

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



Crear... Crear... Crecer...

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

Modalidad: Proyecto

**Producción de biomasa y eficiencia en el uso del agua en eucaliptos
regados con aguas residuales urbanas**

Emanuel Rivanegra
DNI: 31.804.344

Director: Ing. Agr. José Omar Plevich

Río Cuarto - Córdoba
Marzo/2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final: **“Producción de biomasa y eficiencia en el uso del agua en eucaliptos regados con aguas residuales urbanas”**

Autor: **Rivanegra Emanuel Leandro**

DNI: 31.804.344

Director: **Ing. Agr. José Omar Plevich**

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

Ing. Agr. José Omar Plevich

_____.

Ing. Agr. MSc. Susana Viale

_____.

Ing. For. MSc. Marcela Demaestri

_____.

Fecha de presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

Le agradezco:

A mi director de tesis Ing. Agr. José Omar Plevich, quien con sabiduría supo guiarme en cada paso de este proyecto.

A mis padres, por todo el esfuerzo realizado y por la confianza y paciencia depositadas en mí.

A mi hermano y mi novia, por el apoyo incondicional en cada momento.

A todos mis amigos y compañeros, de quienes me llevo muchos recuerdos guardados.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Agradecimientos.....	I
Índice general.....	II
Índice de Cuadros.....	IV
Índice de Figuras.....	V
Resumen.....	VI
Summary.....	VII
Introducción.....	1
Antecedentes.....	3
Hipótesis.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Materiales.....	6
Generalidades.....	6
Especies.....	7
Tratamiento de aguas residuales.....	10
Caracterización edáfica del lugar.....	12
Caracterización del agua de riego.....	13
Métodos.....	15
Diseño del experimento.....	15
Cronograma de riegos.....	15
Estimación del consumo de agua del cultivo de eucalipto.....	16

Determinación de la producción de Biomasa de Tallo, Ramas y Hojas del cultivo de eucalipto.....	17
Biomasa de los eucaliptos al inicio del ciclo de crecimiento.....	17
Biomasa de los eucaliptos al final del ciclo de crecimiento.....	19
Determinación de la eficiencia en el uso del agua.....	21
Resultados y Discusión.....	22
Estimación del consumo de agua.....	22
Determinación de la producción de Biomasa de Tallo, Ramas y Hojas del cultivo de eucalipto.....	23
Determinación de la eficiencia en el uso del agua.....	28
Jerarquización del comportamiento de las especies según la producción de biomasa y la eficiencia en el uso del agua.....	30
Conclusiones.....	31
Bibliografía.....	32
Anexo I.....	36
Anexo II.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Características físicas del perfil del suelo. UNRC.....	12
Cuadro 2: Análisis del agua limpia para riego.....	13
Cuadro 3: Determinaciones Químicas analíticas del agua residual.....	14
Cuadro 4: Producción de Biomasa Aérea (Kg.MS/Arb.) de las especies utilizadas.....	23
Cuadro 5: Respuesta de la producción de Biomasa Aérea (Kg.MS/Arb.) al riego aplicado.....	24
Cuadro 6: Producción de Biomasa de Tallo (Kg.MS/Arb.) de las especies utilizadas.....	25
Cuadro 7: Producción de Biomasa de Ramas (Kg.MS/Arb.) de las especies utilizadas.....	26
Cuadro 8: Producción de Biomasa de Hojas (Kg.MS/Arb) de las especies utilizadas.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: <i>Eucalyptus globulus</i> . Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.....	7
Figura 2: <i>Eucalyptus viminalis</i> . Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.....	8
Figura 3: <i>Eucalyptus tereticornis</i> . Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.....	9
Figura 4: <i>Eucalyptus sideroxylon</i> . Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.....	10
Figura 5: Planta experimental. UNRC. Río Cuarto.....	11
Figura 6: Sistema de riego. Ensayo de eucalipto en planta piloto. UNRC. Río Cuarto.....	16
Figura 7: Laboratorio de análisis de datos. UNRC. Río Cuarto.....	18
Figura 8: Perfil típico de un vástago medio.....	19
Figura 9: Dinámica del consumo de agua durante el periodo en estudio.....	22
Figura 10: Proporción media de tallo, ramas y hojas de las especies utilizadas (%).....	27
Figura 11: Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) de las especies utilizadas.....	28
Figura 12: Respuesta de la Eficiencia en el Uso del Agua al riego aplicado.....	29

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la producción anual de biomasa aérea y la eficiencia en el uso del agua de una plantación de eucaliptos bajo riego utilizando dos tipos de agua. Se disponía de 24 parcelas, de manera que la mitad fue regada con aguas residuales urbanas mientras que la otra mitad se regó con agua de perforación. El ensayo se desarrolló en un sector de la planta piloto de depuración de aguas residuales de las residencias estudiantiles en la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba-Argentina ($33^{\circ} 06' 50,31''$ L S y $64^{\circ} 18' 18,11''$ L O) a 427 msnm. El sistema contaba con 3 bloques de 8 parcelas cada uno y se evaluaron 4 especies de eucaliptos. Se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizado para la distribución de las especies en las parcelas. Dichas especies fueron sometidas a riegos semanales, cuya lámina fue de 100 mm. Los valores medios de producción de biomasa total alcanzaron los 342 Kg.MS/Arb. para *E. globulus*, 269 Kg.MS/Arb. para *E. viminalis*, 227 Kg.MS/Arb. para *E. tereticornis* y 196 Kg.MS/Arb. para *E. sideroxylon*. Por otro lado, la eficiencia de uso de agua se mantuvo en valores de 0,08 Kg.MS/Arb/mm. para las especies bajo ambos tratamientos de riego. Se analizó también la partición de la biomasa en tallo, ramas y hojas. Los valores obtenidos promediaron un 40 % de tallo, 25 % de ramas y 35 % de hojas sobre la biomasa total. Los análisis de varianza mostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de agua usadas para el riego en cuanto a la producción de biomasa aérea total y a la eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, se observó una tendencia donde existen diferencias estadísticamente significativas de producción y eficiencia entre los ejemplares, correspondientes a características propias de cada especie. En condiciones ideales de sitio y sin restricciones hídricas, como sucedió en este caso, no se encontraron diferencias entre los tratamientos aplicados concluyendo que las especies responden en mayor medida al aporte de agua que al tipo de agua utilizada.

SUMMARY

The objective of this work was to study the annual biomass production and efficiency in water use of a eucalyptus plantation irrigated using two types of water. Were available 24 plots so that half was irrigated with urban waste water while the other half was irrigated with water drilling. The test was conducted in a field of pilot waste water treatment of student residences in National University of Río Cuarto, Cordoba-Argentina ($33^{\circ} 06' 50,31''$ L S and $64^{\circ} 18' 18,11''$ L W) to 427 meters. The system had 3 blocks of 8 plots each and 4 species of eucalyptus were evaluated. Was used a randomized complete block design for the distribution of species in the plots. These species were subjected to weekly irrigations, which sheet was 100 mm. The mean values of total biomass production reached 342 Kg.MS/Arb. for *E. globulus*, 269 Kg.MS/Arb. for *E. viminalis*, 227 Kg.MS/Arb. for *E. tereticornis* and 196 Kg.MS/Arb. for *E. sideroxylon*. Moreover, the water use efficiency values remained 0.08 Kg.MS/Arb/mm. for species under both irrigation treatments. The partition of biomass in stem, branches and leaves are also analyzed. The values obtained averaged a stem 40%, branches 25% and leaves 35% on the total biomass. The tests of variance showed no statistically significant differences between the two types of water used for irrigation in terms of biomass production and efficiency use of water. However, was observed a trend where there are statistically significant differences in production and efficiency between the exemplary, corresponding to characteristics of each species. Under ideal site conditions without restricting water, as in this case, weren't found differences between the treatments applied concluding that species respond more to the supply of water to the type of water used.

INTRODUCCIÓN

El mayor deterioro de los bosques del mundo se está llevando a cabo en los países en desarrollo situados principalmente en los trópicos y subtrópicos, estimulado por el crecimiento poblacional y las presiones económicas; en este sentido la plantación forestal, utilizando árboles exóticos de rápido crecimiento, se ha convertido en la mayor práctica forestal para aliviar a los bosques naturales (EFAP, 1994).

De acuerdo a los datos recolectados por Evans (1992) y por FAO (1990), 40-50 millones de hectáreas de plantaciones forestales fueron establecidas en los trópicos y subtrópicos más cálidos. En determinadas regiones, la demanda creciente de madera ha llevado a una rápida expansión de las plantaciones de especies de rápido crecimiento como el eucalipto, y una enorme cantidad de hectáreas de tierra fueron plantadas en la última década (Gebrekidan, 2003).

Por más de 100 años, la madera de eucalipto ha sido altamente apreciada por habitantes del mundo. La energía proveniente de la biomasa tiene una importancia suprema, particularmente en zonas rurales porque la madera suple más del 94% de la energía consumida (Mulugeta *et al.*, 2009).

Uno de los aspectos más importantes que se requiere conocer en la actividad forestal es la producción espacial y temporal de modelos de biomasa de los bosques o plantaciones, no sólo por ser una medida de productividad, sino también de acumulación y distribución de nutrientes. Arboleda y Malajczuk (1985) plantean que las medidas para cuantificar el monto y distribución de biomasa son importantes para entender la estructura y función del ecosistema, ya que provee información invaluable para la toma de decisiones en programas de forestación y reforestación.

En este sentido, Forrest y Ovington (1970) afirman que estudios a lo largo de plantaciones ordenadas cronológicamente de acuerdo a la edad, ayudarán a estimar la producción de biomasa y cuantificar modelos de desarrollo.

Otros aspectos importantes que se han incorporado a la silvicultura de las especies de rápido crecimiento como el eucalipto, son el riego y la fertilización. El riego con aguas residuales urbanas, por su alta carga de nutrientes permitiría suplir estos dos requerimientos. Por otra parte, los árboles permitirían depurar estas aguas residuales. En este sentido, Crespi *et al.*, (2006) menciona que el hombre utiliza el agua no solo para su consumo, sino también para desarrollar múltiples actividades y cada una de esas actividades generan desperdicios que

contaminan y se mezclan o solubilizan conduciéndose en cierta dirección usando el agua como vehículo; de ahí, la denominación de aguas residuales. La depuración del agua residual se puede realizar de varias maneras pero en todos los casos se trata de un conjunto de procesos físicos, químicos y/o biológicos que tratan de minimizar la carga de contaminantes del agua residual, al mismo tiempo reutilizar los residuos para evitar que se conviertan en fuentes de contaminación y enfermedades.

La práctica de regar cultivos agrícolas con aguas residuales urbanas se ha generalizado durante el presente siglo, y en modo particular en los últimos dos decenios, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, tanto de los países en desarrollo como de los desarrollados. El aprovechamiento controlado de aguas residuales depuradas y no depuradas para el riego se practica ahora muy comúnmente en Europa, los Estados Unidos, México, Australia, China, India y el Cercano Oriente, y en menor medida en Chile, Perú, Argentina, Sudán y Sudáfrica (Bartone y Arlosoroff, 1987).

Braatz y Kandiah (2004) citan que el riego con aguas residuales es una tecnología de bajo costo que consiste en la aplicación del agua sobre el terreno con vegetación, por lo tanto se considera un sistema de tratamiento natural de alta carga ecológica que presenta algunas ventajas relativas a sistemas tradicionales de cierta consideración; como el hecho de que el aporte energético es muy bajo, requieren mano de obra poco especializada, facilita la repoblación forestal, tiene bajos costos de mantenimiento y altos rendimientos de depuración y eliminación de nutrientes, minimiza la producción de lodos, además el uso de cultivos forestales podría evitar problemas asociados con patógenos llegando a eliminar hasta el 98 % en los primeros centímetros de suelo.

El suelo es un reservorio que tiene una gran capacidad de recepción y descomposición de muchos tipos de contaminantes adicionados con el agua residual pero suelen producirse ciertas alteraciones físico-químicas que afectan la disponibilidad de agua para el cultivo, generalmente la tasa de infiltración decrece sustancialmente después de los primeros riegos, se afecta la permeabilidad del suelo que es un importante parámetro de diseño y se producen cambios en la conductividad hidráulica saturada. También se produce en los filtros verdes una alta eficiencia en la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO); no obstante, la capacidad del sistema suelo para remover la DBO depende de la transferencia de oxígeno en la zona de raíces donde la carga de contaminantes induce la actividad microbiana.

