

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke



**EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE
INCORPORACIÓN DE
BIOSÓLIDOS EN PALMETAS DE
CÉSPED**

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

SERGIO EMMANUEL HORMAZÁBAL GARCÍA

Concepción, Marzo 2017.

INDICE

RESUMEN	271
ABSTRACT	272
1.-INTRODUCCIÓN.....	3
1.1-Justificación.....	4
1.2-Objetivos de la investigación.....	5
2.-MÉTODOLOGIA.....	14
2.1-Lugar y tratamiento	15
2.2-Parámetros decontrol	159
<i>a)Ubicación de las palmetas</i>	<i>9</i>
<i>b)Dimensiones.....</i>	<i>17</i>
<i>c)Cantidad de agua</i>	<i>17</i>
<i>d)Tipo y cantidad de semilla</i>	<i>17</i>
<i>e)Suelo.....</i>	<i>17</i>
<i>f)Biosólidos</i>	<i>170</i>
2.3-Confección palmetas	170
2.4-VARIABLES A MEDIR.....	171
<i>a)Altura césped</i>	<i>1811</i>
<i>b)Biomasa</i>	<i>12</i>
<i>c)Peso de las palmetas y traslado.....</i>	<i>1912</i>
<i>d)Registro fotográfico</i>	<i>12</i>
2.5-Instalación de las palmetas.....	2612
2.6-Métodos estadísticos	2613
2.6.1-Estudio exploratorio.....	2613
2.6.2-Diseño de experimento completamente aleatorio.....	2613

3.-RESULTADOS Y ANÁLISIS	2715
3.1-Evolución de la altura del césped	2715
<i>a)Análisis antes del primer corte.....</i>	3015
<i>b)Análisis entre el primer y segundo corte.....</i>	3119
<i>c)Análisis entre el segundo y el tercer corte</i>	3120
3.2-Análisis inferencial de la altura del césped	31
3.3-Biomasa	3123
3.4-Peso de las palmetas y traslado.....	3126
4.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
4.1-Conclusiones.....	3127
4.2-Recomendaciones	3228
REFERENCIAS.....	3229
ANEXO	322
ANEXO A: Cálculos y mediciones de la altura del césped.....	323
A.1.CÁLCULOS.....	34
<i>A.1.1-Characterización del suelo orgánico</i>	324
A.2-MEDICIONES.....	395
<i>A.2.1-Altúra promedio de cada tratamiento y de sus réplicas.....</i>	395
<i>A.2.2-Altúra de césped para diseño completamente aleatorio</i>	41
<i>a)Altura de césped medidas antes del primer corte</i>	6341
<i>b)Altura de césped medidas entre el primer y segundo corte</i>	47
<i>c)Altura de césped medidas antes del tercer corte</i>	53
A.2.3-Peso del césped por cada corte (Biomasa).....	6359
A.2.4-Peso de las palmetas enrolladas	6460

ANEXO B: Variabilidad de las alturas del césped de las réplicas de los tratamientos	61
B.1-Alturas de las réplicas de los tratamientos en el tiempo, antes del primer corte.....	652
ANEXO C: Métodos estadísticos	7369
C.1-Normalidad	7870
C.2-Análisis exploratorio de datos.....	7873
C.2.1- <i>Diseño de experimento completamente aleatorio</i>	7873
ANEXO D: Registro fotográfico	7380
D.1-Parcelas rellenas y recién sembradas	7881
D.2-Parcelas antes de ser enrolladas	7882
D.3-Palmetas enrolladas	7886
D.4-Palmetas que no soportaron la forma de rollo	7887
D.5-Traslado	7888
D.6-Palmetas instaladas	7889

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE INCORPORACIÓN DE BIOSÓLIDOS EN PALMETAS DE CÉSPED

Autor: Sergio Emmanuel Hormazábal García

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

Correo electrónico: shormaza@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 el uso de biosólidos proveniente de las plantas de tratamiento de agua residual. El propósito es evaluar la factibilidad de realizar palmetas de césped utilizando biosólidos. Para ello, se realiza un diseño de experimento completamente aleatorio, que consiste en realizar palmetas de césped con un suelo orgánico (tierra) y dos tipos de concentración de biosólidos (25% y 50%), además de tener una diferente distribución de estos (suelo abajo y biosólido encima; biosólido abajo y suelo encima; suelo-biosólido-suelo; mezcla suelo-biosólido). Para cada combinación (concentración de biosólido y distribución) se realizaron tres muestras, haciendo un total de 24 palmetas de césped, dispuestos en parcelas de 1 x 0,5 m con 5 cm de espesor. El tipo de semilla utilizada es mezcla estadio. Las variables medidas fueron: altura del césped, peso de la palmeta enrollada y capacidad de ser transportadas. Los resultados evidenciaron que la distribución Biosólido abajo y suelo encima al 25% presentó un mayor crecimiento y una mejor respuesta frente a la utilización de biosólido en relación a los demás tratamientos.

Palabras Claves: Biosólido, palmetas, tratamientos.

5973 Palabras Texto + 16 Figuras/Tablas*250+0 Figuras/Tablas*500=9973 total de palabras.

EVALUATION OF METHODS TO INCORPORATION BIOSOLIDS IN NATURAL GRASS ROLLS

Author: Sergio Emmanuel Hormazábal García

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

E-mail: shormaza@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, the use of biosolids from a treatment wastewater plant is analyzed. The purpose is to evaluate the feasibility of using biosolids to make grass carpets. For this, it is created a design of experiment completely random, which involves making grass carpets made of organic soil and two types of concentration of biosolids (25 and 50%), besides having a different distribution of these (soil down and biosolid above; biosolid down and soil above; soil-biosolid-soil; soil and biosolids mixture). For each combination (concentration of biosolids and distribution). Three samples were made, making a total of 24 grass carpets, provided in plots of 1 x 0.5 m and 5 cm thick. The type of seed used is a stadium mixture. The variables measured were: height of the grass, pH of biosolid-soil mixture, rolled grass carpet weight and capacity to be transported.

The results evidenced that Distribution biosolid down and soil above with 25% of biosólid, presented the highest growth and the best response to the use of biosólids, comparing the others treatments.

Keywords: Biosolids, carpet, treatments.

1. INTRODUCCIÓN

A comienzos de la década de los 90 comenzó en Chile, en forma incipiente, el proceso de construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Desde el año 2000, el proceso se aceleró significativamente, con la publicación de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile. 2001).

El crecimiento constante del país, ha desarrollado un aumento de la producción de biosólidos por las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). A diciembre del año 2015 en el país existían 290 sistemas de tratamiento de aguas servidas en funcionamiento operados por las empresas sanitarias en las zonas urbanas, lo que permitió entregar una cobertura de tratamiento de aguas servidas de un 99,85% respecto a la población que cuenta con redes de alcantarillado que alcanza a los 16.309.527 habitantes. La tecnología más usada actualmente en los sistemas de tratamiento de aguas servidas corresponde a la de lodos activados con un 60% del total de PTAS (SISS, 2015). Del proceso de saneamiento de las aguas, es de donde se obtienen los biosólidos; residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos, que son una buena fuente de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y micronutrientes.

Actualmente, los biosólidos en su mayoría, no están siendo utilizados de manera benéfica y son llevados principalmente a monorellenos, o dispuestos en rellenos sanitarios, disminuyendo su vida útil.

Por lo comentado anteriormente, surge la necesidad de buscar sistemas de transformación y reutilización simples y eficientes que aprovechen el contenido nutricional de estos biosólidos, permitiendo su retorno al suelo y por lo tanto su reinserción en los grandes ciclos ecológicos vitales del planeta (Concha, 2012).

Es por esto que en el presente proyecto de título se propone el desarrollo de palmetas de césped con mezclas de suelos y biosólidos de manera de transformar estos desechos en un subproducto sustentable y amigable con el medio ambiente (Ponce, 2015).

1.1. Justificación

Cabe mencionar las investigaciones anteriores bajo las cuales están sujetas las conclusiones de este trabajo. Muñoz (2014) determinó que una dosificación entre el 25% y 50% de biosólidos, es una cantidad adecuada para asegurar un buen desarrollo de las palmetas, en el caso de utilizar un suelo orgánico. Ponce (2015) determinó que bajo la dosificación de 50% de biosólidos, el mejor tipo de suelo a utilizar para el buen desarrollo de la palmeta es tierra de hoja. Estas investigaciones, Muñoz (2014) y Ponce (2015), solo hicieron una mezcla de biosólidos con los suelos, dejando un parámetro sin controlar que es el método de incorporación de biosólidos en las palmetas.

Como continuación a estas investigaciones, se desarrolla un estudio experimental, que consiste en realizar palmetas de césped; con un suelo orgánico (tierra de hoja) y dos tipos de concentración de biosólidos (25% y 50%), donde tendrán una diferente distribución de estos (suelo abajo y biosólido encima; biosólido abajo y suelo encima; suelo-biosólido-suelo; mezcla suelo-biosólido) y para cada combinación (concentración de biosólido y distribución) se realizaron tres muestras, haciendo un total de veinticuatro palmetas de césped. Esto permite identificar el tipo de distribución en cada concentración de biosólidos, en donde se desarrolle de mejor manera la palmeta de césped.

Finalmente, este estudio entrega una estrategia para la utilización del biosólido tanto doméstica como industrial de fácil aplicación que puede llegar a comercializarse (Muñoz, 2015).

1.2. Objetivos de la investigación

Objetivo General:

-Evaluar los efectos de la incorporación de biosólidos en el desarrollo de palmetas de césped.

Objetivos Específicos:

-Desarrollar palmetas de césped con dos concentraciones de biosólidos y diferentes distribuciones al interior de estas.

-Realizar un análisis comparativo de las concentraciones de biosólidos con las distintas distribuciones empleadas.

-Obtener la distribución biosólido-suelo y el porcentaje de biosólido más benéfico para la construcción de palmetas de césped.

-Verificar que las palmetas de césped soporten la forma de rollo para ser transportadas.

2. METODOLOGIA

En este capítulo se explica el procedimiento realizado para la fabricación de las palmetas de césped, también se especifican y definen las variables a medir, con el fin de lograr los objetivos de la investigación. Se utilizaron dos concentraciones de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas servidas de Hualpén, las cuales fueron mezcladas, en distintas distribuciones, con un suelo orgánico y semilla de césped, conocida como mezcla estadio.

2.1. Lugar y tratamiento

El estudio fue realizado en la Universidad del Bío-Bío sede Concepción, a un lado del invernadero. Este lugar escogido fue el mismo de las investigaciones anteriores (Muñoz, 2015; Ponce, 2015) para poder evaluar de la misma forma los resultados, la cual, 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 experimento considera 4 distribuciones (D) con dos concentraciones y 3 repeticiones (R), es decir, 24 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).

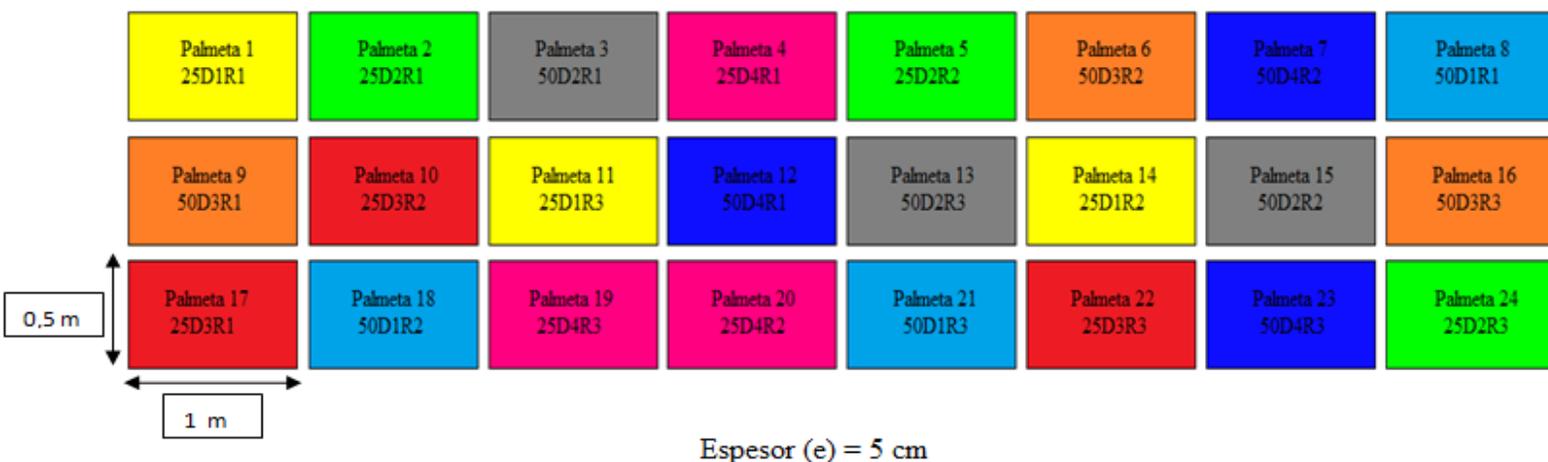


Figura 1. Disposición aleatoria de las parcelas.

Los tratamientos consideran un 100% de mezcla de la cual se especifican las proporciones de biosólido, suelo y distribución de estos.

Se definieron simbologías para llamar a las palmetas

XDnRn

Dónde:

X: Porcentaje de biosólido de la palmeta

Dn: Número de la distribución de la palmeta

Rn: Número de la repetición de la palmeta

Las distribuciones Biosólido-Suelo se muestran en la figura 2.

