

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke

**ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE
PALMETAS DE CÉSPED UTILIZANDO
MEZCLA DE BIOSÓLIDO Y SUELO**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil**

ANDREA PAZ MUÑOZ GUTIÉRREZ

Concepción, Marzo 2015.

Dedicatoria

*A mis padres y hermanos que me han apoyado de
forma incondicional.*

Agradecimientos

Primero que todo dar gracias a Dios por permitirme llegar hasta esta instancia, por ser mi guía frente a todo y no dejarme a la deriva nunca.

A mi madre Luisa Gutiérrez V. por sus sabias palabras, su compañía en las noches de estudio, alimentarme cuando no bajaba a comer y por su aliento en esta última etapa. A mi padre Román Muñoz M., por su paciencia, su cariño y por acompañarme siempre, sin él no hubiera sido posible realizar mi diseño en terreno para esta investigación. A mis hermanos que me ayudaron con el conocimiento estadístico y quienes me alentaron a comenzar el informe: Joel Muñoz G. y Francisco Muñoz G. A mi hermana Carolina por su ayuda siempre que la he necesitado, junto a mi cuñadito favorito Mario Delgado. A mi alita mi otra hermana y amiga, con sus buenas vibras, sabias palabras y siempre positiva. A mis amigos y a todos los que aportaron con un granito de arena para lograr la meta.

No puedo dejar de agradecer a don Darío, al profesor de química Christian Nuñez y por supuesto a mi profesor guía Álvaro Suazo S. que me apoyó siempre.

Solo decir Gracias!

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1.1. Justificación | 4 |
| 1.2. Objetivos de la investigación..... | 5 |
| 1.2.1. Objetivo General: | 5 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos: | 5 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 6 |
| 2.1. Lugar y tratamientos | 6 |
| 2.2. Parámetros de control | 7 |
| 2.2.2. Dimensiones | 7 |
| 2.2.3. Cantidad de agua | 7 |
| 2.2.4. Tipo y cantidad de semillas | 7 |
| 2.2.5. Suelo | 8 |
| 2.2.6. Biosólidos | 8 |
| 2.3. Confección de palmetas | 8 |
| 2.4. Otras consideraciones | 9 |
| 2.5. Variables a medir | 9 |
| 2.5.1. Altura del césped | 10 |
| 2.5.2. pH de cada tratamiento | 10 |
| 2.5.3. Peso de las palmetas y traslado..... | 11 |
| 2.5.4. Registro fotográfico..... | 11 |
| 2.6. Instalación de las palmetas..... | 11 |
| 2.7. Métodos estadísticos | 11 |
| 2.7.1. Estudio Exploratorio..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.7.2. Diseño de Experimento Completamente Aleatorio (DCA)..... | 12 |
| 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS | 13 |
| 3.1. Evolución de la altura del césped | 13 |
| 3.2. pH de cada tratamiento | 20 |
| 3.3. Peso de las palmetas y traslado..... | 21 |
| 3.4. Registro fotográfico | 21 |
| 3.5. Análisis inferencial de la altura del césped..... | 23 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 25 |
| REFERENCIAS | 27 |
| ANEXOS | 30 |
| ANEXO A: Cálculos y mediciones de altura del césped y biomasa | 31 |
| ANEXO B: Variabilidad de las alturas del césped de las réplicas de los tratamientos | 42 |
| ANEXO C: Métodos estadísticos..... | 46 |
| ANEXO D: Fotografías de las palmetas..... | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Disposición aleatoria de las parcelas..... | 6 |
| Figura 2. (A) Palmetas antes del primer corte. (B) Palmetas después del primer corte | 13 |
| Figura 3. Altura promedio en el tiempo para cada tratamiento antes del primer corte | 14 |
| Figura 4. Variabilidad de altura entre las réplicas del T25 antes del primer corte | 15 |
| Figura 5. Variabilidad de altura entre las réplicas del T75 antes del primer corte | 15 |
| Figura 6. Altura promedio en el tiempo para T75, T50 y T25 entre el primer y segundo corte ... | 16 |
| Figura 7. Altura promedio en el tiempo para T75, T50 y T25 entre el segundo y tercer corte | 17 |
| Figura 8. Variabilidad de altura entre las réplicas del T25, entre el segundo y tercer corte | 18 |
| Figura 9. Variabilidad de altura entre las réplicas del T50, entre el segundo y tercer corte. | 18 |
| Figura 10. Altura promedio del césped durante todo el tiempo de investigación para T100..... | 19 |
| Figura 11. Altura promedio del césped durante todo el tiempo de investigación para T0..... | 20 |
| Figura 12. Primer día de las parcelas sembradas..... | 22 |
| Figura 13. Crecimiento del césped a los 12 días desde la siembra..... | 22 |
| Figura 14. ln(Altura) promedio de las plantas para cada tratamiento | 24 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Peso húmedo y seco de la mezcla biosólido y suelo | 9 |
| Tabla 2. Valores de pH obtenidos en laboratorio | 21 |
| Tabla 3. Pesos de las palmetas enrolladas para su traslado | 21 |
| Tabla 4. ANOVA del Modelo Lineal de la altura del césped..... | 23 |

ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE PALMETAS DE CÉSPED UTILIZANDO MEZCLA DE BIOSÓLIDO Y SUELO

Autora: Andrea Paz Muñoz Gutiérrez

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: apmunoz@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza un uso para el biosólido proveniente de las plantas de tratamiento de agua residual. El propósito es evaluar la factibilidad de realizar palmetas de césped utilizando biosólido. Para ello se realiza un diseño de experimento completamente aleatorio, con cinco tratamientos y tres repeticiones dispuestos en parcelas de 1 x 0,5 m con 5 cm de espesor. Los tratamientos corresponden a una mezcla de biosólido y suelo en las proporciones: 100% biosólido, 75%, 50%, 25% y sin biosólido. El tipo de semilla utilizada es mezcla estadio. Las variables medidas fueron: altura del césped, pH de la mezcla biosólido-suelo, y peso de la palmeta enrollada. Los resultados evidenciaron que el tratamiento con 25% de biosólido presentó un mayor crecimiento y una mejor respuesta frente a la utilización de biosólido en relación a los demás tratamientos. Los tratamientos sólo con biosólido o suelo presentaron un menor crecimiento.

Palabras Claves: Biosólido, palmetas, tratamientos.

5031 Palabras Texto + 18 Figuras/Tablas*250+0 Figuras/Tablas*500=9531 total de palabras.

ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF GRASS CARPET BY USING MIXTURE OF BIOSOLIDS AND SOIL

Author: Andrea Paz Muñoz Gutiérrez

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

E-mail: apmunoz@alumnos.ubiobio.cl

Advisor: Álvaro Suazo Schwencke

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

E-mail: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

In the present study work, is analyzed the use of biosolids from a treatment wastewater plant. The purpose is to evaluate the feasibility of making a grass carpet made of biosolids and soil. For that, it was made an experimental design which completely random, with five treatments and three repetitions arranged in plots of 1 x 0,5 meters with 5 cm thick. The treatments correspond to a mixture of biosolids and soil, in proportions such as: 100% biosolids, 75%, 50%, 25% and no biosolids. The type of seed used is stadium mix. The variables measured were: height of the grass, pH of the mixture biosolids y soil and the weight of the carpet. The results showed that the treatment with 25% of biosolids had a higher growth and a better response to the use of biosolids than the other treatments. The treatments with only biosolids and only soil showed a lower growth.

Keywords: Biosolids, carpet, treatments.

1. INTRODUCCIÓN

Los biosólidos son definidos como residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas, ricos en materia orgánica, bacterias, minerales y químicos, algunos nocivos como el arsénico y el mercurio, y otros muy beneficiosos como el nitrógeno y el fósforo, (Ramila y Rojas, 2008).

Estos materiales deben ser caracterizados para su uso en actividades agrícolas y no agrícolas, como recuperación de suelos, actividades forestales y cobertura de rellenos sanitarios (Dágner, 2003).

Según lo indicado en el Decreto supremo N°4 de Chile, “La operación de plantas de tratamiento de aguas servidas genera gran cantidad de lodos, que requieren de un manejo adecuado para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente”.

Por lo tanto, considerando la gran cantidad de lodos que se genera en las plantas de tratamiento de agua residual y el uso de éstos en actividades agrícolas y no agrícolas, es necesario crear estrategias que permitan la reutilización del biosólido con la finalidad de disminuirlo y contribuir a prevenir impactos negativos.

En Chile se ha estado utilizando el biosólido en plantaciones forestales con la finalidad de aprovechar sus nutrientes y disminuir el impacto causado al medio ambiente en el uso de vertederos (Toro, 2005). Este uso se encuentra regulado por el “Reglamento sobre manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas” (Conama, 2001).

Se han realizado estudios relacionados con la utilización del biosólido enfocados en la rehabilitación del suelo, ya que por su alto contenido de materia orgánica, puede mejorar las condiciones físicas de estos, como se señala en el Decreto N°4 (2009). Un ejemplo es el estudio del “Uso de biosólidos en la rehabilitación de área en el relleno sanitario Santiago poniente-Chile”, realizado por Brutti y Vallejos (2012). Otros como Castillo (2009) han investigado la utilización del biosólido para el desarrollo vegetal. Meza (2011) ha usado biosólido como compost para el desarrollo vegetal.

Además, en otros países como México se realizó el estudio “Manejo y uso de biosólidos en suelos agrícolas”, cuyos resultados indican que es posible utilizar biosólidos en suelos agrícolas (Robledo, 2012).

En el Reino Unido se realizaron experimentos por cinco años aplicando biosólido en cultivos como el trigo, papa, lechuga, remolacha y ballico perenne, en donde se demostró que los contenidos de metales eran menores a los máximos permitidos por la comunidad Europea (Robledo, 2012).

En Colombia se han cubierto más de 20 Ha con mezclas de biosólido-suelo para cobertura final, se recuperaron más de 22 Ha de suelos degradados, e investigaciones realizadas muestran un alto potencial para el aprovechamiento de biosólidos en actividades agrícolas, forestales, recuperación de suelos, adecuación de zonas verdes, bioremediación de suelos contaminados, entre otras (Déguer, 2003).

1.1. Justificación

Considerando los antecedentes mencionados, esta investigación busca contribuir en la utilización del biosólido generado en las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) para transformarlos en un componente sustentable, es por ello que se propone desarrollar palmetas de césped con biosólidos y de esta manera evitar la acumulación en los vertederos y aportar con un uso beneficioso tanto para las personas como el medio ambiente.

Para la ejecución de esta investigación se realizó un estudio experimental, considerando suelo orgánico y diferentes cantidades de biosólido con la finalidad de encontrar el porcentaje óptimo. El cual permita un mayor crecimiento del césped y un buen desarrollo de las palmetas. Además se consideró que las dimensiones permitieran enrollar las palmetas de césped para ser transportadas.

El estudio propone una estrategia para la utilización del biosólido tanto doméstica como industrial de fácil aplicación que puede llegar a comercializarse.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General:

- Desarrollar palmetas de césped utilizando mezcla de biosólido y suelo con la finalidad de ser transportadas en forma de rollo.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Identificar los parámetros de control para el desarrollo de las palmetas de césped.
- Construir palmetas de césped con distintos porcentajes de biosólido y suelo.
- Comparar los distintos tratamientos a través del tiempo utilizando métodos estadísticos.
- Verificar que las palmetas de césped soportan la forma de rollo para ser transportadas.

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el procedimiento realizado para la construcción de las palmetas de césped, también se especifican las variables a medir con el fin de lograr los objetivos de la investigación. En el estudio se utilizó diferentes cantidades de biosólido de la planta de tratamiento de agua residual de Hualpén, el cual fue mezclado con suelo orgánico y semilla de césped conocida como mezcla estadio.

2.1. Lugar y tratamientos

El estudio fue realizado en la Universidad del Bío-Bío sede Concepción, situando el diseño de experimento cerca del “Invernadero”. El lugar físico escogido considera controlar las condiciones climáticas de manera homogénea para evitar efectos externos que puedan alterar el experimento. Es necesario tener controlados todos aquellos factores que están inmersos en la investigación (Montgomery, 2004).

Este diseño de experimento considera 5 tratamientos (T) con 3 repeticiones (R) (Ramírez, 2006), es decir, 15 parcelas de 1 x 0,5 m con 5 cm de espesor, en las cuales se ubican las palmetas con su tratamiento de forma aleatoria (ver Figura 1).

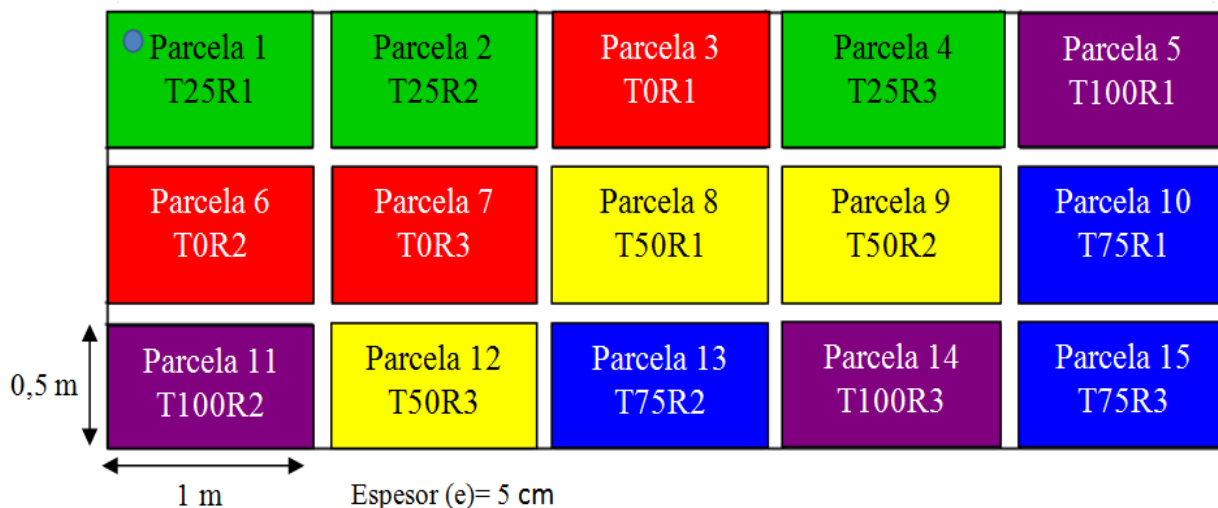


Figura 1. Disposición aleatoria de las parcelas

Los tratamientos consideran un 100% de mezcla de la cual se especifican las proporciones de biosólido y lo faltante corresponde a suelo orgánico. Luego T100: 100% biosólido (21kg en 0,5m²), T75: 75% biosólido (15,75kg en 0,5m²), T50: 50% biosólido (10,5kg en 0,5m²), T25: 25% biosólido (5,25kg en 0,5m²), y T0: 0% biosólido (100% suelo, corresponde a 22,5kg en 0,5m²). Lo anterior considerado en peso húmedo.

2.2. Parámetros de control

En la investigación se establecieron parámetros a controlar con la finalidad de resguardar la homogeneidad en las palmetas.

2.2.1. Ubicación de las palmetas

El lugar seleccionado consideró la misma cantidad de sol y sombra para cada palmeta.

2.2.2. Dimensiones

Las dimensiones establecidas para las parcelas fueron de 1 m de largo, por 0,5 m de ancho y 5 cm espesor, medidas que adoptaron las palmetas.

2.2.3. Cantidad de agua

La cantidad de agua fue variando, el primer mes se regaron las palmetas en la mañana y en la tarde, considerando 2400 ml y 1600 ml respectivamente. A contar del segundo mes, el regado disminuyó a una vez al día con 3200 ml, considerando que se realizó el primer corte. Excepto los días en que llovió, pues no se regaron.

