editorial Bubok. España. 99 págs.
- MAÑAS RAMÍREZ, P.; E. CASTRO-BARRILERO; J. DE LAS HERAS IBÁÑEZ y J. C. SÁNCHEZ y TEBAR. 2002. Aptitud agronómica del agua residual depurada procedente de la E.D.A.R. de Albacete. **Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.** **17(1)**: 163-171.
- MARA, D. y S. CAIRNCROSS 1990. **Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretos en agricultura y acuicultura**. Publicadas por la organización Mundial de la Salud en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Ginebra.
- MARCOUX, A. 1994. **Population and water resources**. Department of Economic and Social Affairs, UN Population Division, United Nations Population Information Network (POPIN), contrib. by Food and Agriculture Organization (FAO). 29 págs.

- MARTELLOTTI, E; P. SALAS; E. LOVERA; A. SALINAS; J.P. GIUBERGIA y S. LINGUA 2004. **Planilla de balance hídrico para riego**. Proyecto Regionales: Agricultura sustentable, Gestión Agroambiental. INTA, EEA Manfredi.
- MASSA LÓPEZ, M.P. 1988. **Tratamiento biológico de las aguas residuales. Lagunas de estabilización**. Ministerio de Agricultura YRYDA. España. 16 págs.
- MEDRANO, H; J. BOTA; J. CIFRE; J. FLEXAS; M. RIBAS CARBÓL y J. GULÍAS 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas. Universidad de Alicante España 43**: 63-84.
- MUJERIEGO, R. 1990. **Riego con agua residual municipal regenerada**. Manual práctico. Generalitat de Catalunya. Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España. 481 págs.
- NATIONAL ACADEMY OF PRESS (NAP) 1999. Use of reclaimed water and sludge in food crop production. **En:** <http://www.nap.edu/readingroom/books/sludge/summary.html> Consultado: 15-01-2008.
- RIPDA (RED IBEROAMERICANA DE POTABILIZACIÓN y DEPURACIÓN DEL AGUA) 2005. La reutilización de aguas residuales. Capítulo 19. **En:** http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_19.pdf. Consultado: 21-04-2009.
- RODRIGUEZ JIMENEZ, J. 2002. **La Ingeniería Ambiental. Entre el reto y la oportunidad**. Editorial Síntesis, S.A., Vallehermoso, 34. Madrid.
- SAÉNZ FORERO R. 2002. Riego y Salud. Modernización y Avances en el Uso de Aguas Negras para el Irrigación Intercambio de Aguas Uso Urbano y Riego. **En:** <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html>. Consultado: 20-04-2010.
- SCHNOOR, J.; L. LIGHT; S. MACCUTCHEON; N. L. WOLFE y L. CARREIRA, 1995. Phytoremediation of organic y nutrient contaminants. **Env. Sci. and Tech.** **29 (7)**:6.
- STEEL, R. y J.H. TORRIE 1997. Bioestadística: **Principios y procedimientos**. 2^{da} Edición. Mc Graw – Will. 622 págs.

UNDERSANDER, D., N. MARTIN, D. COSGROVE, K. KELLING, M. SCHMITT, J. WEDBERG, R. BECKER, C. GRAU y J. DOLL, 1991. **Alfalfa management guide**. ASA-CSSA-SSSA. Madison. WI. USA. 41 págs.

URIBE MONTES, H. R. 2000. Uso de Biosólidos Para Incrementar la Productividad en Alfalfa. **En:** <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/aidis/II-Urube-Mexico-1.pdf>. Consultado: 03-08-2010.

VIVANCO ESTRADA., R. A.; F. GAVI; J. J. PEÑA y J. DE J. MARTÍNEZ 2001. Flujos de nitrógeno en el suelo cultivado con forraje y regado con agua residual urbana. **Terra Latinoamericana 19(4):** 301-308.

10 - ANEXOS

10.1- **Anexo 1:** Determinación de las constantes hídricas (Capacidad de Campo y Punto de Marchites Permanente), para cada capa de suelo del área en estudio.