En general, el efecto neto del agregado de aguas residuales al terreno es favorable porque incrementa el contenido de materia orgánica y nutrientes, pero también pueden

producirse algunos efectos negativos de precipitación, adsorción, modificación de la capacidad de intercambio catiónico, acidez, lavado y volatilización; siendo los procesos químicos en el suelo muy dinámicos, generalmente rápidos y usualmente reversibles.

En el sur de Córdoba, con 7.000.000 de ha y 350.000 habitantes, la red pública de servicios cloacales sólo la poseen algunos municipios del área y la falta de tratamiento de los efluentes domiciliarios se ha diagnosticado como uno de los problemas más serios de la región (ADESUR, 1999).

El conocimiento sobre la adaptación y crecimiento de especies arbóreas bajo riego con efluentes urbanos es una necesidad imperiosa de la silvicultura al momento de formular proyectos de filtros verdes, es por eso que el propósito de este proyecto es conocer la producción de biomasa de 4 especies de eucaliptos regados con efluentes residuales urbanos.

ANTECEDENTES

El aumento constante de la cantidad de agua utilizada y de las 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 la 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 (El-Lakany, 1995).

Dicho autor además cita que el aprovechamiento controlado en gran escala se remonta sólo al siglo pasado, cuando en algunas partes de Europa, Australia, la India y los Estados Unidos se crearon los llamados «campos de aplicación» con el fin de eliminar las aguas negras y evitar la contaminación de los ríos. En este caso, el término «aguas residuales» se refiere a los desechos líquidos de los hogares, los locales comerciales y las plantas industriales que se descargan en los sistemas de eliminación individuales o en los tubos de las cloacas municipales.

A modo de ejemplo, el autor menciona que algunas comunidades de Egipto utilizan aguas residuales o de drenaje, con un tratamiento elemental, para regar arboledas. Las especies usadas más comúnmente son la *Casuarina glauca*, el *Eucalyptus camuldulensis* y el *Tamarix*

aphylla. De estas especies se obtiene leña para el consumo propio y varas que se venden en los mercados locales.

Sin embargo, en general, el aprovechamiento en gran escala de las aguas residuales para el riego de plantaciones de árboles o bosques es aun relativamente limitado y se hace más en función de la eliminación y tratamiento de los desechos que para aumentar la producción forestal. Cuando las disponibilidades de agua son limitadas, se suele tender a destinar las mismas a usos prioritarios, es decir, primero para beber y para uso doméstico y luego, para la agricultura. Análogamente, las aguas residuales se han utilizado mucho más para la agricultura de regadío que para el riego forestal. Sin embargo, en algunos lugares los peligros para la salud y los valores estéticos y culturales limitan el uso agrícola de las aguas residuales (particularmente para los cultivos alimentarios) y pueden hacer que la silvicultura sea una opción más apropiada. Además, en algunas circunstancias, la silvicultura de regadío puede competir económicamente con la agricultura de regadío e incluso ser más rentable (Armitage, 1985).

En muchos lugares, la integración de los árboles en la agricultura de regadío, como cortavientos o plantaciones de lindero, puede ser la opción más interesante desde el punto de vista económico. Varios organismos gubernamentales de la India han realizado trabajos sobre el riego de plantaciones de árboles con aguas negras (Shende *et al.*, 1985).

Ejemplo de ello son los estudios que en 1981 inició el Instituto Central de Investigación de la Salinidad de los Suelos de Karnal (Estado de Haryana) con el fin de evaluar la idoneidad de las aguas residuales no depuradas para el riego de los árboles forestales (CSSRI, 1989). Se probaron tres especies de árboles forestales: *Eucalyptus tereticornis*, *Populus deltoides* y *Leucaena leucocephala*. En las tres especies, los árboles regados mensualmente con aguas negras tuvieron un crecimiento mayor que los árboles regados con la misma cantidad de agua de pozo, la altura de los eucaliptos había aumentado un 6 % después de 48 meses y la leucaena un 12 %, después de 36 meses; los álamos en cambio eran un 4 % más altos después de 24 meses. Con un riego más frecuente se obtuvo un crecimiento más rápido; el mayor se obtuvo para los eucaliptos y leucaena con un riego quincenal y para los álamos con el riego diario. Si bien los árboles no demostraron ningún signo negativo ocasionado por la alta absorción de nutrientes durante los cinco años no se han determinado todavía los efectos a largo plazo sobre los suelos, causados por el riego con aguas residuales no depuradas.

HIPÓTESIS

- ❖ Las especies de eucaliptos (*E. sideroxylon*, *E. viminalis*, *E. globulus* y *E. tereticornis*) cultivadas bajo riego se diferencian entre sí por su producción de biomasa y por la eficiencia de uso del agua.
- ❖ La producción de biomasa y eficiencia en el uso del agua será significativamente mayor en las parcelas regadas con agua residual urbana respecto al agua de perforación.

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Determinar la producción de biomasa aérea y la eficiencia en el uso del agua en eucaliptos regados con aguas residuales urbanas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Establecer un cronograma de riegos.
- ❖ Estimar el consumo de agua de *E. sideroxylon*, *E. viminalis*, *E. globulus* y *E. tereticornis*.
- ❖ Determinar la producción de biomasa de tallo, ramas y hojas de *E. sideroxylon*, *E. viminalis*, *E. globulus* y *E. tereticornis* para el segundo año de crecimiento de vástagos de renuevo, desarrollados sobre tocones de 6 años de edad.
- ❖ Determinar la eficiencia del uso del agua para las cuatro especies de eucalipto bajo estudio.
- ❖ Jerarquizar el comportamiento de las especies de eucaliptos en estudio según la producción de biomasa aérea y la eficiencia en el uso del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generalidades

El ensayo se realizó en la Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos ubicada en la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) y contó con el aprovisionamiento de agua residual generada por una parte de una pequeña población de 432 estudiantes de las Residencias Estudiantiles Universitarias (REU) para el riego de un total de 120 árboles.

Materiales

Ensayo

La plantación del ensayo fue realizada en la primavera de 2003; en el invierno de 2007 ocurrió una nevada que afectó seriamente a los árboles; luego de un año (invierno de 2008) sin una respuesta satisfactoria en la recuperación de sus copas fueron talados para obtener una regeneración bajo una estructura de monte bajo. Al comienzo del ensayo (primavera de 2009) las cepas vivas se encontraban en plena etapa de regeneración con numerosos vástagos de un año de edad en cada una de ellas sobre tocones con una edad de 6 años, por lo que al momento de iniciar el ensayo se seleccionaron sólo dos de ellos, aquellos originados de yemas proventicias y se desecharon los demás. El ensayo consistió en 24 parcelas distribuidas aleatoriamente en 6 bloques. Sobre esta estructura, tres bloques se regaron con agua residual urbana y los otros tres con agua de perforación. Cada bloque contaba con cuatro especies de Eucalyptus: *E. sideroxylon*, *E. viminalis*, *E. globulus* y *E. tereticornis* distribuidas aleatoriamente. Las parcelas contaban con 5 cepas (raíz+tocón) con 2 vástagos cada una. Las 5 cepas de cada parcela pertenecían a la misma especie botánica. Inicialmente cuando se estableció el ensayo, cuatro árboles dentro de cada parcela se plantaron en cuadrado, colocando cada uno en cada vértice del mismo y luego se trazaron 2 diagonales entre los vértices uniendo dichos puntos y en la intersección de ambas líneas se colocó el quinto árbol. De esta manera el distanciamiento entre los 4 árboles de los vértices es de 2.5 metros, mientras que el árbol del centro se encuentra a 1,77 m del resto.

Especies:

Eucalyptus es un género de árboles (y algunos arbustos) de la familia Mirtáceas. Existen alrededor de 700 especies, la mayoría originarias de Australia. En la actualidad se encuentran distribuidos por gran parte del mundo.

Eucalyptus globulus (Fig. 1).

Hábitat: Prefiere suelos ligeramente ácidos y zonas frescas y húmedas. No resiste el frío intenso y es un poco sensible a las sequías prolongadas. Se ha cultivado intensamente para eliminar la humedad en zonas pantanosas. Florece en septiembre - octubre.

Cultivo y usos: Por la rapidez de crecimiento, se puede encontrar cultivado en muchas regiones del mundo para la producción de madera, fabricación de pulpa de papel y obtención de aceite esencial. Ha sido especialmente utilizado para sanear zonas pantanosas al eliminar la humedad de las mismas con la consiguiente erradicación de sus plagas de insectos. Por otra parte, esta capacidad de absorción del agua, convierte a los eucaliptos en especies muy agresivas para el medio ambiente al transformar los ecosistemas por desecación de la tierra donde se plantan. Se utiliza ampliamente como árbol de jardín.



Figura 1: *Eucalyptus globulus*. Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.

Eucalyptus viminalis (Fig. 2).

Características: Es un árbol fuerte, erecto, de 50 m de altura, con corteza rugosa y muy largas ramas. Ocasionalmente puede tener tamaños más grandes, así el más alto descubierto alcanzó 89 m de altura.

Cultivo y usos: Se multiplica por semillas. Su madera es de color castaño, duradera. Empleada para tablas, andamiajes, traviesas de ferrocarril, ruedas, etc. Su corteza produce una sustancia de agradable sabor apreciada por los indígenas.

Hábitat: Esta especie presenta una buena resistencia a las heladas y a condiciones de sequía. Las áreas más aptas son las de relieve positivo, ligeramente ondulado, con suelos bien drenados, profundos, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos y moderada salinidad.



Figura 2: *Eucalyptus viminalis*. Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.

Eucalyptus tereticornis (Fig. 3).

Características: Crece de 20 m a 50 m de altura; con una cincha hacia los 2 m; su corteza es gruesa (3 cm) esponjosa, irregular, mezclando los rojizos, grises, verdosos-azulados y blancuzcos. Tronco recto, usualmente desramado hasta la mitad de la altura total del árbol.

El eucalipto rojo, como otras especies, tiene el ominoso nombre de "hacedor de viudas", por su capacidad de desrame sin previo aviso, desprendiéndose por ej. de inmensas ramas en un instante (frecuentemente de la mitad de diámetro del tronco). Este desrame ayuda a ahorrar agua y/o es el resultado de su madera quebradiza.

Cultivo y usos: Germina rápidamente tanto de semillas frescas como de almacenadas en condiciones de frío seco y también pronto adquiere resistencia a la sequía. Es renombrado por su brillante madera rojiza, dependiendo de la edad y la temperización. Es muy quebradizo y

generalmente de grano cruzado, haciendo el trabajo manual difícil. Tradicionalmente se usó para aplicaciones de resistencia como vigas, postes, más recientemente para mueblería fina por su espectacular color rojizo profundo y típicas figuras en la albura. La albura es densa, muy dura, admite buen brillo. En general la madera de este eucalipto produce excelente carbón, y exitosamente usada en Brasil para la siderurgia de hierro y de acero. Además, el árbol se usa para polinización con abejas en Brasil y en Argentina.

Hábitat: Prefiere sitios profundos y con buen drenaje pero puede soportar las inundaciones de menor gravedad. Se reporta que no está adaptado a suelos muy ácidos. Prefiere terrenos húmedos y pantanosos, vegetando bien también en los secos. Es sensible a las heladas y necesita de 1000 a 1500 mm de agua al año.



Figura 3: *Eucalyptus tereticornis*. Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.

Eucalyptus sideroxylon (Fig. 4).

Características: Es un árbol de talla pequeña a ocasionalmente mediano. La corteza es persistente en el tronco y las ramas grandes, dura y profundamente surcada, gris oscura a negra. Las hojas adultas son pedunculadas, lanceoladas. Las flores aparecen desde el principio de otoño hasta mediados de la primavera.

Cultivo y usos: Como todos los eucaliptos, las muggas no pueden ser cultivados desde estacas. Son fáciles de reproducir por semillas. Son muy resistentes, necesitando menos de 400 mm al año para sobrevivir, aun así pueden crecer en climas con más de 1000 mm/año.