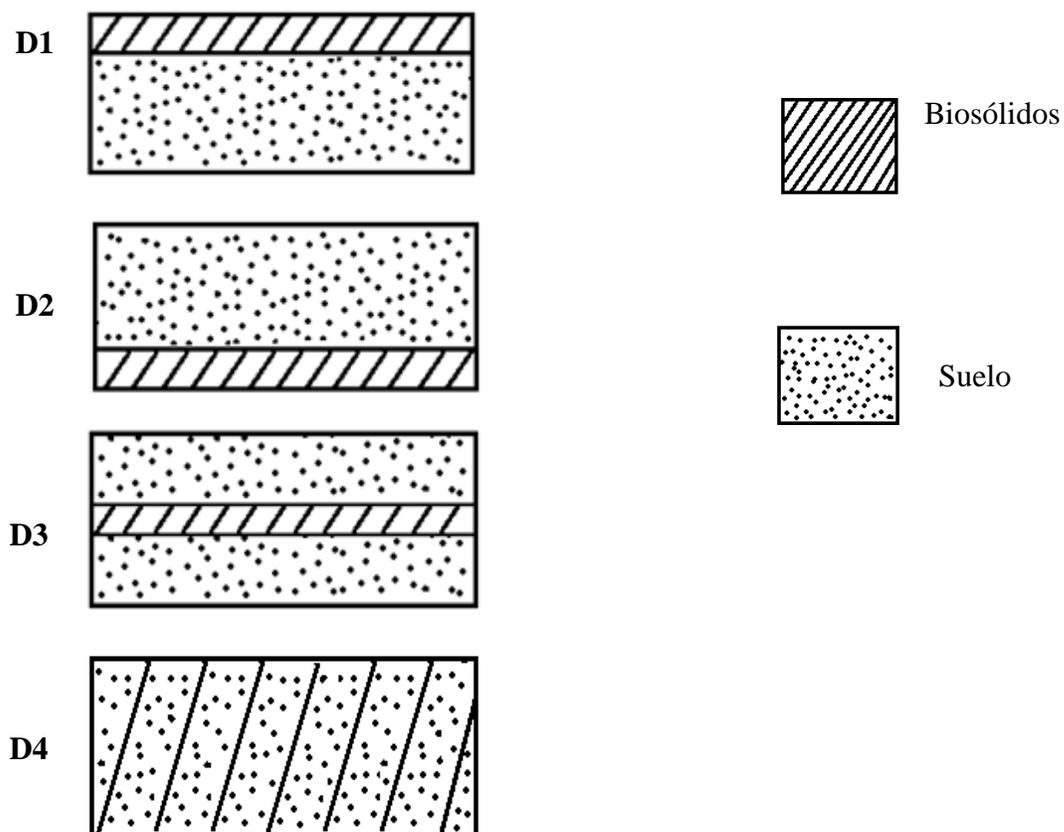


Figura 2. Distribuciones usadas

La cantidad de biosólido ocupada fue 5,25 Kg y 10,5 Kg en 0,5 m² en peso húmedo. La Tabla 1 muestra los porcentajes y cantidades ocupados en las parcelas.

Tabla 1. Peso húmedo de mezcla biosólido-suelo.

Biosólidos (%)	Suelo Orgánico (%)	Peso biosólido (Kg)	Peso Suelo (Kg)	Peso de la Mezcla Húmeda (KG)
25	75	5,25	7,15	12,4
50	50	10,5	4,8	15,3

Se definió la siguiente nomenclatura para llamar a las distribuciones:

D1: Distribución 1.

D2: Distribución 2.

D3: Distribución 3.

D4: Distribución 4.

SB: Suelo abajo y biosólido arriba.

BS: Biosólido abajo y suelo arriba.

SBS: Suelo-biosólido-suelo.

MBS: Mezcla biosólido suelo.

R1: Repetición 1.

R2: Repetición 2.

R3: Repetición 3.

2.2. Parámetros de control

En el análisis se establecieron parámetros a controlar con el objetivo de proteger la uniformidad en las palmetas.

a) *Ubicación de las palmetas*

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

b) *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.

c) *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 riego disminuyó a una vez al día con 3200 ml, considerando que se realizó el primer corte. Los días en que llovió no se regó.

d) *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 (Muñoz, 2015).

e) *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 87,57% de humedad al momento de la siembra, y un 10,06% de Materia Orgánica (M.O) 80,94% Mineral y un pH igual a 7,1.

d) Biosólidos

Se utilizó biosólido de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Hualpén, Concepción, el cual presentaban un 71,75% de humedad y un pH de 7,1. Este cumple satisfactoriamente la normativa de lodo Clase A según el Decreto Supremo N°4 Ministerio Secretaría General De La Presidencia (2009).

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, 2016). Todas se construyeron de igual modo para que las unidades experimentales fueran lo más uniforme posible para el diseño.

Llenado de las parcelas:

- Primero se procedió a llenar las parcelas hasta la mitad (2,5 cm aproximadamente), según correspondía de acuerdo a la Figura 1 y con ello se calcularon las proporciones para cada parcela en particular. Los pesos de cada tratamiento se especifican en la Tabla 1.
- Posteriormente se instaló el filamento para formar la palmeta y permitir que la raíz se aferre.
- Luego se regó y se esparcieron las semillas de forma uniforme por toda la parcela.
- Finalmente se cubrió con el material faltante y nuevamente se regó con 800 ml de agua.

Otras consideraciones

- La construcción y sembrado de las parcelas se realizó a principios de Diciembre del 2016.
- Se decidió realizar tres cortes a las palmetas con la finalidad de dar mayor firmeza y resistencia para ser transportadas (Darío, 2016).
- El primer corte se realizó a los 24 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 (Muñoz, 2016).
- Los otros dos cortes se efectuaron cuando el césped consiguió llegar a una altura umbral de 10 cm.
- El tiempo que se consideró para transportar las palmetas en forma de rollo fue de 3 meses.
- Mientras crecía el césped se fue arrancando la maleza.

2.4. Variables a medir

Se definieron los parámetros a medir y se recolectó información para un análisis descriptivo e inferencial, una vez construidas las palmetas. Esto permitió realizar un estudio para saber que tratamiento es el más benéfico.

a) 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 120 datos por cada medición. Estas mediciones se realizaron cada tres días.

Para el estudio inferencial se tomaron 10 mediciones de altura en cada palmeta de forma aleatoria, es decir 240 datos al azar. Esto se midió tres veces, antes de realizar cada corte. En ambas mediciones se utilizó una regla graduada cada 1 mm.

b) Biomasa

Al realizar los cortes respectivos, se extrajo el césped de cada palmeta por separado y así registrar su peso.

c) Peso de las palmetas y traslado

Una vez logrado los tres cortes, debido a los imprevistos (corte de agua en la UBB, ola de calor y focos de incendios cercanos), se decidió dejar crecer las palmetas un tiempo para ver el comportamiento de estas. Luego las palmetas se enrollaron para ser transportadas. En cada palmeta se determinó su posibilidad de enrollar y soportar el traslado, luego se pesaron sólo las palmetas que soportaron la forma de rollo.

d) Registro fotográfico

Se sacaron fotografías cada dos semanas, con el objetivo de ver el crecimiento del césped de forma descriptiva. Ello complementó los resultados obtenidos con los métodos estadísticos.

2.5. Instalación de las palmetas

Las palmetas se instalaron en el patio de una vivienda ubicada en Lomas de San Sebastián, para ello se consideraron consejos de un especialista (Darío, 2016).

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.

2.6. Métodos Estadísticos

Para realizar el análisis de los datos medidos se utilizaron dos métodos estadísticos, uno exploratorio para observar de forma descriptiva el crecimiento del césped durante el tiempo y otro a través de un diseño completamente aleatorio de manera de elegir inferencialmente el tratamiento apropiado.

2.6.1. Estudio Exploratorio

Este método permite analizar la tendencia de las variables medidas de una forma descriptiva mediante la utilización de gráficos, los cuales permiten observar el crecimiento del césped para cada tratamiento. Para el estudio exploratorio se utilizó el software Microsoft Excel, el que entrega los gráficos respectivos.

2.6.2. Diseño de Experimento Completamente Aleatorio

Para el desarrollo de este método se utiliza el software Minitab 16, en el cual se ingresa los datos de alturas de césped obtenidos antes de realizar cada uno de los cortes.

El método de Diseño de Experimento Completamente Aleatorio (DCA) también conocido como ANOVA, permite estudiar si existe una relación entre dos variables, en este caso la altura del césped y la distribución de los biosólidos. El DCA se considera como un modelo estadístico lineal para el cual es necesario la verificación de las siguientes hipótesis:

i) Hipótesis Nula:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

Considera que todas las medidas son iguales, por lo que el suelo no influye en el crecimiento del césped.

ii) Hipótesis Alternativa:

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para } i \neq j$$

Considera que las medidas difieren en al menos dos de los niveles y que la distribución de los biosólidos influye en el crecimiento del césped.

Ahora, si la hipótesis nula es rechazada es necesario aplicar un test estadístico que permita comparar las alturas del césped para cada distribución. En esta oportunidad se utiliza el test Tukey, el que permite dilucidar que distribución es el que faculta un mayor crecimiento del césped y por el contrario cual es el de menor crecimiento.

Cabe mencionar que antes de la aplicación del ANOVA es necesario probar si existe normalidad en los datos medidos, utilizando el Test de Ryan-Joiner para esto. Se considera un nivel de confianza del 95% en todos los análisis.

En el caso de no cumplir con la normalidad, se trabaja con las pruebas no Paramétricas (llamadas también de libre distribución). Una de las pruebas para analizar datos no paramétricos es la desarrollada por Kruskal Wallis, la cual se basa en las siguientes hipótesis:

- i) Hipótesis Nula: La mediana de las k tratamientos considerados son iguales

- ii) Hipótesis Alternativa: Al menos una de los tratamientos tiene mediana distinta a las otras.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con su respectivo análisis.

3.1. Evolución de la altura del césped

Para analizar la evolución de la altura del césped se utilizaron los datos de alturas medidos para cada tratamiento, promediando las alturas de las réplicas de cada uno de éstos. Estas alturas promedios se grafican para cada corte.

a) *Análisis hasta el primer corte*

A los 24 días desde la siembra el césped no presenta diferencia entre las palmetas, en cuanto a color y altura, como se puede apreciar en la Figura 2 A). Al realizar el primer corte las palmetas quedan con una altura de 2 cm aproximadamente, como muestra en la Figura 2 B).

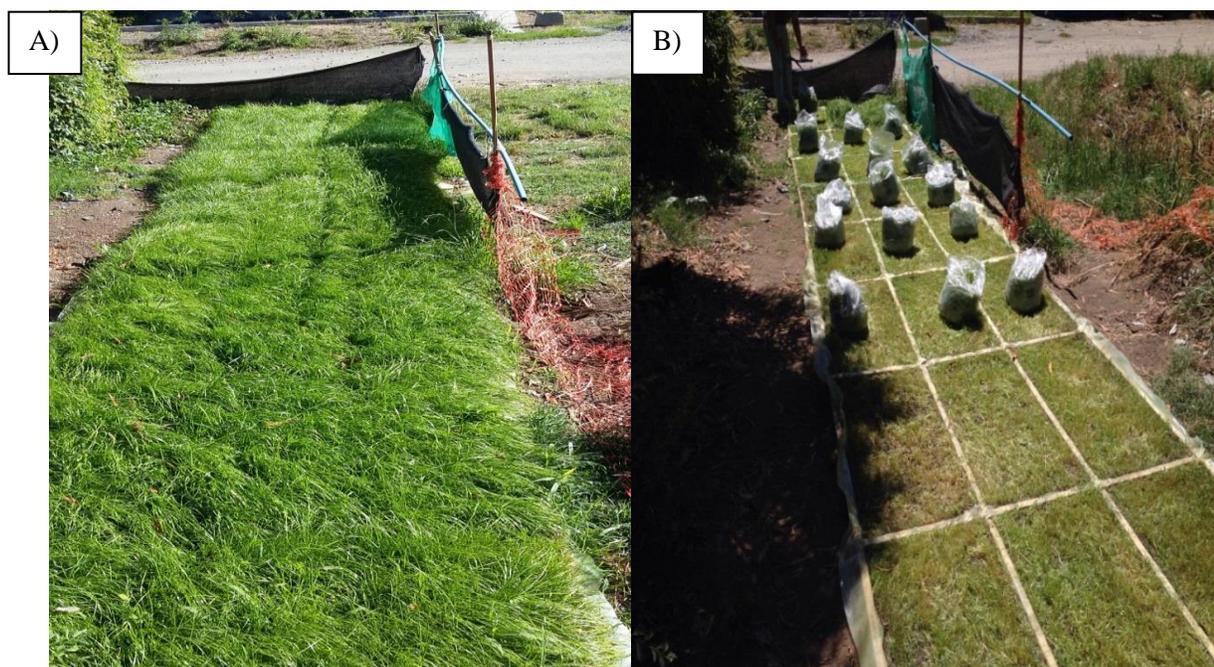


Figura 2. A) Palmetas antes del primer corte. B) Palmetas después del primer corte.

La germinación del césped se produjo al cuarto día para todos los tratamientos, independiente de la cantidad y distribución de los biosólidos. Logrando contar desde ese día con un crecimiento más rápido. Además, se aprecia que el día 30, establecido como límite para el primer corte, todos los tratamientos alcanzan el umbral fijado (altura promedio igual a 10 cm).

Cabe destacar que todos los tratamientos alcanzan la altura umbral antes de los 30 días, siendo el día 24 en el cual las palmetas sobrepasan el umbral de los 10 cm. En la Figura 3 se aprecia en un gráfico que presenta las alturas promedio de las cuatro distribuciones.