Capacidad de Campo

Profundidad de capa	Peso del tarro	Tara del tarro	Peso en Húmedo	Peso en Seco	gr H ₂ O/100 gr Suelo	CC
0-20 cm	136	25,12	41,78	38,93	20,64	20,40
	137	27,79	48,12	44,71	20,15	
20-40 cm	145	24,9	40,76	38	21,07	20,88
	149	25,04	41,2	38,43	20,69	
40-60 cm	153	27,45	41,44	39,42	16,88	17,31
	168	27,76	44,95	42,36	17,74	
60-70 cm	167	27,05	41,7	39,31	19,49	19,96
	161	27,82	43,45	40,8	20,42	
70-80 cm	160	28,09	42,81	39,35	30,73	30,39
	139	26,95	40,93	37,7	30,05	
80 a +	154	27,46	45,98	40,59	41,05	41,43
	166	27,92	48	42,08	41,81	

Punto de Marchites Permanente

Profundidad de capa	Peso del tarro	Tara del tarro	Peso en Húmedo	Peso en Seco	gr H ₂ O/100 Gr Suelo	PMP
0-20 cm	3	28,19	39,73	38,59	10,96	10,98
	4	29,99	44,62	43,17	11,00	
20-40 cm	143	27,73	39,01	37,82	11,79	11,62
	173	27,22	37,44	36,39	11,45	
40-60 cm	164	27,92	36,12	35,44	9,04	9,00
	175	26,93	38,48	37,53	8,96	
60-70 cm	147	27,38	36,19	35,49	8,63	8,94
	169	27,75	36,73	35,97	9,25	
70-80 cm	159	27,59	38,86	37,18	17,52	17,82
	1	27,72	37,95	36,38	18,13	
80 a +	165	27,03	37,4	35,49	22,58	22,52
	2	28,49	43,65	40,87	22,46	

Fuente: Garcia Nicolas Daniel, "Dinámica del Agua en un Sistema Silvopastoril".

10.2- **Anexo 2:** Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (*Medicago sativa* L) en riego con distinta calidad de de agua. Primer corte.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rdto kg./ha	27	0,32	0,20	9,94

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	981197,19	4	245299,30	2,60	0,0639
Tratamiento	728390,62	2	364195,31	3,86	0,0365
Bloque	177490,23	2	88745,11	0,94	0,4052
Error	2073531,93	22	94251,45		
Total	3054729,12	26			

Donde: **FV:** fuente de variación, **SC:** suma de cuadrados, **gl:** grados de libertad, y **CM:** cuadrado medio.

Grafico Q-Q Plot y de dispersión, primer corte de alfalfa.

Q-Q Plot

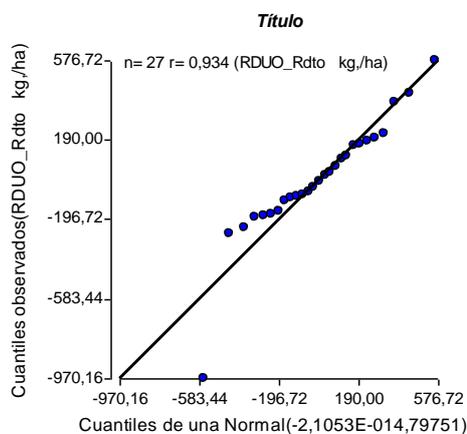
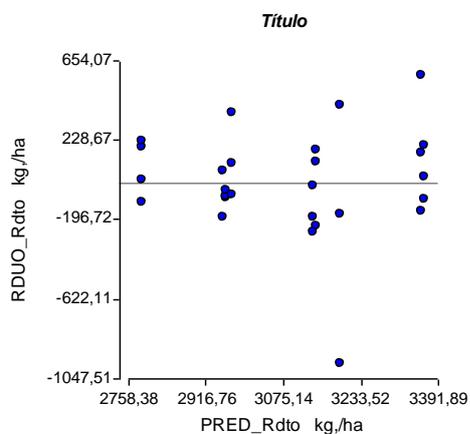


Grafico de dispersión



10.3- **Anexo 3:** Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (*Medicago sativa* L) en riego con distinta calidad de de agua. Segundo corte.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rdto. kg/ha	27	0,41	0,31	22,18