La madera es relativamente dura y densa, y es frecuentemente usada para leña. Tiene una alta resistencia a la pudrición y puede ser usada para postes de cercas, muelles, durmientes. Ha sido usada en mueblería, objetos torneados, embarcaciones, bancas y sillas. Es una de las pocas maderas que no flotan.

Hábitat: Es un árbol muy popular como ornamental, plantado en las avenidas le da un aspecto muy exótico a las calles. En la naturaleza los muggas crecen sorprendentemente en suelos pobres, frecuentemente un poco más grandes que en la grava arenosa.



Figura 4: *Eucalyptus sideroxylon*. Especie bajo tratamiento de riego. UNRC. Río Cuarto.

Tratamiento de aguas residuales

La Planta Experimental se encuentra instalada en la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) con el objetivo de tratar las aguas residuales de un complejo habitacional de 432 habitantes llamadas las Residencias Estudiantiles Universitarias (REU) ubicado a 33° 07' LS, 64° 14' LO y a 421 m sobre el nivel del mar (Fig. 5).

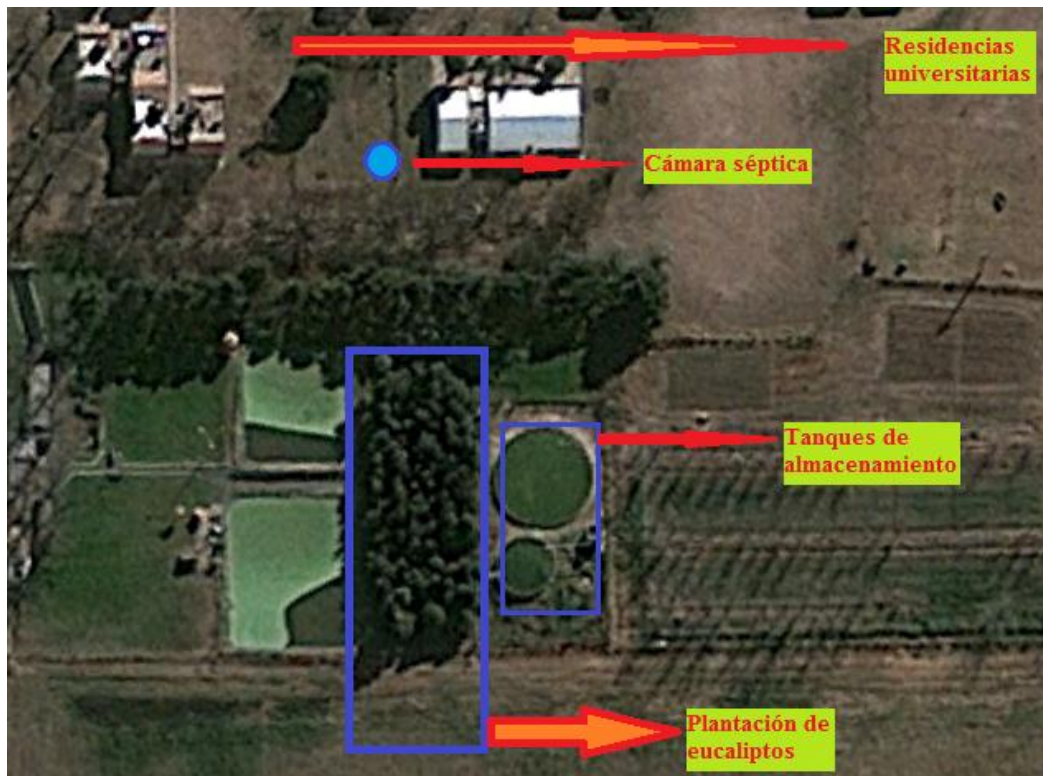


Figura 5: Planta experimental. UNRC. Río Cuarto.

Consta de tuberías laterales de PVC de 110 mm de diámetro y colectora principal de PVC de 160 mm de diámetro uniendo la descarga de efluentes de 52 departamentos, que previamente al ingreso a la red pasan por cámaras sépticas (una por departamento), donde queda retenida la parte sólida para su posterior tratamiento.

Se maneja el agua generada por una población de 432 habitantes para un caudal de 22280 Lt/día el cual se concentra en una cámara receptora de cemento de 1.5 m de ancho por 2.5 m de largo por 5 m de profundidad, mediante 2 electrobombas centrífugas Dreno Big, que trabajan a 7.23 m de altura erogando 60 m³/h.

El efluente proveniente de las REU se conduce a través de una tubería principal de PVC de 160 mm de diámetro que con una pendiente de 1.5 % descarga por gravedad en la cámara, en primer instancia cae a un canasto con ranuras longitudinales de acero inoxidable, el cual periódicamente como norma de mantenimiento se lo extrae con un malacate manual para su limpieza y se vuelve a poner en funcionamiento. En este intervalo se baja a modo de guillotina una reja cribada con orificios de 1 cm de diámetro que tapa el extremo de descarga y previene la entrada de material grueso. Por otra parte, las bombas operan alternativamente y en forma automática (cada 30 días se pone en funcionamiento una de ellas y la otra se detiene) cada vez que se almacena un volumen de agua de 4000 L.

Métodos convencionales y no convencionales

El agua se conduce por una tubería de PVC Clase 10 de 75 mm de diámetro externo y de 55 m de longitud, desde la cámara de bombeo hasta la Planta Experimental, que comprende dos partes: la primera que es el tratamiento propiamente dicho que consta de 4 tanques de cemento de diferentes dimensiones y funciones enmarcados en un tejido olímpico de 20 m por 38 m y la segunda indicada con leyendas de los diferentes cultivos y/o actividades que se realizan involucrando la reutilización de los efluentes (Crespi, 2006).

El tanque receptor es un recipiente rectangular de un volumen de 12000 lt. de 2 m por 2 m por 3 m de altura y cuya función es concentrar el agua derivada. Desde el piso sale un tubo de 160 mm de diámetro para eliminar el lodo que se acumule en el tiempo; a 0.25 m tiene una salida lateral para el riego de los filtros verdes (*Eucalyptus spp.*), captando el agua cruda con una electrobomba centrífuga marca Ebara de 1 HP de potencia y de 2 pulgadas de diámetro en la succión por 2 pulgadas de diámetro en la impulsión y que maneja un caudal de 7500 lt/h a una altura manométrica de 10 m. Por otro lateral, hay un orificio de 90 mm de diámetro por el que descarga el agua cruda hacia el reactor biológico para su tratamiento; en el trayecto hay una derivación hacia un tanque circular de cemento de 3.5 m de diámetro y 0.50 m de profundidad para la depuración del agua usando macrófitas acuáticas (*Lemna*, *spirodella* y *wolfia*).

Caracterización edáfica del lugar

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). El suelo es un Hapludol típico (Cuadro 1), de propiedades físicas y comportamiento diferente según los horizontes que se trate.

Cuadro 1: Características físicas del perfil del suelo. UNRC.

	Horizontes						
Características	Ap1	Ap2	2.A	3 AC	4.A	4 BW	4 BWK
Profundidad	0- 4	4- 16	16- 28	28- 45	45- 64	64- 74	>74
Da (g cm)	1.36	1.36	1.45	1.40	1.47	1.02	1.07
Wc (%)	25.4	21.8	19.9	22.5	20.8	21.5	20.9
Wm (%)	7.4	7.7	7.9	7.6	7.1	7.5	7.6

Fuente: Crespi *et al.*, 2006.

Donde,

Da, Wc y Wm son: densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente respectivamente.

Caracterización del agua de riego

- **Agua de perforación**

En el Cuadro 2 se muestran los datos obtenidos del análisis químico del agua, con una CE de 0.45 dS/m, un Ph de 7.40 y un RAS de 1.21, la cual se puede calificar como de buena calidad para riego ya que no presenta limitantes para su uso.

Cuadro 2: Análisis del agua limpia para riego.

Aniones y cationes		Mg * L ⁻¹	Meq * L ⁻¹
Carbonato	(CO ₃ ⁼)	0.00	0.00
Bicarbonato	(CO ₃ H ⁼)	207.4	3.40
Cloruros	Cl	14.18	0.40
Sulfatos	(SO ₄ ⁼)	20.70	0.43
Sumatoria de aniones		242.38	3.83
Calcio	(Ca ⁺⁺)	28.41	1.42
Magnesio	(Mg ⁺⁺)	9.10	0.75
Sodio	(Na ⁺)	29.00	1.26
Potasio	(K ⁺)	4.35	0.11
Sumatoria de cationes		70.86	3.54

Fuente: Crespi *et al.*, 2006.

- **Agua residual**

En el Cuadro 3 se muestran los valores del análisis químico del agua residual urbana, los cuales permiten calificarla como de calidad media presentando una ligera restricción para su uso.

Cuadro 3: Determinaciones Químicas analíticas del agua residual.

Determinación analítica	Unidad	Valor
Sólidos Totales	ml/L	842.00
pH	7.82	
Conductividad Eléctrica	dS/m	1.13
Turbiedad	FAU	263.50
Color Verdadero	PtCo APHA	1150.00
Nitrógeno total	ml/L	108.5
Cloruros	ml/L	138.00
Sulfatos	ml/L	14.50
Alcalinidad total	ml/L	350.00
Alcalinidad carbonatos	ml/L	< 1
Fósforo Total	ml/L	8.1
Hierro	ml/L	1.30
Litio	ml/L	No detectable
Boro	ml/L	0.14
Cromo	ml/L	0.04
Magnesio	ml/L	11.60
Manganeso	ml/L	0.08
Níquel	ml/L	No detectable
Potasio	ml/L	16.00
Plomo	ml/L	No detectable
Selenio	ml/L	No detectable
Sodio	ml/L	158.00
Aluminio	ml/L	0.99
Arsénico	ml/L	0.017
Cadmio	ml/L	0.00014
Calcio	ml/L	50.00
Zinc	ml/L	0.11
Cobalto	ml/L	No detectable
Cobre	ml/L	No detectable
Demanda Química de Oxígeno	ml/L	265.00
Demanda Biológica de Oxígeno	ml/L	112.57

Fuente: Crespi *et al.*, 2006.

Para determinar la calidad física y química del efluente, se procedió a realizar el muestreo por medio de la metodología de muestras compuestas (Siñeriz *et al.*, 1999). Las determinaciones físico-químicas fueron realizadas por el Departamento de Tecnología Química de la Facultad de Ingeniería de la UNRC y por el INA (Mendoza); el Departamento de Microbiología de Ciencias Exactas de la UNRC, fue el responsable de realizar un conteo promedio de coliformes totales del efluente crudo.

Métodos

Diseño del experimento

El diseño utilizado es el denominado bloques completamente aleatorizados con arreglo factorial, considerando dos factores: el efecto debido a la especie y el efecto debido al tratamiento de riego. El método estadístico aplicado es el análisis de varianza, además del empleo del test DGC para la comparación de medias en cuanto al crecimiento por especie. Se asumió una probabilidad de error del 5%. Se trabajó con 120 ejemplares, 30 ejemplares por especie, de los cuales 24 fueron medidos, esto es, 6 ejemplares por especie que eran aquellos considerados como “árboles tipo”. El resto se empleó para atenuar efectos de borde. Las especies fueron asignadas al azar dentro de cada bloque. El tratamiento consistió en riego con agua de perforación a la mitad de las parcelas y en riego con agua residual urbana a la otra mitad. Se contó con tres repeticiones. El número de ejemplares a medir se consideró suficiente, dado que las especies elegidas presentaron escasa variabilidad. Como criterio general, un número mínimamente adecuado de muestras es igual a 5 ejemplares (Li, 1969; Scheffler, 1981; Sokal, 1979).

Cronograma de riegos

Dentro de cada parcela, las plantas contaban con un hoyo o microcuenca cuya dimensión era de aproximadamente 1m x 1m x 0,1m (Fig. 6), donde se aplicaron láminas de agua semanales y constantes de 100 mm en cada intervención.



Figura 6: Sistema de riego. Ensayo de eucalipto en planta piloto. UNRC. Río Cuarto.

Estimación del consumo de agua del cultivo de eucalipto

Para estimar la evapotranspiración potencial (ET_o) del lugar (mm/día) se utilizó una aplicación del software CROPWAT (Trezza, 2012) el cual se basa en el método Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración:

$$E_{to} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

Δ: pendiente de la curva de tensión de vapor saturado (Kpa/°C).