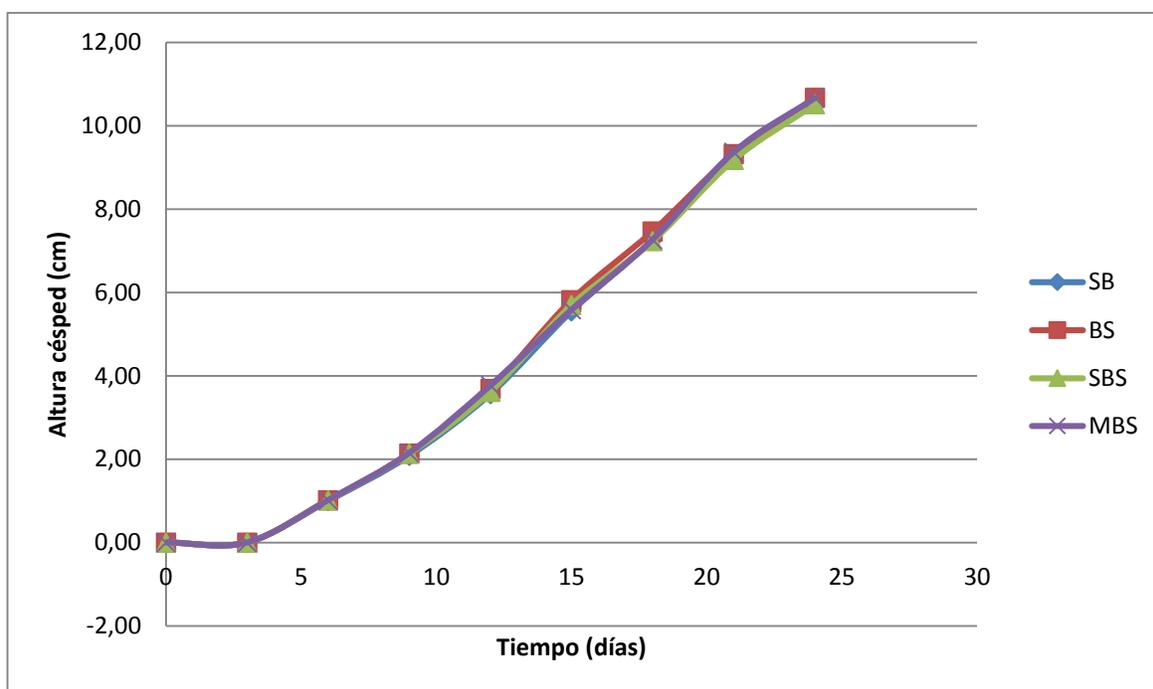


Figura 3. Altura promedio en el tiempo de las cuatro distribuciones, antes del primer corte.

Considerando que todos tratamientos lograron el umbral de 10 cm antes de los 30 días, en la Figura 4 se grafican las alturas promedio de cada réplica y porcentaje de biosólido de la Distribución 1 (D1). Se aprecia que no existe mayor variabilidad entre los porcentajes de biosólidos presentes en las palmetas y que las réplicas tienen un buen comportamiento. En el Anexo B se puede observar que las demás distribuciones se comportan de similar manera.

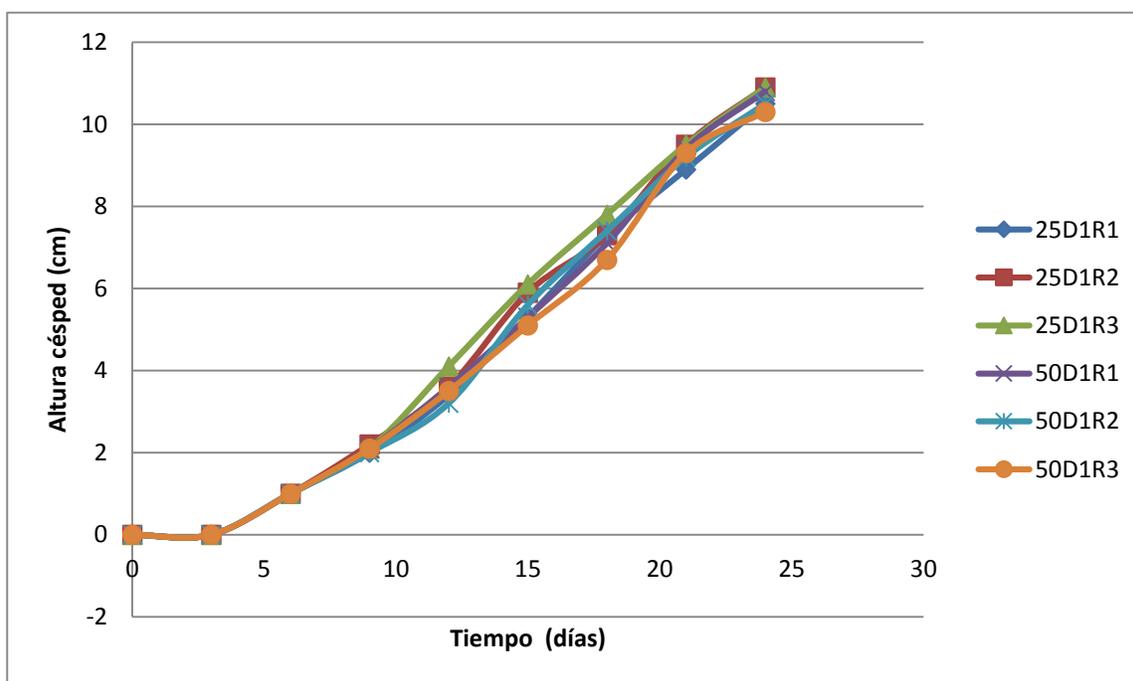


Figura 4. Altura promedio en el tiempo de los porcentajes y réplicas de la Distribución 1.

En la figura 5 se muestra las alturas de cada porcentaje de biosólidos de la distribución 1 (D1), donde se aprecia que no hay mayor variabilidad entre los porcentajes de biosólidos aplicados a cada palmeta. En el Anexo B se puede observar que las demás distribuciones se comportan de similar manera.

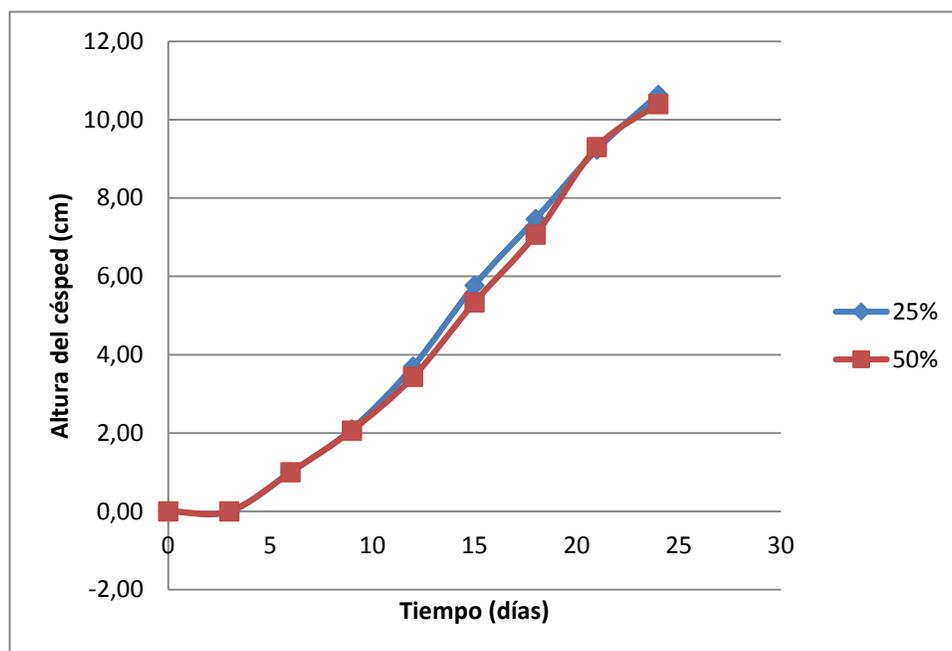


Figura 5. Altura promedio de cada porcentaje de la Distribución 1.

b) *Análisis entre el primer y segundo corte*

En la figura 6 se grafican todos los tratamientos. En ella se observa que el segundo corte se realizó 18 días después, (el día 42 desde el sembrado), un tiempo menor de lo que se demoró el primer corte. Se aprecia que todos los tratamientos tienen un comportamiento similar, todos logran una altura promedio máxima de 10,6 a 10,8 al momento de ser cortados.

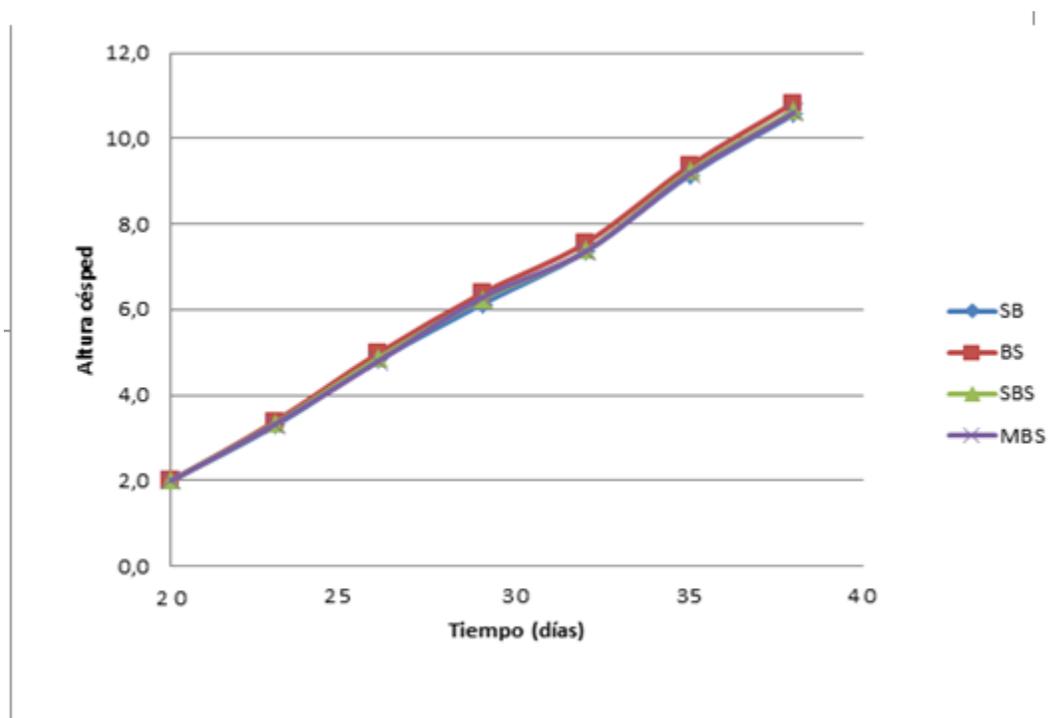


Figura 6. Altura promedio en el tiempo de las cuatro distribuciones, antes del segundo corte.

c) *Análisis entre el segundo y tercer corte*

Los tratamientos logran el tercer corte mucho tiempo después que los cortes anteriores, esto se debe a la ola de calor, corte de agua en la UBB y principalmente a los focos de incendios ocurridos en una misma semana (8 días después del segundo corte), viéndose afectado su crecimiento, tardándose más de lo esperado (Darío, 2017). El día 33 después del segundo corte (día 75 desde la siembra), los tratamientos logran sobrepasar el umbral de 10 cm, con una altura promedio que varía de 10,1 cm a 10,7 cm, logrando recuperarse luego de los imprevistos que afectaron de cierto modo el tiempo de crecimiento del césped. En la figura 7 Se puede observar el comportamiento del crecimiento que tuvieron las palmetas.

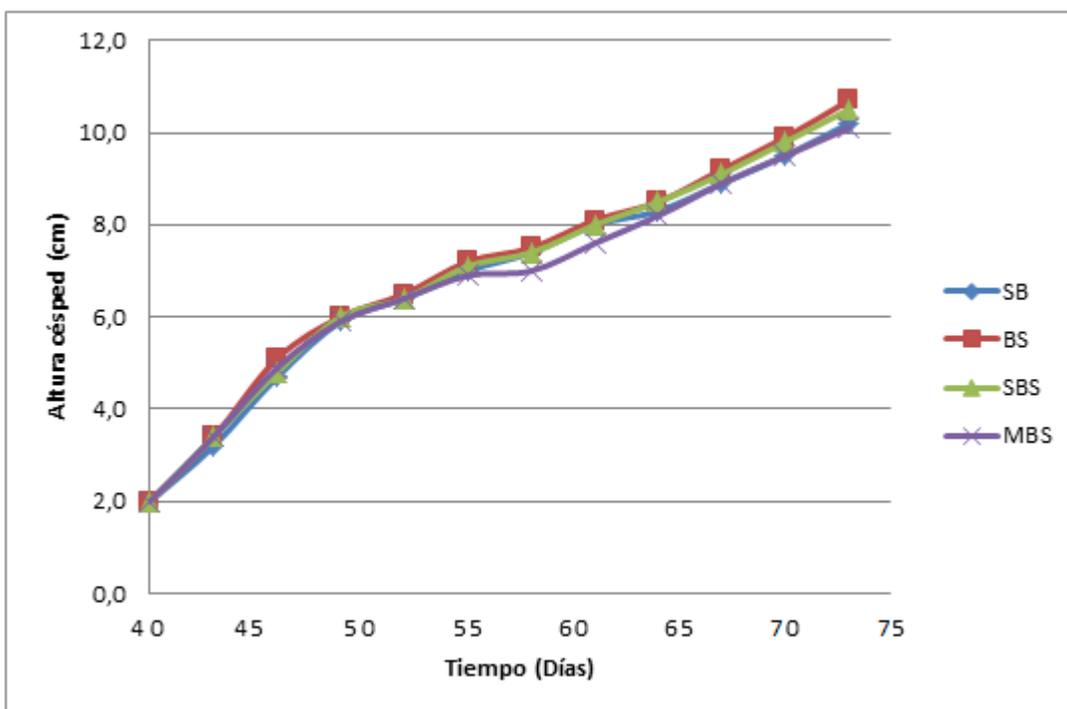


Figura 7. Altura promedio en el tiempo de las cuatro distribuciones, antes del tercer corte.