2.2.4. Tipo y cantidad de semillas

La semilla utilizada fue mezcla estadio, la cual considera 4 tipos de pastos: Lolium, Festuca, Poa y Bermuda. Esta semilla es de alto tráfico y resistente a cualquier clima.

Se consideró como referencia la especificación que trae la semilla cuya dosis de siembra es 1 kg para 25 m², por lo tanto a cada palmeta le corresponden 20g, pero como se buscó cubrir bien la superficie se optó por utilizar 50g.

2.2.5. Suelo

El suelo utilizado es suelo orgánico, o también conocido como tierra. Este se encontraba en las cercanías de la Universidad del Bío-Bío, sede Concepción, el cual presentaba un 92% de humedad al momento de la siembra, un pH igual a 7,1 y un 23,23% de Materia Orgánica (M.O) y 76,77% Mineral.

2.2.6. Biosólidos

Los biosólidos poseen un alto contenido de compuestos orgánicos, carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, además de otros elementos metálicos y patógenos, siendo el nitrógeno el elemento con capacidad de fertilizante (Castillo, 2009).

Se utilizó biosólido de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Hualpén, Concepción, el cual presentaban un 85,4% de humedad (López y Nelson, 2002) y un pH de 7,2. Este cumple satisfactoriamente la normativa de lodo Clase B según el Decreto 4 (2009). Es decir, son aptos para la aplicación benéfica al suelo con restricciones según tipo y localización (Meza, 2011).

2.3. Confección de palmetas

El sembrado y formación de las palmetas se realiza después de construir las parcelas. Estas fueron construidas con madera de 2 x 1 pulg y sobre ellas se colocó polietileno para aislar el suelo existente de la mezcla. Además, para afirmar la palmeta se utilizó un filamento, similar a una malla plástica (Darío, 2014). Todas se confeccionaron de igual modo para que las unidades experimentales fueran lo más homogénea posible para el diseño.

Llenado de las parcelas

- Primero se procedió a llenar las parcelas de 100% biosólido y 0% de biosólido (100% suelo orgánico), según correspondía de acuerdo a la Figura 1. Y con ello se calcularon las otras proporciones. Los pesos de cada tratamiento se especifican en la Tabla 1.

- Posteriormente se sacaron 2,5 cm desde la superficie en cada parcela, distancia en la cual se instala el filamento para formar la palmeta y permitir que la raíz se agarre.
- Luego se regó y se esparcieron las semillas de forma homogénea por toda la parcela.
- Finalmente se cubrió con el material sacado y nuevamente se regó con 800 ml de agua.

Tabla 1. Peso húmedo y seco de la mezcla biosólido y suelo

| Biosólidos (%) | Suelo orgánico (%) | Peso de la mezcla | |
|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------|
| | | Húmedo (kg) | Seco (kg) |
| 100 | 0 | 21,0 | 11,3 |
| 75 | 25 | 21,4 | 11,4 |
| 50 | 50 | 21,8 | 11,5 |
| 25 | 75 | 22,3 | 11,6 |
| 0 | 100 | 22,5 | 11,7 |

Fuente Propia.

2.4. Otras consideraciones

- Las construcción y sembrado de las parcelas se realizó en octubre del 2014 a principios de la primavera.
- Se decidió realizar tres cortes a las a palmetas con la finalidad de dar mayor firmeza y resistencia para ser transportadas (Darío, 2014).
- El primer corte se realizó a los 30 días desde la siembra, considerando el periodo de germinación. Estos se realizan una vez que el césped alcanza una altura promedio umbral de 10 cm, y se deja a una altura de 2 cm,
- Los otros dos cortes se realizaron cuando el césped alcanzó una altura umbral de 10 cm.
- El tiempo considerado para trasladar las palmetas en forma de rollo fue 2 meses.
- Durante el periodo de crecimiento del césped se fue extrayendo la maleza.

2.5. Variables a medir

Se definieron las variables a medir y se recolectaron datos para el análisis descriptivo e inferencial, una vez confeccionadas las palmetas. Lo cual permitió realizar un estudio para saber que tratamiento es el más óptimo.

2.5.1. *Altura del césped*

Para el estudio descriptivo se midió la altura del césped a través del tiempo, desde que germina hasta que se instalan las palmetas. Para esto se tomaron 5 alturas por palmeta, las cuales fueron promediadas, considerando las esquinas y el centro, es decir 75 datos por cada medición.

Para el estudio inferencial se tomaron 10 mediciones de altura en cada palmeta de forma aleatoria, es decir 150 datos al azar. Esto se midió una sola vez, antes de realizar el primer corte. En ambas mediciones se utilizó una regla graduada cada 1 mm.

2.5.2. *pH de cada tratamiento*

El pH es un parámetro importante para el crecimiento del césped, debido a que los nutrientes no están disponibles para el césped cuando el suelo es demasiado ácido o alcalino. Es por ello que un rango aceptable de pH es entre 5,5 y 8, según INFOCA FORMACIÓN (2014). El pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados (Ibarra et al., 2009). Además, hay que considerar que los biosólidos no se pueden aplicar en suelos con pH inferior a 5 (Decreto N°4, 2009; NCh 2952 of 2004). Es por ello que se mide para cada tratamiento. La medición del pH se realizó en el laboratorio de química el día 27 de noviembre, después del primer corte, obteniendo cinco valores. En el procedimiento se necesitan 25 g de la mezcla de cada tratamiento.

- Primero se vierten los 25 g en un vaso de precipitado con agua des-ionizada llegando a los 150 ml.
- Luego la mezcla se agita sobre un agitador magnético marca Cimarec para homogenizar el sistema, durante 10 a 15 minutos.
- Posteriormente se deja reposar unos 10 min y se mide el pH con un pH-metro, HANNA ph211, calibrado con un buffer 4 y 7.

2.5.3. *Peso de las palmetas y traslado*

Una vez logrado los tres cortes o cumplido el tiempo máximo establecido, las palmetas se enrollan para ser trasladadas. En cada palmeta se evaluó descriptivamente si fue o no posible enrollar y soportar el traslado. Paralelo a ello se pesaron sólo las palmetas que soportaron la forma de rollo. Cada palmeta fue instalada en el tiempo que le correspondía.

2.5.4. *Registro fotográfico*

Se sacaron fotografías semanalmente con la finalidad de ver el crecimiento del césped de forma descriptiva y a su vez observar el comportamiento de la palmeta. Ello complementó los resultados obtenidos con los métodos estadísticos.

2.6. **Instalación de las palmetas**

Las palmetas se instalarán en la Universidad del Bío-Bío, fuera del laboratorio de especialidades del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, para ello se consideraron antecedentes de los productores de pasto alfombra “verde andino” y de un especialista (Darío, 2014).

El terreno seleccionado para instalar las palmetas se encontraba libre de malezas y parejo.

El procedimiento utilizado para instalar las palmetas fue:

- Esparcir homogéneamente arena sobre el terreno, para permitir un mejor enraizamiento.
- Regar la arena sin compactarla.
- Se instala la palmeta enrollada sobre la arena.
- Se acomoda la palmeta aplastándola y finalmente se riega.

2.7. **Métodos estadísticos**

Se aplicaron dos métodos estadísticos, uno exploratorio para ver el crecimiento del césped en el tiempo y el otro es un diseño completamente aleatorio para escoger inferencialmente el tratamiento más adecuado.

2.7.1. Estudio Exploratorio

El estudio exploratorio permite analizar el comportamiento y tendencias de las variables en estudio, para observar de forma descriptiva el crecimiento promedio de la altura del césped mediante gráficos. Para mayor detalle ver Anexo C.

2.7.2. Diseño de Experimento Completamente Aleatorio (DCA)

Este diseño de experimento también es conocido como ANOVA, el cual permite saber si existe una relación entre la altura del césped y los tratamientos, y si estos presentan diferencia significativa entre ellos. Este estudio fue realizado a través del programa computacional R utilizando RStudio, en el cual se ingresan los datos obtenidos antes del primer corte.

En el ANOVA se considera un modelo estadístico lineal para el cual se deben verificar las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para } i \neq j \end{cases}$$

Donde:

- H_0 : Hipótesis nula. Considera que todas las medias son iguales, por lo tanto el tratamiento no influye en el crecimiento del césped.
- H_1 : Hipótesis alternativa. Considera que las medias difieren en al menos dos de los niveles y que el tratamiento influye en el crecimiento del césped.

Si la hipótesis nula es rechazada, el paso a seguir es aplicar un test estadístico que permita comparar las alturas medias de los tratamientos. Uno de los más utilizados es el test Tukey, el cual permite saber cuál de los cinco tratamientos entrega mayor y menor crecimiento, comparando los tratamiento de pares (Kuelh, 2000). Para mayor detalle ver Anexo C.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con su respectivo análisis, dando a conocer lo descriptivo y luego lo inferencial.

3.1. Evolución de la altura del césped

La evolución de la altura del césped se obtiene al volver a calcular el promedio de las réplicas para cada tratamiento (Ver Anexo A). Estos se grafican para cada corte según corresponda.

3.1.1. Análisis hasta el primer corte

A los 30 días desde la siembra el césped presenta diferencia entre las palmetas, en cuanto a tonalidad y altura, como se puede apreciar en la Figura 2 (A). Al realizar el primer corte las palmetas cortadas quedan con una altura de 2 cm aproximadamente, como se muestra en la Figura 2 (B).



Figura 2. (A) Palmetas antes del primer corte. (B) Palmetas después del primer corte

La germinación del césped se produjo al séptimo día para todos los tratamientos, independiente de la cantidad de biosólido. Logrando a contar de ese día un crecimiento más rápido. Además, se aprecia que el día 30, establecido como límite para el primer corte, sólo los tratamientos T75, T50 y T25 alcanzan el umbral fijado (altura promedio igual a 10 cm), con alturas de 13,4 cm, 16,9 cm y 18,1 cm respectivamente.

Cabe destacar que algunos tratamientos alcanzan la altura umbral antes de los 30 días disminuyendo el tiempo de crecimiento para el primer corte, por ejemplo el T25, el cual también es el que logra mayor crecimiento, seguido por el T50. De los otros dos tratamientos, T100 y T0, se puede decir que no alcanzan el umbral deseado en el tiempo máximo fijado, logrando las alturas promedio más bajas, de 9,8 cm y 6,2 cm, respectivamente. Por lo tanto, serán analizados de forma separada debido a que demoran más tiempo. Como se evidencia en la Figura 3 cuyo gráfico presenta las alturas promedio.

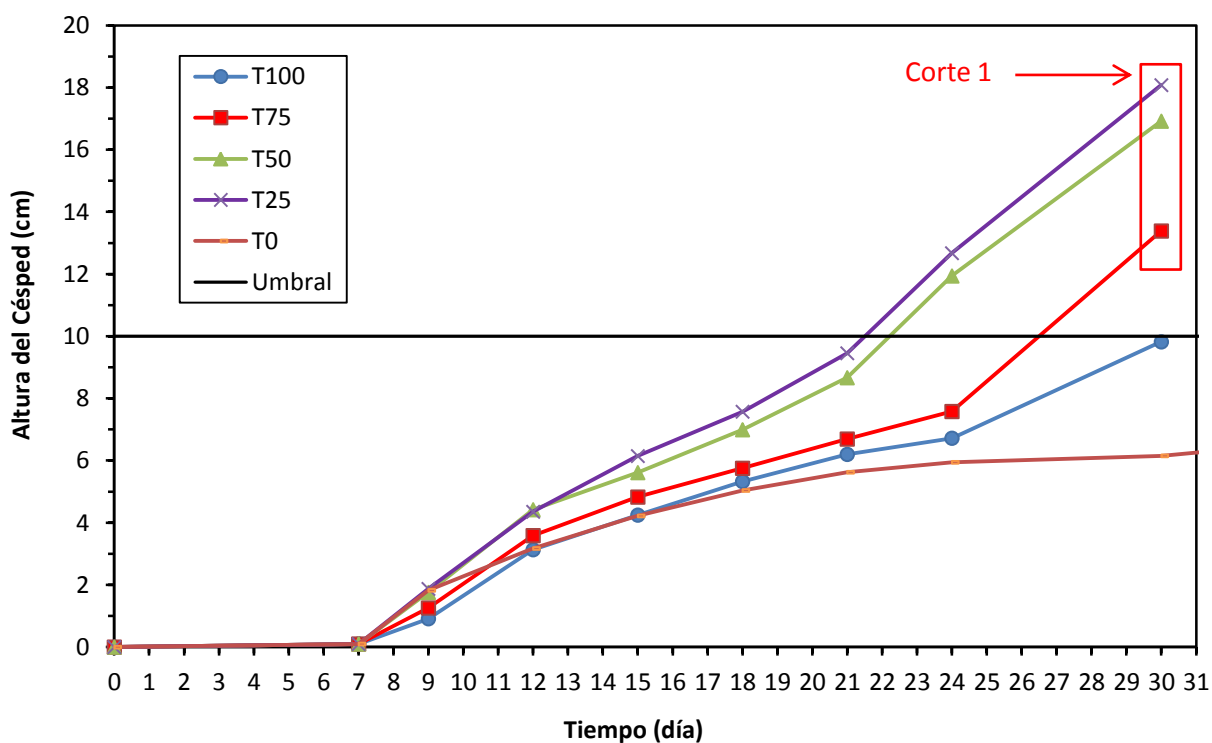


Figura 3. Altura promedio en el tiempo para cada tratamiento antes del primer corte

Considerando los tratamientos que lograron el primer corte, en la Figura 4 se grafican las alturas promedio de cada réplica del T25, que fue el tratamiento con mejores resultados. Se aprecia que no existe mayor variabilidad, las réplicas tienen un buen comportamiento.

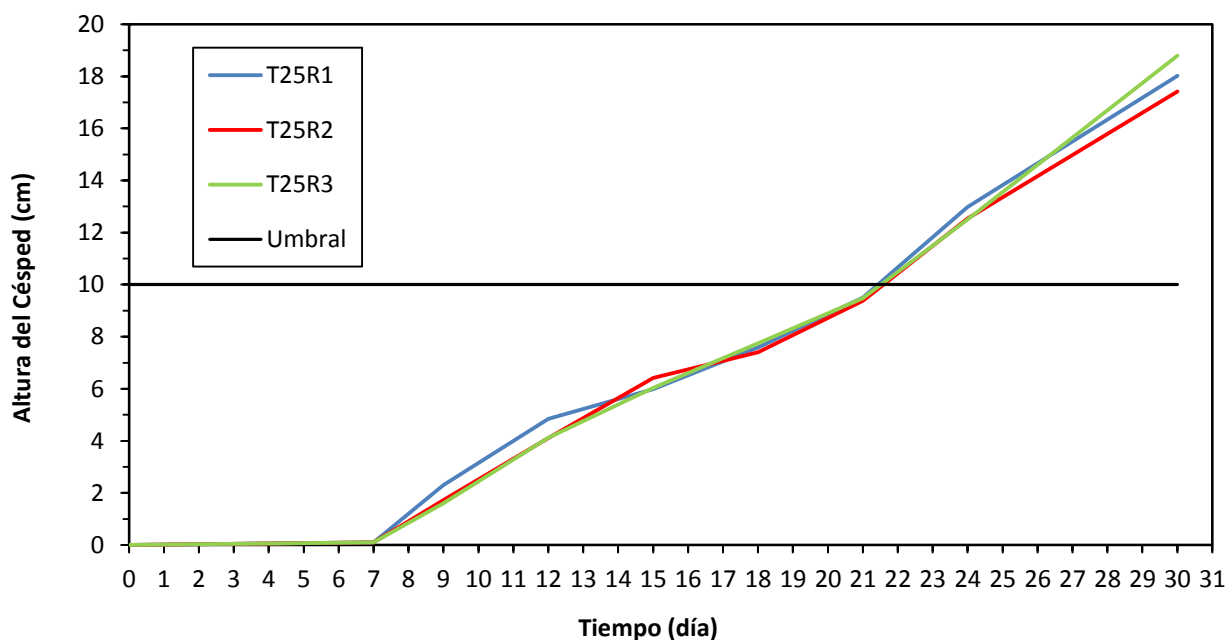


Figura 4. Variabilidad de altura entre las réplicas del T25 antes del primer corte

En la Figura 5 se grafican las tres réplicas para el T75, que fue el tratamiento que logró una menor altura. En ella se observa mayor variabilidad, logrando una diferencia máxima aproximadamente de 5 cm, entre la menor con el resto. La gráfica del T50 se muestra en el Anexo B, Figura B.1 en la cual se aprecia que las réplicas varían con respecto a la altura promedio, en menos que T75.