R_n: Radiación neta sobre la superficie del cultivo (Mj/m² día).

G: Flujo calórico utilizado en el calentamiento del suelo (MJ/ m² día).

γ: Cte. psicrométrica (Kpa/°C).

T: Temperatura media del aire (°C).

U₂: Velocidad del viento (m/s) observada a 2 m de altura.

(e_s-e_a): Déficit de tensión e vapor (Kpa); e_s y e_a tensión de vapor saturado y actual respectivamente.

Sabiendo que todas las especies se encontraban bajo las mismas condiciones de ET_o, se calculó el consumo de agua por parte de las mismas sumando todas las precipitaciones ocurridas en el periodo de estudio y los riegos semanales. Para el primer caso no se utilizó el valor de precipitación total caída sino que fue necesario transformarlo en precipitación efectiva para obtener mayor precisión en los datos. Para ello se utilizó la fórmula propuesta por Díaz y

Rebory (2003) que permitió conocer las pérdidas por interceptación mediante una función exponencial que representa la relación existente entre las pérdidas por interceptación de las copas (Ic) en mm y la precipitación total (P) en mm, resultando ser:

$$Ic = 0,28 * P^{0,74}$$

Ic: Intercepción de las copas (mm).

P: Precipitaciones.

De esta manera, conociendo las pérdidas por interceptación y restando dichos valores a las precipitaciones totales, se obtuvo el valor de precipitación efectiva que recibieron las parcelas de eucaliptos.

Para el caso del riego se aplicó una lámina semanal de 100 mm como ya se mencionó anteriormente, considerando que las posibles pérdidas por escorrentía y percolación resultarían semejantes para todas las especies de manera que no se creyó relevante realizar un estudio de las mismas.

Determinación de la producción de Biomasa de Tallo, Ramas y Hojas del cultivo de eucalipto

Biomasa de los eucaliptos al inicio del ciclo de crecimiento

Al inicio del ensayo las cepas vivas se encontraban en plena etapa de regeneración con numerosos vástagos de un año en cada una de ellas. La primera medición realizada fue la del diámetro de cada uno de los tocones vivos de cada cepa presente en las parcelas y la identificación del “Tocón tipo” (aquel más cercano al valor de la Media).

$$Tt = \sum_i^n Dt/n$$

Tt: Tocón tipo.

Dt: Diámetro de tocón.

n: cantidad de individuos en la parcela.

Sobre este tocón tipo se seleccionaron los 3 vástagos o renuevos de mayor tamaño en diámetro basal y altura y se extrajeron los restantes. De los 3 vástagos sobre tocón se seleccionó el intermedio (n+1/2; Mediana) y fue cortado para estimar la biomasa inicial de tallo, ramas y hojas de los dos (2) vástagos remanentes sobre el tocón. Para estimar la biomasa total en cada tocón, al inicio del ciclo, el vástago que correspondió con la Mediana fue pesado en verde (PTvm) y luego seccionado y pesado en verde sus componentes: tallo (Ta), rama (Ra) y hojas (Ho). Para conocer el porcentaje de materia seca de cada uno de estos componentes se

extrajeron tres submuestras de 10 cm de longitud: 1) Sección basal del vástago (Sb) 2) Sección media del vástago (Sm) y 3) Sección apical del vástago (Sv). Estas submuestras fueron pesadas en verde y se colocaron en bolsas de papel con su respectiva etiqueta identificatoria y se secaron en estufa de aire forzado (Fig. 7) a una temperatura a 105 °C hasta alcanzar peso constante.



Figura 7: Laboratorio de análisis de datos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Con estos datos se estimó la cantidad (Kg.MS/Arb.) de biomasa inicial de Tallo (BTa), Ramas (BRa) y Hojas (BHo) sobre los tocones tipos de cada parcela:

$$BTa \text{ (Kg.MS/Arb.)} = (PTvm \times Pps) \times \frac{PTa}{(PTa + PRa + PHo)} \times 2 \quad (1)$$

$$BRa \text{ (Kg.MS/Arb.)} = (PTvm \times Pps) \times \frac{PRa}{(PTa + PRa + PHo)} \times 2 \quad (2)$$

$$BHo \text{ (Kg.MS/Arb.)} = (PTvm \times Pps) \times \frac{PHo}{(PTa + PRa + PHo)} \times 2 \quad (3)$$

BTa: Biomasa de tallo en cada vástago mediano de las parcelas (1).

BRa: Biomasa de rama en cada vástago mediano de las parcelas (2).

BHo: Biomasa de hoja en cada vástago mediano de las parcelas (3).

PTvm: Peso verde total del vástago mediano de cada una de las parcelas (Kg).

Pps: Proporción media de materia seca en las muestras extraídas.

PTa: peso medio del tallo en las secciones extraídas del vástago mediano (Kg).

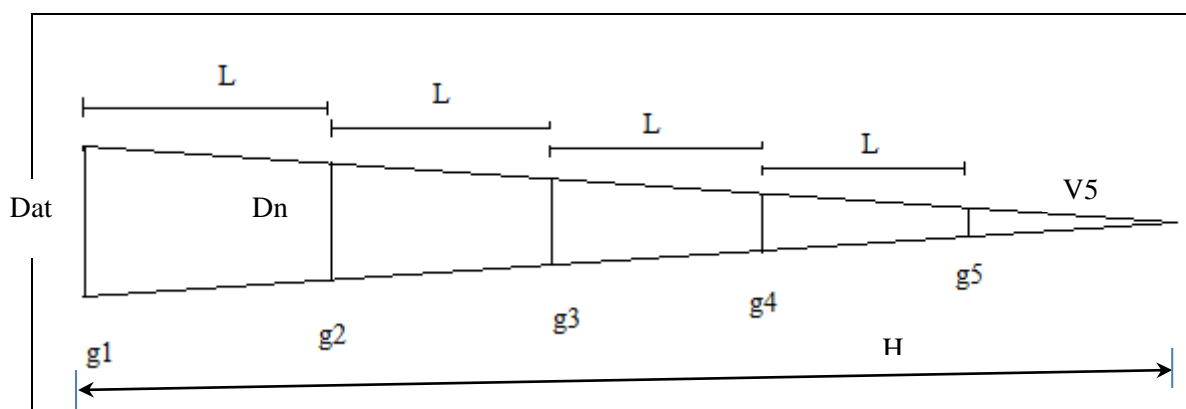
PRa: peso medio de rama en las secciones extraídas del vástago mediano (Kg).

PHo: peso medio de hojas en las secciones extraídas del vástago mediano (Kg).

Biomasa de los eucaliptos al final del ciclo de crecimiento

Al final del proyecto para no utilizar un método destructivo y poder seguir evaluando a futuro los vástagos sobre los tocones se optó por estimar la biomasa de todos los componentes a partir del volumen de los vástagos medios o tipos, ya en su segundo año de crecimiento y sobre tocones de 7 años de edad. Para ello se utilizó un método gráfico que representa a estos “vástagos medios o tipos” y a partir de los datos obtenidos de éstos se cubicaron mediante la fórmula de Smalian. Cada vástago medio se graficó considerando los datos de Dat (diámetro altura del tocón), Dn (diámetro normal a 1,30 m de altura) y altura total (H), medidos en las parcelas (Fig. 8).

Figura 8: Perfil típico de un vástago medio.



✓ Determinación del diámetro a altura del tocón y diámetro normal (Dat; Dn):

Sobre el árbol tipo se procedió a medir ambos diámetros, mediante una cinta dendrométrica y una vara graduada en cm para medir a 30 cm longitud el Dat y a 130 cm el Dn, la cual ayudaba a que la medición se realizara a la altura correcta. Lo mismo se repitió para todas las parcelas, obteniendo así 24 datos.

✓ Determinación de la altura:

Sobre el árbol tipo se midió la altura (H) del mismo, en m, mediante el hipsómetro de Sunnto, obteniendo también 24 datos.

✓ Determinación del volumen real (Vr) gráficamente:

Sobre el gráfico realizado a escala se seccionaron los vástagos en rollizos de 1,30 m de longitud, con excepción del último (extremo o ápice) que forma un cono de longitud variable de acuerdo a la altura total de cada árbol. Los datos de los diámetros extremos de cada rollizo y su

longitud permitieron lograr su cubicación y la sumatoria de los volúmenes encontrados obtener el volumen real de cada vástago tipo. Para ello se utilizó la fórmula de Smalian:

$$Vr = L/2*(g1+2*g2+2*g3+2*g4+g5) + V5$$

Donde,

Vr= Volumen real (m³).

g = área transversal del cilindro (m²).

L = Longitud del rollizo (m).

V5 = Volumen del cono apical (m³).

La fórmula de Smalian compuesta (con intervalos de 1 o 2 m) ha demostrado poseer una exactitud estadísticamente satisfactoria, por lo que se recomiendan para la cubicación de árboles (Bonilla, 1969)¹.

Una vez obtenido el Vr del vástago se lo multiplicó por dos, ya que cada tocón constaba de dos vástagos representativos. Este procedimiento se realizó para todos los árboles tipos de cada parcela. Luego se consultó la bibliografía disponible para encontrar los valores de densidad de la madera de cada especie, para obtener así el peso a partir del volumen.

De esta forma, sabiendo que: Densidad=Peso/Volumen, conociendo el valor de densidad y volumen se pudo despejar el peso de cada muestra, resultando: Peso= Volumen*Densidad. Como dicha densidad está calculada con un 12% de Humedad fue necesario multiplicar el peso por 0,88, obteniendo así el valor de biomasa seca total de los tallos (BTa) de los vástagos medios.

Para conocer la biomasa de ramas (BRa) y biomasa de hojas (BHo) se utilizaron las proporciones BRa/BTa= Proporción de Ramas y BHo/BTa= Proporción de Hojas obtenidos de los datos de biomasa inicial. El producto de dichas proporciones por la BTa (biomasa de tallo) medida al final del periodo resultó en la producción final de BRa y BHo respectivamente, expresadas en Kg.MS/Arb.

¹Material didáctico aportado por la cátedra de Dasonomía, durante el cursado de la materia, mediante archivos PDF cargados en aulas virtuales (SIAT). Dasometría: Cubicación de árboles. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba.

La biomasa total y de cada uno de los componentes (tallo, ramas y hojas) del ciclo bajo estudio se obtuvo calculando la diferencia entre Biomasa final e inicial respectivamente, expresándolos en Kg.MS/Arb.

Determinación de la eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se define como la biomasa producida por unidad de agua consumida y expresa la eficiencia con la cual un órgano o cultivo fija carbono en relación con el agua que demanda (Dardanelli *et al.*, 2003).