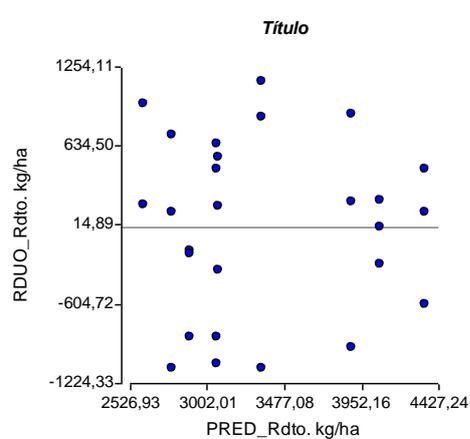
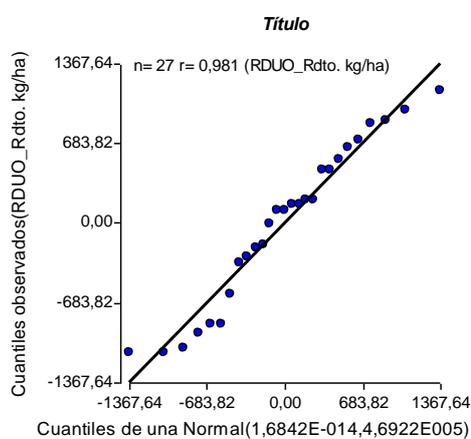
F.V.	SC	G1	CM	F	p-valor
Modelo	8606450,71	4	2151612,68	3,88	0,0156
Tratamiento	8087111,56	2	4043555,78	7,29	0,0037
Bloque	909231,70	2	454615,85	0,82	0,4535
Error	12199663,63	22	554530,17		
Total	20806114,35	26			

Donde: **FV:** fuente de variación, **SC:** suma de cuadrados, **gl:** grados de libertad, y **CM:** cuadrado medio.

Grafico Q-Q Plot y de dispersión, segundo corte de alfalfa.

Q-Q Plot

Grafico de dispersión



10.4- **Anexo 4:** Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (*Medicago sativa* L) en riego con distinta calidad de de agua. Tercer corte.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rdto. kg/ha	27	0,69	0,63	12,00

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	5744993,59	4	1436248,40	12,02	<0,0001
Tratamiento	5603381,20	2	2801690,60	23,44	<0,0001
Bloque	23692,01	2	11846,00	0,10	0,9061
Error	2629771,52	22	119535,07		
Total	8374765,11	26			

Donde: **FV:** fuente de variación, **SC:** suma de cuadrados, **gl:** grados de libertad, y **CM:** cuadrado medio.

Grafico Q-Q Plot y de dispersión, tercer corte de alfalfa.

Q-Q Plot

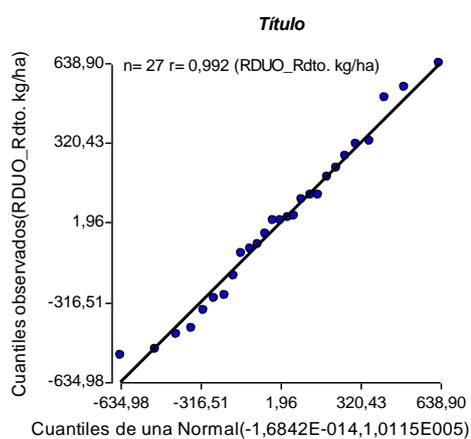
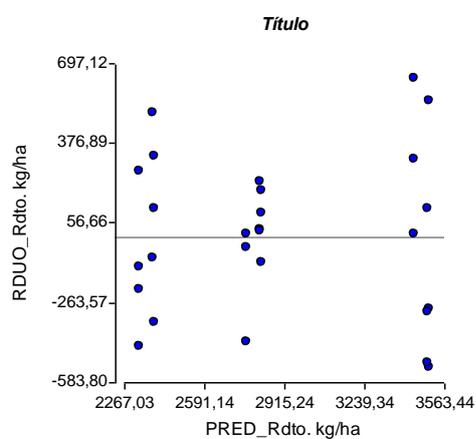


Grafico de dispersión



10.5- **Anexo 5:** Análisis de varianza de la biomasa aérea producida por alfalfa (*Medicago sativa* L) en riego con distinta calidad de de agua. Cuarto corte.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rdto. kg/ha	27	0,61	0,53	8,16

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1958234,59	4	489558,65	8,46	0,0003
Tratamiento	1815595,07	2	907797,53	15,68	0,0001
Bloque	57710,45	2	28855,23	0,50	0,6142
Error	1273825,40	22	57901,15		
Total	3232059,99	26			

Donde: **FV:** fuente de variación, **SC:** suma de cuadrados, **gl:** grados de libertad, y **CM:** cuadrado medio.

Grafico Q-Q Plot y de dispersión, cuarto corte de alfalfa.

