



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final de Grado presentado para optar al
Título de Ingeniero Agrónomo

**Evaluación del crecimiento y producción de
biomasa en álamos (*P. deltoides* cv. Catfish 5) en
distintas épocas del año**

Alumno: **Christian Javier TRASVIÑA**

DNI: 32.156.971

Director: Ing. Agr. Omar M. BAROTTO

Co-Director: Lic. Cecilia SAROFF

Río Cuarto – Córdoba

Junio 2012

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título del Trabajo Final: EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y
PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN ÁLAMOS (*P. deltoides* cv.
Catfish 5) EN DISTINTAS ÉPOCAS DEL AÑO.**

**Autor: Christian Javier TRASVIÑA
DNI: 32.156.971**

Director: Ing. Agr. Omar M. BAROTTO

Co-Director: Lic. Qca. Cecilia SAROFF

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora:**

Ing. Agr. José Omar PLEVICH _____

Ing. Ftal. Marcela DEMAESTRI _____

Ing. Agr. Omar M. BAROTTO _____

Fecha de Presentación: ____/_____/_____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/_____/_____.

Secretario Académico

Agradecimiento

A mi familia por permitirme estudiar una carrera universitaria y por su apoyo permanente que me permitió concluir con la misma.

A mi director Ing. Agr. Omar M. Barotto, Co-Director Lic. Qca. Cecilia Saroff y a mi profesor Ing. Agr. José Omar Plevich por su ayuda incondicional en la conformación del presente trabajo.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y a todos mis profesores por su constante esfuerzo en la formación de profesionales.

INDICE GENERAL

Certificado de Aprobación	i
Agradecimiento	ii
Índice general	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	iv
Resumen	v
Summary	vi
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	2
HIPOTESIS	5
OBJETIVOS	5
Objetivo general	5
Objetivo específicos	5
MATERIALES Y METODOS	6
RESULTADOS Y DISCUCIONES	9
Producción de madera	9
Crecimiento anual	9
Crecimiento de primavera	11
Crecimiento de verano	12
Crecimiento de otoño	12
Producción de Biomasa de hojas	14
Análisis de suelo	14
CONCLUSIONES	16
BIBLIOGRAFIA	17
ANEXOS	19
Anexo I – Crecimiento anual	19
Anexo II – Riego	20
Anexo III – Crecimiento de primavera	20
Anexo IV – Crecimiento de verano	21
Anexo V – Crecimiento de otoño	22
Anexo VI – Análisis de regresión	22
Anexo VII – Biomasa de hojas	23

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Esquema sobre la disposición de los Bloques de cada tratamiento sobre el terreno.	7
<i>Figura 2:</i> Crecimiento en volumen de madera para las distintas épocas.	10
<i>Figura 3:</i> Crecimiento en volumen maderable en el tiempo estimado por la función.....	13

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calendario de las mediciones efectuadas para las distintas épocas.	7
Tabla 2: Crecimiento anual de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.	9
Tabla 3: Crecimiento anual de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.	9
Tabla 4: Crecimiento primaveral de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.	11
Tabla 5: Crecimiento primaveral de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.	11
Tabla 6: Crecimiento estival de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.	12
Tabla 7: Crecimiento estival de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.	12
Tabla 8: Crecimiento otoñal de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.....	12
Tabla 9: Crecimiento otoñal de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.	13
Tabla 10: Coeficiente de regresión y estadísticos asociados.	13
Tabla 11: Producción de biomasa de hojas en los diferentes Bloques.	14
Tabla 12: Valores de Nitratos (NO ₃ ⁻) y Fósforo (P) disponibles en el suelo a distintas profundidades.....	15

RESUMEN

En el Campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto se llevo a cabo un proyecto silvopastoril a los efectos de evaluar la producción de madera y biomasa en condición de secano. Para ello se utilizaron dos trincheras de álamos, que poseían dos tratamientos, uno con agua de efluentes cloacales y el otro con agua limpia. Sobre el mismo se efectuaron mediciones de biomasa de fuste en las diferentes estaciones del año y de hojas al final del ciclo de crecimiento, con el objetivo de evaluar los incrementos en las producciones y ver si el mismo se debía al aporte de nutrientes que efectuaba el agua servida. En dicho trabajo se observo que el crecimiento en volumen maderable anual no presentaba diferencia en los distintos tratamientos, por lo que se concluye que el aporte de nutrientes realizado por el riego con aguas residuales urbanas previo al ensayo, en este caso ha sido insignificante o prácticamente nulo. Lo mismo se pudo observar en las distintas estaciones de crecimiento. Esto probablemente se deba a los altos niveles de fósforo (P) que presentaba inicialmente el suelo, razón por la cual los árboles lograron un gran desarrollo sin importar el tipo de agua de riego, enmascarando el aporte nutricional (principalmente de P) del agua servida. Cabe destacar que por una posible ineficiencia que presentaba el sistema de riego por surcos, los árboles ubicados en la cabecera (Bloque 1) mostraron un mayor crecimiento en volumen maderable tanto anual, como primaveral y estival, que el resto. En tanto que para el crecimiento otoñal no se encontró diferencia alguna, producto del bajo incremento en volumen que experimentaron los álamos. En cuanto a la producción de biomasa de hojas se ha observado que fue superior en el Bloque 1, debido a que los álamos presentan un mayor tamaño por haber recibido años atrás más agua que el resto.

Palabras claves: *Populus deltoides*, sistema silvopastoril, efluentes cloacales, riego y producción de biomasa.