Para el cálculo de la EUA se realizó el cociente entre la biomasa aérea total producida por cada especie de eucalipto y el agua consumida por estos cultivos, siendo esta última la suma de precipitación efectiva y riego.

$$\text{EUA} = \frac{\text{Biomasa aérea total [Kg.MS/Arb.]}}{\text{Agua consumida [mm]}}$$

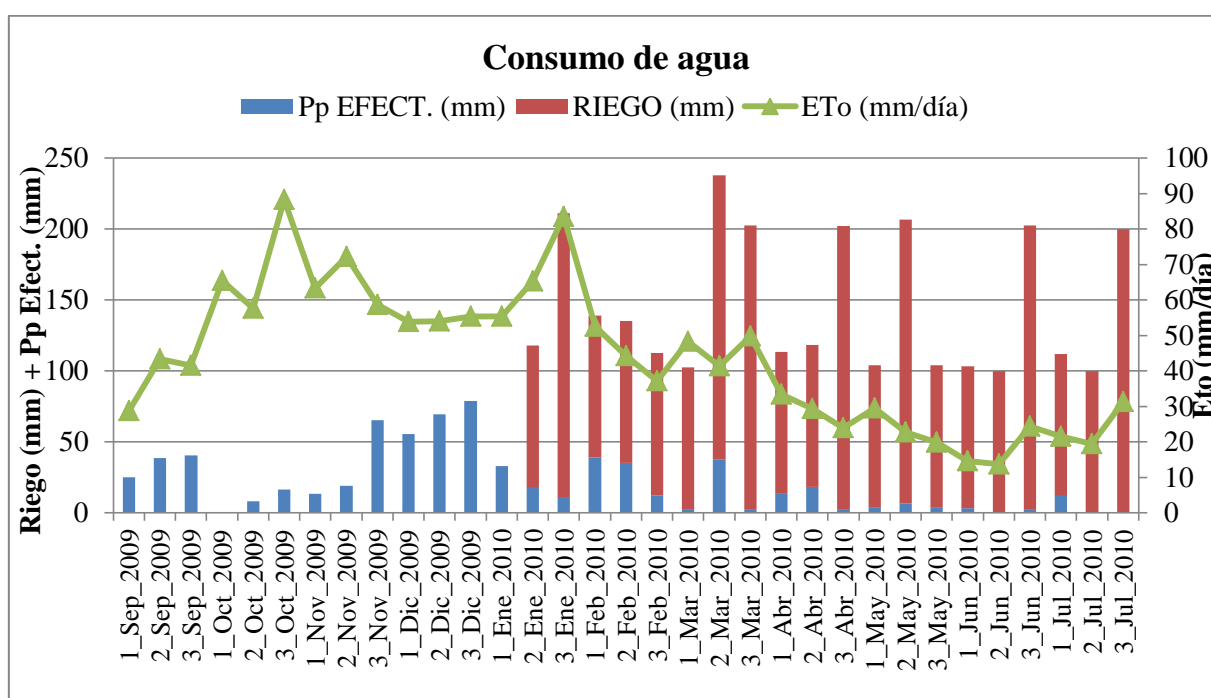
Por último se jerarquizaron las especies según su comportamiento en función de la EUA y la producción de biomasa a partir de los resultados de los ANOVAS y comparación de medias propuestas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación del consumo de agua

El consumo de agua por parte de las especies de eucaliptos se determinó mediante la Evapotranspiración potencial (ETo), las precipitaciones efectivas (Pp Efect.) y los riegos efectuados. Los resultados obtenidos pueden observarse en la Fig. 9, que consiste en un cuadro decádico formado por valores acumulados cada 10 días correspondientes a cada variable estudiada.

Figura 9: Dinámica del consumo de agua durante el periodo de estudio.



Como puede observarse en la figura, la oferta de agua durante los meses de octubre y noviembre, durante el periodo de regeneración de la plantación, no cubrió los requerimientos hídricos expresados por la evapotranspiración de rendimiento Eto (mm/día), ya que en ese momento no se aplicó tratamiento de riego. Luego de efectuadas las mediciones de biomasa inicial (primavera de 2009), comenzó la aplicación de los riegos, observándose que la cantidad de agua disponible para el cultivo superó ampliamente las demandas hídricas, por lo cual podemos afirmar que los árboles crecieron sin restricciones de agua durante el periodo de investigación. No se considera aquí el aporte de agua por parte de las napas ya que asumimos que ninguna de las especies alcanzó la profundidad de 14 m donde se encontraba. Pero sí se consideró la interceptación por medio de la copa de los árboles, que reduce el aporte por precipitaciones. Kondo *et al.*, (1992); Leite *et al.*, (1997) encontraron que, durante su trabajo, en

el período de medición se registraron 73 eventos en que la lluvia total medida a campo abierto fue mayor a la del monte. De los 1.543 mm de lluvia, la precipitación interna en el monte adulto alcanzó a 1.364 mm. La pérdida total por interceptación fue de 179 mm. Esto significa que el 88,4% de la precipitación total llegó al suelo del monte forestal, mientras el 11,6% restante fue interceptado por ramas, hojas y troncos, de donde se evapora a la atmósfera. Estos valores se acercan al límite inferior del rango de 11 a 20% de pérdidas por interceptación medidos en plantaciones comerciales de eucaliptos. Es por esto que los datos utilizados en este proyecto corresponden a precipitación efectiva obtenida mediante el método de Díaz y Reborny (2003).

Determinación de la producción de Biomasa de Tallo, Ramas y Hojas del cultivo de eucalipto

En la primera parte de la hipótesis de este trabajo se planteó que las especies de eucaliptos se diferenciarían entre sí por su producción de biomasa, y que a su vez dicha producción sería significativamente mayor en las especies bajo tratamiento con aguas residuales urbanas.

Como se observa en el Cuadro 4, los resultados del ANOVA y la comparación de medias DGC (Anexo II) indican que existieron diferencias estadísticamente significativas entre las especies en cuando a su producción de biomasa aérea (diferencia entre biomasa final e inicial). *E. globulus* fue la especie con mayor cantidad de biomasa, con una producción de 342,04 Kg.MS/Arb. El resto de las especies obtuvieron valores que no superaron los 270 Kg.MS/Arb. Esto deja en evidencia la elevada rapidez de crecimiento y capacidad productiva de *E. globulus*, motivos por los cuales es considerado de gran interés industrial.

Cuadro 4: Producción de Biomasa Aérea (Kg.MS/Arb.) de las especies utilizadas.

ESPECIES	Prod. Biom. Aérea (Kg.MS/Arb.)
<i>E. sideroxylon</i>	195,70 a
<i>E. tereticornis</i>	227,26 a
<i>E. viminalis</i>	269,47 a
<i>E. globulus</i>	342,04 b
R ²	0,62
CV	24,35
p-valor	0,0073

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05).

Para contar con un patrón de referencia sobre la producción del género eucalipto bajo riego se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema. Entre los antecedentes encontrados,

Stape *et al.*, (2004) argumentaron que fue estudiada la ecología de la producción de un plantío clonal de 3,4 años de *Eucalyptus grandis x urophylla* en un terreno arenoso, durante dos años (lluvioso y otro normal) en el noreste del Brasil. La producción de madera fue medida en los tratamientos control y bajo riego. La disponibilidad hídrica limitó el crecimiento, y la biomasa leñosa del tallo que creció 50 Kg ms.arb⁻¹.año⁻¹ y 70 Kg ms.arb⁻¹.año⁻¹, para los tratamientos control y bajo riego respectivamente; datos semejantes a los encontrados en este ensayo.

Estos autores encontraron además que la productividad bajo riego fue 52% superior para el tratamiento bajo riego, respecto al seco. En el caso de nuestro ensayo esto no ocurrió, ya que como puede verse en el Cuadro 5 no se encontró respuesta al tipo de agua aplicada (Anexo II). Esto podría explicarse por la riqueza en minerales que el suelo aluvial donde se desarrolló el ensayo contiene. Es decir que en situaciones donde los requerimientos nutricionales se encuentren cubiertos por la aptitud de los suelos, la plantación responde en mayor medida al aporte de agua y no al tipo de agua utilizada.

Cuadro 5: Respuesta de la producción de Biomasa Aérea (Kg.MS/Arb.) al riego aplicado.

RIEGO	Prod. Biom. Aérea (Kg.MS/Arb.)
Residual	257,63 a
Perforación	259,60 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05).

Respuestas semejantes a las encontradas en nuestro ensayo fueron halladas por Rosales (1998) en Australia, en una experiencia de terreno, donde comprobó que *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna*, bajo condiciones ideales de sitio y precipitación, tenían un rendimiento similar a aquellas desarrolladas bajo riego con aguas servidas.

Esto no concuerda por lo sugerido por CSIRO (1995), que observó que las aguas de alcantarillado no depuradas e incluso los afluentes que reciben tratamiento, tienen un efecto altamente significativo sobre la producción de biomasa aérea de cultivos arbóreos cuando se los compara con aquellos regados con aguas de perforación. El autor menciona que en los suelos regados con aguas residuales existen también diferencias en la composición de nutrientes minerales que la planta necesita para su crecimiento (nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes). Los datos obtenidos en nuestro trabajo muestran que esto no ocurre cuando los suelos sobre los que se riega no son deficitarios en nutrientes. Los valores de nutrientes

reportados por Saroff, 2008² para el sitio del ensayo muestran que los niveles de fósforo son muy altos en estos suelos (68 ppm) y los de nitrógenos moderados (123 ppm), por lo que se percibe que ésta es la causa para no encontrar efecto de los tratamientos.

Binkley (1993) menciona que investigadores de la U. de Washington también han encontrado que las aguas tratadas estimulan el crecimiento en una forma mucho mejor que el agua de los ríos. Después de cuatro años, los ejemplares de *Populus sp.* sometidos a riego con aguas servidas tratadas promediaron 70 mg/ha de biomasa, comparados con 7 mg/ha utilizando el riego con agua de río. La biomasa de *Pseudotsuga menziesii*, en los mismos tratamientos, fue de 34 y 8 mg/ha, respectivamente.

Una vez finalizado el análisis de la biomasa aérea producida y el efecto del riego aplicado, se procedió a desglosar dicha producción en Tallo, Ramas y Hojas. Los valores obtenidos para el caso de tallo pueden observarse en el siguiente cuadro:

Cuadro 6: Producción de Biomasa de Tallo (Kg.MS/Arb.) de las especies utilizadas.

ESPECIES	BTa (Kg.MS/Arb.)
<i>E. sideroxylon</i>	79,12 a
<i>E. viminalis</i>	118,10 b
<i>E. globulus</i>	118,80 b
<i>E. tereticornis</i>	127,40 b
R ²	0,49
CV	27,1
p-valor	0,0614

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

Este cuadro muestra diferencias estadísticamente significativas entre las especies en cuanto a su biomasa de tallos (Anexo II). Se destacó *E. sideroxylon* por su menor producción, diferenciándose de *E. viminalis*, *E. globulus* y *E. tereticornis*, los cuales no manifestaron diferencias significativas entre sí, amén de que la producción de este último fue relativamente superior. Como este análisis fue independiente del tipo de agua aplicada, podemos decir que las diferencias encontradas respondieron a características propias de cada especie, siendo *E. sideroxylon* de bajo porte, lo que explica su baja biomasa de tallo.

² Comunicación Personal: Saroff, Cecilia Ana, 2010. Datos del proyecto: Utilización de efluentes domiciliarios mediante tecnología de filtro verde en una silvopastura con álamos y alfalfa.

Cuadro 7: Producción de Biomasa de Ramas (Kg.MS/Arb.) de las especies utilizadas.

ESPECIES	BRa (Kg.MS/Arb.)
<i>E. tereticornis</i>	38,52 a
<i>E. sideroxylon</i>	47,99 a
<i>E. viminalis</i>	69,49 b
<i>E. globulus</i>	83,48 b
R ²	0,7
CV	27,67
p-valor	0,0014

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

En el Cuadro 7 puede notarse que las especies de eucaliptos estudiadas manifestaron diferencias estadísticamente significativas entre sí en cuanto a la cantidad de biomasa de ramas producida (Anexo II). Las mayores medias de producción fueron para *E. globulus* y *E. viminalis* respectivamente. Ambos poseen elevado número de ramas y de gran longitud. Por otra parte, *E. tereticornis* arrojó los valores más bajos por su alta capacidad de desrame sin previo aviso, y no se diferenció estadísticamente de *E. sideroxylon* ya que este último, como sabemos, es de talla pequeña.

Apoya lo antedicho el ensayo de Myers (1994), citado por Rosales (1998), cuyos inconvenientes consistieron en la mayor susceptibilidad de *Pinus radiata* a la caída por efecto del viento y deformaciones de fuste en *Eucaliptus grandis*, a consecuencia de fracturas por el viento. Al existir exceso de riego en la plantación, los árboles se tornaron más propensos al daño que aquellos sub-regados. Esto sugiere que el sub-riego es una estrategia de manejo preferible desde el punto de vista de la calidad y estabilidad de los árboles.

Cuadro 8: Producción de Biomasa de Hojas (Kg.MS/Arb) de las especies utilizadas.