Q-Q Plot

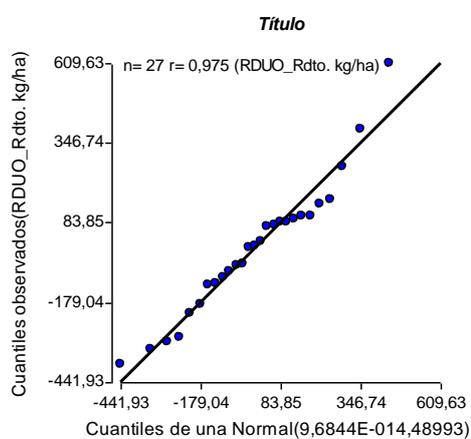
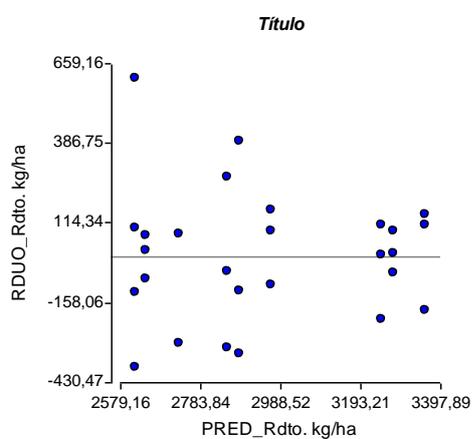


Grafico de dispersión



10.6- **Anexo 6:** Análisis de varianza de la biomasa aérea total producida por alfalfa (*Medicago sativa* L) en riego con distinta calidad de agua. Materia seca acumulada.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rdto kg/ha	27	0,77	0,73	7,04

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	54649628,11	4	13662407,03	18,32	<0,0001
Tratamiento	54406514,40	2	27203257,20	36,47	<0,0001
Bloque	67411,09	2	33705,55	0,05	0,9559
Error	16410313,24	22	745923,33		
Total	71059941,34	26			

Donde: **FV:** fuente de variación, **SC:** suma de cuadrados, **gl:** grados de libertad, y **CM:** cuadrado medio.

10.7- **Anexo 7:** Análisis del material vegetal, en laboratorio.

**Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria
Departamento de Producción Animal
Laboratorio Nutrición Animal**

Río Cuarto, 5 de Agosto de 2008

PROTOCOLO N°: 004

Solicitante: Cecilia Saroff

Domicilio: UNRC

Localidad: Río Cuarto

Tel.: 0358- 4676509

Provincia: Córdoba

MUESTRA N°:		863	863	864	864	865	865	866	866
ANALISIS DE:	Unidad								
Materia Seca (en b.t.c.)	%								
Fracciones (en b.s.):									
Cenizas	%	11.84	11.84	9.0	9.07	11.19	11.19	10.65	10.65
Proteína Bruta (PB)	%	28.41	28.62	19.2	19.58	20.82	20.14	19.79	20.24
Proteína Soluble (como % PB)	%								
Proteína insoluble en D.A. (como % PB) (ADIN)	%								
Fibra Detergente Neutro (FDN)	%	41.45	42.24	46.56	47.14	46.03	46.71	42.34	43.04
Contenido Celular (CC)	%	58.55	57.76	53.44	52.86	53.97	53.29	57.66	56.96
Fibra Detergente Acido (FDA)	%	30.25	29.59	35.15	36.47	34.96	36.25	31.04	34.69
Lignina Detergente Acido (LDA)	%	5.63	5.86	7.17	7.06	8.2	8.75	6.69	7.45
Digestibilidad. Química (Van Soest)	%	61.48	59.82	56.3	57	53.87	52.76	58.18	57.76
Energía Metabólica (EM)	Mcal/Kg. M.S	2.22	2.16	2.03	2.06	1.94	1.9	2.10	2.08
Extracto Etéreo (EE)	%								
Extracto No Nitrogenado (ENN)	%								
pH									

b.s.: Base Seca - b.t.c.: Base tal cual

Referencia:

Muestra N°:	Descripción:
863	Alfalfa regada con agua residual
864	Alfalfa regada con agua residual Deshidratada
865	Alfalfa sin riego
866	Alfalfa regada con agua de perforación

Vet. Maria Eugenia Ortiz
Ayud. de 1° Nutrición Animal – FAV
Laboratorista LAB.NA

Lic. en Qca. Gabriel Alcantú
PAD. Nutrición Animal – FAV
Responsable LAB. NA