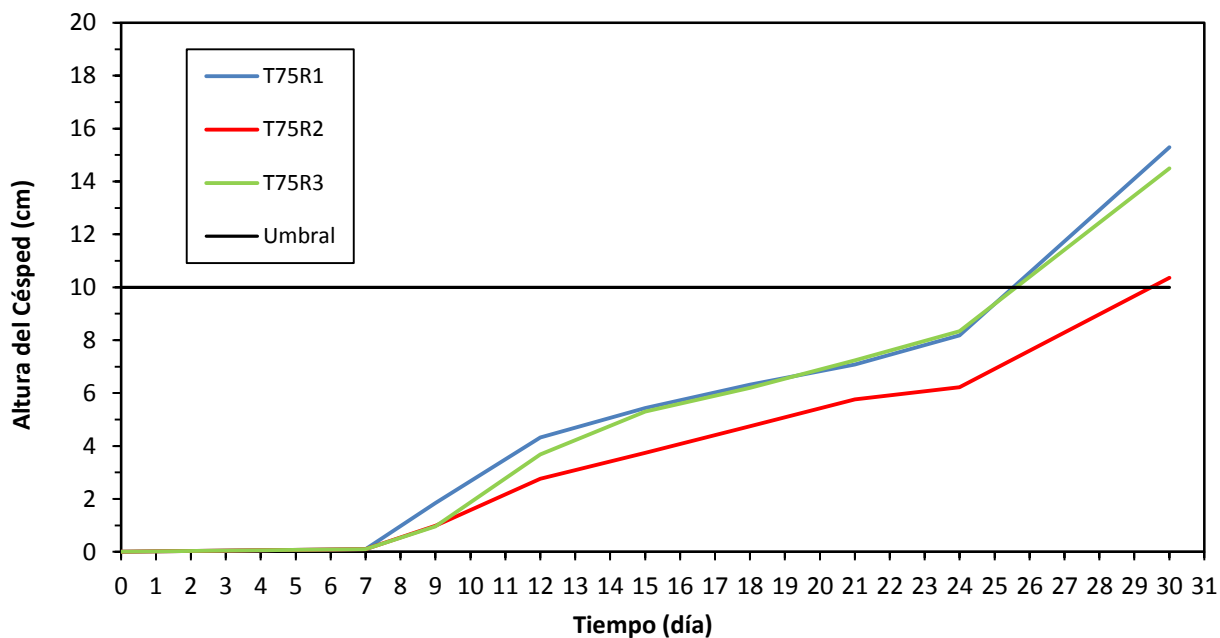


Figura 5. Variabilidad de altura entre las réplicas del T75 antes del primer corte

3.1.2. Análisis entre el primer y segundo corte

En la Figura 6 sólo se grafican los tratamientos T75, T50 y T25, que son los que logran el primer corte dentro de los 30 días. En ella se observa que el segundo corte se realizó 18 días después, (el día 48 desde el sembrado), un tiempo menor de lo que se demoró el primer corte. Se aprecia que los tratamientos T50 y T25 tienen un comportamiento similar, ambos logran una altura promedio máxima de 11,3 al momento de ser cortados, mientras que el T75 alcanza una altura promedio de 10,6 cm.

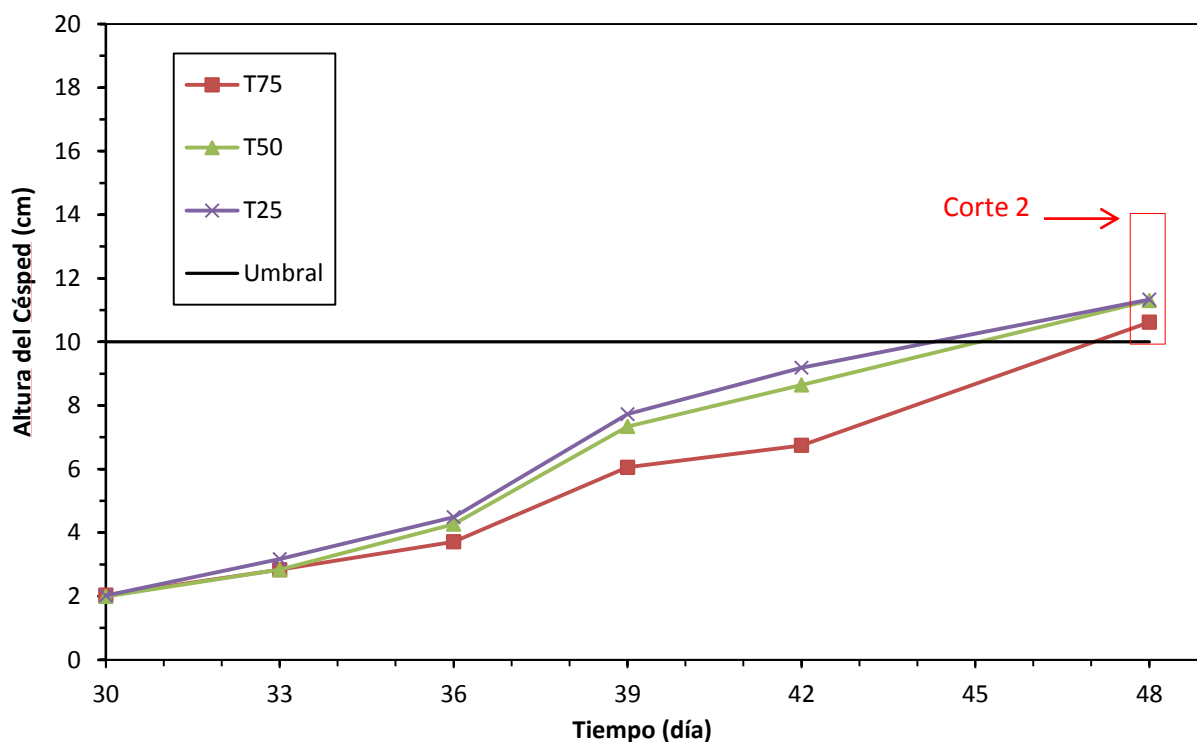


Figura 6. Altura promedio en el tiempo para T75, T50 y T25 entre el primer y segundo corte

En el Anexo B, en la Figura B.2 se aprecia que no hay mayor variabilidad en las réplicas del tratamiento T25, las tres tienen la misma tendencia, siendo casi la misma línea. En la Figura B.3 y la Figura B.4, de los tratamientos T50 y T75 respectivamente, tampoco se observa gran diferencia entre las réplicas.

3.1.3. Análisis entre el segundo y tercer corte

Los tratamientos T50 y T25 logran el tercer corte tres días antes que el T75 y a los 12 días desde el segundo corte. El día 60 los tratamientos logran una altura promedio de 10,5 cm, 10,3 cm y 9,1 cm, respectivamente, observándose un comportamiento similar en el crecimiento entre los tratamientos T50 y T25, por lo que no se puede decir con certeza cuál es mejor. En esta instancia quedaría descartado el tratamiento T75 debido a que demora más tiempo en lograr el tercer corte. Como se evidencia en la Figura 7.

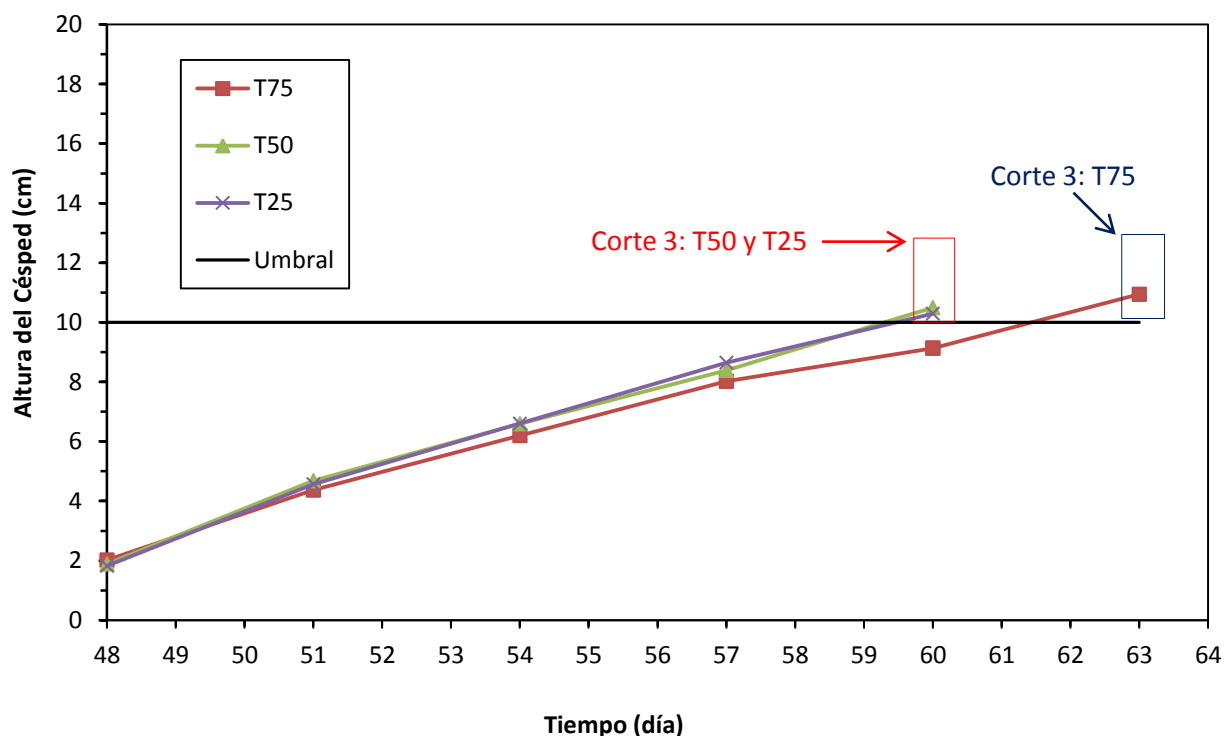


Figura 7. Altura promedio en el tiempo para T75, T50 y T25 entre el segundo y tercer corte

En la Figura 8 se puede observar que el tratamiento T25, al igual que en los cortes anteriores, no presenta gran variabilidad entre las réplicas. Tienen un crecimiento similar, a diferencia del T50 cuyo comportamiento es parecido al T25, pero sus réplicas tienen gran variabilidad, como se muestra en la Figura 9. El T75 no presenta mayor diferencia en las alturas promedios de sus réplicas, lo cual se aprecia en la Figura B.5 del Anexo B.

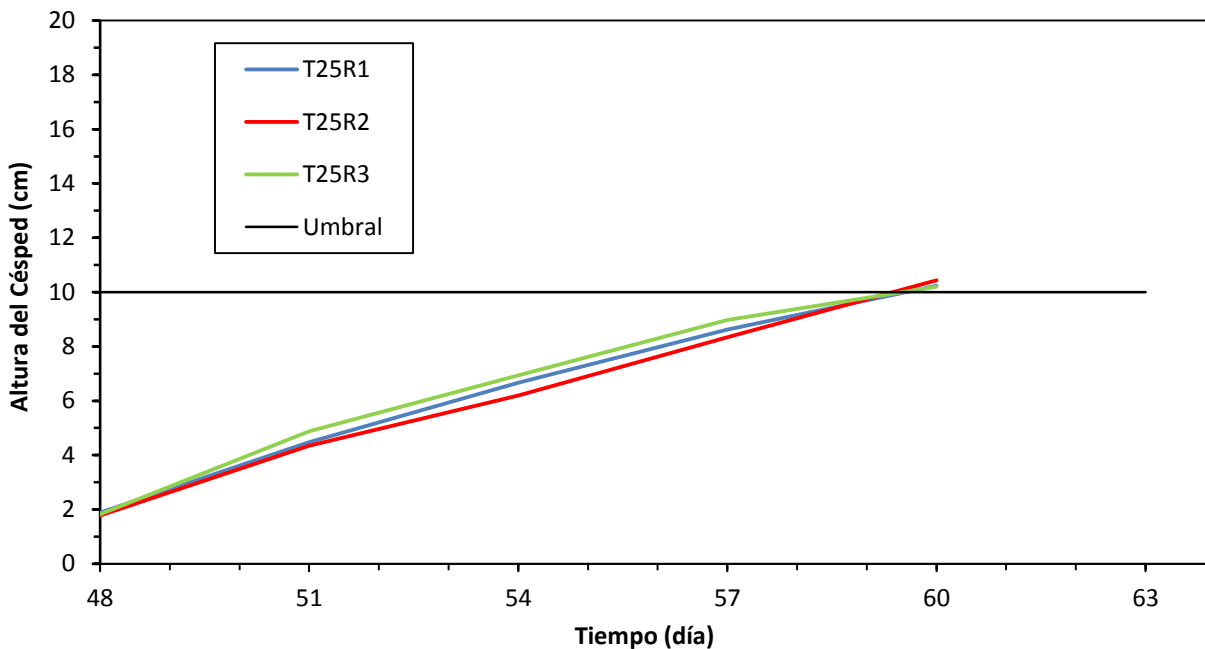


Figura 8. Variabilidad de altura entre las réplicas del T25, entre el segundo y tercer corte

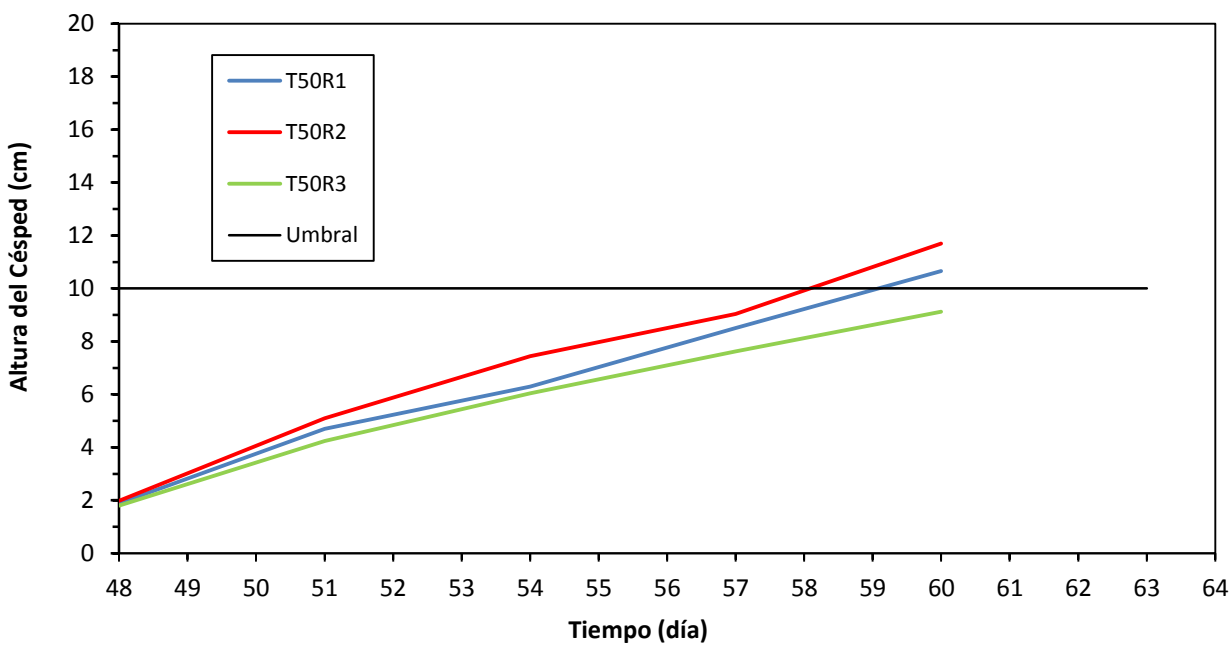


Figura 9. Variabilidad de altura entre las réplicas del T50, entre el segundo y tercer corte.