ESPECIES	BHo (Kg.MS/Arb.)
<i>E. tereticornis</i>	61,34 a
<i>E. sideroxylon</i>	68,59 a
<i>E. viminalis</i>	81,87 a
<i>E. globulus</i>	139,76 b
R ²	0,77
CV	26,76
p-valor	0,0002

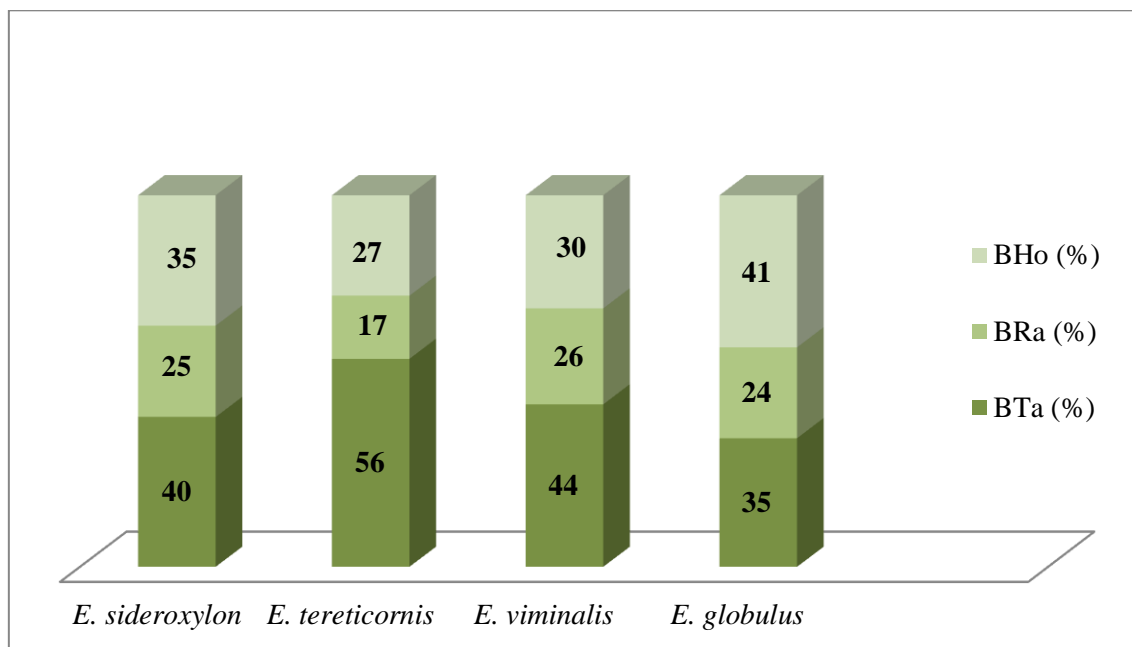
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

En el Cuadro 8 podemos observar que existieron diferencias estadísticas significativas entre las especies. Si retomamos la tendencia resultante en el cuadro anterior, vemos que el orden de producción de las especies en este caso es la misma. Por lo cual decimos que *E. globulus* fue el ejemplar con mayor biomasa de hojas, diferenciándose del resto, no solamente por su mayor número de ramas sino también porque sus hojas son más grandes. Motivo por el cual es uno de los más utilizados para la extracción de aceites esenciales, brindando altos rendimientos. Las tres especies restantes no demostraron diferencias estadísticas entre sí; y los valores más bajos expresados se deben a que *E. tereticornis* es propenso a desramas con la consecuente pérdida de hojas y tanto *E. sideroxylon* como *E. viminalis* poseen hojas de menor tamaño (Anexo II).

En términos generales podríamos afirmar que la producción de biomasa de hojas sin restricciones hídricas y en condiciones ideales de sitio, como sucedió en nuestro caso, depende en mayor medida de las características de las especies, minimizando la diferencia de cualquier tratamiento.

El porcentaje medio de tallo, ramas y hojas que componen la biomasa final de cada especie analizada se puede observar en la Fig. 10.

Figura 10: Proporción media de tallo, ramas y hojas de las especies utilizadas (%).



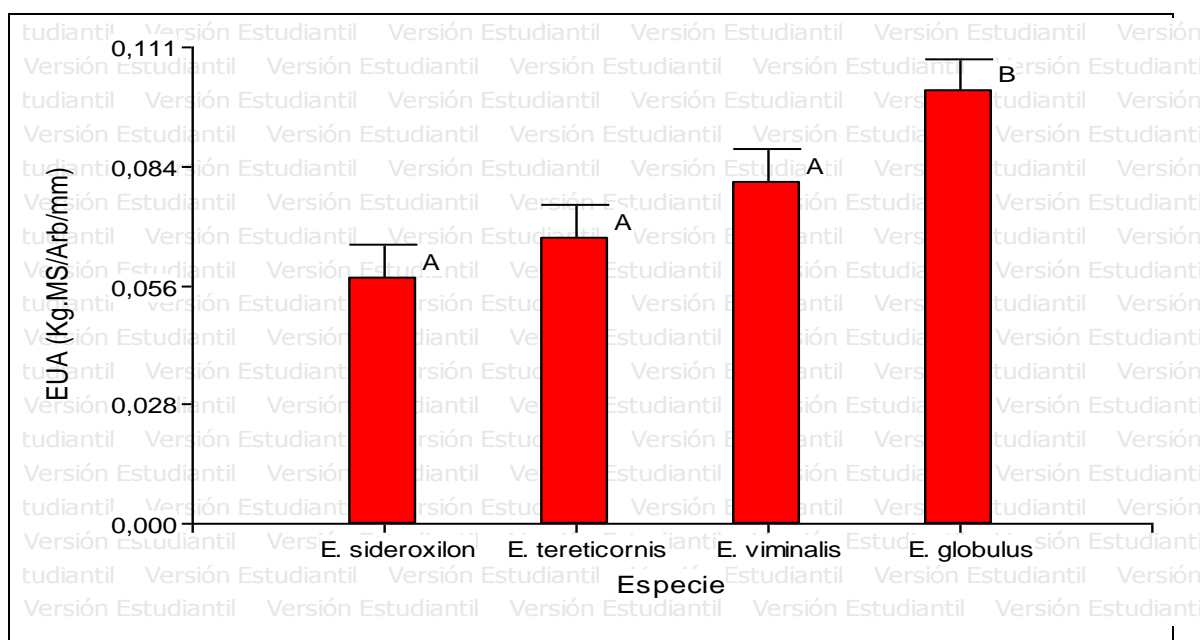
Tomando a *E. globulus* como ejemplo, observamos que el 35 % de su biomasa total corresponde a Tallo, un 24 % corresponde a Ramas y el 41 % restante se refiere a Hojas.

Determinación de la eficiencia en el uso del agua

En la segunda parte de la hipótesis se planteó que las especies de eucaliptos se diferenciarían entre sí por su eficiencia en el uso del agua, y que a su vez dicha eficiencia sería significativamente mayor en las especies bajo tratamiento con aguas residuales urbanas.

Habiendo determinado la producción de biomasa aérea de los eucaliptos y conociendo la cantidad de agua consumida por los mismos se estimó la eficiencia en el uso del agua. Los resultados obtenidos se observan en la siguiente Fig.:

Figura 11: Eficiencia en el Uso de Agua (EUA) de las especies utilizadas.



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

Dado que en todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de agua durante el periodo de investigación, era de esperar que aquellas especies cuya producción de biomasa fue mayor lograran valores de eficiencia más elevados, lo que realmente ocurrió. Como vemos en el gráfico, las diferencias encontradas entre especies son estadísticamente significativas (Anexo II), independientemente del tipo de riego aplicado. Observamos que *E. globulus* registró la mayor eficiencia por su alta producción de materia seca, seguido en orden decreciente por *E. viminalis*, *E. tereticornis* y *E. sideroxylon* respectivamente, respondiendo en forma directamente proporcional a la cantidad de biomasa producida.

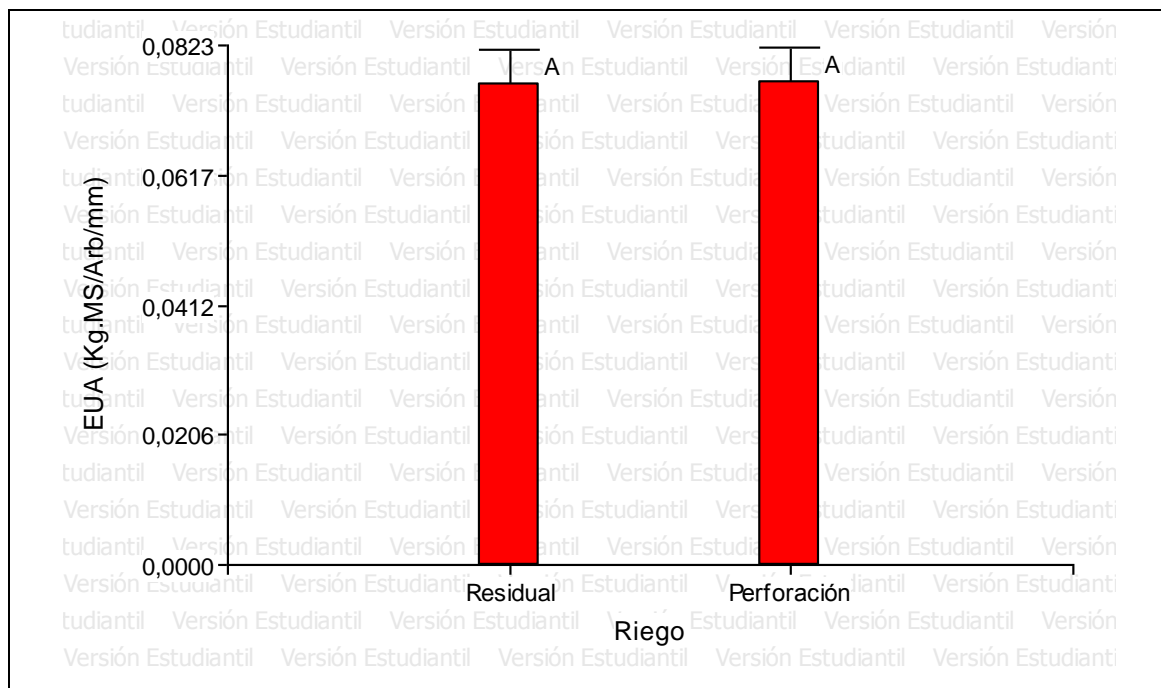
Además, tomando el caso particular de *E. globulus* como ejemplo, con una eficiencia de uso del agua de $0,1 \text{ Kg.MS.arb}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ podemos decir que por cada mm de agua consumido esta especie produjo 100 gr de MS.

Da Silva *et al.*, 2004 evaluaron en un invernadero las tasas de consumo y la eficiencia del uso del agua en plántulas de *Eucalyptus citriodora* y *E. grandis* cultivados en suelos con tres niveles de agua, asociada o no con *Brachiaria brizantha*. Un mayor contenido de agua en el suelo proporciona mayor índice de consumo de agua (ICA), lo que está directamente relacionado con una mayor acumulación de biomasa seca por eucaliptos y *B. brizantha*. La eficiencia del uso del agua de un plantín de eucalipto fue alta (282 g de agua/g de biomasa seca producida), similar a la observada en *B. brizantha* (265 g/ g de biomasa), ambas especies están dentro de la gama de plantas eficientes para el uso del agua, independientemente de contenido de agua del suelo.

Amesgaray (2012) expone que existe gran controversia sobre el impacto de las plantaciones de *Eucalyptus* al recurso hídrico. Hay quienes consideran que constituyen una amenaza al medio ambiente debido a su rápido crecimiento y gran tamaño, mientras que otros justifican que los *Eucalyptus* son muy eficientes en el consumo de agua, incluso mucho más que otros cultivos agrícolas. Si bien *Eucalyptus* consume grandes cantidades de agua, este consumo está asociado a una alta eficiencia de producción de biomasa. De allí la necesidad de evaluar la eficiencia del uso del agua más allá del consumo para poder realizar comparaciones consistentes entre especies productivas, ya sean forestales o cultivos agrícolas.

El efecto del riego aplicado sobre la EUA se demuestra en la siguiente Fig.:

Figura 12: Respuesta de la Eficiencia en el Uso de Agua al riego aplicado.



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

Observamos que no existieron evidencias estadísticamente significativas para decir que la eficiencia con la cual los eucaliptos utilizaron el agua se vio influenciada por el tipo de riego aplicado (Anexo II).