SUMMARY

A silvopastoral project was carried out in the National University of Rio Cuarto's Campus with the purpose of evaluating the production of wood and biomass under rainfed condition. Two poplar trenches with two different treatments were utilized with this purpose. One of them, containing water from sewer canals and the other one containing clean water. Scape biomass measurements were made in the four different seasons and on different types of leaves at the end of the growing period with the objective of evaluating the productions increase and checking whether this increase was due to the nutrients contribution made by waste water. In such work, it was observed that the increase on annual timber volume did not present any particularity in the different treatments. That is why it is concluded that the nutrients contribution made by the waste urban water watering before the experiment has been insignificant or almost invalid in this case. The same phenomenon could be observed in the different growing seasons. This is probably due to the high phosphorus levels (P) the soil initially presented. Under this reason, the trees achieved a significant development without caring on the type of watering water "masking" in this way the nutritional contribution (P mainly) of waste water. It is worth mentioning that because of a possible inefficiency presented by the grooves watering system, the trees located in the head parts (Bloque 1) showed a major growing than the rest with respect to the timber volume not only annual but also spring and aestival. On the other hand, no difference was found regarding the fall growing as a result of the low volume increase experimented by the poplars. Regarding the leaves biomass production, it was observed that it was superior in Bloque 1 because of the fact that the poplars have a bigger size for receiving more water than the rest some years ago.

Key words: *Populus deltoides*, silvopastoral system, waste water, watering and biomass producción.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales, son aquellos productos de desechos líquidos de los hogares, locales comerciales y plantas industriales que se descargan en los sistemas de eliminación individuales o en los tubos de las cloacas municipales.

El aumento constante de la cantidad de agua utilizada y de aguas residuales producidas por las comunidades urbanas y las industrias de todo el mundo plantea problemas potenciales para la salud y el medio ambiente. Los países están buscando métodos seguros, inocuos para el medio ambiente y eficaces en función de los costos, para depurar y eliminar las aguas residuales. Al mismo tiempo, se está centrando más la atención en función que la silvicultura, sector tradicionalmente basado en las zonas rurales puede tener en el mejoramiento de los ambientes urbano y periurbano. Una oportunidad para combinar estas dos finalidades es el aprovechamiento de las aguas residuales urbanas (tanto de los efluentes de las cloacas como industriales) para el riego de bosques, plantaciones forestales, zonas verdes y árboles para el esparcimiento (Braatz y Kandiah, 1992).

Las aguas de alcantarillado no depuradas, e incluso los efluentes que han recibido tratamiento secundario, tienen muchos de los nutrientes minerales que la planta necesita para su crecimiento (nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes). Los experimentos han demostrado repetidamente que cuando los cultivos y árboles se riegan con aguas residuales tienen una productividad mayor que cuando se hace con agua limpia. Estos nutrientes representan un recurso de valor considerable si se comparan con el costo equivalente de los fertilizantes. La aplicación de aguas residuales, en cantidades que aseguren un equilibrio entre el aporte de nutrientes y la absorción de la planta, favorecerá el crecimiento óptimo de la planta, al mismo tiempo que limitará los riesgos de contaminación (Braatz y Kandiah, 1992).

El presente proyecto se lleva a cabo con la finalidad de poder evaluar el comportamiento de una especie forestal, en este caso el *Populus deltoides* cv. Casfish 5 en un sistema silvopastoril a los efectos de determinar su desarrollo en secano, posterior a los años de riego sucesivos con aguas servidas de efluentes cloacales provenientes de un sector de residencias estudiantiles en el Campus de la U.N.R.C.

ANTECEDENTES

En Australia se han efectuado cálculos sobre el aporte y la utilización de nutrientes en las plantaciones de árboles regados con aguas residuales (CSIRO, 1995). Con un contenido en N de 10-30 mg/l (promedio de 20 mg/l) y un contenido de fósforo (P) de 4-10 mg/l (promedio de 7 mg/l), y suponiendo una aplicación media anual de aguas residuales de 8000 m³/ha, el aporte total de nitrógeno (N) del afluyente es de 160 kg/ha/año, y el de fósforo (P) de 56 kg/ha/año. Una plantación joven que crece rápidamente puede absorber hasta 120-150 kg de N/ha/año y aproximadamente 12 kg de P/ha/año, por lo que dispondrá de cantidades suficientes de estos nutrientes para el mayor crecimiento posible. Con esto se alcanza un equilibrio entre el aporte y la absorción del nitrógeno, que en forma de nitrato es móvil y representa el riesgo mayor de lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas. Cualquier exceso de fósforo se retendrá en el suelo y no constituirá un peligro de contaminación.

Entre los antecedentes mundiales cabe destacar los estudios que Sopper (1978) llevó a cabo entre 1963 a 1977 en la región central de Pensilvania (Estados Unidos), sobre la aplicación de afluentes urbanos depurados en tierras forestales para reponer las aguas subterráneas (citado por Braatz y Kandiah, 1992). Con tales afluentes, sometidos previamente a un tratamiento secundario, se regaron tres zonas forestales diferentes: una masa irregular de frondosas, compuesta principalmente de robles (*Quercus* spp.); una plantación de pinos rojos (*Pinus resinosa*) y una población poco densa de abeto blanco (*Picea glauca*).

Los resultados de las investigaciones demostraron que los afluentes urbanos depurados se pueden reciclar a través de los ecosistemas forestales, con la ventaja de hacer potable el agua, reponer las reservas freáticas y aumentar el crecimiento de los árboles.

Un modelo de purificación de aguas residuales parecido al ensayado en Pensilvania se ha adoptado en algunas partes de España, como en el caso de las comunidades del Río Cinca, en la municipalidad de Monzón, por el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, en España (Navarro Ariza, 1977).

En 1955, se comenzaron a reforestar 14 ha con álamos (*Populus euroamericana*) regados con agua fluvial para estabilizar las riberas del Río Cinca y para contener las inundaciones. A partir de los primeros sesenta años, esta plantación se regó exclusivamente con aguas residuales no depuradas. En un informe de Hernández León

(1977) se señalaba que se habían estabilizado así siete kilómetros de riberas, se habían mejorado mucho los suelos que antes eran improductivos y la producción de los árboles era más alta de lo que se había previsto, y que los beneficios de la inversión derivados de la corta y venta de la madera eran buenos.