En cuanto al desarrollo de las palmetas de césped, no hubo ningún problema en realizarlas. Tanto como la confección de las parcelas, así como la mezcla de los biosólidos con el suelo orgánico. Es un hecho que para trabajar con los lodos hay que usar guantes que cubran hasta más arriba de las muñecas para así evitar el contacto directo con el lodo.

Se observa en el anexo D que las distribuciones, en general, tienen un comportamiento similar en cuanto a cubrir la palmeta. Se destaca D2 de los demás ya que, sus porcentajes y todas sus réplicas mantienen el mismo patrón en cuanto a color y crecimiento. D1 difieren en sus porcentajes y respectivas replicas, ya que las de 25% el césped creció más delgados que otros y las de 50% presentan partes sin césped. D3 y D4 tienen un comportamiento similar a D2, pero hay replicas que crece más delgado y el césped no crece parejo.

En cuanto al desarrollo de las palmetas de césped se puede decir que los porcentajes utilizados no influyeron mayormente, ya que, las palmetas de una misma distribución no presentan mayor variabilidad entre sus réplicas y porcentajes. Es como que fueran todas de un mismo porcentaje.

3.2. Análisis inferencial de la altura del césped

El análisis inferencial se basó en la aplicación del DCA, para lo cual se utilizaron las mediciones de alturas especificadas en el Anexo C.3.

Al aplicar el Test de Ryan-Joiner para probar la normalidad de los datos, se obtiene que los datos no se comportan normalmente (Anexo C). Por ello el ANOVA no es válido en este caso, y se debe aplicar una prueba para datos no paramétricos. En esta oportunidad se utilizó el Test de Kruskal-Wallis, el cual arrojó un p-valor bigual a $0,011 < 0,05$. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los tratamientos no son todos iguales. Es decir; al menos uno de los tratamientos tiene mediana distinta a los otros. Además, tal como se muestra en la Tabla 2 la distribución 1 es la que se comporta de mejor manera alcanzado un mayor valor en mediana (10,8 cm).

Tabla 2. Prueba de Kruskal-Wallis: Altura (cm) vs. Tratamiento.

Distribución	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
1	60	10,8	140	2,52
2	60	10,6	125,3	0,62
3	60	10,5	98,6	-2,82
4	60	10,7	118,1	-0,31
General	240		120,5	

3.3. Biomasa

El análisis de la biomasa permitirá definir el tratamiento con mayor cobertura vegetal, y así definir que tratamiento es el que entrega mejores resultados considerando que la variabilidad de los tratamientos en lo que respecta a las alturas es mínima. En la Tabla 3 se logra observar que una vez realizado el primer corte, la distribución con mayor biomasa es la D2 al 50%, la cual se sigue manteniendo en los siguientes cortes. Los datos de biomasa obtenidos en las mediciones de cada réplica, se observan en el Anexo A.1

Tabla 3. Peso promedio de biomasa por tratamiento.

Tratamiento	Peso 25% (gr)				Peso 50% (gr)			
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
D1	253,3	247,3	252	632,7	265,7	282,3	263	757,7
D2	237,3	212,7	255,7	774,3	288,3	283,3	283	862
D3	252	242	246,7	745,3	235	229,3	195,3	615,7
D4	189,7	224	227	672,7	250,7	261,3	268,7	821,3

Cabe destacar que aun realizando el análisis de la biomasa, no existe tratamiento que sobresalga en comparación al resto.

El análisis de la productividad tiene por objeto mostrar la cantidad de biomasa generada diariamente por cada distribución. En la Tabla 4 se muestra la productividad de las distribuciones.

Tabla .Productividad por distribución

Distribución 25%	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
25D1	12,67	13,74	7,64	21,09
25D2	11,87	11,82	7,75	25,81
25D3	12,60	13,44	7,48	24,84
25D4	9,49	12,44	6,88	22,42
Distribución 50%	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4
50D1	13,29	15,68	7,97	25,26
50D2	14,42	15,74	8,58	28,73
50D3	11,75	12,74	5,92	20,52
50D4	12,54	14,52	8,14	27,38

La cantidad de agua proporcionada para lograr la productividad mencionada anteriormente se muestra en la figura 8.

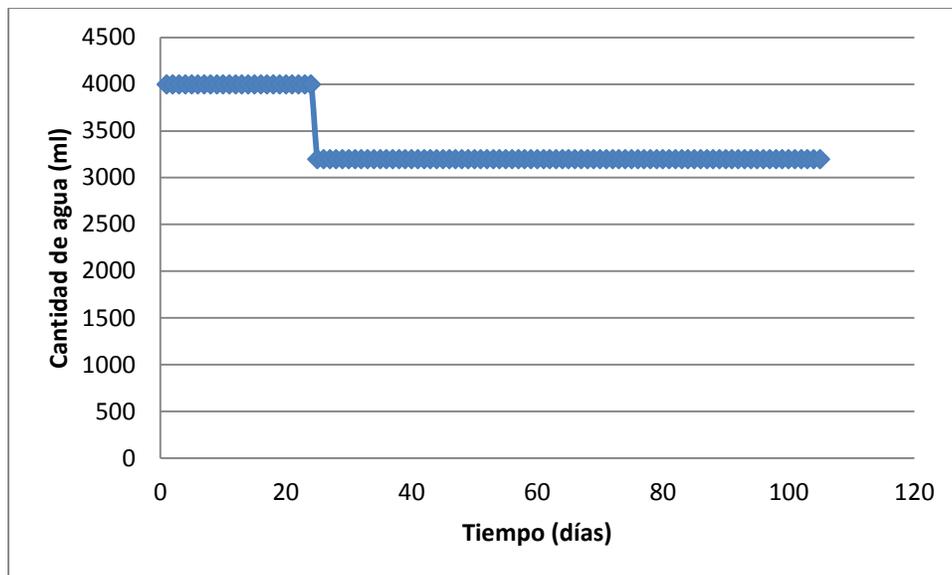


Figura 8. Cantidad de agua proporcionada a las palmetas.

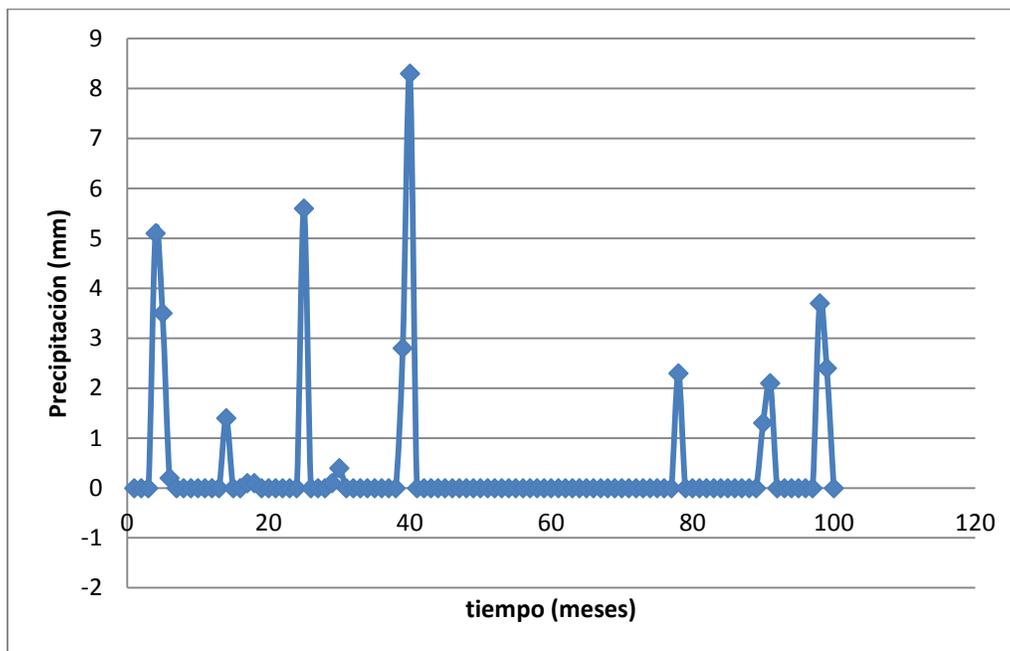


Figura 9. Precipitaciones en los meses de la investigación.

3.4. 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 la gran mayoría de las palmetas a excepción de 50D1R3, 50D3R3 Y 50D4R3, que no lograron la forma de rollo. Se destaca las distribuciones con 25% de biosólido por sobre de las de 50%, ya que, a pesar de que las demás distribuciones de 50% soportaron la forma de rollo, estas presentan un pequeño deterioro y complicaciones para ser enrolladas. Además, al momento de ser transportadas, las distribuciones con 50% de biosólidos se empezaron a deteriorar, no así las distribuciones con 25%.

La distribución que mejor se comporta es el 25D2, seguido por 25D3 Y 25D4, estos últimos tienen un comportamiento similar en cuanto a soportar la forma de rollo y la capacidad de ser transportadas.

Tabla 5. Peso de palmetas enrolladas

Distribución	D1		D2		D3		D4	
Porcentaje	25	50	25	50	25	50	25	50
N° de réplicas enrolladas	3/3	2/3	3/3	3/3	3/3	2/3	3/3	2/3
Peso Promedio replica(kg)	11	10,6	9,7	10,7	9,6	10	9,4	10,7
Promedio Distribución(kg)	10,8		10,2		9,8		10,1	

Las distribuciones presentan una misma tendencia en cuanto a peso, que varía de los 9,8 kg (Distribución 3) a los 10,8 kg (Distribución 1).

Al momento de enrollar las palmetas se observó que las raíces penetraron el polietileno que separaba las mezclas con el terreno. Esto ocurrió con todas las palmetas, destacando la distribución 2, ya que sus raíces, independiente del porcentaje de biosólido, fueron las que más penetraron el terreno.

Este estudio concluyó que la tierra de hoja, Ponce (2015), es un buen suelo para realizar palmetas con incorporación de biosólidos y al igual que Muñoz (2014), las palmetas con un 25% de biosólidos son las que tienen un mejor comportamiento. Sin embargo, lo que este estudio analizó, fue que la distribución biosólido abajo y suelo arriba (a diferencia de los estudios anteriores que solo hicieron una mezcla de suelo y biosólidos) tuvo mejores resultados en cuanto a crecimiento, soportar la forma de rollo y capacidad de ser transportadas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

A partir de la investigación realizada se llegó a las siguientes conclusiones:

- El uso de biosólido influye en el crecimiento del césped, germinando a los 4 días de ser sembrado.
- La distribución Biosólido abajo-suelo arriba al 25%, la distribución suelo-biosólido-suelo al 25% y la distribución Mezcla Biosólido suelo al 25% fueron las que obtuvieron mejores resultados en cuanto a la tonalidad y al crecimiento, sobresaliendo la distribución 2 por presentar un comportamiento similar entre sus réplicas.
- Independiente de la distribución de las palmetas, no hubo mayor complicación para ser enrolladas y transportadas. Sin embargo, las palmetas con un 25% de biosólido soportaron sin problemas la forma de rollo y pudieron ser transportadas sin problemas, en cambio las palmetas con un 50% de biosólidos, si bien, la mayoría se pudieron enrollar, al momento de ser trasportadas tuvieron un pequeño deterioro. Además de que hubieron tres palmetas que no se pudieron enrollar.
- La aplicación del DCA corroboró lo descrito por el análisis descriptivo, considerando que en dos de los tres cortes (segundo y tercer corte), la distribución Biosólido abajo-suelo arriba fue el que arrojó mejores alturas. Así como también dejó en claro que las diferencias existentes entre los distintos tratamientos no son significativas.

4.2. Recomendaciones

- Se sugiere continuar con este experimento con las tres distribuciones destacadas al 25% para asegurar un resultado óptimo, ya que debido a los imprevistos ocurridos en una misma semana (cortes de agua en la UBB, ola de calor e incendios) pudo haber afectado los resultados, posicionando a una distribución por encima de otras.
- También se recomienda para próximos estudios, controlar la cantidad de agua para cada palmeta y averiguar si influye significativamente en el experimento.

REFERENCIAS

1. Accuweather. [en línea]< <http://www.accuweather.com/es/cl/concepcion/57655/february-weather/57655?monyr=7/1/2017>> [Acceso Enero y Febrero 2017].
2. 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.
3. 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. Concepción. Chile.
4. CONAMA (2001). Reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. p27.
5. Dáguer, G.P. (2003) Gestión de biosólidos en Colombia. 46° Congreso Internacional de ACODAL “Sociedad, ambiente y futuro”, Santiago de Cali, Colombia.
6. Decreto supremo N°4 (2009). “*Reglamento para el Manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas*”. Ministerio Secretaría General De La Presidencia.
7. Don Darío. Entrevista realizada el 20 Enero del 2017 en la ciudad de Concepción (Chile). Entrevistador: Sergio Hormazábal.
8. 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.