Stape *et al.*, (2004) mencionan en su trabajo que la eficiencia del uso del agua (producción de madera por mm de agua transpirada) en el tratamiento control registró un aumento de 0,018 Kg MS.Arb⁻¹.mm⁻¹ de tallo en el año normal y de 0,033 Kg MS.Arb⁻¹.mm⁻¹ de tallo en el año húmedo; mientras que cuando irrigó el aumento de la eficiencia del uso del agua en el año lluvioso fue de 0,039 Kg MS.Arb⁻¹.mm⁻¹ de tallo y de 0,032 Kg MS.Arb⁻¹.mm⁻¹ en el año normal. Dichos valores son semejantes a la eficiencia encontrada en este estudio, ya que los mismos corresponden a tallo solamente siendo éste el 35% de la biomasa total para *E. globulus* por ejemplo, de manera que si sumamos el resto de hojas y ramas nos acercaríamos a una eficiencia de 0,11 Kg MS.Arb⁻¹.mm⁻¹.

Jerarquización del comportamiento de las especies según la producción de biomasa y la eficiencia en el uso del agua

Luego de haber analizado todos los resultados y a pesar de que los riegos no manifestaron diferencias se logró jerarquizar el comportamiento de las especies en cuanto a la cantidad de biomasa aérea producida y la eficiencia con la que utilizaron el agua disponible, resultando en orden decreciente de la siguiente manera: *E. globulus*>*E. viminalis*=*E. tereticornis*=*E. sideroxylon*.

CONCLUSIONES

- ✓ Existe un efecto significativo de las especies en cuanto a la producción de biomasa aérea total (Kg.MS/Arb), es decir, cada una influye de manera diferente resultando en un proceso diverso entre las especies.
- ✓ Los efectos del riego con aguas residuales tratadas no son estadísticamente significativos en cuanto a la producción de biomasa aérea.
- ✓ Con respecto a la producción de Biomasa de Tallo, Ramas y Hojas se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre especies, sin embargo no existen evidencias significativas para decir que dichas biomosas fueron mayores bajo riego residual.
- ✓ Las diferencias encontradas para eficiencia de uso del agua resultaron estadísticamente significativas entre las especies evaluadas; aunque los análisis de varianza no arrojaron diferencias estadísticamente significativas para ambos tipos de riego aplicados.
- ✓ Las aguas residuales urbanas poseen un interesante potencial para el riego de plantas y como protectoras del agua potable, ya que permiten producir la misma cantidad de biomasa que el agua que podría destinarse exclusivamente al consumo humano y animal.
- ✓ *E. globulus*, con gran capacidad de adaptación y producción se posiciona como una de las especies con mayor interés para su aprovechamiento industrial, tanto para la obtención de biomasa como para la extracción de aceites esenciales.
- ✓ Debido al incremento continuo en la superficie de las áreas verdes en Argentina, ligadas a plantas de tratamiento con aguas residuales urbanas, los resultados de este trabajo muestran que los eucaliptos por su alta producción de biomasa y la eficiencia en que utilizan el agua podrían ser los componentes arbóreos que estos filtros verdes requieren.

BIBLIOGRAFIA

ADESUR. 1999. Plan director. *Caracterización de la región de Córdoba*. UNRC.

AMESGARAY, M. C. 2012. *La ecofisiología de Eucalyptus spp., su eficiencia en el consumo de agua y el efecto sobre el recurso hídrico [en línea]*. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. En: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/ecofisiologia-eucalyptus-spp-eficiencia.pdf>. Consultado: 10-11-2012.

ARBOLEDA, T.S. y N. MALAJCZUK. 1985. *Acumulación de biomasa por árboles y arbustos en una serie de eucaliptos diversicolor F. Muell.* Soportes. Ecología Forestal y Dirección 11:59-74.

ARMITAGE, F.B. 1985. *Silvicultura irrigada en tierras áridas y semiáridas: una síntesis*. Ontario, CANADA, CIID.

BARTONE, C.R. y S. ARLOSOROFF. 1987. *Reutilización de efluente de charca en países en vía de desarrollo*. Watersci. Technol. 19(12): 289-297 p.

BINKLEY, D. 1993. *Nutrición forestal*. Ed. Limusa. México. 340 p.

BRATZ y KANDIAH. 2004. *Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques*. En: www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/utilizacion.pdf. Consultado: 24-08-2012.

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. 78p.

CRESPI, R. 2006. *“Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas”*. I Congreso Internacional de Gestión y tratamiento del agua. PRODTI-UNC. Córdoba. Argentina

CRESPI, R.; L. GROSSO; O. PLEVICH; A. THUAR; C. FRIGERIO; C. RODRIGUEZ; S. BETTERA; A. RICAGNI; M. BOSSOLASCO y J. BOEHLER. 2006. *“Tratamiento y reutilización de aguas residuales urbanas”*. 15 Congreso Arg. de Saneamiento y Medio Ambiente. AIDIS Argentina. Buenos Aires. Argentina.

CSIRO, 1995. *Effluent irrigated plantations: design and management*. Documento Técnico N°2. Camberra, CSIRO.

CSSRI. 1989. *Aguas residuales: utilización por silvicultura*. Karnal, India, Instituto de investigación de Salinidad de Suelo Central.

DARDANELLI, J., D. COLLINO, M. OTEGUI y V. SADRAS 2003. *Bases Funcionales para el manejo del agua en los sistemas de Producción de los Cultivos de grano*. Producción de granos. Editorial Facultad de Agronomía. UBA.

DA SILVA, W., T. SEDIYAMA, A. A. DA SILVA e A. A. CARDOZO 2004. *Índice de consumo e eficiencia do uso da agua em eucalipto, submetido a diferentes teores de agua em convivência com Braquiária*. Revista FLORESTA 34 (3):325-335.

DIAZ, R.A. y M.G. REBORY. 2003. *Interceptación de la lluvia en un monte de Eucaliptus dunnii*. En: www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0002-B2.HTM. Consultado: 10-11-2012.

EFAP. 1994. *El desafío para desarrollo*. Ministerio de Desarrollo de Recursos naturales y Protección de medio ambiente. En: www.biotech.bioetica.org/clase3-13.htm. Consultado: 17-09-2012.

EL-LAKANY, M.H. 1995. *Urban and peri-urban forestry in the Near East region a case study of Cairo*. Documento preparado para el Departamento de Montes de la FAO. En: www.fao.org/docrep/w0312S/w0312s09.htm. Consultado: 17-09-2012.

EVANS, J. 1992. *Silvicultura de plantación en los trópicos*. Oxford. En: www.biotech.bioetica.org/clase3-13.htm. Consultado: 17-09-2012.

FAO. 1990. *Evaluación de recursos forestales: países tropicales*. M 30. En: FAO el papel (periódico) 112 de silvicultura. Roma, Italia: FAO, ISBN 92-5-103390-0.

FORREST, W.C. y J.D. OVINGTON. 1970. *La materia orgánica cambia según la edad de Pinus radiata en una serie de plantaciones*. Diario de Ecología Aplicada 7:177-80.

GEBREKIDAN, T. 2003. *Extensión de plantación de bosques*. Addis-Abeba: Ministerio de agricultura, Protección de Recursos naturales y Desarrollo (MNRPD). En: www.biotech.bioetica.org/clase3-13.htm. Consultado: 17-09-2012.

KONDO, J., T. WATANABE, M. NAKAZONO y M. ISHOO. 1992. *Estimation of forest rainfall interception*. Tenki 39:159-167 p.

LEITE, F.P., N. F. de BARROS, L. M. A. SANS y A. S. FABRES. 1997. *Soil water regime under a stand of eucalypts, natural forest and pasture*. Guanhaes-MG-Brazil. Revista Arvore 21(4):455-462 p.

LI, C. 1969. *Introducción a la estadística experimental*. Editorial Omega, Barcelona, España. 496 p.

MULUGETA, Z., M. OLSSON y T. VERWIJST. 2009. *Biomasa y bioenergía 33*. Universidad sueca de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ecología de Producción de Cosecha, apartado postal. Embale 7043, 75007 Uppsala, Suecia. 421-428 p.

ROSALES, M. 1998. *Riego con aguas servidas en plantaciones de especies forestales de rápido crecimiento*. Memoria de Título. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 57 p.

SCHEFLER, W. 1981. *Bioestadística*. Fondo Educativo Interamericano. México. 267 p.

SHENDE, G.B., C. CHAKRABARTI, R. P. RAÍ, V. J. NASHIKKAR, D. G. KSHIRSAGAR, P. B. DESHBHRATAR y A. S. JAWARKAR. 1985. *Treatment and use of sewage effluent for irrigation*. Status of waste water treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience and research and development needs. En: M.B. Pescod y A. Arar, eds. Actas del Seminario regional sobre el tratamiento y la utilización de aguas residuales para el riego, Nicosia, Chipre, 7-9 de octubre de 1985. Londres, Butterworths.

SIÑERIZ, F., C. BOLOGNA y N. REARTES 1999. *“Tratamiento de Efluentes y Protección del Medio Ambiente”*. Fac. Cs. Exactas. UNRC. 135 p.

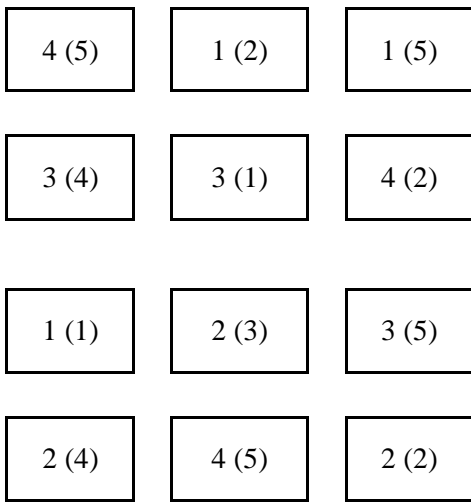
SOKAL, R. 1979. *Biometría: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume Ediciones. Madrid, España. 832 p.

STAPE, J.L., D. BINKLEY, M. G. RYAN y A. DO NASCIMENTO GOMES. 2004. *Water use, water limitation, and water use efficiency in a Eucalyptus plantation*. Revista BOSQUE 25(2):35-41.

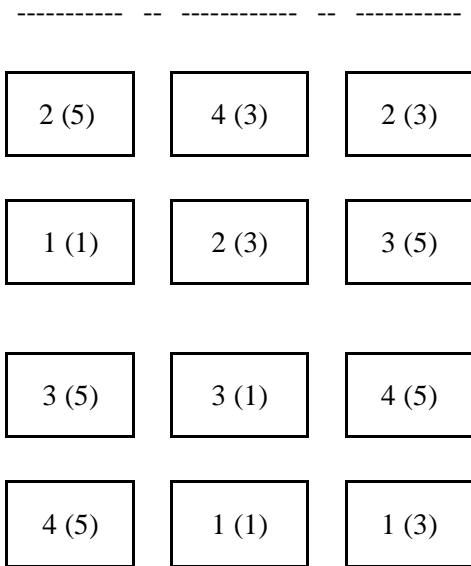
TREZZA, R. 2012. *Manual de uso de CROPWAT para Windows*. En: <http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/cropwat.stm>. Consultado: 15-11-2012.