En Adelia María, Córdoba se realizó un proyecto de aplicación de los efluentes de aguas cloacales (previo tratamiento en lagunas facultativas) en una masa forestal de álamos, eucaliptos y sauces híbridos (habilitados para fijar metales pesados), con buenos resultados desde el punto de vista ecológico ya que el agua no alcanza las napas freáticas, solo el árbol la asimila (Rudi, 2003).

En muchos países se están adaptando varios métodos de purificación de desechos como alternativa o complemento de los tratamientos convencionales. Entre estos métodos se incluye los sistemas biológicos de tratamiento, como la estabilización en estanques y la aplicación a los suelos, especialmente por riego. Estos métodos tienden a ser más baratos, sencillos en su realización y mantenimiento, y eficaces para purificar las aguas residuales de nutrientes como así también de otros elementos químicos y patógenos.

En algunos lugares el tratamiento por tierra se realiza para purificar las aguas negras no depuradas, mientras que en otros se hace para mejorar los afluentes primarios, secundarios e incluso terciarios. El riego de cultivos o árboles con aguas residuales es de particular interés teniendo en cuenta el aumento de la demanda de agua y de los costos de los fertilizantes artificiales. Es un modo de conservar el agua y los nutrientes y de utilizarlos con fines productivos. Probablemente el riego de los árboles plantea menores riesgos para la salud y es más aceptable desde el punto de vista social que el de los cultivos (Braatz y Kandiah, 1992).

Con el objetivo de evaluar el impacto del uso agrícola de los biosólidos de aguas residuales urbanas procedentes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales Quibú, se desarrolló un trabajo en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Los biosólidos obtenidos mediante digestión anaeróbica y aplicados en un suelo Ferralítico Rojo compactado incrementó el contenido de MO oxidable, P asimilable y K, Ca, y Mg intercambiables en el suelo; en el caso de la MO y el Ca, sus magnitudes incrementaron conforme aumentó la frecuencia de aplicación de estos residuos.

En general, en todos los casos, los indicadores evaluados alcanzaron los mayores valores cuando se aplicaron biosólidos tres años consecutivos, excepto el K que fue inferior al encontrado en el suelo tratado con fertilizante mineral y el Mg, que sus magnitudes fueron similares cuando se aplicó biosólidos en años alternos y los tres años consecutivos.

El comportamiento evidenciado en las características del suelo cuando fue tratado con biosólidos, pudo deberse al contenido relativamente elevado de MO y nutrientes esenciales para las plantas, presentes en este residuo orgánico.

Al evaluar la influencia de la aplicación de biosólidos con diferentes frecuencias en la biomasa microbiana del suelo, se observó un incremento en las poblaciones microbianas, principales microorganismos encargados de la degradación de la MO y de los diferentes ciclos de los nutrientes en los suelos (bacterias, hongos y actinomicetos totales), siendo evidente la presencia relativamente elevada de bacterias encargadas de la fijación de N en los suelos, las cuales fueron estimuladas por la aplicación de biosólidos.

Otro de los beneficios de estos microorganismos es que ellos son capaces de sintetizar sustancias biológicamente activas (auxinas, citoquininas, giberelinas, aminoácidos, enzimas y vitaminas) que estimulan el desarrollo de las plantas.

En el caso específico de la producción, las plantas cultivadas en el suelo tratado con biosólidos dos años alternos y tres consecutivos obtuvieron las mayores magnitudes, donde no se observaron diferencias significativas entre ellos y superaron en 81,9 % a la producción de las plantas cultivadas en el suelo natural (S), en 43,15 % a las cultivadas en el suelo tratado con fertilizante mineral (F) y en 59 % a las cultivadas en el suelo tratado con biosólidos solo el primer año de experimentación. Es válido destacar que la aplicación de biosólidos solo en el primer año de experimentación provocó que al final del experimento no existieran diferencias significativas entre la producción de las plantas desarrolladas en este sustrato y el que se aplicó fertilizante mineral. De esta forma, se evidencia el efecto residual de la aplicación de biosólidos en la producción de las plantas tres años después de su aplicación, con resultados similares a los obtenidos con la fertilización mineral efectuada anualmente. En este sentido, algunos informaron del efecto residual de la aplicación de biosólidos al trabajar con plantas de *Eucalyptos sp.*; este experimento arrojó como resultado que la aplicación de este residuo surtió su mayor efecto en la quinta y sexta cosechas (Utria et al. 2008).

De acuerdo con estos resultados en el presente proyecto, se tiene sumo interés en conocer el efecto residual del riego con aguas residuales urbanas en años previos a la evaluación, con respecto al tratamiento regado con agua limpia, por medio de mediciones de biomasa de fuste y de hojas de los álamos, estas últimas recolectadas en el suelo al final de la estación.

HIPÓTESIS

Los sistemas de riego en el cual se utilizan aguas residuales proporcionan una cantidad de nutrientes que permanecen disponibles en el suelo más allá del ciclo en que fueron aportados y pueden ser aprovechados por los vegetales aun en condiciones de secano. Esto producirá un incremento en la tasa de crecimiento estacional y en la producción de biomasa total en álamo.

OBJETIVOS

- Objetivo general

Evaluar en condición de secano, el efecto residual del riego con aguas de efluentes urbanos realizados en los años previos a la iniciación del presente proyecto.

- Objetivos específicos

- Determinar el crecimiento de biomasa de fuste de álamos en las diferentes estaciones del año.
- Estimar la biomasa de hojas de álamos al final de la estación de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se desarrollo sobre un sistema silvopastoril en el campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Este se encuentra ubicado en el sector de la residencia universitaria sobre un suelo de origen fluvio - eólico. Tiene aportes de materiales del rio mezclado con los aportados por el viento, por lo que ha tenido una génesis particular, dando valores -en varias propiedades, entre ella posiblemente fósforo, fuera de los rangos normales para los suelos representativos de la zona (Degioanni, A., 2011)¹.