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. Concepción. Chile.
12. Montgomery, D.C (2004). Diseño y análisis de experimento. Editorial Limusa, México.
13. Muñoz, A.P. (2014). Análisis del desarrollo de palmetas de césped utilizando mezcla de biosólido y suelo. Proyecto de título ingeniería civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.
14. NCh 2952 (2004). *“Lodos-Requisitos y condiciones para un plan de aplicación en suelos”*. Instituto de Normalización, Chile.
15. Ponce M. A. (2015). Evaluación de la influencia del tipo de suelo en el desarrollo de palmetas de césped utilizando biosólidos. Proyecto de título ingeniería civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.
16. 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.

17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. “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	54,2
Peso tara	gr	1,9
Peso de Agua	gr	45,8
Peso material seco	gr	52,3
%w	%	87,57

Tabla A. 2. Cálculo de Materia Orgánica

Porcentaje de Materia Orgánica (M.O)		
Muestra	Unidad	
Muestra seca+crisol	gr	74,39
Muestra calcinada+crisol	gr	69,36
Peso crisol	gr	22,09
Peso de M.O.	gr	5,06
Peso muestra calcinada	gr	50,27
% MO	%	9,67

A.2. MEDICIONES

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

a) Altura promedio antes del primer con un 25% de biosólidos

Tabla A. 3.1. Altura promedio de antes del primer corte

		Altura promedio (cm)									
		Dias									
Distribución	Replica	0	3	6	9	12	15	18	21	24	
D1 (25%)	R1	0	0	1	2	3,4	5,3	7,3	8,7	10,1	
	R2	0	0	1	2,2	3,6	5,9	7,3	9,5	10,9	
	R3	0	0	1	2,1	4,1	6,1	7,8	9,5	10,9	
promedio		0,00	0,00	1,00	2,10	3,70	5,77	7,47	9,23	10,63	
D 2(25%)	R1	0	0	1	2,1	3,5	5,3	7,4	9,2	10,5	
	R2	0	0	1,1	2,4	4	6	7,4	9,6	11	
	R3	0	0	1	2,2	3,9	5,9	7,8	9,4	10,9	
promedio		0,00	0,00	1,03	2,23	3,80	5,73	7,53	9,40	10,80	
D3 (25%)	R1	0	0	1	2	3,5	5,4	7	8,6	10	
	R2	0	0	1,1	2,5	4,2	6,1	7,4	9,6	11,2	
	R3	0	0	1	2,1	3,6	5,3	6,9	9,1	10,2	
promedio		0,00	0,00	1,03	2,20	3,77	5,60	7,10	9,10	10,47	
D4 (25%)	R1	0	0	1,1	2,3	4,3	5,2	7,4	9,7	11,1	
	R2	0	0	1	2,1	3,9	5,9	7,3	9,3	10,8	
	R3	0	0	1	2,1	3,5	5,1	6,7	9,3	10,3	
promedio		0,00	0,00	1,03	2,17	3,90	5,40	7,13	9,43	10,73	

b) Altura promedio antes del primer con un 50% de biosólidos

Tabla A. 3.2. Altura promedio de antes del primer corte

		Altura promedio (cm)									
		Dias									
Distribución	Replica	0	3	6	9	12	15	18	21	24	
D1 (50%)	R1	0	0	1	2,1	3,6	5,3	7,1	9,4	10,8	
	R2	0	0	1	2	3,2	5,6	7,4	9,2	10,5	
	R3	0	0	1	2,1	3,5	5,1	6,7	9,3	10,3	
promedio		0,00	0,00	1,00	2,07	3,43	5,33	7,07	9,30	10,40	
D2 (50%)	R1	0	0	1	2	3,3	5,5	7,2	9,2	10,6	
	R2	0	0	1	2	3,8	6,3	7,3	9,3	10,6	
	R3	0	0	1	2,1	3,6	5,9	7,7	9,2	10,4	
promedio		0,00	0,00	1,00	2,03	3,57	5,90	7,40	9,23	10,53	
D3 (50%)	R1	0	0	1	2	3,4	5,5	7,3	9,2	10,7	
	R2	0	0	1	2,1	3,9	6,1	7,2	9,4	10,6	
	R3	0	0	1	2,1	3,1	5,8	7,6	9,2	10,4	
promedio		0,00	0,00	1,00	2,07	3,47	5,80	7,37	9,27	10,57	
D4 (50%)	R1	0	0	1	2,2	3,4	5,7	7,5	9,4	10,8	
	R2	0	0	1	2,1	3,8	5,8	7	9,4	10,7	
	R3	0	0	1	2,1	3,7	5,8	7,7	9,1	10,3	
promedio		0,00	0,00	1,00	2,13	3,63	5,77	7,40	9,30	10,60	

c) **Altura promedio de entre el primer y segundo corte con un 25% de biosólidos**

Tabla A. 4.1. Altura promedio de entre el primer y segundo corte

		Altura promedio (cm)						
		Dias						
Distribución	Replica	0	3	6	9	12	15	18
D1 (25%)	R1	2	3,2	4,60	5,70	7	8,70	10
	R2	2	3,3	4,90	6,20	7,40	9,30	10,70
	R3	2	3,3	5,00	6,30	7,60	9,30	10,80
promedio		2	3,3	4,8	6,1	7,3	9,1	10,5
D 2(25%)	R1	2	3,4	5,10	6,40	7,60	9,40	10,90
	R2	2	3,6	5,10	6,70	7,90	9,70	11,20
	R3	2	3,3	5,20	6,50	7,90	9,50	11,10
promedio		2	3,4	5,1	6,5	7,8	9,5	11,1
D3 (25%)	R1	2	3,2	4,60	5,90	7,20	9,00	10,30
	R2	2	3,5	5,00	6,50	7,60	9,30	10,80
	R3	2	3,3	4,80	6,20	7,20	9,20	10,60
promedio		2	3,3	4,8	6,2	7,3	9,2	10,6
D4 (25%)	R1	2	3,2	4,60	6,20	7,20	9,10	10,40
	R2	2	3,5	5,00	6,60	7,80	9,60	11,10
	R3	2	3,3	4,90	6,40	7,30	9,20	10,60
promedio		2	3,3	4,8	6,4	7,4	9,3	10,7

d) **Altura promedio de entre el primer y segundo corte con un 50% de biosólidos**

Tabla A.4.2. Altura promedio de entre el primer y segundo corte

		Altura promedio (cm)						
		Dias						
Distribución	Replica	0	3	6	9	12	15	18
D1 (50%)	R1	2	3,4	5,00	6,40	7,70	9,40	11,00
	R2	2	3,3	4,80	6,20	7,40	9,30	10,60
	R3	2	3,2	4,60	6,00	7,10	8,90	10,30
promedio		2	3,3	4,8	6,2	7,4	9,2	10,6
D2 (50%)	R1	2	3,5	5,00	6,50	7,70	9,40	10,90
	R2	2	3,2	4,80	6,20	7,10	9,20	10,50
	R3	2	3,3	4,70	6,00	7,20	9,00	10,40
promedio		2	3,3	4,8	6,2	7,3	9,2	10,6
D3 (50%)	R1	2	3,4	5,10	6,60	7,90	9,60	11,10
	R2	2	3,4	4,90	6,30	7,30	9,20	10,70
	R3	2	3,2	4,80	6,00	7,10	9,10	10,40
promedio		2	3,3	4,9	6,3	7,4	9,3	10,7
D4 (50%)	R1	2	3,4	4,90	6,50	7,60	9,30	10,80
	R2	2	3,2	4,70	6,20	7,10	9,10	10,50
	R3	2	3,3	4,70	5,80	7,20	8,80	10,20
promedio		2	3,3	4,8	6,2	7,3	9,1	10,5

e) **Altura promedio de entre el segundo y tercer corte con un 25% de biosólidos}**

Tabla A.5.1. Altura promedio de entre el segundo y tercer corte

		Altura promedio (cm)											
		Dias											
Distribución	Replica	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
D1 (25%)	R1	2	3	4,7	5,8	6,4	6,9	7,3	8	8,5	8,9	9,7	10,2
	R2	2	3,3	4,9	6	6,4	7	7,3	8,1	8,1	8,8	9,5	10,4
	R3	2	3,3	4,6	5,9	6,5	7,1	7,5	8	8,3	8,9	9,3	10
promedio		2,00	3,20	4,73	5,90	6,43	7,00	7,37	8,03	8,30	8,87	9,50	10,20
D2 (25%)	R1	2	3,3	5,1	6,3	6,5	7,1	7,6	8,1	8,5	9,2	10	10,9
	R2	2	3,4	5,2	6,2	6,5	7	7,4	8,1	8,6	9,4	9,9	10,7
	R3	2	3,5	5	5,9	6,6	7,2	7,4	8	8,4	9	9,9	10,7
promedio		2,00	3,40	5,10	6,13	6,53	7,10	7,47	8,07	8,50	9,20	9,93	10,77
D3 (25%)	R1	2	3,3	4,8	6	6,6	7,1	7,5	8,1	8,5	9	9,8	10,5
	R2	2	3,4	4,9	6	6,3	7,3	7,3	8	8,6	9,1	9,7	10,4
	R3	2	3,4	4,7	6	6,4	7	7,4	8	8,5	9,1	9,9	10,6
promedio		2,00	3,37	4,80	6,00	6,43	7,13	7,40	8,03	8,53	9,07	9,80	10,50
D4 (25%)	R1	2	3,4	5	5,9	6,6	6,8	7	7,6	8,4	9	9,5	10,2
	R2	2	3,4	4,9	6	6,3	6,9	7,1	7,6	8	8,9	9,5	10,1
	R3	2	3,3	5,1	5,9	6,4	6,9	6,9	7,6	8,2	8,8	9,5	10,1
promedio		2,00	3,37	5,00	5,93	6,43	6,87	7,00	7,60	8,20	8,90	9,50	10,13

f) Altura promedio de entre el segundo y tercer corte con un 50% de biosólidos

Tabla A.5.2. Altura promedio de entre el segundo y tercer corte

		Altura promedio (cm)											
		Dias											
Distribución	Replica	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
D1 (50%)	R1	2	3,1	4,8	5,9	6,4	7	7,2	8,1	8,4	8,9	10	10,3
	R2	2	3,3	4,9	6,1	6,5	6,8	7,4	7,9	8	9	9	10,4
	R3	2	3,4	4,7	6	6,6	7	7,6	8,1	8,4	8,8	8,9	10
promedio		2,00	3,27	4,80	6,00	6,50	6,93	7,40	8,03	8,20	8,90	9,30	10,23
D2 (50%)	R1	2	3,3	5,2	6,4	6,4	7	7,5	8,1	8,5	9,2	10	10,8
	R2	2	3,5	5,2	6,3	6,3	7	7,4	8,2	8,5	9,3	10	10,5
	R3	2	3,4	5,1	6	6,7	7,2	7,5	8	8,4	9	9,9	10,7
promedio		2,00	3,40	5,17	6,23	6,47	7,07	7,47	8,10	8,47	9,17	9,97	10,67
D3 (50%)	R1	2	3,4	5	6	6,6	7,2	7,6	8	8,6	9	9,8	10,5
	R2	2	3,5	4,9	6,1	6,4	7	7,4	8	8,3	9,2	9,7	10,5
	R3	2	3,4	4,8	5,9	6,3	7	7,1	8,2	8,5	9,1	9,9	10,6
promedio		2,00	3,43	4,90	6,00	6,43	7,07	7,37	8,07	8,47	9,10	9,80	10,53
D4 (50%)	R1	2	3,5	5	5,9	6,5	6,7	7	7,6	8,5	9	9,5	10,2
	R2	2	3,4	5	6	6,3	6,9	7,1	7,5	8,1	8,7	9,3	10,1
	R3	2	3,3	5,1	6	6,2	7	7	7,4	8,2	9	9,5	10,3
promedio		2,00	3,40	5,03	5,97	6,33	6,87	7,03	7,50	8,27	8,90	9,43	10,20

A.2.2. Alturas de césped para diseño completamente aleatorio

a) Alturas de césped medidas antes del primer corte

Tabla A.6.1. Altura del césped de las palmetas 25D1R1-25D2R1-25D3R1-25D4R1

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
1	1	1	1	10
1	2	1	1	10,1
1	3	1	1	9,8
1	4	1	1	9,5
1	5	1	1	10
1	6	1	1	10,3
1	7	1	1	9,9
1	8	1	1	10
1	9	1	1	10
1	10	1	1	10,1
2	1	2	1	10,1
2	2	2	1	10
2	3	2	1	10,5
2	4	2	1	10,4
2	5	2	1	10,6
2	6	2	1	10,7
2	7	2	1	10,6
2	8	2	1	10,5
2	9	2	1	10,5
2	10	2	1	10,3
3	1	3	1	10
3	2	3	1	10
3	3	3	1	10
3	4	3	1	10,2
3	5	3	1	10,1
3	6	3	1	9,8
3	7	3	1	9,7
3	8	3	1	9,9
3	9	3	1	10
3	10	3	1	10
4	1	4	1	11
4	2	4	1	11,4
4	3	4	1	11,2
4	4	4	1	10,9
4	5	4	1	10,7
4	6	4	1	11
4	7	4	1	11
4	8	4	1	10,9
4	9	4	1	11,1
4	10	4	1	11

Tabla A.6.2. Altura del césped de las palmetas 50D1R1-50D2R1-50D3R1-50D4R1

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
5	1	1	1	10,8
5	2	1	1	10,7
5	3	1	1	10,6
5	4	1	1	10,6
5	5	1	1	10,8
5	6	1	1	11,1
5	7	1	1	11
5	8	1	1	10,9
5	9	1	1	10,7
5	10	1	1	10,8
6	1	2	1	10,5
6	2	2	1	10,7
6	3	2	1	10,8
6	4	2	1	10,8
6	5	2	1	10,4
6	6	2	1	10,5
6	7	2	1	10,6
6	8	2	1	10,7
6	9	2	1	10,6
6	10	2	1	10,7
7	1	3	1	10,8
7	2	3	1	10,9
7	3	3	1	10,4
7	4	3	1	10,7
7	5	3	1	10,7
7	6	3	1	10,7
7	7	3	1	10,9
7	8	3	1	10,7
7	9	3	1	10,8
7	10	3	1	10,8
8	1	4	1	10,8
8	2	4	1	10,6
8	3	4	1	10,4
8	4	4	1	10,7
8	5	4	1	10,8
8	6	4	1	10,7
8	7	4	1	10,3
8	8	4	1	10,9
8	9	4	1	10,8
8	10	4	1	10,5