3.1.4. Análisis para T100 (100% biosólido)

El crecimiento del césped para T100 considera todos los cortes que alcanza en una misma gráfica. Se observa que el primer corte no se realizaría el día 30, ya que se trabajó con los promedios de las tres réplicas de las palmetas con T100, representado por una línea azul en el gráfico de la Figura 10. Una de las réplicas tuvo un crecimiento más lento ocasionando un desfase, las palmetas T100R2 y T100R3 son cortadas el día 30, mientras que T100R1 logra el umbral 7 días después.

El segundo corte lo alcanzan sólo las palmetas T100R2 y T100R3 el día 60, que corresponde al tercer corte para T25 y T50, pues ellas logran el segundo corte el día 48, que sería 12 días antes. Esto implica que las palmetas con tratamiento T100 están retrasadas. Se descarta el tratamiento porque no presenta un buen comportamiento, tiene bastante variabilidad y además las 3 palmetas no lograron los cortes en el mismo tiempo.

A continuación se presenta la Figura 10 en donde se evidencian los antecedentes señalados.

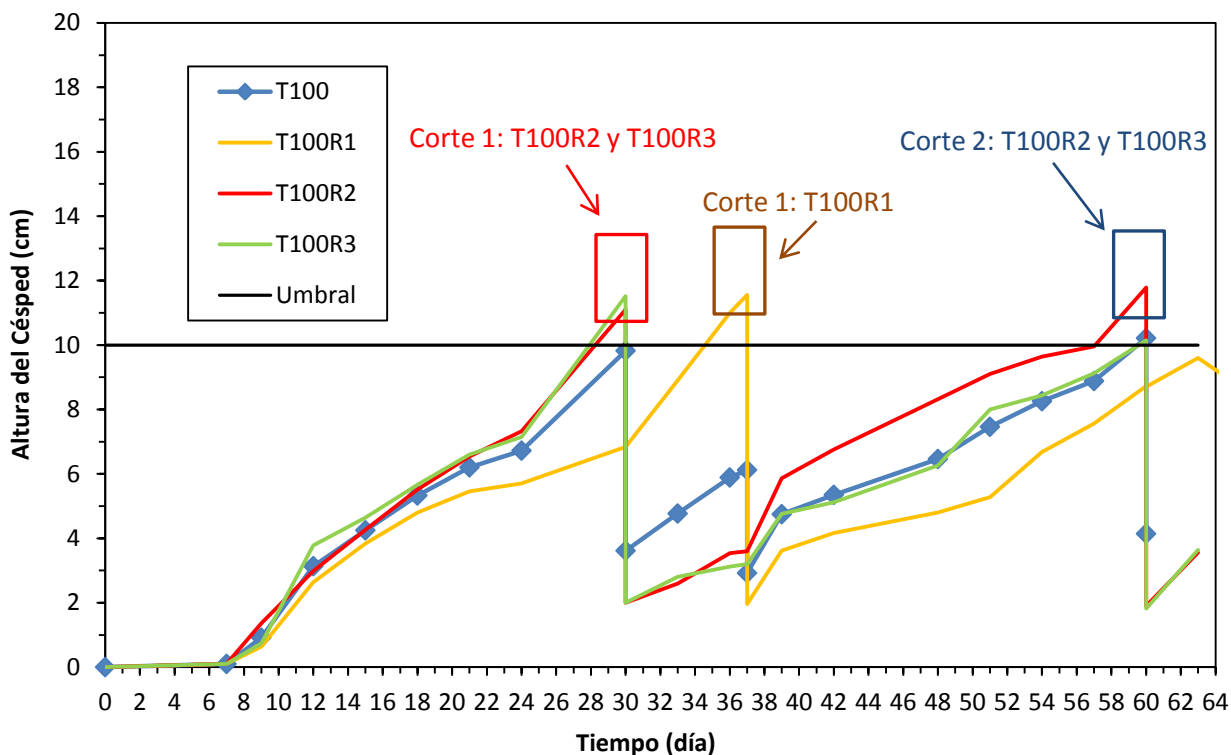


Figura 10. Altura promedio del césped durante todo el tiempo de investigación para T100

3.1.5. Análisis para T0 (sin biosólido)

El tratamiento T0 a pesar de que no existe mucha variabilidad entre las réplicas con respecto a la altura promedio, no logra el primer corte en el tiempo establecido. Es por ello que al igual que T100 se analizan por separado. En la Figura 11 se aprecia que luego de germinar el césped crece relativamente rápido, pero entre los días 33 y 42 el crecimiento disminuye notablemente, para luego seguir creciendo. Estas palmetas crecen todas a la par, sin embargo sólo logran un corte el día 63, día en que se realiza el tercer corte al T75. Este tratamiento se demora dos meses aproximadamente para lograr sólo el primer corte por lo tanto también es descartado porque demora demasiado en crecer.

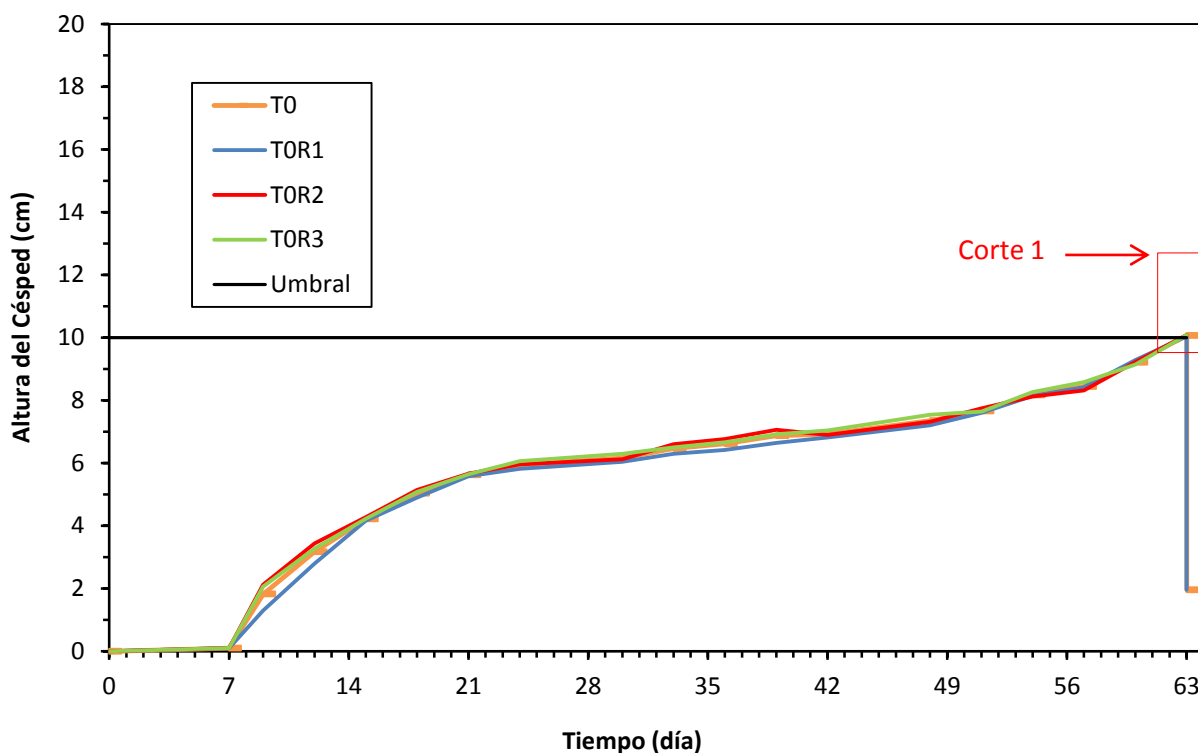


Figura 11. Altura promedio del césped durante todo el tiempo de investigación para T0

3.2. pH de cada tratamiento

De acuerdo a los valores de pH se puede decir que el biosólido es aplicable al suelo ya que éste tiene un pH de 7,1 el cual es mayor a 5. Además, los tratamientos presentan un pH apropiado para que el césped pueda crecer y desarrollarse, como se muestra en la Tabla 2

Tabla 2. Valores de pH obtenidos en laboratorio

| Tratamiento | T100 | T75 | T50 | T25 | T0 |
|----------------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|
| pH | 7,2 | 6,3 | 6,1 | 6,3 | 7,1 |
| Clasificación | Básico | Ácido | Ácido | Ácido | Básico |

3.3. Peso de las palmetas y traslado

Las palmetas que fueron pesadas y transportadas son aquellas que lograron ser enrolladas. Las que cumplieron estos requisitos fueron las palmetas con tratamiento: T0, T25 y T50. Las palmetas T75 si bien lograron el transporte presentaron deterioro y dentro de los T100 sólo T100R1 no lo logró, por ello no fue trasladada ni pesada.

El tratamiento que se mantiene más constante es el T25 rodeando los 17 kg alcanzando un menor peso que el T0, pero mayor que T100, cuyo valores promedios son 22,3 kg y 9,9 kg respectivamente, como se muestra en la Tabla 3. Además, se cumple que mientras menos cantidad de biosólido la palmeta tiene un mayor peso.

Tabla 3. Pesos de las palmetas enrolladas para su traslado

| Tratamiento | T100 | | | T75 | | | T50 | | | T25 | | | T0 | | |
|--------------------|-------------|-----|------|------------|------|------|------------|-----|------|------------|------|------|-----------|------|------|
| | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 | R1 | R2 | R3 |
| Se enrolló | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| Peso (kg) | - | 9,8 | 10,0 | 13,5 | 12,9 | 14,3 | 7,3 | 6,6 | 16,9 | 17,2 | 17,8 | 17,7 | 22,7 | 21,3 | 23,0 |
| Promedio | 9,9 (kg) | | | 13,6 (kg) | | | 10,3 (kg) | | | 17,5 (kg) | | | 22,3 (kg) | | |

El peso de la gran mayoría de las palmetas cumple con los estándares del mercado, como se señala los productores “verde andino” y sodimac, el cual es entre 17 kg y 20 kg, a excepción del tratamiento T0.

3.4. Registro fotográfico

En la Figura 12 se observa el diseño del experimento en terreno con todas las parcelas sembradas. En ella se aprecian que las palmetas que tienen mayor concentración de biosólido son más oscuras, mientras que las con menor concentración de biosólido son más claras.



Figura 12. Primer día de las parcelas sembradas

En la Figura 13 se observa el césped a los 12 días desde su siembra, en donde aquellas palmetas con mayor cantidad de biosólido presentan menor frondosidad y un crecimiento disparejo.



Figura 13. Crecimiento del césped a los 12 días desde la siembra

En cuanto al desarrollo de las palmetas de césped se puede decir que aquellas con mayor cantidad de biosólido presentaron inconvenientes para esparcirse dificultando la mezcla con el suelo. Los tratamientos T100 fueron difíciles de esparcir y los T75 no permitieron una buena mezcla con el suelo, quedando en algunos sectores mayor concentración de biosólido que impidieron que la semilla se protegiera del sol, quemándose gran cantidad de ellas y creciendo césped solo en algunas partes. Las tres réplicas de T100 fueron las que más se encogieron, alrededor de los 5 cm, y además se hicieron orificios en la palmeta quedando expuesto el filamento. En el Anexo D se puede observar el comportamiento de las palmetas.

Además en el Anexo D se observa que los tratamientos T50 y T25, presentaron un mejor comportamiento en cuanto al color y al crecimiento, ya que lograron cubrir toda la palmeta. Se destaca el T25 porque el T50 se encogió levemente. El T0 presentó un color mezclado entre verde y amarillo. Además había partes en donde era más delgado y no creció parejo. Si bien no se encogió la palmeta, el crecimiento era muy lento, más que los T100.

3.5. Análisis inferencial de la altura del césped

Los datos medidos para aplicarles el DCA se presentan en el Anexo A. Los resultados se presentan en la Tabla 4, en donde el p-valor es igual a $2,462e-13 < 0,05$. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) es decir, las medias difieren en al menos dos de los niveles y los tratamientos influyen en el crecimiento del césped. En otras palabras, se puede decir, que el efecto de los tratamientos aplicados fueron significativos ($p < 0,05$).

Tabla 4. ANOVA del Modelo Lineal de la altura del césped

| | df | Sum sq | Mean sq | F | p-valor |
|---------------------|-----|--------|---------|--------|-----------|
| Tratamientos | 4 | 3,6678 | 0,91694 | 20,372 | 2.462e-13 |
| Residual | 145 | 6,5266 | 0,04501 | | |

Como se ha rechazado H_0 se aplica el Test de Tukey, el cual entrega un gráfico de barras (Figura 14). El gráfico representa las diferencias entre los tratamientos utilizando letras, en donde las letras distintas indican que hay diferencia significativa y las letras iguales indican que no existe diferencia entre ellos. Dichas letras van ordenadas de mayor a menor en donde la letra “a” representa al mejor tratamiento.

En la Figura 14 se observa que el tratamiento T25 es el único que presenta diferencia significativa con los otros tratamientos y además tiene una mayor altura media. En cambio, los tratamientos T100 y T0 no presentan diferencias significativas entre ellos y son los que tienen una menor altura media. De igual modo T75 no presenta diferencia con T100, T50 y T0, tienen distintas alturas medias aunque ninguna sobresale.

Esto permite tomar una decisión en cuanto a los tratamientos T25 y T50, que fueron los que lograron mejor resultados descriptivos.