El proyecto cuenta con una superficie de 2100 m². Dentro de esta superficie se encuentra el ensayo conformado por tres trincheras de álamos (*P. deltoides* cv. Catfish 5) de 5 años de edad (separadas 10 m cada una) de dos hileras de árboles cada una en un marco de plantación rectangular (3 m de distancia entre plantas e hileras). Las trincheras delimitan 2 callejones de 10 m de ancho por 36 m de largo donde se encuentra establecida una pastura de alfalfa conformando el sistema silvopastoril.

Para la evaluación de dichos parámetros se utilizaron dos de las trincheras, las cuales durante los 5 años anteriores fueron regadas uno con agua sucia proveniente de las cloacas de la residencia universitaria y la otra con agua limpia la cual provenía de una perforación ubicada a 30 m de profundidad.

Para determinar el crecimiento estacional de los álamos se utilizó la fórmula de Cotta (Thren 1993).

$$V = \frac{\pi}{4} * (DAP)^2 * H * f$$

Donde:

- V = Volumen (m³)
- DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)
- H = altura del árbol (m)
- f = coeficiente mórfico

En ambas trincheras de 36 metros de largo se establecieron tres Bloques de 12 m de largo por 19 m de ancho con 16 árboles cada uno. A cada Bloque se le designo un número según la ubicación en el surco de riego (*Fig. 1*), asignándose como Bloque 1 (cabecera), Bloque 2 (parte media) y Bloque 3 (parte final).

¹ Comunicación personal

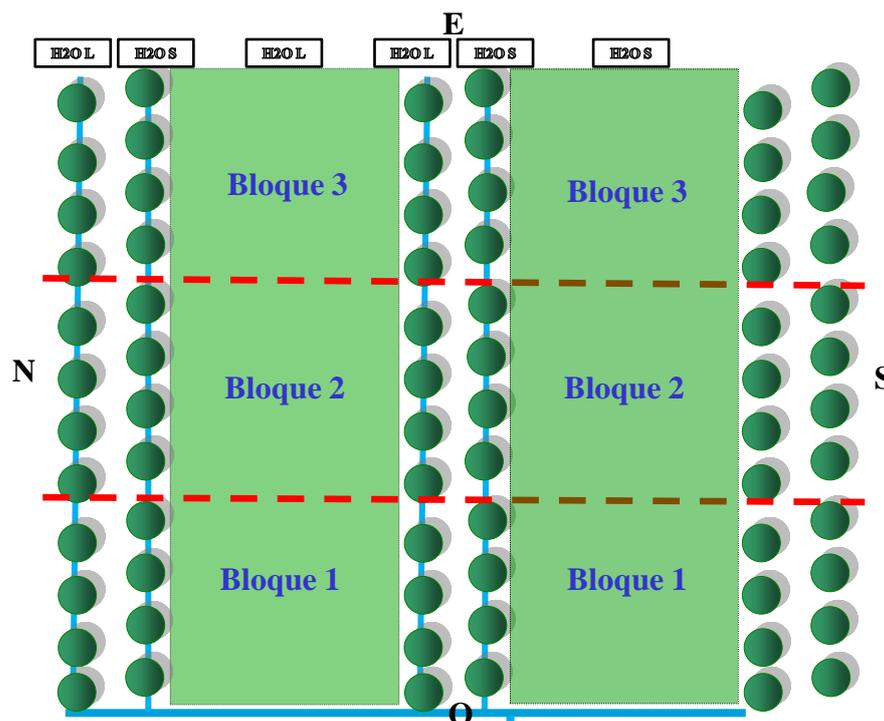


Fig. 1 – Esquema sobre la disposición de los Bloques de cada tratamiento sobre el terreno.

A cada árbol se le midió el diámetro a altura de pecho (DAP) y su altura total (H). El DAP requerido por la función se obtuvo mediante la utilización de la forcípula, mientras que la altura de los árboles (H) se midió con Hipsómetro de SUUNTO PM-5120. Las mediciones para la determinación de las tasas de crecimiento del álamo se efectuaron el 29/10/2009, momento en el cual la etapa de foliación ya estaba completa (desarrollo total de las hojas), el 07/01/2010 (etapa final del crecimiento de primavera), el 29/03/2010 (etapa final del crecimiento de verano), y el 01/07/2010 (etapa final del crecimiento de otoño) (Tabla 1).

Tabla 1 – Calendario de las mediciones efectuadas para las distintas épocas.

Fechas	Épocas de crecimiento	Días transcurridos entre mediciones	Días acumulados
29/10/09	Primera medición	0	-
29/10/09 al 07/01/10	Crecimiento de primavera	70	70
07/01/10 al 29/03/10	Crecimiento de verano	81	151
29/03/10 al 01/07/10	Crecimiento de otoño	94	245

El árbol que presento el DAP más cercano al diámetro promedio (árbol tipo) para cada Bloque y tratamiento, se represento por medio del software Sketch up, debido a la imposibilidad de apelar los arboles para realizar las mediciones, puesto que se cuenta con pocos ejemplares. De este modo se obtuvo el volumen real, el cual se uso para calcular el coeficiente mórfico y así obtener los volúmenes reales para cada uno de los árboles y para cada estación.

Para contar con un indicador relativo de la producción de biomasa de hojas, se recolectaron aleatoriamente 5 muestras de hojas de $\frac{1}{4}$ de m^2 en cada uno de los tres Bloques que se establecieron. Las hojas fueron llevadas a estufa y secadas a una temperatura de $105^{\circ}C$ hasta peso constante, las cuales se pesaron para calcular la materia seca.