Tabla A.6.3. Altura del césped de las palmetas 25D1R2-25D2R2-25D3R2-25D4R2

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
9	1	1	2	11
9	2	1	2	11,1
9	3	1	2	10,7
9	4	1	2	10,6
9	5	1	2	10,7
9	6	1	2	10,8
9	7	1	2	10,9
9	8	1	2	11
9	9	1	2	11
9	10	1	2	10,9
10	2	2	2	11,4
10	3	2	2	11,1
10	4	2	2	11
10	5	2	2	10,9
10	6	2	2	11
10	7	2	2	11
10	8	2	2	10,9
10	9	2	2	10,8
10	10	2	2	11
11	1	3	2	11,2
11	2	3	2	10,9
11	3	3	2	10,9
11	4	3	2	10,9
11	5	3	2	10,7
11	6	3	2	11
11	7	3	2	10,8
11	8	3	2	11,2
11	9	3	2	11,3
11	10	3	2	11,5
12	1	4	2	10,9
12	2	4	2	10,8
12	3	4	2	11
12	4	4	2	10,8
12	5	4	2	10,8
12	6	4	2	10,7
12	7	4	2	10,6
12	8	4	2	11
12	9	4	2	10,8
12	10	4	2	10,9

Tabla A.6.4. Altura del césped de las palmetas 50D1R2-50D2R2-50D3R2-50D4R2

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
13	1	1	2	10,6
13	2	1	2	10,7
13	3	1	2	10,5
13	4	1	2	10,6
13	5	1	2	10,4
13	6	1	2	10,4
13	7	1	2	10,4
13	8	1	2	10,8
13	9	1	2	10,6
13	10	1	2	10,5
14	1	2	2	10,5
14	2	2	2	10,7
14	3	2	2	10,5
14	4	2	2	10,7
14	5	2	2	10,6
14	6	2	2	10,6
14	7	2	2	10,5
14	8	2	2	10,4
14	9	2	2	10,8
14	10	2	2	10,7
15	1	3	2	10,7
15	2	3	2	10,8
15	3	3	2	10,4
15	4	3	2	10,6
15	5	3	2	10,6
15	6	3	2	10,7
15	7	3	2	10,7
15	8	3	2	10,5
15	9	3	2	10,6
15	10	3	2	10,6
16	1	4	2	10,7
16	2	4	2	10,8
16	3	4	2	10,9
16	4	4	2	10,4
16	5	4	2	10,7
16	6	4	2	10,5
16	7	4	2	10,5
16	8	4	2	10,8
16	9	4	2	10,6
16	10	4	2	10,7

Tabla A.6.5. Altura del césped de las palmetas 25D1R3-25D2R3-25D3R3-25D4R3

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
17	1	1	3	11
17	2	1	3	10,9
17	3	1	3	11
17	4	1	3	11
17	5	1	3	10,8
17	6	1	3	11,2
17	7	1	3	11
17	8	1	3	11,2
17	9	1	3	10,7
17	10	1	3	10,8
18	1	2	3	11
18	2	2	3	10,6
18	3	2	3	11,3
18	4	2	3	10,7
18	5	2	3	10,9
18	6	2	3	10,8
18	7	2	3	11,3
18	8	2	3	11,1
18	9	2	3	11
18	10	2	3	10,9
19	1	3	3	10,4
19	2	3	3	10,2
19	3	3	3	10,2
19	4	3	3	10,2
19	5	3	3	10,1
19	6	3	3	10,3
19	7	3	3	10,3
19	8	3	3	10,2
19	9	3	3	10,2
19	10	3	3	11
20	1	4	3	10,3
20	2	4	3	10,3
20	3	4	3	10,3
20	4	4	3	10,2
20	5	4	3	10,1
20	6	4	3	10
20	7	4	3	10,4
20	8	4	3	10,3
20	9	4	3	10,1
20	10	4	3	10,2

Tabla A.6.6. Altura del césped de las palmetas 50D1R3-50D2R3-50D3R3-50D4R3

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
21	1	1	3	11,2
21	2	1	3	11,3
21	3	1	3	11,3
21	4	1	3	10,9
21	5	1	3	10,8
21	6	1	3	10,7
21	7	1	3	10,9
21	8	1	3	10,8
21	9	1	3	11,2
21	10	1	3	11
22	1	2	3	10,3
22	2	2	3	10,4
22	3	2	3	10,3
22	4	2	3	10,4
22	5	2	3	10,4
22	6	2	3	10,6
22	7	2	3	10,5
22	8	2	3	10,4
22	9	2	3	10,4
22	10	2	3	10,5
23	1	3	3	10,4
23	2	3	3	10,2
23	3	3	3	10,3
23	4	3	3	10,3
23	5	3	3	10,1
23	6	3	3	10,5
23	7	3	3	10,4
23	8	3	3	10,5
23	9	3	3	10,6
23	10	3	3	10,4
24	1	4	3	10,4
24	2	4	3	10,2
24	3	4	3	10,3
24	4	4	3	10,3
24	5	4	3	10,3
24	6	4	3	10,4
24	7	4	3	10,2
24	8	4	3	10,3
24	9	4	3	10,3

b) Alturas de césped medidas antes del segundo corte

Tabla A.7.1. Altura del césped de las palmetas 25D1R1-25D2R1-25D3R1-25D4R1

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
1	1	1	1	9,9
1	2	1	1	10,1
1	3	1	1	10
1	4	1	1	10
1	5	1	1	10
1	6	1	1	10,2
1	7	1	1	9,9
1	8	1	1	10
1	9	1	1	10
1	10	1	1	10,1
2	1	2	1	10,9
2	2	2	1	11
2	3	2	1	10,7
2	4	2	1	11,1
2	5	2	1	10,9
2	6	2	1	10,9
2	7	2	1	11
2	8	2	1	11
2	9	2	1	10,8
2	10	2	1	10,9
3	1	3	1	10
3	2	3	1	10,4
3	3	3	1	10,3
3	4	3	1	10,5
3	5	3	1	10,3
3	6	3	1	10,3
3	7	3	1	10,5
3	8	3	1	10,4
3	9	3	1	10,3
3	10	3	1	10,3
4	1	4	1	10,4
4	2	4	1	10,2
4	3	4	1	10,3
4	4	4	1	10,3
4	5	4	1	10,3
4	6	4	1	10,4
4	7	4	1	10,2
4	8	4	1	10,3
4	9	4	1	10,3
4	10	4	1	10,3

Tabla A.7.2. Altura del césped de las palmetas 50D1R1-50D2R1-50D3R1-50D4R1

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
5	1	1	1	11,2
5	2	1	1	11,4
5	3	1	1	11,1
5	4	1	1	11
5	5	1	1	10,9
5	6	1	1	11
5	7	1	1	11
5	8	1	1	10,9
5	9	1	1	10,8
5	10	1	1	11
6	1	2	1	11
6	2	2	1	11,1
6	3	2	1	10,7
6	4	2	1	10,6
6	5	2	1	10,7
6	6	2	1	10,8
6	7	2	1	10,9
6	8	2	1	11
6	9	2	1	11
6	10	2	1	10,9
7	1	3	1	11
7	2	3	1	11,4
7	3	3	1	11,2
7	4	3	1	10,9
7	5	3	1	10,7
7	6	3	1	11
7	7	3	1	11
7	8	3	1	10,9
7	9	3	1	11,1
7	10	3	1	11
8	1	4	1	10,8
8	2	4	1	10,6
8	3	4	1	10,4
8	4	4	1	10,7
8	5	4	1	10,8
8	6	4	1	10,7
8	7	4	1	10,3
8	8	4	1	10,9
8	9	4	1	10,8
8	10	4	1	10,5

Tabla A.7.3. Altura del césped de las palmetas 25D1R2-25D2R2-25D3R2-25D4R2

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
9	1	1	2	10,7
9	2	1	2	10,8
9	3	1	2	10,9
9	4	1	2	10,4
9	5	1	2	10,7
9	6	1	2	10,5
9	7	1	2	10,5
9	8	1	2	10,8
9	9	1	2	10,6
9	10	1	2	10,7
10	1	2	2	11,2
10	2	2	2	10,9
10	3	2	2	10,9
10	4	2	2	10,9
10	5	2	2	10,7
10	6	2	2	11
10	7	2	2	10,8
10	8	2	2	11,2
10	9	2	2	11,3
10	10	2	2	11,5
11	1	3	2	10,8
11	2	3	2	10,7
11	3	3	2	10,6
11	4	3	2	10,6
11	5	3	2	10,8
11	6	3	2	11,1
11	7	3	2	11
11	8	3	2	10,9
11	9	3	2	10,7
11	10	3	2	10,8
12	1	4	2	11
12	2	4	2	11,4
12	3	4	2	11,2
12	4	4	2	10,9
12	5	4	2	10,7
12	6	4	2	11
12	7	4	2	11
12	8	4	2	10,9
12	9	4	2	11,1
12	10	4	2	11

Tabla A.7.4. Altura del césped de las palmetas 50D1R2-50D2R2-50D3R2-50D4R2

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
13	1	1	2	10,5
13	2	1	2	10,7
13	3	1	2	10,8
13	4	1	2	10,8
13	5	1	2	10,4
13	6	1	2	10,5
13	7	1	2	10,6
13	8	1	2	10,7
13	9	1	2	10,6
13	10	1	2	10,7
14	1	2	2	10,6
14	2	2	2	10,7
14	3	2	2	10,5
14	4	2	2	10,6
14	5	2	2	10,4
14	6	2	2	10,4
14	7	2	2	10,4
14	8	2	2	10,8
14	9	2	2	10,6
14	10	2	2	10,5
15	1	3	2	10,8
15	2	3	2	10,9
15	3	3	2	10,4
15	4	3	2	10,7
15	5	3	2	10,7
15	6	3	2	10,7
15	7	3	2	10,9
15	8	3	2	10,7
15	9	3	2	10,8
15	10	3	2	10,8
16	1	4	2	10,1
16	2	4	2	10
16	3	4	2	10,5
16	4	4	2	10,4
16	5	4	2	10,6
16	6	4	2	10,7
16	7	4	2	10,6
16	8	4	2	10,5
16	9	4	2	10,5
16	10	4	2	10,3

Tabla A.7.5. Altura del césped de las palmetas 25D1R3-25D2R3-25D3R3-25D4R3

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
17	1	1	3	11
17	2	1	3	10,6
17	3	1	3	10,7
17	4	1	3	10,8
17	5	1	3	10,9
17	6	1	3	10,8
17	7	1	3	10,8
17	8	1	3	10,8
17	9	1	3	11
17	10	1	3	10,8
18	1	2	3	11
18	2	2	3	11,3
18	3	2	3	11,1
18	4	2	3	11,2
18	5	2	3	10,8
18	6	2	3	11
18	7	2	3	10,9
18	8	2	3	11,1
18	9	2	3	11,1
18	10	2	3	10,9
19	1	3	3	10,7
19	2	3	3	10,8
19	3	3	3	10,4
19	4	3	3	10,6
19	5	3	3	10,6
19	6	3	3	10,7
19	7	3	3	10,7
19	8	3	3	10,5
19	9	3	3	10,6
19	10	3	3	10,6
20	1	4	3	10,5
20	2	4	3	10,7
20	3	4	3	10,5
20	4	4	3	10,7
20	5	4	3	10,6
20	6	4	3	10,6
20	7	4	3	10,5
20	8	4	3	10,4
20	9	4	3	10,8
20	10	4	3	10,7

Tabla A.7.6. Altura del césped de las palmetas 50D1R3-50D2R3-50D3R3-50D4R3

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
21	1	1	3	10,4
21	2	1	3	10,2
21	3	1	3	10,3
21	4	1	3	10,3
21	5	1	3	10,3
21	6	1	3	10,4
21	7	1	3	10,2
21	8	1	3	10,3
21	9	1	3	10,3
21	10	1	3	10,3
22	1	2	3	10,3
22	2	2	3	10,4
22	3	2	3	10,3
22	4	2	3	10,4
22	5	2	3	10,4
22	6	2	3	10,6
22	7	2	3	10,5
22	8	2	3	10,4
22	9	2	3	10,4
22	10	2	3	10,5
23	1	3	3	10,4
23	2	3	3	10,4
23	3	3	3	10,6
23	4	3	3	10,4
23	5	3	3	10,5
23	6	3	3	10,2
23	7	3	3	10,4
23	8	3	3	10,1
23	9	3	3	10,2
23	10	3	3	10,4
24	1	4	3	10,4
24	2	4	3	10,2
24	3	4	3	10,2
24	4	4	3	10,2
24	5	4	3	10,1
24	6	4	3	10,3
24	7	4	3	10,3
24	8	4	3	10,2
24	9	4	3	10,2
24	10	4	3	11

c) Alturas de césped medidas antes del tercer corte

Tabla A.8.1. Altura del césped de las palmetas 25D1R1-25D2R1-25D3R1-25D4R1

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
1	1	1	1	10,2
1	2	1	1	10,2
1	3	1	1	10
1	4	1	1	10,1
1	5	1	1	10,6
1	6	1	1	10,2
1	7	1	1	10,5
1	8	1	1	10,4
1	9	1	1	10,3
1	10	1	1	10,2
2	1	2	1	11
2	2	2	1	11,1
2	3	2	1	10,7
2	4	2	1	10,6
2	5	2	1	10,7
2	6	2	1	10,8
2	7	2	1	10,9
2	8	2	1	11
2	9	2	1	11
2	10	2	1	10,9
3	1	3	1	10,1
3	2	3	1	10
3	3	3	1	10,5
3	4	3	1	10,4
3	5	3	1	10,6
3	6	3	1	10,7
3	7	3	1	10,6
3	8	3	1	10,5
3	9	3	1	10,5
3	10	3	1	10,3
4	1	4	1	10,4
4	2	4	1	10,2
4	3	4	1	10,2
4	4	4	1	10,2
4	5	4	1	10,1
4	6	4	1	10,3
4	7	4	1	10,3
4	8	4	1	10,2
4	9	4	1	10,2
4	10	4	1	11