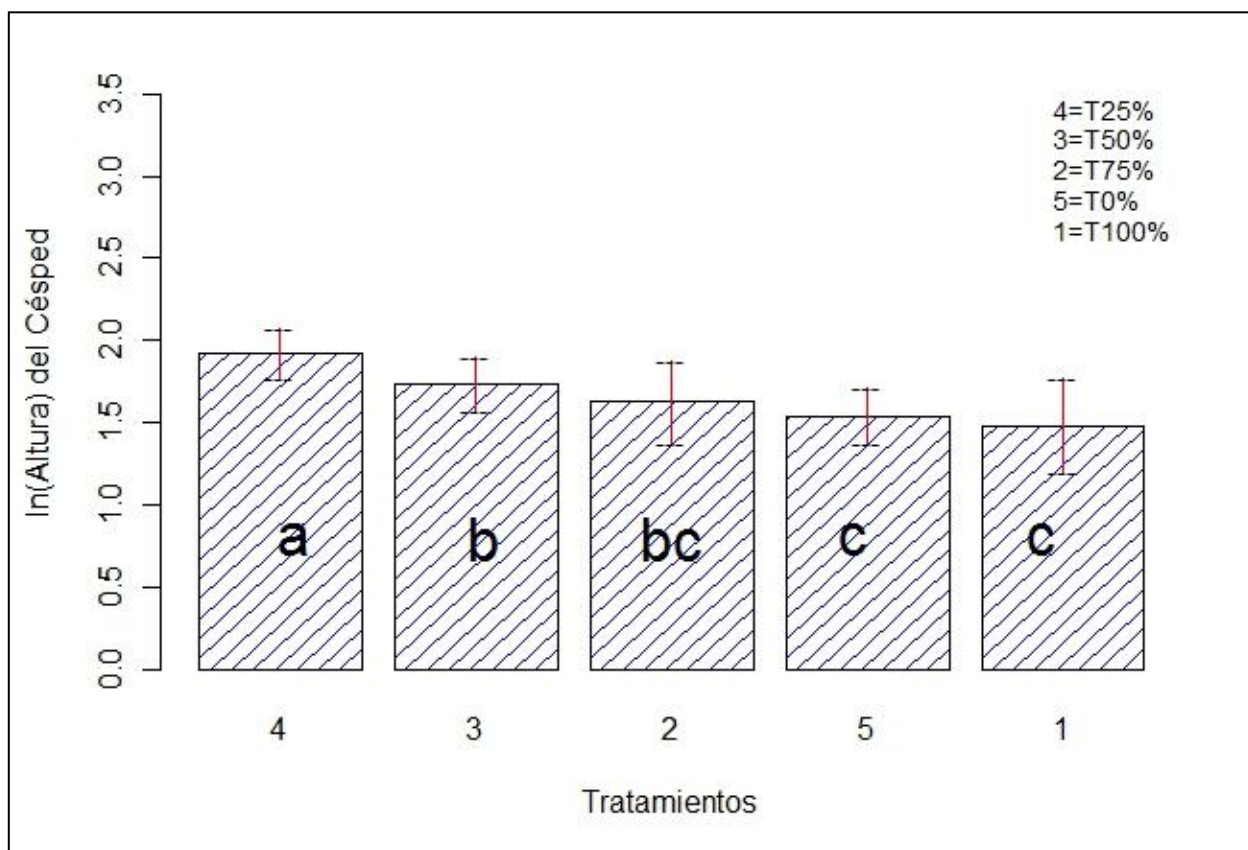


Figura 14. ln(Altura) promedio de las plantas para cada tratamiento

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la investigación realizada se puede concluir lo siguiente:

- Como se demuestra en los análisis presentados el biosólido puede ser utilizado para desarrollar palmetas de césped, esto favorece la reutilización de este componente aportando con un uso beneficioso tanto para las personas como el medio ambiente, y así evitar la acumulación en los vertederos.
- El porcentaje óptimo para el desarrollo de las palmetas es un 25% de biosólido y un 75% de suelo orgánico. Esto se vio reflejado al demostrar en un menor tiempo un mayor crecimiento del césped, con una tonalidad y crecimiento parejo.
- El porcentaje de mezcla que no favorece el desarrollo óptimo de las palmetas es un 0% de biosólido y un 100% de suelo orgánico. En las palmetas con 0% de biosólido se vio reflejado un crecimiento lento, disparejo, con diferentes tonalidades de verdes y delgado. Por lo tanto, se necesita de algún tipo de fertilizante que le brinde nutrientes para lograr un mejor desarrollo.
- Las palmetas pueden ser transportadas en forma de rollo. De acuerdo a los resultados obtenidos la única palmeta que no logró enrollarse para ser transportada fue la réplica 1 con 100% de biosólido. Sin embargo, las otras palmetas con 100% de biosólido y las con 75%, si bien lograron ser enrolladas esto fue con mucho cuidado y no soportaron muy bien la forma de rollo. Mientras que las palmetas con 50%, 25% y 0% de biosólido lograron enrollarse sin problemas.

- La metodología utilizada en esta investigación fue la adecuada ya que permitió identificar parámetros de control para el desarrollo de las palmetas de césped utilizando diferentes mezclas de biosólido y suelo, logrando cumplir con los objetivos propuestos. Cabe mencionar que el método estadístico completamente aleatorio permitió diferenciar que el tratamientos con 25% de biosólido tiene un mayor crecimiento que los con 50% de biosólido, ya que descriptivamente no fue suficiente para decidirlo.

Recomendaciones para próximas investigaciones

- Se podría realizar un estudio para ver si existe diferencia entre porcentajes de biosólidos variando de 5 a 50%, pues ya se sabe que sin biosólido no da buenos resultados.
- Al porcentaje óptimo de biosólido se le puede ajustar un modelo para saber el día exacto en que se logran los 10 cm de altura y así se podría predecir y planificar de mejor manera.
- Realizar un estudio profundo del mercado para comercializar el producto, ya sea la palmeta de césped o la mezcla del porcentaje ideal.

REFERENCIAS

1. Brutti L. y Vallejos V. (2012). Uso de biosólidos en la rehabilitación de área en el relleno sanitario Santiago poniente – Chile. *Avances en ciencias e ingeniería*. 3(1), 115-121.
2. Castillo, M.J. (2009). Influencia de inclusión de biosólidos secos sobre un suelo en el desarrollo vegetal en la evapotranspiración del trébol. Proyecto de título ingeniería civil. Universidad del Bío-Bío.
3. CONAMA (2001). Reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. p27.
4. Dáguer, G.P. (2003) Gestión de biosólidos en Colombia. 46° Congreso Internacional de ACODAL “Sociedad, ambiente y futuro”, Santiago de Cali, Colombia.
5. Decreto supremo N°4 (2009). “*Reglamento para el Manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas*”. Ministerio, Chile.
6. Don Darío. Entrevista realizada el 13 septiembre del 2014 en la ciudad de Concepción (Chile). Entrevistadora: Andrea Muñoz.
7. Ibarra, D., Ruiz, J.A., González, D.R., Flores, J.G. y Díaz, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Revista Scielo agricultura técnica en México*, 35(3), 267-276.
8. INFOCA FORMACIÓN. Artículo “Características fundamentales del césped”, 22 diciembre 2014. <http://www.infocaformacion.com/blog/caracteristicas-fundamentales-del-cesped/>. Acceso el 28 Enero 2015.
9. Kuehl, R.O (2000). Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. International Thomson Ediciones, México.

10. López, A., Nelson, P. (2002). Lodos provenientes de plantas de aguas servidas: potencialidades y restricciones; Temores y realidades. XXVIII Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, Concón, México.
11. Meza, J.F. (2011). Influencia de biosólidos compostados en el desarrollo del trébol enano. Proyecto de Título Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío.
12. Montgomery, D.C (2004). Diseño y análisis de experimento. Editorial Limusa, México.
13. NCh 2952 (2004). *“Lodos-Requisitos y condiciones para un plan de aplicación en suelos”*. Instituto de Normalización, Chile.
14. Ramila, J.I y Rojas, S.I. (2008). Alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas de agua. Seminario para optar al título ingeniero comercial mención administración, Universidad de Chile, Santiago.
15. Ramírez, R. y Pérez, M.I. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus Sativus L.*). Revista facultad nacional de agronomía-Medellín, 59(2), 3543-3556.
16. Robledo, E. (2012). Manejo y uso de biosólidos en suelos agrícolas. Requisito parcial para obtener el grado de doctor en ciencias. Colegio de postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. México.
17. R utilizando RStudio [programa estadístico]. Disponible en: <http://www.r-project.org/>. Acceso diciembre 2014.

18. Toro, F.C. (2005). Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de la VI región de Chile. Memoria para optar al título profesional de ingeniero forestal. Universidad de Chile, Santiago.

19. “Verde Andino”, Pasto alfombra y servicios de jardín, productores de pasto en alfombra. <http://www.verdeandino.cl/index.html>. Acceso el 25 Enero 2015.

ANEXOS

ANEXO A: Cálculos y mediciones de altura del césped y biomasa

A.1. CÁLCULOS

A.1.1. Caracterización del suelo orgánico

Para caracterizar el suelo se calculó el porcentaje de humedad que éste presentaba al momento de la siembra y se realizó una calcinación con el fin de conocer el porcentaje de materia orgánica que contenía.

Tabla A. 1. Humedad del suelo orgánico

| Humedad (w) | | |
|----------------------------|---------------|-------------|
| Muestra | Unidad | RM-2 |
| Muestra húmeda+tara | gr | 100 |
| Muestra seca+tara | gr | 53,1 |
| Peso tara | gr | 1,9 |
| Peso de Agua | gr | 46,9 |
| Peso material seco | gr | 51,2 |
| %w | % | 91,60 |

Tabla A. 2. Cálculo de Materia Orgánica

| Porcentaje de Materia Orgánica (M.O) | | | | | | | |
|---|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Muestra | Unidad | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Muestra seca+crisol | gr | 30,64 | 58,99 | 31,08 | 35,43 | 33,13 | 57,12 |
| Muestra calcinada+crisol | gr | 28,66 | 55,45 | 29,09 | 33,06 | 31,38 | 53,77 |
| Peso crisol | gr | 20,3 | 37,22 | 22,08 | 23,78 | 23,91 | 36,09 |
| Peso de M.O. | gr | 1,98 | 3,54 | 1,99 | 2,37 | 1,75 | 3,35 |
| Peso muestra calcinada | gr | 8,36 | 18,23 | 7,01 | 9,28 | 7,47 | 17,68 |
| %w | % | 23,68 | 19,42 | 28,39 | 25,54 | 23,43 | 18,95 |
| Promedio | % | 23,23 | | | | | |

A.2. MEDICIONES

A.2.1. Alturas promedio de cada tratamiento y de sus réplicas

Tabla A. 3. Altura promedio de antes del primer corte

| Tratamiento | Parcela | Altura promedio (cm) | | | | | | | | |
|-----------------|---------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | t | t0 | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 | t7 |
| | | 0 | 7 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 30 |
| T100 | 5 (R1) | 0 | 0,1 | 0,6 | 2,6 | 3,8 | 4,8 | 5,5 | 5,7 | 6,8 |
| | 11 (R2) | 0 | 0,1 | 1,4 | 3,0 | 4,3 | 5,5 | 6,5 | 7,3 | 11,1 |
| | 14 (R3) | 0 | 0,1 | 0,7 | 3,8 | 4,6 | 5,7 | 6,6 | 7,1 | 11,5 |
| Promedio | | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 3,1 | 4,2 | 5,3 | 6,2 | 6,7 | 9,8 |
| T75 | 10 (R1) | 0 | 0,1 | 1,8 | 4,3 | 5,4 | 6,3 | 7,1 | 8,2 | 15,3 |
| | 13 (R2) | 0 | 0,1 | 1,0 | 2,8 | 3,7 | 4,7 | 5,8 | 6,2 | 10,4 |
| | 15 (R3) | 0 | 0,1 | 1,0 | 3,7 | 5,3 | 6,2 | 7,2 | 8,3 | 14,5 |
| Promedio | | 0,0 | 0,1 | 1,3 | 3,6 | 4,8 | 5,8 | 6,7 | 7,6 | 13,4 |
| T50 | 8 (R1) | 0 | 0,1 | 1,6 | 4,6 | 5,8 | 7,2 | 8,6 | 12,7 | 16,9 |
| | 9 (R2) | 0 | 0,1 | 1,9 | 4,8 | 5,7 | 7,6 | 9,3 | 11,7 | 18,0 |
| | 12 (R3) | 0 | 0,1 | 1,8 | 3,9 | 5,3 | 6,2 | 8,1 | 11,4 | 15,8 |
| Promedio | | 0,0 | 0,1 | 1,8 | 4,4 | 5,6 | 7,0 | 8,7 | 11,9 | 16,9 |
| T25 | 1 (R1) | 0 | 0,1 | 2,3 | 4,8 | 6,0 | 7,6 | 9,5 | 13,0 | 18,0 |
| | 2 (R2) | 0 | 0,1 | 1,7 | 4,1 | 6,4 | 7,4 | 9,4 | 12,5 | 17,4 |
| | 4 (R3) | 0 | 0,1 | 1,6 | 4,1 | 6,0 | 7,7 | 9,5 | 12,5 | 18,8 |
| Promedio | | 0,0 | 0,1 | 1,9 | 4,4 | 6,1 | 7,6 | 9,5 | 12,7 | 18,1 |
| T0 | 3 (R1) | 0 | 0,1 | 1,3 | 2,8 | 4,2 | 4,9 | 5,6 | 5,8 | 6,0 |
| | 6 (R2) | 0 | 0,1 | 2,1 | 3,4 | 4,3 | 5,1 | 5,7 | 6,0 | 6,1 |
| | 7 (R3) | 0 | 0,1 | 2,1 | 3,3 | 4,2 | 5,1 | 5,6 | 6,1 | 6,3 |
| Promedio | | 0,0 | 0,1 | 1,8 | 3,2 | 4,2 | 5,0 | 5,6 | 5,9 | 6,2 |

Tabla A. 4. Altura promedio de entre el primer y segundo corte

| Tratamiento | Parcela | Altura promedio (cm) | | | | | |
|-------------|-----------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| | | t7 | t8 | t9 | t10 | t11 | t12 |
| | | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 48 |
| T75 | 10 (R1) | 2,1 | 3,0 | 3,9 | 5,8 | 6,5 | 10,3 |
| | 13 (R2) | 2,0 | 2,8 | 3,3 | 6,1 | 6,5 | 10,2 |
| | 15 (R3) | 2,0 | 2,7 | 3,9 | 6,3 | 7,2 | 11,4 |
| | Promedio | 2,0 | 2,8 | 3,7 | 6,1 | 6,7 | 10,6 |
| T50 | 8 (R1) | 2,0 | 3,2 | 4,4 | 7,3 | 8,3 | 11,3 |
| | 9 (R2) | 1,9 | 2,7 | 4,2 | 7,1 | 8,5 | 11,7 |
| | 12 (R3) | 2,0 | 2,6 | 4,2 | 7,5 | 9,2 | 10,9 |
| | Promedio | 2,0 | 2,8 | 4,3 | 7,3 | 8,6 | 11,3 |
| T25 | 1 (R1) | 2,1 | 3,2 | 4,5 | 7,8 | 9,0 | 10,9 |
| | 2 (R2) | 2,1 | 3,4 | 4,6 | 7,8 | 9,1 | 11,1 |
| | 4 (R3) | 1,9 | 2,9 | 4,4 | 7,6 | 9,5 | 12,0 |
| | Promedio | 2,0 | 3,2 | 4,5 | 7,7 | 9,2 | 11,3 |

Tabla A. 5. Altura promedio de entre el segundo y tercer corte

| Tratamiento | Parcela | Altura promedio (cm) | | | | | | |
|-------------|-----------------|----------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| | | t12 | t13 | t14 | t15 | t16 | t17 | t18 |
| | | 48 | 51 | 54 | 57 | 60 | 60 | 63 |
| T75 | 10 (R1) | 1,9 | 4,5 | 6,3 | 7,9 | 8,9 | 8,9 | 10,6 |
| | 13 (R2) | 2,0 | 4,2 | 5,9 | 7,8 | 8,9 | 8,9 | 10,8 |
| | 15 (R3) | 2,2 | 4,4 | 6,4 | 8,4 | 9,6 | 9,6 | 11,4 |
| | Promedio | 2,0 | 4,4 | 6,2 | 8,0 | 9,1 | 9,1 | 10,9 |
| T50 | 8 (R1) | 1,9 | 4,7 | 6,3 | 8,5 | 10,7 | | |
| | 9 (R2) | 2,0 | 5,1 | 7,4 | 9,0 | 11,7 | | |
| | 12 (R3) | 1,8 | 4,2 | 6,0 | 7,6 | 9,1 | | |
| | Promedio | 1,9 | 4,7 | 6,6 | 8,4 | 10,5 | | |
| T25 | 1 (R1) | 1,9 | 4,5 | 6,7 | 8,6 | 10,2 | | |
| | 2 (R2) | 1,8 | 4,3 | 6,2 | 8,3 | 10,4 | | |
| | 4 (R3) | 1,8 | 4,9 | 6,9 | 9,0 | 10,2 | | |
| | Promedio | 1,8 | 4,6 | 6,6 | 8,6 | 10,3 | | |