La materia seca de hojas obtenidas en cada una de las muestras permitió estimar el aporte de materia seca por hectárea (MS/ha) que produce el álamo.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del software Infostat.

Para evaluar y comparar los resultados obtenidos en el presente ensayo, previamente se realizó un análisis de suelo para determinar la disponibilidad de nitrógeno (N) y fosforo (P) que poseía el suelo para el crecimiento de las especies. Para el mismo se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y 40 a 60 cm, para los tratamientos agua sucia, agua limpia y un testigo respectivamente. Los mismos fueron analizados en laboratorio privado.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Producción de madera

- *Crecimiento anual*

Debido a que la distribución de los datos de volumen no presenta una distribución normal para realizar el análisis de varianza, se modificaron los valores obtenidos para los volúmenes reales a partir del programa Sketch up, utilizando los valores corregidos por medio de su raíz cuadrada (*Anexo I*).

Tabla 2: Crecimiento anual de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Medias
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Limpia	14,21 a
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Sucia	14,44 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Como se observa en la Tabla 2, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los volúmenes anuales obtenidos en los tratamientos H₂O limpia (14,21 m³/ha.) y H₂O sucia (14,44 m³/ha.).

Tabla 3: Crecimiento anual de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.

Variable	Bloque	Medias
Volumen (m ³ /ha)	1	20,79 a
Volumen (m ³ /ha)	2	12,11 b
Volumen (m ³ /ha)	3	11,02 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Sin embargo cuando se analizó crecimiento anual de volumen maderable a lo largo del surco de riego, se pudo observar una mayor producción de madera en la cabecera del surco (Bloque 1) que en la parte media y en el pie del mismo.

De acuerdo con lo observado en el gráfico de la Fig. 2, se puede decir que no hay prácticamente diferencia en cuanto al crecimiento en volumen de madera acumulado para los tratamientos agua sucia y agua limpia.

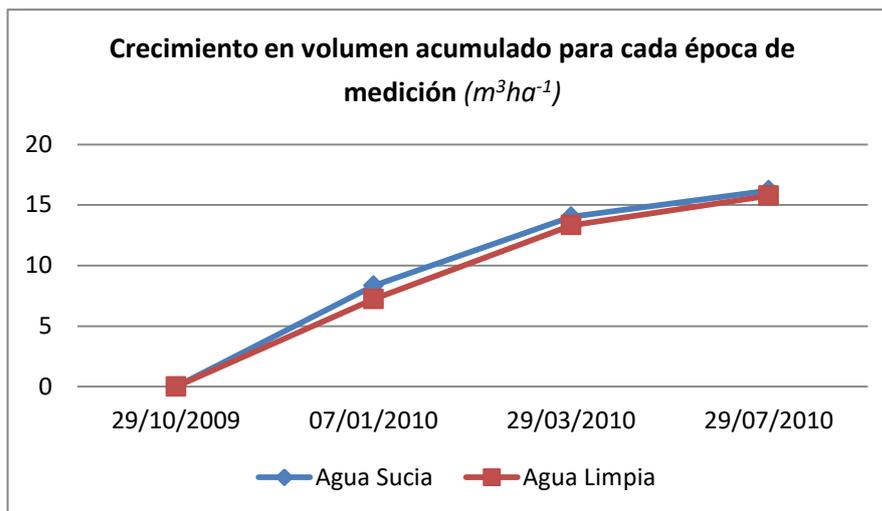


Fig. 2 – Crecimiento en volumen de madera para las distintas fechas de medición.

Se pudo comprobar por medio de este análisis que no hubo efecto de residualidad en los distintos tratamientos; esto se pudo deber a que el ensayo se realizó sobre un suelo sedimentario, muy rico en P (Tabla 12). Sin embargo se observa una diferencia en cuanto a posición en el surco (Bloque), esto seguramente se podría deber a que los árboles ubicados en la cabecera del ensayo (Bloque 1) recibieron más agua en los años anteriores que el resto debido al sistema de riego (Anexo II) y por tal razón presentarían un mayor crecimiento. Cabe destacar que esta misma observación se reitera para las estaciones de primavera y verano. En cuanto a otoño no presenta diferencia estadísticamente significativa, debido al bajo crecimiento que experimentaron los árboles, siendo este levemente mayor en el Bloque 1.

Los resultados obtenidos se contradicen con un trabajo que se desarrolló en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado, en el que las plantas cultivadas en el suelo tratado con biosólidos dos años alternos y tres consecutivos obtuvieron las mayores magnitudes, donde no se observaron diferencias significativas entre ellos y superaron en un 81,9 % a la producción de las plantas cultivadas en el suelo natural, en 43,15 % a las cultivadas en el suelo tratado con fertilizante mineral y en un 59 % a las cultivadas en el suelo tratado con biosólidos solo el primer año de experimentación. Es válido destacar que la aplicación de biosólidos solo en el primer año de experimentación provocó que al final del experimento no existieran diferencias significativas entre la producción de las plantas desarrolladas en este sustrato y el que se aplicó fertilizante mineral. De esta forma, se evidencia el efecto residual de la aplicación de biosólidos en la producción de las plantas tres años después de su aplicación, con resultados similares a los obtenidos con la fertilización mineral efectuada anualmente (Utria *et al.*, 2008).

Posiblemente las diferencias con este antecedente se deban exclusivamente a que nuestro proyecto se realizó en un suelo muy rico en fósforo, razón por la cual no se observan diferencia alguna con el aporte que se realiza con el agua residual. La única respuesta a un mayor crecimiento de las plantas está dada por la cantidad de agua recibida años atrás y no por los nutrientes aplicados con la misma.

- **Crecimiento de Primavera**

Debido a que los volúmenes reales obtenidos (*Anexo III*) no presentaron distribución normal se realizó varianza no paramétrica.