Tabla A.8.2. Altura del césped de las palmetas 50D1R1-50D2R1-50D3R1-50D4R1

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
5	1	1	1	10,3
5	2	1	1	10,3
5	3	1	1	10,3
5	4	1	1	10,2
5	5	1	1	10,1
5	6	1	1	10
5	7	1	1	10,4
5	8	1	1	10,3
5	9	1	1	10,1
5	10	1	1	10,2
6	1	2	1	10,8
6	2	2	1	10,6
6	3	2	1	10,4
6	4	2	1	10,7
6	5	2	1	10,8
6	6	2	1	10,7
6	7	2	1	10,3
6	8	2	1	10,9
6	9	2	1	10,8
6	10	2	1	10,5
7	1	3	1	10,6
7	2	3	1	10,7
7	3	3	1	10,5
7	4	3	1	10,6
7	5	3	1	10,4
7	6	3	1	10,4
7	7	3	1	10,4
7	8	3	1	10,8
7	9	3	1	10,6
7	10	3	1	10,5
8	1	4	1	10,2
8	2	4	1	10,2
8	3	4	1	10
8	4	4	1	10,1
8	5	4	1	10,6
8	6	4	1	10,2
8	7	4	1	10,5
8	8	4	1	10,4
8	9	4	1	10,3
8	10	4	1	10,2

Tabla A.8.3. Altura del césped de las palmetas 25D1R2-25D2R2-25D3R2-25D4R2

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
9	1	1	2	10,4
9	2	1	2	10,2
9	3	1	2	10,3
9	4	1	2	10,3
9	5	1	2	10,1
9	6	1	2	10,5
9	7	1	2	10,4
9	8	1	2	10,5
9	9	1	2	10,6
9	10	1	2	10,4
10	1	2	2	10,8
10	2	2	2	10,9
10	3	2	2	10,4
10	4	2	2	10,7
10	5	2	2	10,7
10	6	2	2	10,7
10	7	2	2	10,9
10	8	2	2	10,7
10	9	2	2	10,8
10	10	2	2	10,8
11	1	3	2	10,3
11	2	3	2	10,4
11	3	3	2	10,3
11	4	3	2	10,4
11	5	3	2	10,4
11	6	3	2	10,6
11	7	3	2	10,5
11	8	3	2	10,4
11	9	3	2	10,4
11	10	3	2	10,5
12	1	4	2	10
12	2	4	2	10,1
12	3	4	2	9,8
12	4	4	2	9,5
12	5	4	2	10
12	6	4	2	10,3
12	7	4	2	9,9
12	8	4	2	10
12	9	4	2	10
12	10	4	2	10,1

Tabla A.8.4. Altura del césped de las palmetas 50D1R2-50D2R2-50D3R2-50D4R2

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
13	1	1	2	10,4
13	2	1	2	10,7
13	3	1	2	10,6
13	4	1	2	10,2
13	5	1	2	10
13	6	1	2	10,1
13	7	1	2	10,4
13	8	1	2	10,3
13	9	1	2	10,5
13	10	1	2	10,3
14	1	2	2	10
14	2	2	2	10,5
14	3	2	2	10,4
14	4	2	2	10,6
14	5	2	2	10,7
14	6	2	2	10,6
14	7	2	2	10,5
14	8	2	2	10,5
14	9	2	2	10,3
14	10	2	2	10,7
15	1	3	2	10,5
15	2	3	2	10,6
15	3	3	2	10,4
15	4	3	2	10,4
15	5	3	2	10,4
15	6	3	2	10,8
15	7	3	2	10,6
15	8	3	2	10,5
15	9	3	2	10,7
15	10	3	2	10,3
16	1	4	2	10
16	2	4	2	10,1
16	3	4	2	9,8
16	4	4	2	9,5
16	5	4	2	10
16	6	4	2	10,3
16	7	4	2	9,9
16	8	4	2	10
16	9	4	2	10
16	10	4	2	10,1

Tabla A.8.5. Altura del césped de las palmetas 25D1R3-25D2R3-25D3R3-25D4R3

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
17	1	1	3	10
17	2	1	3	10
17	3	1	3	10,2
17	4	1	3	10,1
17	5	1	3	9,8
17	6	1	3	9,7
17	7	1	3	9,9
17	8	1	3	10
17	9	1	3	10
17	10	1	3	10,7
18	1	2	3	10,8
18	2	2	3	10,9
18	3	2	3	10,4
18	4	2	3	10,7
18	5	2	3	10,5
18	6	2	3	10,5
18	7	2	3	10,8
18	8	2	3	10,6
18	9	2	3	10,7
18	10	2	3	10,7
19	1	3	3	10,8
19	2	3	3	10,4
19	3	3	3	10,6
19	4	3	3	10,6
19	5	3	3	10,7
19	6	3	3	10,7
19	7	3	3	10,5
19	8	3	3	10,6
19	9	3	3	10,6
19	10	3	3	10,1
20	1	4	3	10,4
20	2	4	3	10,2
20	3	4	3	9,7
20	4	4	3	9,8
20	5	4	3	10
20	6	4	3	9,9
20	7	4	3	9,9
20	8	4	3	10
20	9	4	3	10,1
20	10	4	3	10,1

Tabla A.8.6. Altura del césped de las palmetas 50D1R3-50D2R3-50D3R3-50D4R3

Parcela	Césped	Tratamiento	Replica	Altura (cm)
21	1	1	3	10
21	2	1	3	10
21	3	1	3	10
21	4	1	3	10,2
21	5	1	3	10,1
21	6	1	3	9,8
21	7	1	3	9,7
21	8	1	3	9,9
21	9	1	3	10
21	10	1	3	10
22	1	2	3	10,8
22	2	2	3	10,9
22	3	2	3	10,4
22	4	2	3	10,7
22	5	2	3	10,7
22	6	2	3	10,7
22	7	2	3	10,9
22	8	2	3	10,7
22	9	2	3	10,8
22	10	2	3	10,8
23	1	3	3	10,5
23	2	3	3	10,7
23	3	3	3	10,5
23	4	3	3	10,7
23	5	3	3	10,6
23	6	3	3	10,6
23	7	3	3	10,5
23	8	3	3	10,4
23	9	3	3	10,8
23	10	3	3	10,7
24	1	4	3	10,4
24	2	4	3	10,2
24	3	4	3	10,3
24	4	4	3	10,3
24	5	4	3	10,3
24	6	4	3	10,4
24	7	4	3	10,2
24	8	4	3	10,3
24	9	4	3	10,3
24	10	4	3	10,3

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

Tabla A.9. Peso de biomasa por palmetas

Tratamiento	Peso promedio 25% (gr)				Peso promedio 50% (gr)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
D1R1	229	275	274	381	262	273	214	906
D1R2	246	260	262	821	251	258	282	611
D1R3	285	207	220	696	284	301	293	756
Promedio	253,3	247,3	252,0	632,7	265,7	277,3	263,0	757,7
D2R1	234	213	243	620	300	268	297	1236
D2R2	214	211	256	839	298	280	265	714
D2R3	264	214	268	864	267	302	287	636
Promedio	237,3	212,7	255,7	774,3	288,3	283,3	283,0	862,0
D3R1	263	251	189	622	186	204	199	821
D3R2	289	267	284	750	247	234	187	287
D3R3	204	208	267	864	272	250	200	739
Promedio	252,0	242,0	246,7	745,3	235,0	229,3	195,3	615,7
D4R1	200	198	240	635	284	283	294	945
D4R2	189	264	214	590	272	287	261	787
D4R3	180	210		793	196	214	251	732
Promedio	189,7	224,0	227,0	672,7	250,7	261,3	268,7	821,3

A.2.4. Peso de las palmetas enrolladas

Tabla A.10. Peso de palmetas enrolladas

Distr.	D1						D2						D3						D4					
Porcent.	25 %			50 %			25 %			50 %			25 %			50 %			25 %			50 %		
Replica	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
rollo	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	No
Peso(Kg)	12	9,7	11,5	10,8	10,3	-	12	8,1	8,9	10,3	9	12,8	10,2	9,3	9,4	11,2	8,7	-	9,8	9,3	9,2	11	10,3	-
Prom.	11			10,6			9,7			10,7			9,6			10			9,4			10,7		
Prom.	10,8						10,2						9,8						10,1					

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

B.1. Alturas de las réplicas de los tratamientos en el tiempo, antes del primer corte.

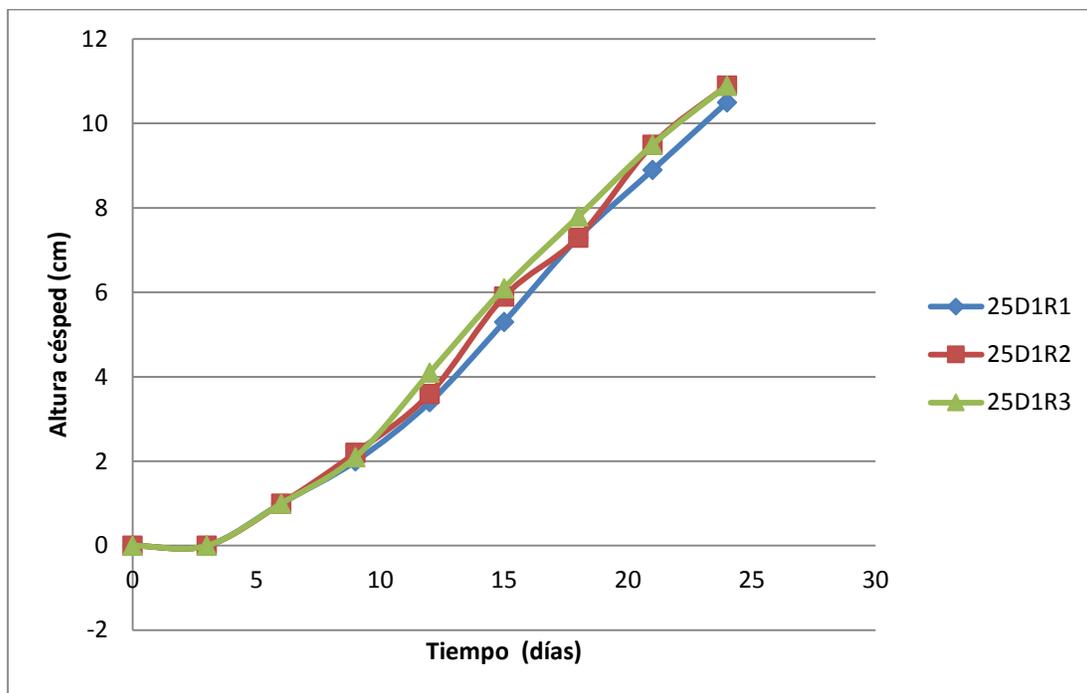


Figura B.1. Alturas de las réplicas Distribución 1 25% (Suelo-Biosólido)

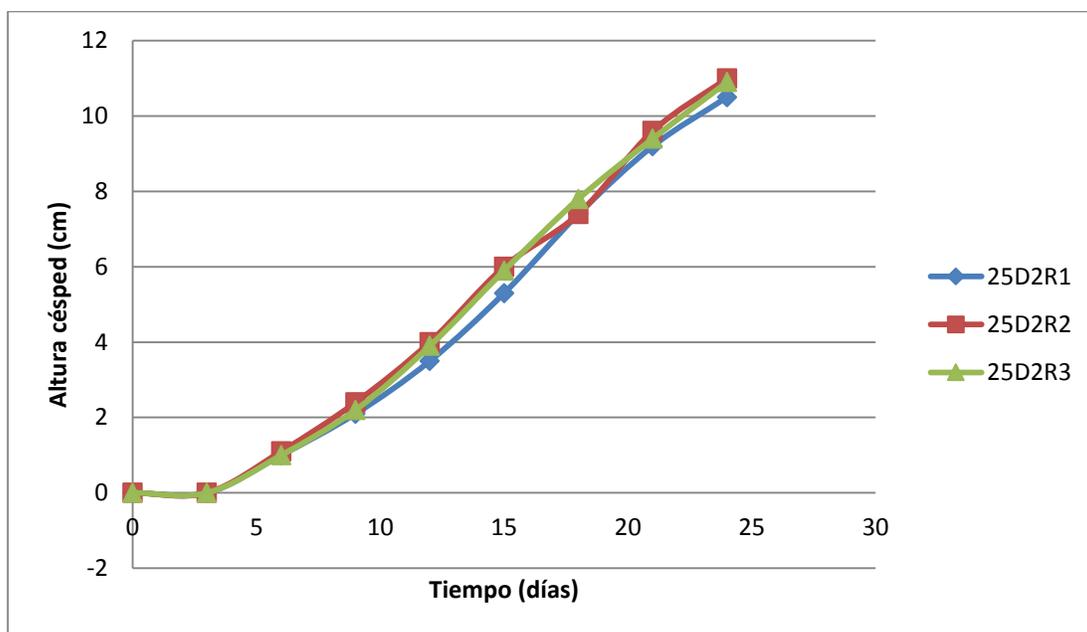


Figura B.2. Alturas de las réplicas Distribución 2 25% (Biosólido-suelo)