Tabla A. 6. Altura promedio durante toda la investigación para T100

| Días | | Altura promedio (cm) Tratamiento T100 | | | |
|-------------|-----------|--|----------------|----------------|-----------------|
| | | 5 (R1) | 11 (R2) | 14 (R3) | Promedio |
| t | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| t0 | 7 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| t1 | 9 | 0,6 | 1,4 | 0,7 | 0,9 |
| t2 | 12 | 2,6 | 3,0 | 3,8 | 3,1 |
| t3 | 15 | 3,8 | 4,3 | 4,6 | 4,2 |
| t4 | 18 | 4,8 | 5,5 | 5,7 | 5,3 |
| t5 | 21 | 5,5 | 6,5 | 6,6 | 6,2 |
| t6 | 24 | 5,7 | 7,3 | 7,1 | 6,7 |
| t7 | 30 | 6,8 | 11,1 | 11,5 | 9,8 |
| t7 | 30 | 6,8 | 2,0 | 2,0 | 3,6 |
| t8 | 33 | 8,9 | 2,6 | 2,8 | 4,8 |
| t9 | 36 | 11,0 | 3,5 | 3,1 | 5,9 |
| t10 | 37 | 11,6 | 3,6 | 3,2 | 6,1 |
| t10 | 37 | 2,0 | 3,6 | 3,2 | 2,9 |
| t11 | 39 | 3,6 | 5,9 | 4,8 | 4,7 |
| t12 | 42 | 4,2 | 6,8 | 5,1 | 5,3 |
| t13 | 48 | 4,8 | 8,3 | 6,3 | 6,5 |
| t14 | 51 | 5,3 | 9,1 | 8,0 | 7,5 |
| t15 | 54 | 6,7 | 9,6 | 8,4 | 8,3 |
| t16 | 57 | 7,6 | 10,0 | 9,1 | 8,9 |
| t17 | 60 | 8,7 | 11,8 | 10,1 | 10,2 |
| t17 | 60 | 8,7 | 1,9 | 1,8 | 4,1 |
| t18 | 63 | 9,6 | 3,6 | 3,6 | 5,6 |

Tabla A. 7. Altura promedio durante toda la investigación para T0

| Días | | Altura promedio (cm) Tratamiento T0 | | | |
|-------------|-----------|--|---------------|---------------|-----------------|
| | | 3 (R1) | 6 (R2) | 7 (R3) | Promedio |
| t | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| t0 | 7 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| t1 | 9 | 1,3 | 2,1 | 2,1 | 1,8 |
| t2 | 12 | 2,8 | 3,4 | 3,3 | 3,2 |
| t3 | 15 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,2 |
| t4 | 18 | 4,9 | 5,1 | 5,1 | 5,0 |
| t5 | 21 | 5,6 | 5,7 | 5,6 | 5,6 |
| t6 | 24 | 5,8 | 6,0 | 6,1 | 5,9 |
| t7 | 30 | 6,0 | 6,1 | 6,3 | 6,2 |
| t8 | 33 | 6,3 | 6,6 | 6,5 | 6,5 |
| t9 | 36 | 6,4 | 6,8 | 6,7 | 6,6 |
| t10 | 39 | 6,6 | 7,1 | 6,9 | 6,9 |
| t11 | 42 | 6,8 | 6,9 | 7,0 | 6,9 |
| t12 | 48 | 7,2 | 7,3 | 7,5 | 7,4 |
| t13 | 51 | 7,6 | 7,7 | 7,6 | 7,7 |
| t14 | 54 | 8,1 | 8,1 | 8,3 | 8,2 |
| t15 | 57 | 8,4 | 8,3 | 8,6 | 8,4 |
| t16 | 60 | 9,3 | 9,2 | 9,1 | 9,2 |
| t17 | 63 | 10,0 | 10,1 | 10,1 | 10,1 |
| t17 | 63 | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 2,0 |

A.2.2. Alturas de césped para diseño completamente aleatorio

Para aplicar este método estadístico es necesario utilizar valores, es por ello que se entenderá que T1=T100, T2=T75, T3=T50, T4=T25 y T5=T0.

Tabla A. 8. Altura del césped de las palmetas T25R1-T25R2-T0R1

| Parcela | Césped | Réplica | Tratamiento (BIOSOLIDO&SUELO) | Altura (cm) |
|---------|--------|---------|----------------------------------|-------------|
| 1 | 1 | 1 | 4 | 6,7 |
| 1 | 2 | 1 | 4 | 8,0 |
| 1 | 3 | 1 | 4 | 6,0 |
| 1 | 4 | 1 | 4 | 5,9 |
| 1 | 5 | 1 | 4 | 7,7 |
| 1 | 6 | 1 | 4 | 7,1 |
| 1 | 7 | 1 | 4 | 8,4 |
| 1 | 8 | 1 | 4 | 7,5 |
| 1 | 9 | 1 | 4 | 7,3 |
| 1 | 10 | 1 | 4 | 5,5 |
| 2 | 1 | 2 | 4 | 6,5 |
| 2 | 2 | 2 | 4 | 6,6 |
| 2 | 3 | 2 | 4 | 6,8 |
| 2 | 4 | 2 | 4 | 6,0 |
| 2 | 5 | 2 | 4 | 8,0 |
| 2 | 6 | 2 | 4 | 10,0 |
| 2 | 7 | 2 | 4 | 7,5 |
| 2 | 8 | 2 | 4 | 6,9 |
| 2 | 9 | 2 | 4 | 6,3 |
| 2 | 10 | 2 | 4 | 6,8 |
| 3 | 1 | 1 | 5 | 5,5 |
| 3 | 2 | 1 | 5 | 5,6 |
| 3 | 3 | 1 | 5 | 3,3 |
| 3 | 4 | 1 | 5 | 4,1 |
| 3 | 5 | 1 | 5 | 6,0 |
| 3 | 6 | 1 | 5 | 4,2 |
| 3 | 7 | 1 | 5 | 3,5 |
| 3 | 8 | 1 | 5 | 4,0 |
| 3 | 9 | 1 | 5 | 4,3 |
| 3 | 10 | 1 | 5 | 6,0 |

Tabla A. 9. Altura del césped de las palmetas T25R3-T100R1-T0R2-T0R3

| Parcela | Césped | Réplica | Tratamiento (BIOSOLIDO&SUELO) | Altura (cm) |
|----------------|---------------|----------------|--|--------------------|
| 4 | 1 | 3 | 4 | 7,4 |
| 4 | 2 | 3 | 4 | 5,1 |
| 4 | 3 | 3 | 4 | 5,6 |
| 4 | 4 | 3 | 4 | 8,5 |
| 4 | 5 | 3 | 4 | 6,6 |
| 4 | 6 | 3 | 4 | 7,5 |
| 4 | 7 | 3 | 4 | 6,3 |
| 4 | 8 | 3 | 4 | 7,3 |
| 4 | 9 | 3 | 4 | 5,2 |
| 4 | 10 | 3 | 4 | 6,8 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 5,9 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | 4,4 |
| 5 | 3 | 1 | 1 | 5,1 |
| 5 | 4 | 1 | 1 | 3,9 |
| 5 | 5 | 1 | 1 | 4,3 |
| 5 | 6 | 1 | 1 | 3,7 |
| 5 | 7 | 1 | 1 | 4,0 |
| 5 | 8 | 1 | 1 | 3,8 |
| 5 | 9 | 1 | 1 | 4,3 |
| 5 | 10 | 1 | 1 | 2,5 |
| 6 | 1 | 2 | 5 | 3,6 |
| 6 | 2 | 2 | 5 | 4,6 |
| 6 | 3 | 2 | 5 | 5,8 |
| 6 | 4 | 2 | 5 | 5,5 |
| 6 | 5 | 2 | 5 | 5,4 |
| 6 | 6 | 2 | 5 | 4,7 |
| 6 | 7 | 2 | 5 | 5,1 |
| 6 | 8 | 2 | 5 | 4,7 |
| 6 | 9 | 2 | 5 | 4,3 |
| 6 | 10 | 2 | 5 | 4,8 |
| 7 | 1 | 3 | 5 | 4,5 |
| 7 | 2 | 3 | 5 | 4,8 |
| 7 | 3 | 3 | 5 | 4,7 |
| 7 | 4 | 3 | 5 | 4,8 |
| 7 | 5 | 3 | 5 | 4,4 |
| 7 | 6 | 3 | 5 | 5,0 |
| 7 | 7 | 3 | 5 | 6,2 |
| 7 | 8 | 3 | 5 | 4,6 |
| 7 | 9 | 3 | 5 | 3,5 |
| 7 | 10 | 3 | 5 | 4,4 |

Tabla A. 10. Altura del césped de las palmetas T50R1-T50R2-T75R1-T100R2

| Parcela | Césped | Réplica | Tratamiento (BIOSOLIDO&SUELO) | Altura (cm) |
|----------------|---------------|----------------|--|--------------------|
| 8 | 1 | 1 | 3 | 4,4 |
| 8 | 2 | 1 | 3 | 6,8 |
| 8 | 3 | 1 | 3 | 4,5 |
| 8 | 4 | 1 | 3 | 4,6 |
| 8 | 5 | 1 | 3 | 5,2 |
| 8 | 6 | 1 | 3 | 6,0 |
| 8 | 7 | 1 | 3 | 6,8 |
| 8 | 8 | 1 | 3 | 4,7 |
| 8 | 9 | 1 | 3 | 4,9 |
| 8 | 10 | 1 | 3 | 6,5 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 6,8 |
| 9 | 2 | 2 | 3 | 6,0 |
| 9 | 3 | 2 | 3 | 4,7 |
| 9 | 4 | 2 | 3 | 7,0 |
| 9 | 5 | 2 | 3 | 6,1 |
| 9 | 6 | 2 | 3 | 6,9 |
| 9 | 7 | 2 | 3 | 6,4 |
| 9 | 8 | 2 | 3 | 4,8 |
| 9 | 9 | 2 | 3 | 7,8 |
| 9 | 10 | 2 | 3 | 4,9 |
| 10 | 1 | 1 | 2 | 6,8 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 7,9 |
| 10 | 3 | 1 | 2 | 6,3 |
| 10 | 4 | 1 | 2 | 6,0 |
| 10 | 5 | 1 | 2 | 6,2 |
| 10 | 6 | 1 | 2 | 3,7 |
| 10 | 7 | 1 | 2 | 4,9 |
| 10 | 8 | 1 | 2 | 7,3 |
| 10 | 9 | 1 | 2 | 6,9 |
| 10 | 10 | 1 | 2 | 5,3 |
| 11 | 1 | 2 | 1 | 7,5 |
| 11 | 2 | 2 | 1 | 6,0 |
| 11 | 3 | 2 | 1 | 7,5 |
| 11 | 4 | 2 | 1 | 3,9 |
| 11 | 5 | 2 | 1 | 4,0 |
| 11 | 6 | 2 | 1 | 2,3 |
| 11 | 7 | 2 | 1 | 6,0 |
| 11 | 8 | 2 | 1 | 5,6 |
| 11 | 9 | 2 | 1 | 6,8 |
| 11 | 10 | 2 | 1 | 4,5 |

Tabla A. 11. Altura del césped de las palmetas T50R1-T50R2-T75R1-T100R2

| Parcela | Césped | Réplica | Tratamiento (BIOSOLIDO&SUELO) | Altura (cm) |
|----------------|---------------|----------------|--|--------------------|
| 12 | 1 | 3 | 3 | 4,7 |
| 12 | 2 | 3 | 3 | 5,0 |
| 12 | 3 | 3 | 3 | 6,2 |
| 12 | 4 | 3 | 3 | 6,6 |
| 12 | 5 | 3 | 3 | 6,0 |
| 12 | 6 | 3 | 3 | 5,1 |
| 12 | 7 | 3 | 3 | 6,5 |
| 12 | 8 | 3 | 3 | 5,2 |
| 12 | 9 | 3 | 3 | 5,0 |
| 12 | 10 | 3 | 3 | 6,3 |
| 13 | 1 | 2 | 2 | 4,8 |
| 13 | 2 | 2 | 2 | 4,6 |
| 13 | 3 | 2 | 2 | 3,6 |
| 13 | 4 | 2 | 2 | 6,7 |
| 13 | 5 | 2 | 2 | 3,6 |
| 13 | 6 | 2 | 2 | 3,8 |
| 13 | 7 | 2 | 2 | 4,3 |
| 13 | 8 | 2 | 2 | 3,9 |
| 13 | 9 | 2 | 2 | 4,5 |
| 13 | 10 | 2 | 2 | 3,3 |
| 14 | 1 | 3 | 1 | 3,7 |
| 14 | 2 | 3 | 1 | 4,0 |
| 14 | 3 | 3 | 1 | 4,3 |
| 14 | 4 | 3 | 1 | 3,9 |
| 14 | 5 | 3 | 1 | 6,9 |
| 14 | 6 | 3 | 1 | 3,9 |
| 14 | 7 | 3 | 1 | 3,3 |
| 14 | 8 | 3 | 1 | 4,5 |
| 14 | 9 | 3 | 1 | 4,1 |
| 14 | 10 | 3 | 1 | 3,1 |
| 15 | 1 | 3 | 2 | 5,8 |
| 15 | 2 | 3 | 2 | 4,6 |
| 15 | 3 | 3 | 2 | 3,4 |
| 15 | 4 | 3 | 2 | 5,6 |
| 15 | 5 | 3 | 2 | 5,5 |
| 15 | 6 | 3 | 2 | 6,4 |
| 15 | 7 | 3 | 2 | 5,6 |
| 15 | 8 | 3 | 2 | 6,5 |
| 15 | 9 | 3 | 2 | 5,3 |
| 15 | 10 | 3 | 2 | 3,9 |

A.2.3. Peso del césped por cada corte (Biomasa)

Tabla A. 12. Peso del césped cortado de cada palmeta

| Tratamiento | Peso por Corte (kg) | | |
|-----------------|---------------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| T100R1 | 243,9 | 0 | - |
| T100R2 | 188 | 160,1 | - |
| T100R3 | 247 | 129,2 | - |
| Promedio | 226,3 | 96,4 | - |
| T75R1 | 394,0 | 202,5 | 102,1 |
| T75R2 | 181,0 | 187,0 | 218,9 |
| T75R3 | 287,0 | 265,5 | 267,2 |
| Promedio | 287,3 | 218,3 | 196,1 |
| T50R1 | 545 | 327,2 | 176,2 |
| T50R2 | 543 | 333 | 174,4 |
| T50R3 | 559 | 447,2 | 235,8 |
| Promedio | 549,0 | 369,1 | 195,5 |
| T25R1 | 626 | 294,3 | 110,5 |
| T25R2 | 567 | 302,8 | 116,3 |
| T25R3 | 572 | 319,3 | 106,9 |
| Promedio | 588,3 | 305,5 | 111,2 |
| T0R1 | 100,9 | - | - |
| T0R2 | 209,6 | - | - |
| T0R3 | 267,7 | - | - |
| Promedio | 192,7 | - | - |

ANEXO B: Variabilidad de las alturas del césped de las réplicas de los tratamientos