Tabla 4: Crecimiento primaveral de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Medias
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Limpia	7,28 a
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Sucia	8,40 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Como se puede observar en la Tabla 4, los tratamientos H₂O limpia con una media de 7,25 m³/ha. y H₂O sucia con una media de 8,40 m³/ha., no presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al crecimiento en volumen maderable primaveral.

Tabla 5: Crecimiento primaveral de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.

Variable	Bloque	Medias
Volumen (m ³ /ha)	1	10,95 a
Volumen (m ³ /ha)	2	6,23 b
Volumen (m ³ /ha)	3	6,13 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En la Tabla 5, se observa que el Bloque 2 con una media de 6,23 m³/ha. y el Bloque 3 con una media de 6,13 m³/ha. presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al Bloque 1 con una media de 10,95 m³/ha. en cuanto al crecimiento en volumen maderable.

- **Crecimiento de Verano**

Para el análisis de varianza, se utilizó la raíz cuadrada de los valores obtenidos (*Anexo IV*) debido a que los datos de volumen no presentaban una distribución normal.

Tabla 6: Crecimiento estival de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Medias
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Sucia	4,62 a
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Limpia	4,93 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En cuanto al crecimiento en volumen maderable estival (Tabla 6), no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos.

Tabla 7: Crecimiento estival de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.

Variable	Bloque	Medias
Volumen (m ³ /ha)	1	8,18 a
Volumen (m ³ /ha)	2	3,88 b
Volumen (m ³ /ha)	3	2,99 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En cuanto al crecimiento en volumen maderable de verano, los datos de la Tabla 7, muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre el Bloque 1 con una media de 8,18 m³/ha. y los Bloques 2 y 3 con una media de 3,88 m³/ha. y 2,99 m³/ha. respectivamente.

- **Crecimiento de Otoño**

Se realizó un análisis de varianza no paramétrica debido a que las mediciones de volumen (*Anexo V*) no presentaban distribución normal.

Tabla 8: Crecimiento otoñal de volumen maderable de álamo para los diferentes tratamientos.

Variable	Tratamiento	Medias
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Sucia	2,20 a
Volumen (m ³ /ha)	H ₂ O Limpia	2,40 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Como se observa en la Tabla 8, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos, en cuanto al crecimiento en volumen maderable otoñal.

Tabla 9: Crecimiento otoñal de volumen maderable de álamo para los diferentes Bloques.

Variable	Bloque	Medias
Volumen (m ³ /ha)	1	2,77 a
Volumen (m ³ /ha)	2	2,12 a
Volumen (m ³ /ha)	3	1,97 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En la Tabla 9, los valores obtenidos para el crecimiento en volumen maderable de otoño, no muestran diferencias estadísticamente significativas entre los distintos Bloques.

Función de crecimiento:

Para el análisis de crecimiento de *Populus deltoides* cv. Catfish 5 a través de las estaciones del año se realizó un análisis de regresión. Los datos fueron transformados a su raíz cuadrada dado que no presentaban una distribución normal (*Anexo VI*).

Tabla 10: Coeficiente de regresión y estadísticos asociados.

Coef.	Est.	E. E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
Constante	2,29	0,25	1,81	2,78	9,29	<0,0001	
DDR	0,01	1,4E-03	3,7E-03	0,01	4,54	<0,0001	21,46

A partir del análisis de regresión, se obtuvo una función, lo cual nos permitió estimar el crecimiento en volumen por ha⁻¹ en el tiempo.

La misma explica que los álamos crecen 0.0917 m³/ha/día.

$$Y^{1/2} = 2,29 + 0,01 * DDR$$

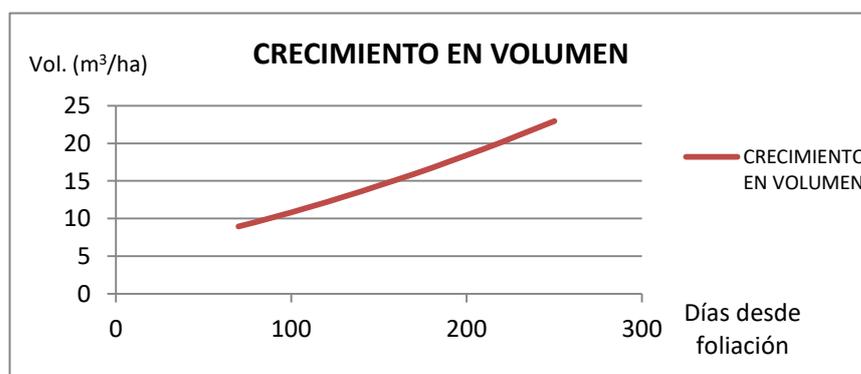


Fig. 3 – Crecimiento en volumen maderable en el tiempo estimado por la función.

En la Fig. 3 se puede observar el crecimiento de volumen maderable ($m^3/ha.$) en el tiempo, estimado mediante la función obtenida por medio del análisis de regresión realizado sobre los datos de volumen de fuste acumulado medidos a los 70, 151 y 245 días, a partir del momento en que la etapa de foliación ya estaba completa.

B. Producción de Biomasa de hoja

Para estudiar los resultados obtenidos de producción de biomasa de hojas, en los distintos bloques del ensayo, se realizó un análisis de varianza (*Anexo VII*).

Tabla 11: Producción de biomasa de hojas en los diferentes Bloques.

Posición en el surco	Medias (Kg MS/ha)
Cabecera (Bloque 1)	2037,60 a
Parte media (Bloque 2)	1306,00 b
Parte fina (Bloque 3)	1516,00 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Se determino que existen diferencias estadísticamente significativas entre el Bloque 1 con una media de 2037,60 Kg MS/ha. con respecto al Bloques 2 con una media de 1306,00 Kg MS/ha. y al Bloque 3 con una media de 1516,00 Kg MS/ha. respectivamente.