ANEXO I

Plano de parcelas de Eucaliptos



Agua de perforación



Agua residual

I II III

BLOQUES

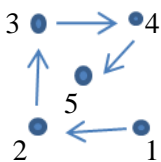


N

Especies:

- 1- E. viminalis
- 2- E. globulus
- 3- E. tereticornis
- 4- E. sideroxylon

Distribución:



(n)= Árbol tipo

ANEXO II

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Prod. Biom. Aérea (Kg.MS/A..)	24	0,62	0,37	24,35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	88941,66	9	9882,41	2,49	0,0610
Bloque	838,35	2	419,18	0,11	0,9004
Especie	72111,24	3	24037,08	6,06	0,0073
Riego	23,23	1	23,23	0,01	0,9401
Especie*Riego	15968,85	3	5322,95	1,34	0,3008
Error	55530,93	14	3966,49		
Total	144472,59	23			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=80,4514

Error: 3966,4949 gl: 14

Especie	Medias	n	E.E.
Sideroxyton	195,70	6	25,71 A
Tereticornis	227,26	6	25,71 A
Viminalis	269,47	6	25,71 A
Globulus	342,04	6	25,71 B

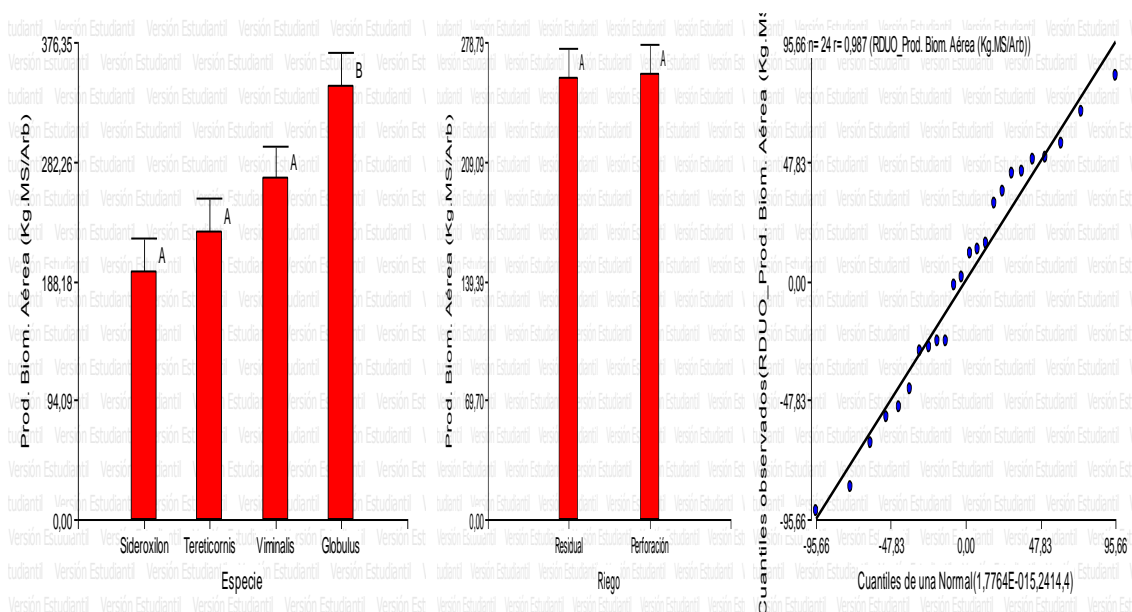
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=53,3224

Error: 3966,4949 gl: 14

Riego	Medias	n	E.E.
Residual	257,63	12	18,18 A
Perforación	259,60	12	18,18 A

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



Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BTa (Kg.MS/Arb)	24	0,49	0,16	27,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12023,12	9	1335,90	1,48	0,2464
Bloque	1497,26	2	748,63	0,83	0,4567
Especie	8378,24	3	2792,75	3,09	0,0614
Riego	14,11	1	14,11	0,02	0,9023
Especie*Riego	2133,51	3	711,17	0,79	0,5205
Error	12638,11	14	902,72		
Total	24661,23	23			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=38,3802

Error: 902,7224 gl: 14

Especie	Medias	n	E.E.
Sideroxylon	79,12	6	12,27 A
Viminalis	118,10	6	12,27 B
Globulus	118,80	6	12,27 B
Tereticornis	127,40	6	12,27 B

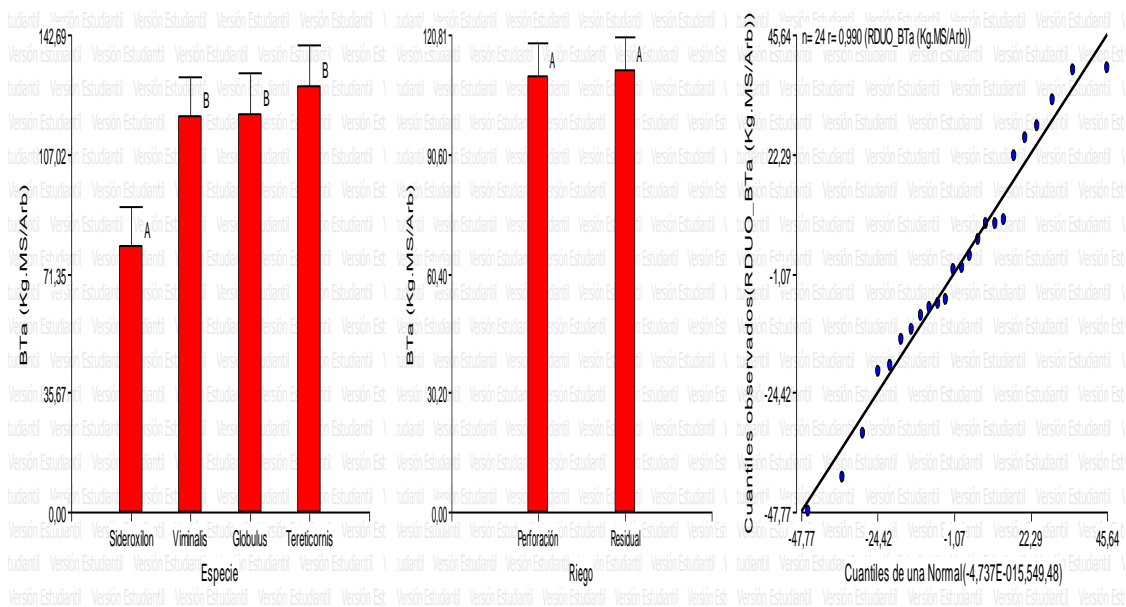
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=25,4380

Error: 902,7224 gl: 14

Riego	Medias	n	E.E.
Perforación	110,09	12	8,67 A
Residual	111,62	12	8,67 A

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



Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BRa (Kg.MS/Arb)	24	0,70	0,50	27,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8834,95	9	981,66	3,58	0,0164
Bloque	217,02	2	108,51	0,40	0,6808
Especie	7481,50	3	2493,83	9,08	0,0014
Riego	2,23	1	2,23	0,01	0,9294
Especie*Riego	1134,21	3	378,07	1,38	0,2906
Error	3843,24	14	274,52		
Total	12678,19	23			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=21,1648

Error: 274,5169 gl: 14

Especie	Medias	n	E.E.
Tereticornis	38,52	6	6,76 A
Sideroxylon	47,99	6	6,76 A
Viminalis	69,49	6	6,76 B
Globulus	83,48	6	6,76 B

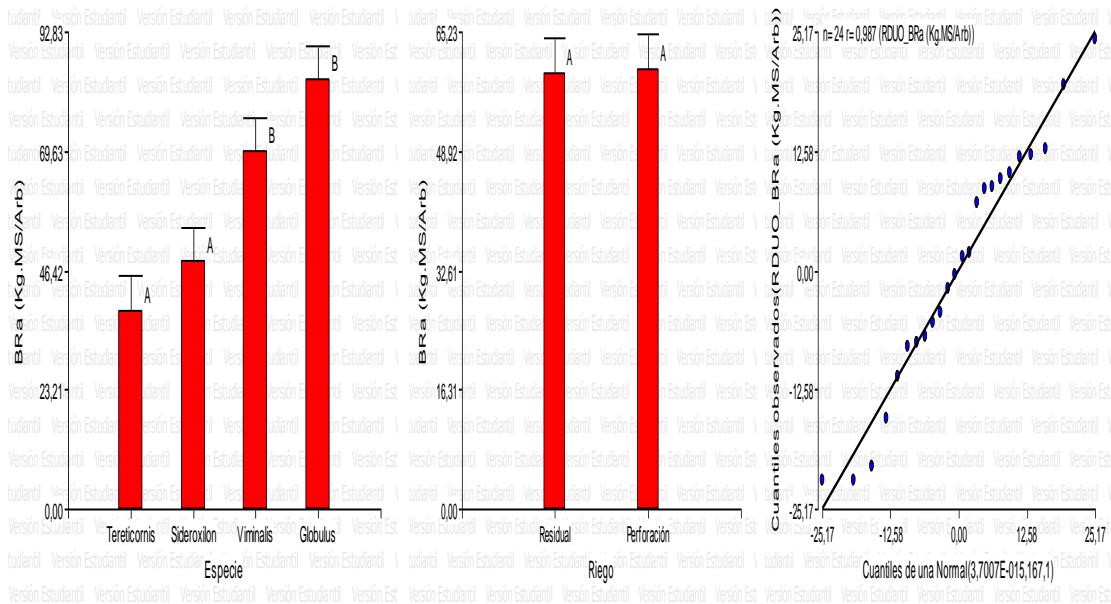
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=14,0278

Error: 274,5169 gl: 14

Riego	Medias	n	E.E.
Residual	59,57	12	4,78 A
Perforación	60,18	12	4,78 A

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



Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BHo (Kg.MS/Arb)	24	0,77	0,62	26,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26142,15	9	2904,68	5,25	0,0030
Bloque	989,23	2	494,61	0,89	0,4311
Especie	22826,52	3	7608,84	13,75	0,0002
Riego	50,08	1	50,08	0,09	0,7679
Especie*Riego	2276,32	3	758,77	1,37	0,2922
Error	7745,43	14	553,25		
Total	33887,58	23			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=30,0461

Error: 553,2451 gl: 14

Especie	Medias	n	E.E.	
Tereticornis	61,34	6	9,60	A
Sideroxyylon	68,59	6	9,60	A
Viminalis	81,87	6	9,60	A
Globulus	139,76	6	9,60	B

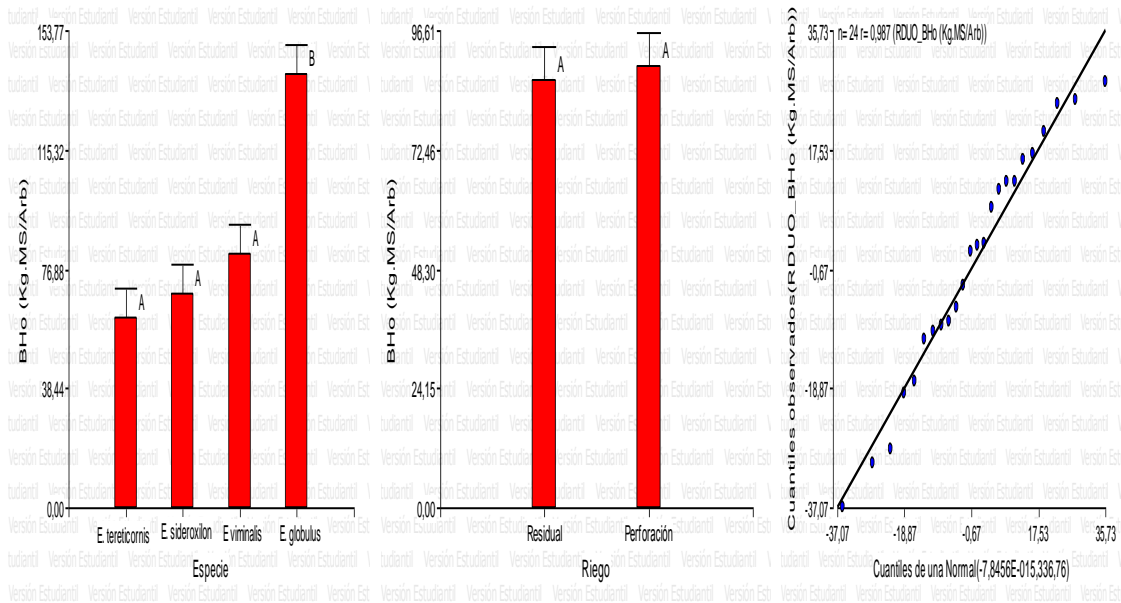
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=19,9143

Error: 553,2451 gl: 14

Riego	Medias	n	E.E.	
Residual	86,45	12	6,79	A
Perforación	89,34	12	6,79	A

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



Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EUA (Kg.MS/Arb/mm)	24	0,51	0,34	25,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	6	1,1E-03	2,95	0,0368
Bloque	7,7E-05	2	3,8E-05	0,11	0,9008
Especie	0,01	3	2,1E-03	5,83	0,0063
Riego	1,5E-06	1	1,5E-06	4,1E-03	0,9497
Error	0,01	17	3,7E-04		
Total	0,01	23			

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0244

Error: 0,0004 gl: 17

Especie	Medias	n	E.E.	
Sideroxyylon	0,06	6	0,01	A
Tereticornis	0,07	6	0,01	A
Viminalis	0,08	6	0,01	A
Globulus	0,10	6	0,01	B

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

Test:DGC Alfa=0,05 PCALT=0,0162

Error: 0,0004 gl: 17

Riego	Medias	n	E.E.	
Residual	0,08	12	0,01	A
Perforación	0,08	12	0,01	A

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