B.1. Primer Corte

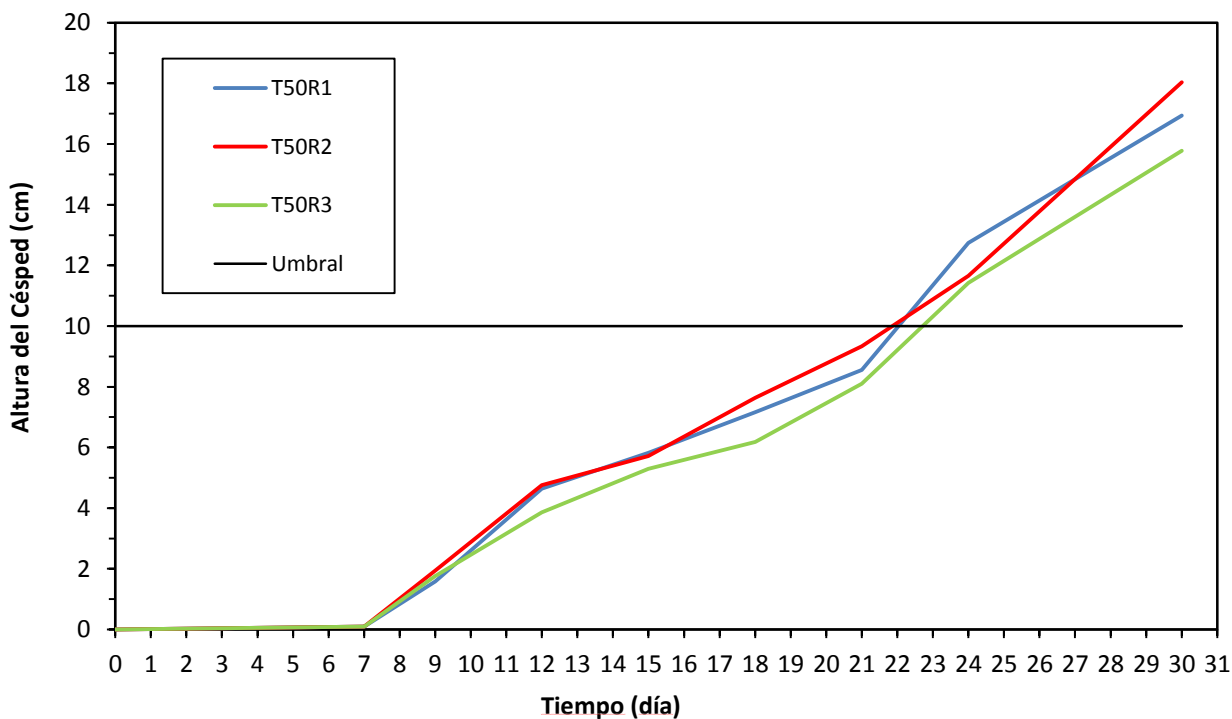


Figura B. 1. Variabilidad de altura entre las réplicas del T50, antes del primer corte

B.2. Segundo Corte

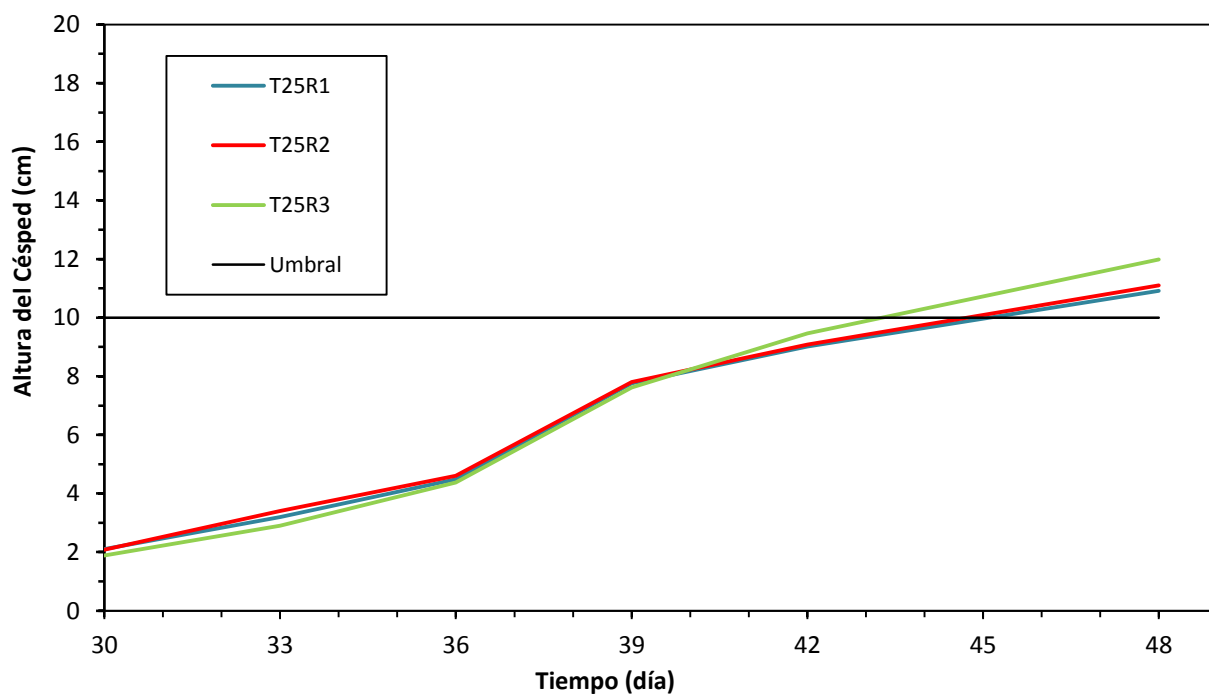


Figura B. 2. Variabilidad de altura entre las réplicas del T25, entre primer y segundo corte

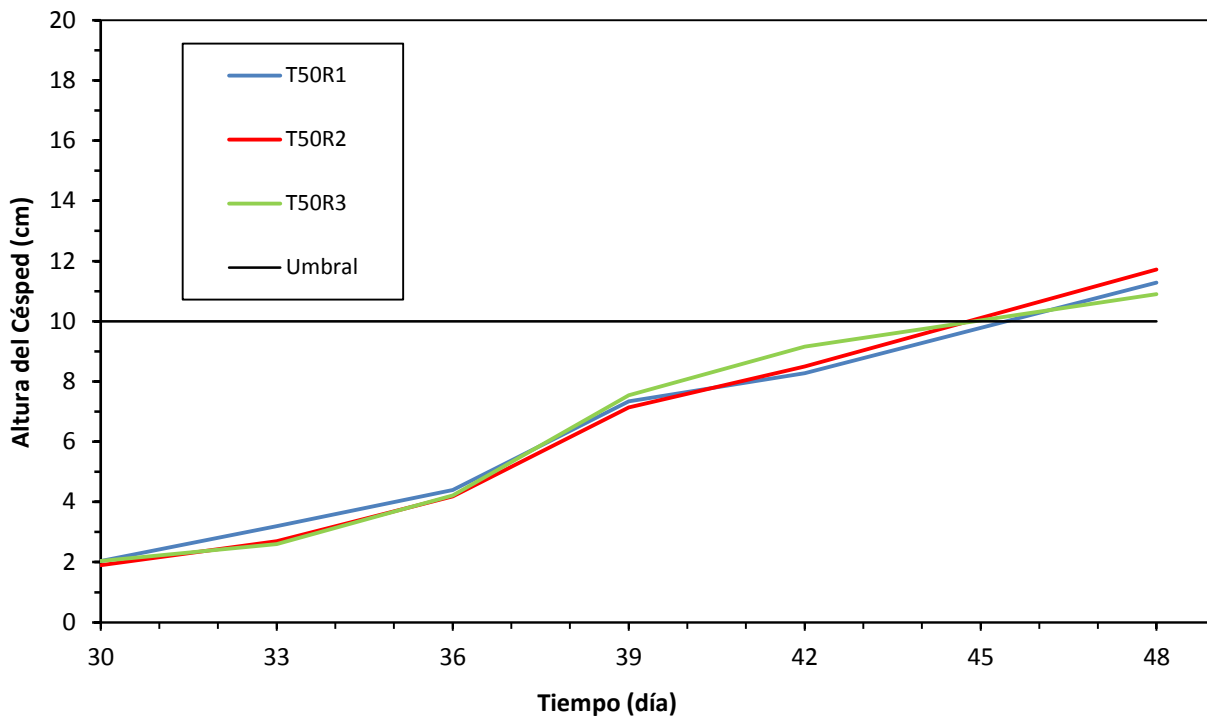


Figura B. 3. Variabilidad de altura entre las réplicas del T50, entre primer y segundo corte

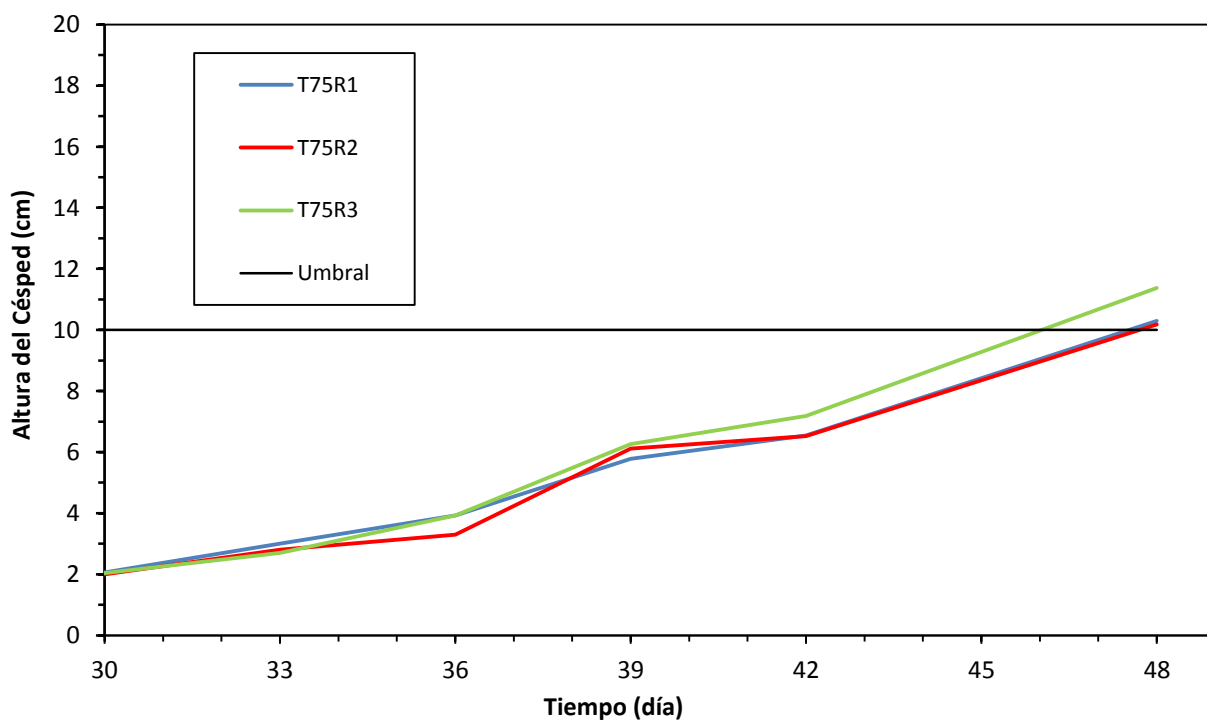


Figura B. 4. Variabilidad de altura entre las réplicas del T75, entre primer y segundo corte

B.3. Tercer Corte

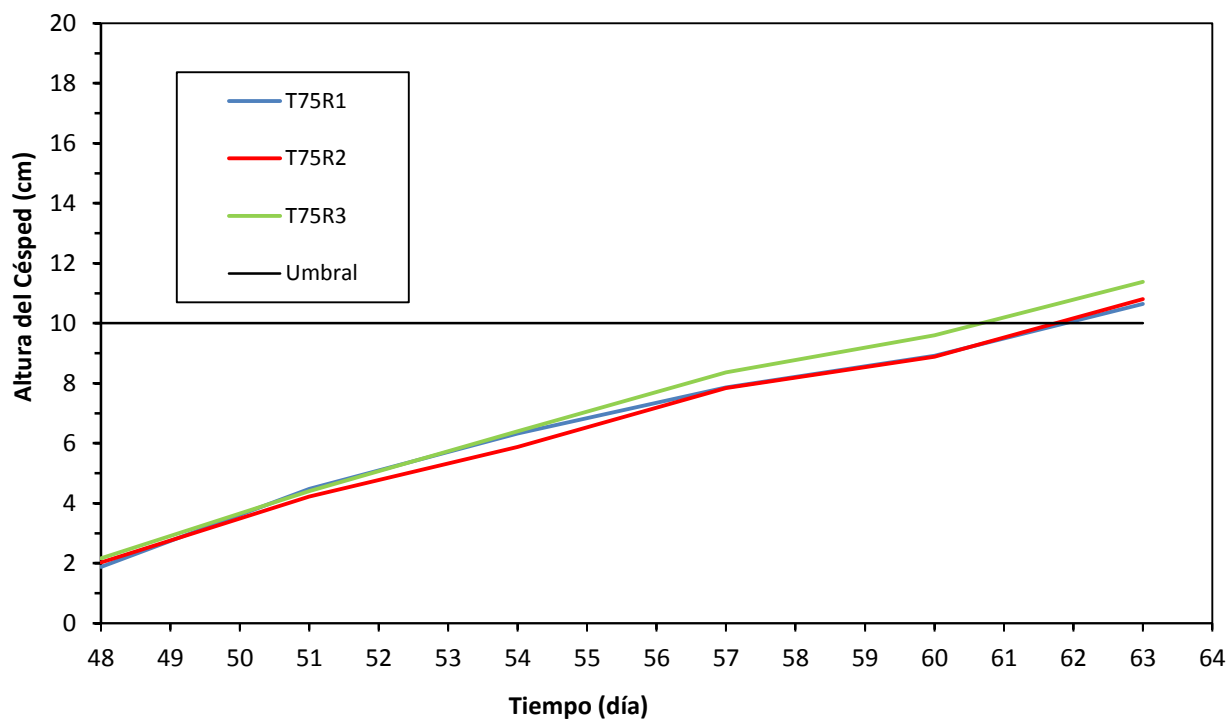


Figura B. 5. Variabilidad de altura entre las réplicas del T25, entre el segundo y tercer corte

ANEXO C: Métodos estadísticos

C.1. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Para el análisis de los datos obtenidos en la investigación se utilizaron métodos estadísticos con el fin de demostrar, tanto descriptiva como inferencialmente, los resultados obtenidos.

a. Análisis Exploratorio de Datos

Una de las herramientas estadísticas a utilizar es el análisis exploratorio de datos. Este análisis permite analizar el comportamiento y tendencias de las variables en estudio. De ellas se obtienen las medidas de tendencia central y de dispersión, las que ayudan a observar el comportamiento distribucional de las variables.

Objetivo:

- Observar de forma descriptiva el crecimiento promedio de la altura del césped a partir de gráficos en el tiempo y gráficos de barra para complementar el análisis de los datos.

b. Diseño de Experimento Completamente Aleatorio

Otra herramienta estadística a implementar es el diseño completamente aleatorio, es decir, análisis de varianza (ANOVA). Esta técnica es balanceada y permite estudiar si existe una relación entre el valor medio de la variable respuesta (p.e altura del césped) y una variable cualitativa o factor (p.e biosólido y suelo). Para ello se utiliza la Ec. (1).

Objetivo:

- Determinar si hay diferencia significativa entre la variable respuesta media de los distintos tratamientos.