Esta diferencia puede deberse a que los arboles del Bloque 1 recibieron más agua que el resto de los árboles debido posiblemente, como se expresó anteriormente para la producción de madera, al sistema de riego, por lo que tuvieron un mayor crecimiento y por ende presentan una mayor biomasa de hojas.

Análisis de suelo:

Debido a que no se encontraron diferencias entre los tratamientos se decidió comparar los nutrientes del suelo.

En el análisis de suelo realizado el 14/12/09, sobre las trincheras de álamos que comprenden el tratamiento H₂O sucia, H₂O limpia y un testigo sin tratamiento alguno, se observa que presentan niveles muy altos de Fosforo (P) y bajos de Nitrato (NO₃⁻).

Tabla 12: Valores de Nitratos (NO₃⁻) y Fósforo (P) disponibles en el suelo a distintas profundidades.

Tratamiento	Profundidad (cm)	NO₃⁻ (ppm)	P (ppm)
H ₂ O Sucia	0 – 20	108,83	58,33
H ₂ O Sucia	20 – 40	102,45	42,97
H ₂ O Sucia	40 – 60	74,42	34,90
H ₂ O Limpia	0 – 20	63,73	50,53
H ₂ O Limpia	20 – 40	41,48	31,77
H ₂ O Limpia	40 – 60	16,79	22,20
Testigo	0 – 20	123,45	72,67
Testigo	20 – 40	52,54	62,93
Testigo	40 – 60	33,18	35,30

Cabe destacar que los niveles de Fósforo (P) entre 0- 60 cm de profundidad presentan un valor medio de 56,97 ppm, 45,4 ppm y 34,83 ppm, equivalente a 148,12 Kg/ha, 118,04 Kg/ha y 90,56 Kg/ha para el testigo y el agua sucia y limpia respectivamente. Con respecto a los nitratos (NO₃⁻) los valores medios son 69,72 ppm, 95,23 ppm y 40,67 ppm los cuales serían equivalentes a 39,88 Kg/ha de N, 54,47 Kg/ha de N y 23,26 Kg/ha de N para el testigo, agua sucia y limpia, respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en Australia (CSIRO, 1995), se pudo comprobar que en una plantación joven que crece rápidamente puede absorber hasta 120-150 Kg de N/Ha/año y aproximadamente 12 Kg de P/Ha/año, lo que nos llevaría a pensar que posiblemente no exista repuesta alguna a la aplicación de biosólidos, debido a que el principal aporte nutricional es el P, ya que el suelo por si mismo dispone de cantidades suficientes de este nutriente para que las plantas crezcan.

CONCLUSIONES

En cuanto a la producción de biomasa de fuste y de hojas de álamos en condición de secano, se pudo observar que:

- el crecimiento en volumen maderable anual no presenta diferencia en los distintos tratamientos, por lo que se concluye que el aporte de nutrientes realizado por el riego con aguas residuales urbanas previo al ensayo, es insignificante o prácticamente nulo. Lo mismo se pudo observar en las diferentes estaciones del año.
- el suelo en el que se llevo a cabo el ensayo presenta niveles muy altos de fósforo (P), nutriente esencial para el crecimiento de los álamos. Esto posiblemente generó que los árboles presentaran un gran desarrollo sin importar con el agua que se los regara, enmascarando el aporte nutricional (principalmente de P) del agua servida, debido a la posible ineficiencia que presentaba el sistema de riego, los árboles ubicados en la cabecera (Bloque 1) mostraron un mayor crecimiento en volumen maderable tanto anual, como primaveral y estival que el resto. En cuanto al crecimiento de otoño no se encuentra diferencia alguna, producto del bajo incremento en volumen de madera que experimentaron los árboles.
- la producción de biomasa de hojas fue mayor en la cabecera del surco de riego, debido a que los álamos presentan un mayor tamaño por haber recibido años atrás más agua que el resto.

Sin embargo consideraría conveniente seguir investigando al respecto sobre este tipo de suelo e incluso plantearse el interrogante de que si no sería necesario realizar estos tipos de ensayos en otros sitios o regiones para observar el comportamiento de distintos clones bajo este sistema y de este modo poder tomar decisiones definitivas y confiables.

Considerando que el agua residual constituye un recurso importante, que puede ser destinado para riego de especies forestales, sería aconsejable el uso de la misma para el riego de cultivos y el agua de perforación destinarla al consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

a) Bibliografía citada

- ANDENMATTEN E. y F. G. LETOURNEAU** – 1998- **Estimación de Alturas para su empleo en tablas de volumen del árbol individual**. Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Comunicación Técnica N° 10. Area Forestal (Silvicultura). INTA.
- BRAATZ S. y A. KANDIAH** - 1992 - **Wastewater treatment and use in agricultura**. Estudio FAO: Riego y drenaje N° 47. Roma, FAO.
- CSIRO** - 1995 - **Effluent irrigated plantations: design and management**. Documento Técnico N° 2. CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), Canberra, Australia.
- HERNÁNDEZ LEÓN, M.** - 1977 - **Las riberas del Río Cinca en Monzón, Huesca, España**. *Montes* (1977): 243-247.
- NAVARRO ARIZA, M.** - 1977 - **El concepto de filtro vivo forestal en saneamiento**. *Montes* (1977): 269-273. Madrid, España.
- RUDI, Aldo E.** - 2003 - **Aguas residuales en bosques cultivados**. *La Nación Campo*, 11/01/03. Buenos Aires, Argentina. www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=465119. Consultado 30/11/09.
- THREN M.** – 1993 – **Serie técnica Forestal**. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero.
- UTRIA, C. E.; S. GOFFE; C. I. M. REYNALDO; C. D. MORALES y C. J. A. CABRERA** – 2008 - **Los biosólidos de aguas residuales urbanas aplicados con diferentes frecuencias en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo, el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill)**. *Cultivos Tropicales*, vol. 29 no. 4; La Habana, Cuba. ISSN 0258-5936.

b) Bibliografía consultada

- 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**. XXI Congreso Nacional del Agua, 15-19 de Mayo de 2007. Tucumán, Argentina.
- KIVISTE, A.; J. G. ALVAREZ GONZALEZ; A. ROJO ALBORECA y A. D. RUIZ GONZALEZ** - 2002 - **Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal**. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). ISBN: 84-7498-484-X. Madrid, España.
- MIGANI Cesar y R. CRESPI** – 2011 - **Reutilización de Efluentes Urbanos: la transformación de un problema en recurso**. www.eco.unrc.edu.ar/wp-content/uploads/2011/04/Migani-Crespi.pdf. Consultado 12/05/11.
- MOSCOSO CAVALLINI Julio y L. EGOICHEAGA YOUNG** -2002 – **Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: realidad y potencial**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima, Perú, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/proyecto/rejecutivo.pdf>. Consultado 25/07/10.

ZAMORA Frank R.; N. J. RODRÍGUEZ GUEVARA; D. G. TORRES RODRÍGUEZ y H. J. YENDIS COLINA – 2009 - Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. Agric. Téc. Méx v.35 n°2.

ZAMORA, Frank; N. RODRIGUEZ; D. TORRES y H. YENDIS - 2008 – Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelo de la planicie de Coro, estado Falcon. Bioagro 20(3): 193-199.

ANEXOS**Anexo I****Crecimiento anual:**

Prueba de normalidad para la raíz cuadrada del volumen.

Shapiro- Wilks (modificado)

Variable	N	Media	D. E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Raíz Vol.	46	0,00	1,19	0,95	0,1500

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	CV
Raíz Volumen	46	0,18	0,12	32,34

Análisis de la varianza (SC tipo III)

F. V.	SC	GI	CM	F	P-valor
Modelo	14,17	3	4,72	3,12	0,0361
Tratamiento	0,01	1	0,01	0,01	0,9315
Bloque	14,16	2	7,08	4,67	0,0147
Error	63,65	42	1,52		
Total	77,82	45			

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7316

Error: 1,5154 gl: 42

Tratamiento	Medias	N	E. E.
H ₂ O Limpia	3,77 ² a	23	0,26
H ₂ O Sucia	3,80 ² a	23	0,26

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,9315

Error: 1,5154 gl: 42

Bloque	Medias	N	E. E.
1	4,56 ² a	16	0,31
2	3,48 ² b	16	0,31
3	3,32 ² b	14	0,33

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Anexo II

Riego:

El riego realizado con aguas residuales urbanas y agua limpia en años previos a la evaluación, se efectuó por medio de un sistema de riego por superficie (surcos). El mismo tiene el inconveniente de que la cabecera de riego recibe más agua que el resto del surco, producto del tiempo de avance del agua hasta llegar a cubrir el total de la superficie, comenzando a infiltrar en distintos momentos según la posición. Esto generó que los arboles ubicados en el primer 1/3 del surco hayan experimentado un mayor crecimiento que el resto.

Anexo III

Crecimiento primavera:

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Bloque	Medias
Volumen	1	10,95 a
Volumen	2	6,23 b
Volumen	3	6,13 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias
Volumen	H ₂ O Limpia	23	7,28 a
Volumen	H ₂ O Sucia	23	8,40 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Anexo IV**Crecimiento de verano:**Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	CV
Raíz Volumen	46	0,20	0,15	45,92

Análisis de la varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,08	3	3,69	3,59	0,0212
Bloque	11,02	2	5,51	5,36	0,0084
Tratamiento	0,06	1	0,06	0,06	0,8151
Error	43,15	42	1,03		
Total	54,23	45			

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,7669

Error: 1,0274 gl:42

Bloque	Medias	N	E. E.
1	2,86 ² a	16	0,25
2	1,97 ² b	16	0,25
3	1,73 ² b	14	0,27

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=0,6024

Error: 1,0274 gl:42

Tratamiento	Medias	N	E. E.
H ₂ O Sucia	2,15 ² a	23	0,21
H ₂ O Limpia	2,22 ² a	23	0,21

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Anexo V

Crecimiento de otoño:

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias
Volumen	H ₂ O Sucia	23	2,20 a
Volumen	H ₂ O Limpia	23	2,40 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Bloque	Medias
Volumen	1	2,77 a
Volumen	2	2,12 a
Volumen	3	1,97 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Anexo VI

Análisis de regresión:

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	ECMP	AIC	BIC
Raíz volumen	138	0,13	0,13	1,51	448,92	457,70

Coefficiente de regresión y estadísticos asociados

Coef.	Est.	E. E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
Constante	2,29	0,25	1,81	2,78	9,29	<0,0001	
DDR	0,01	1,4E-03	3,7E-03	0,01	4,54	<0,0001	21,46

Análisis de la varianza (SC tipo III)

F. V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	30,32	1	30,32	20,60	<0,0001
DDR	30,32	1	30,32	20,60	<0,0001
Error	200,12	136	1,47		
Total	230,44	137			

Anexo VIIBiomasa de hojas:Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	CV
Biomasa/Ha	30	0,70	0,64	17,91

Análisis de la varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	4795989,87	5	959197,97	11,39	<0,0001
Bloque	2838017,07	2	1419008,53	16,86	<0,0001
Tratamiento	1620292,80	1	1620292,80	19,25	0,0002
Bloque*tratamiento	337680,00	2	168840,00	2,01	0,1565
Error	2020505,60	24	84187,73		
Total	6816495,47	29			

Test: DGC Alfa=0,05 PCALT=278,0142

Error: 84187,7333 gl:24

Bloque	Medias	N	E. E.
1	2037,60 a	10	91,75
2	1306,00 b	10	91,75
3	1516,00 b	10	91,75

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).