Observaciones:

- El proceso de aleatorización en este diseño consiste en aplicar los tratamientos a las unidades experimentales en forma completamente aleatoria.
- Este diseño se aplica cuando las unidades experimentales son homogéneas.

Modelo Estadístico Lineal

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{para } i = 1, \dots, T \quad \text{y } j = 1, \dots, n_i \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- y_{ij} : j-ésima observación de la variable respuesta (altura del césped), en el i-ésimo tratamiento (*cm*).
- μ_i : i-ésima media del tratamiento.
- ε_{ij} : Errores. Variables independientes con distribución $N(0, \sigma^2)$.
- T : Número de tratamientos.
- n_i : Número de observaciones de la respuesta para el nivel i del factor.

El siguiente paso es probar las siguientes hipótesis mediante un ANOVA:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para } i \neq j \end{cases}$$

Donde:

- H_0 : Hipótesis Nula. Considera que todas las medias son iguales, por lo tanto el factor no influye en el crecimiento del césped.
- H_1 : Hipótesis alternativa. Considera que las medias difieren en al menos dos de los niveles y que el factor influye en el crecimiento del césped.

Test Tukey

Para cuantificar y clasificar el orden de las diferencias de los tratamientos se utiliza el Test de Tukey, un test de comparaciones múltiples que permite saber cuál de los tratamientos tiene mayor y menor crecimiento. Para ello la Ec. (1) es necesaria representarla como el Modelo de los Efectos del Tratamiento, el cual se expresa en la ecuación Ec. (2):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

- μ : Media global. $\mu_i = \mu + \tau_i$
- τ_i : Efecto del tratamiento i-ésimo, que debe cumplir el supuesto de: $\sum_1^5 \tau_i = 0$

En este caso se deben contrastar las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0 \\ H_1: \tau_i \neq 0 \quad \text{para al menos una } i \end{cases}$$

Donde:

- H_0 : Hipótesis Nula. Considera que los efectos de los tratamientos son cero y con ello todas las medias son iguales. Esto es, que el factor no influye en el crecimiento del césped.
- H_1 : Hipótesis alternativa. Considera que al menos uno de los efectos de los tratamientos es diferente de cero, por lo tanto el factor influye en el crecimiento del césped.

Bajo el supuesto de que se ha rechazado la $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$, se busca determinar la presencia de diferencia significativa entre las medias de pares de niveles de ese factor. Para ello inicialmente se ordenan de mayor a menor los promedios de los efectos de los tratamientos ($\hat{t}_{mayor}, \dots, \hat{t}_{menor}$).

Este método se basa en el estadístico estandarizado q , cuya ecuación es Ec. (3):

$$q = \frac{\hat{t}_{mayor} - \hat{t}_{menor}}{\sqrt{\frac{CM_\varepsilon}{n_i}}} \quad \text{Ec. (3)}$$

Lo anterior indica que la significancia estadística de la comparación de los tratamientos está dada por la diferencia de los promedios ($\hat{t}_{mayor} - \hat{t}_{menor}$), el cuadrado medio del error (CM_ε) y el número de datos dentro de cada nivel (n_i). El valor resultante será comparado con la diferencia mínima necesaria o diferencia honestamente significativa (DHS) calculado con el valor del rango studentizado (q_{tabla}), el CM_ε y el n_i , como se muestra en la ecuación:

$$DHS = q_{tabla} \cdot \sqrt{\frac{CM_{\varepsilon}}{n_i}} \quad \text{Ec. (4)}$$

El valor de q_{tabla} está determinado por el nivel de significancia (α), los grados de libertad del error ($g.l$) y n_i , el cual se encuentra en la tabla VII del apéndice Diseño de Experimento (Kuelh, 2000).

Conociendo el valor de q y el de DHS se dice que existen diferencias significativas entre los dos niveles comparados cuando:

$$q > DHS$$

Para poder aplicar el DCA se deben cumplir los supuestos de normalidad de los datos y homocedasticidad de los residuos.

C.2. NORMALIDAD

Para probar si existe normalidad se realizó un histograma a los datos de altura para ver su distribución y se utilizó el Test Shapiro-wilk para verificar las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \text{los datos de altura son normales} \\ H_1: \text{los datos de altura no son normales} \end{cases}$$

Resultados:

En el Histograma de la Figura C. 1 se puede ver que las alturas parecieran que se distribuyen normales, aunque para corroborarlo se aplica el Test Shapiro-wilk.

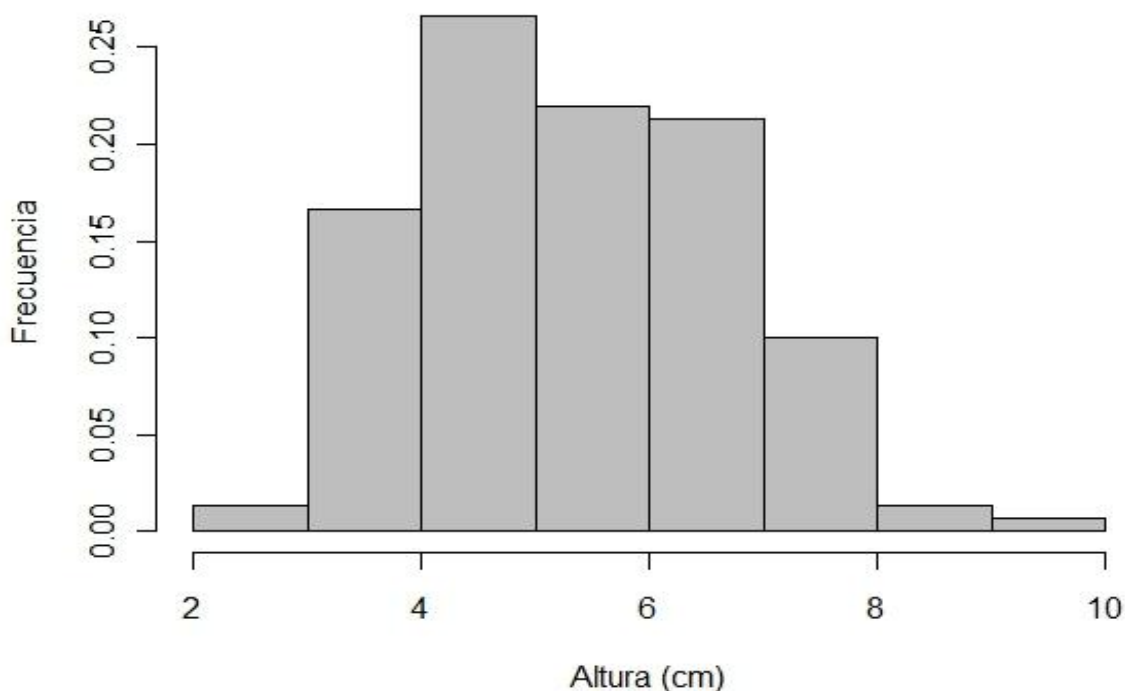


Figura C. 1. Histograma de los datos de altura

Al aplicar el Test Shapiro-wilk se obtiene como resultado los valores entregados en la Tabla C. 1, en ella se aprecia que el valor-p es $0,04741 < 0,05$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir, los datos de altura no son normales a un nivel de significancia nominal del 5%.

Tabla C. 1. Resultados del Test Shapiro-wilk

| <i>Shapiro-wilk normality test</i> | |
|------------------------------------|----------------|
| <i>W</i> | <i>p-value</i> |
| 0,982 | 0,04741 |

Debido a que los datos de altura no son normales se hace una transformación de ellos, en este caso se aplica logaritmo natural. A los datos transformados se le realiza el mismo procedimiento anterior, primero un histograma y luego el Test Shapiro-wilk.

En la Figura C. 2 se muestra el histograma con los datos transformados, a simple vista se podría decir que los datos son normales.

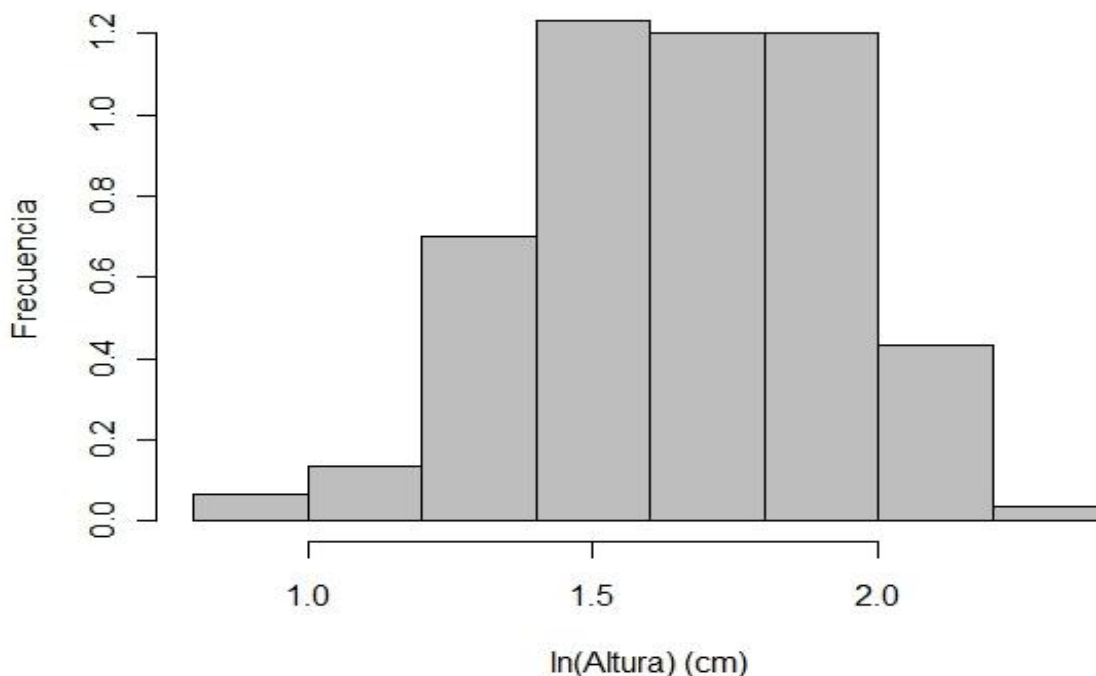


Figura C. 2. Histograma de los datos de altura transformados

Al utilizar los datos transformados, en la Tabla C. 2 se observa que el valor-p es $0,06269 > 0,05$, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, esto indica que al parecer los datos son normales a un nivel de significancia nominal del 5%.

Tabla C. 2. Resultados del Test Shapiro-wilk para ln(altura)

| <i>Shapiro-wilk normality test</i> | |
|------------------------------------|----------------|
| <i>W</i> | <i>p-value</i> |
| 0,9831 | 0,06269 |

C.3. HOMOCEASTICIDAD

Otro supuesto a considerar es saber si la varianza entre los tratamientos es igual. Para ello se realizó un gráfico de caja y se aplicó la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett la cual considera verificar las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 \\ H_1: \text{alguna de ellas es distinta} \end{cases}$$

Resultados:

En la Figura C. 3 se puede ver que la mayoría de los tratamientos están cercanos a cero, aunque hay algunas que se escapan. Se aprecia además que existen diferencias en la variabilidad de los residuos entre tratamientos.

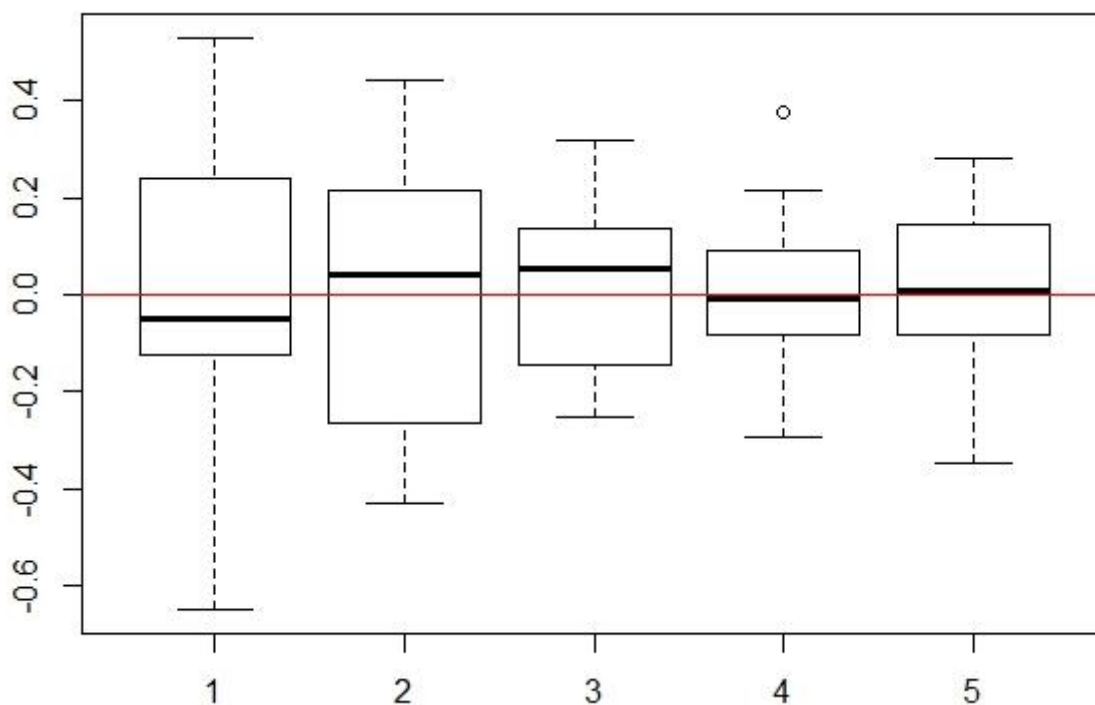


Figura C. 3. Gráfico de Caja

Según la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett, considerando un 5% de significancia de los datos, se observa que el p-valor $0.0004795 < 0.05$, por lo cual se rechaza la hipótesis nula, es decir, los residuos no son homogéneos entre tratamientos.

Tabla C. 3. Resultados de la prueba de Homogeneidad

| <i>Bartlett test of homogeneity of variances</i> | | |
|--|-----------|------------------|
| <i>Bartlett's K-squared</i> | <i>df</i> | <i>p-value</i> |
| 20.0893 | 4 | 0.0004795 |

ANEXO D: Fotografías de las palmetas

D.1. FOTOGRAFÍAS ANTES DE LA INSTALACIÓN

a. Palmetas con tratamiento T100



Figura D. 1. Palmeta T100R1



Figura D. 2. Palmeta T100R2



Figura D. 3. Palmeta T100R3

b. Palmetas con tratamiento T75



Figura D. 4. Palmeta T75R1



Figura D. 5. Palmeta T75R2



Figura D. 6. Palmeta T75R3

c. Palmetas con tratamiento T50



Figura D. 7. Palmeta T50R1



Figura D. 8. Palmeta T50R2



Figura D. 9. Palmeta T50R3

d. Palmetas con tratamiento T25



Figura D. 10. Palmeta T25R1



Figura D. 11. Palmeta T25R2



Figura D. 12. Palmeta T25R3

e. Palmetas con tratamiento T0



Figura D. 13. Palmeta T0R1



Figura D. 14. Palmeta T0R2



Figura D. 15. Palmeta T0R3

D.2. TRASLADO E INSTALACIÓN

En la Figura D. 16 se muestra como se enrollaron las palmetas para ser trasladadas, ejemplificando con el T25R1.



Figura D. 16. Palmeta T25R1.



Figura D. 17. Palmetas enrolladas



Figura D. 18. Palmeta T100R1. No logró enrollarse para ser trasladada



Figura D. 19. Palmetas Instaladas