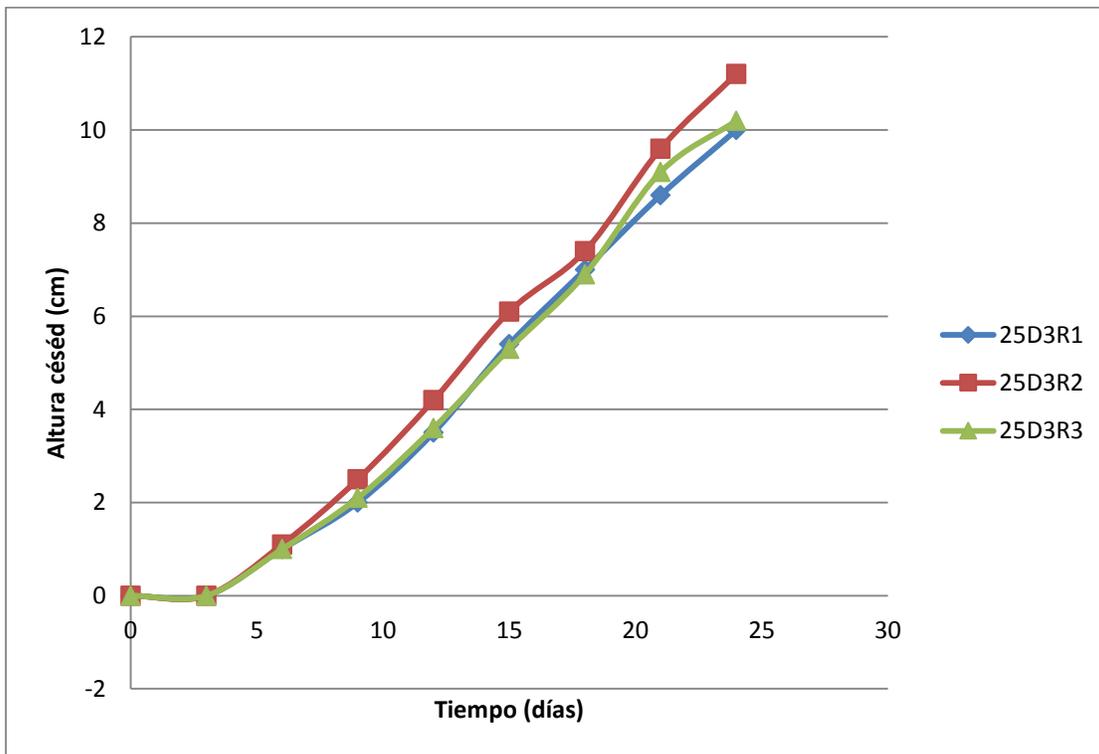


Figura B.3. Alturas de las réplicas Distribución 3 25% (Suelo-Biosólido-Suelo)

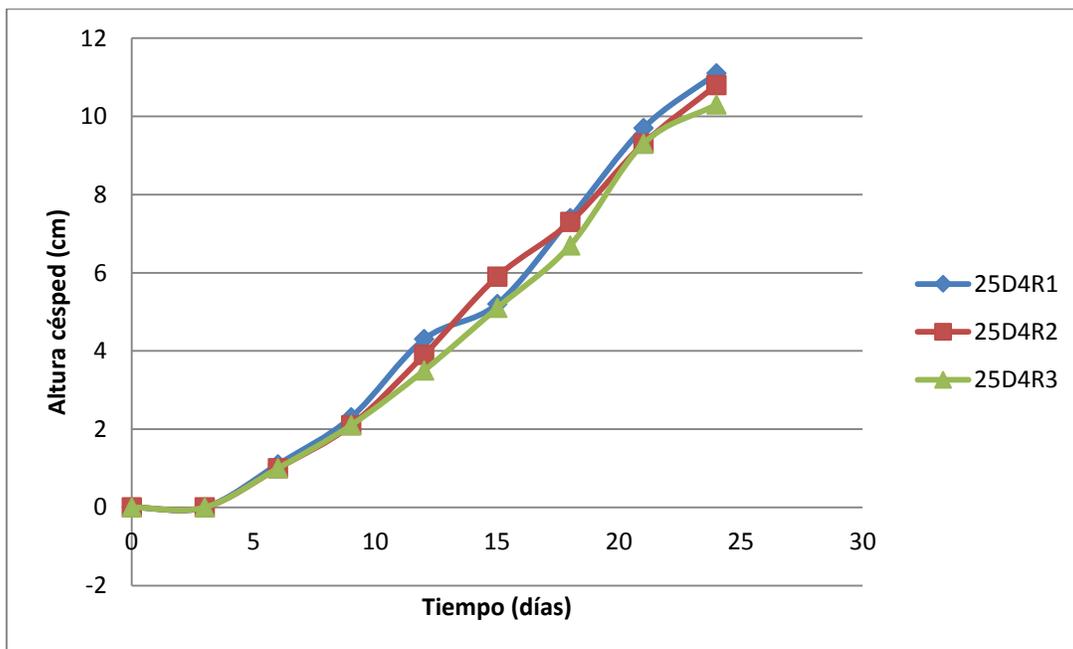


Figura B.4. Alturas de las réplicas Distribución 4 25% (Mezcla Biosólido-Suelo)

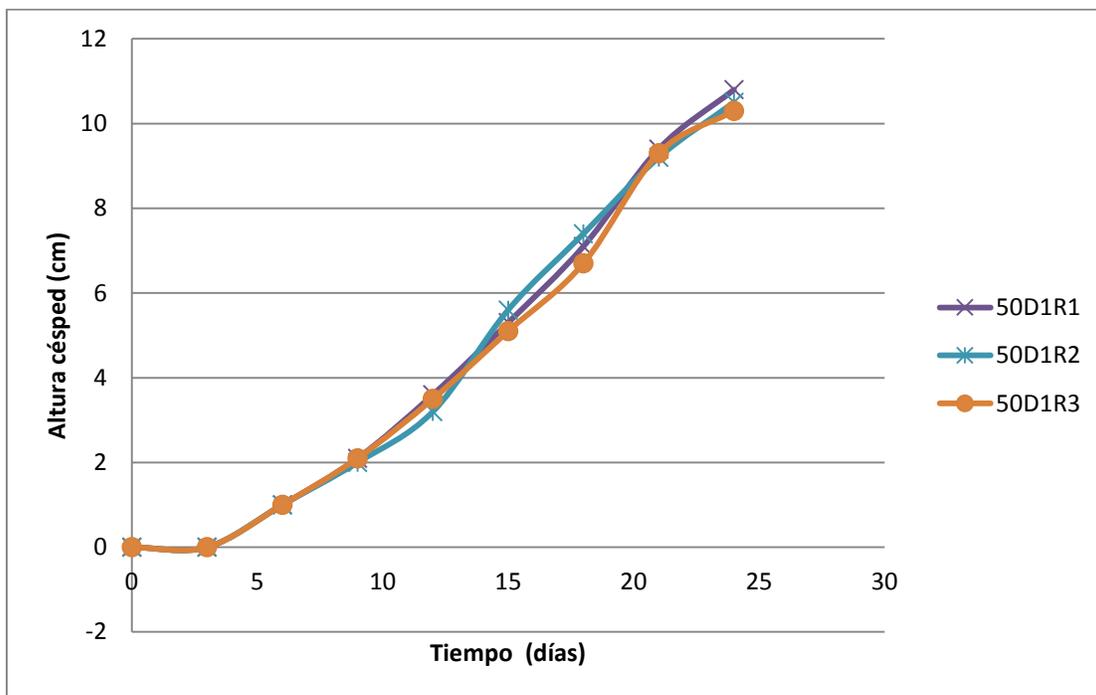


Figura B.5. Alturas de las réplicas Distribución 1 50% (Suelo-Biosólido)

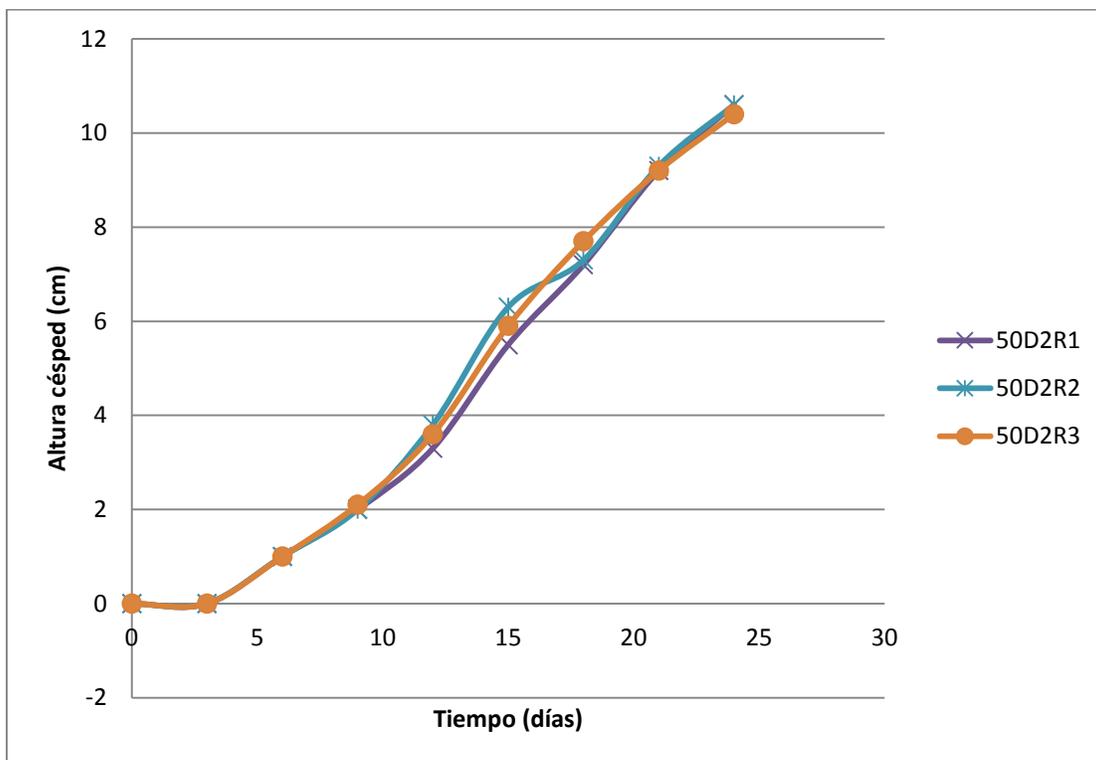


Figura B.6. Alturas de las réplicas Distribución 50% (Biosólido-suelo)

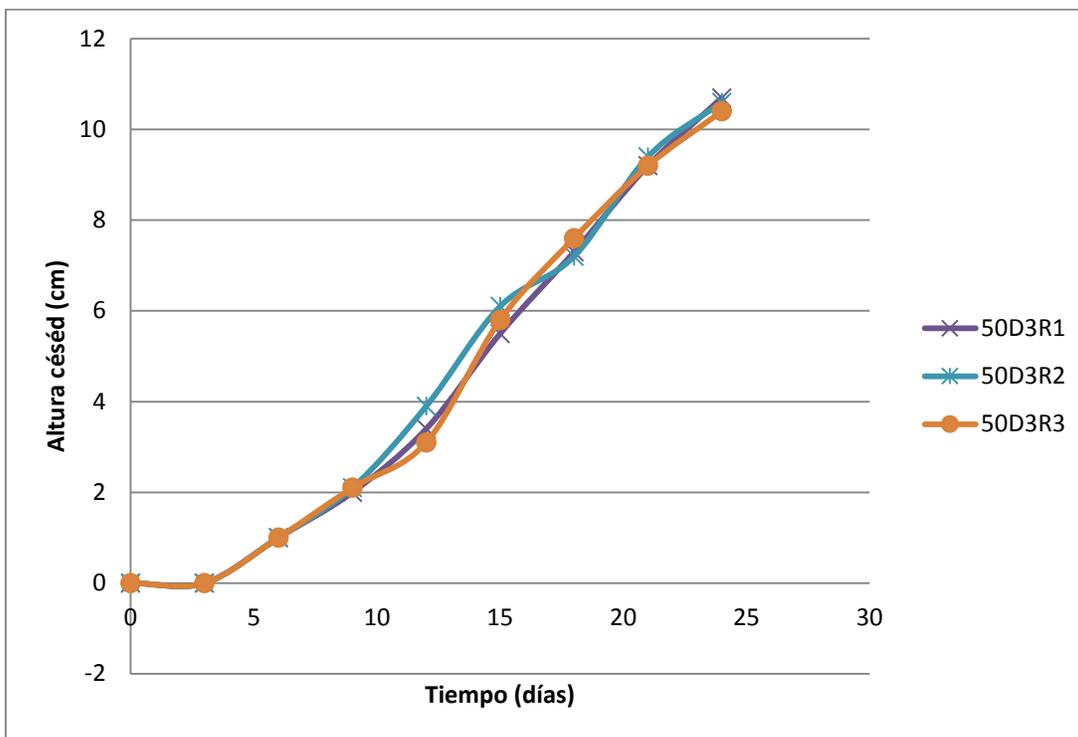


Figura B.7. Alturas de las réplicas Distribución 3 50% (Suelo-Biosólido-Suelo)

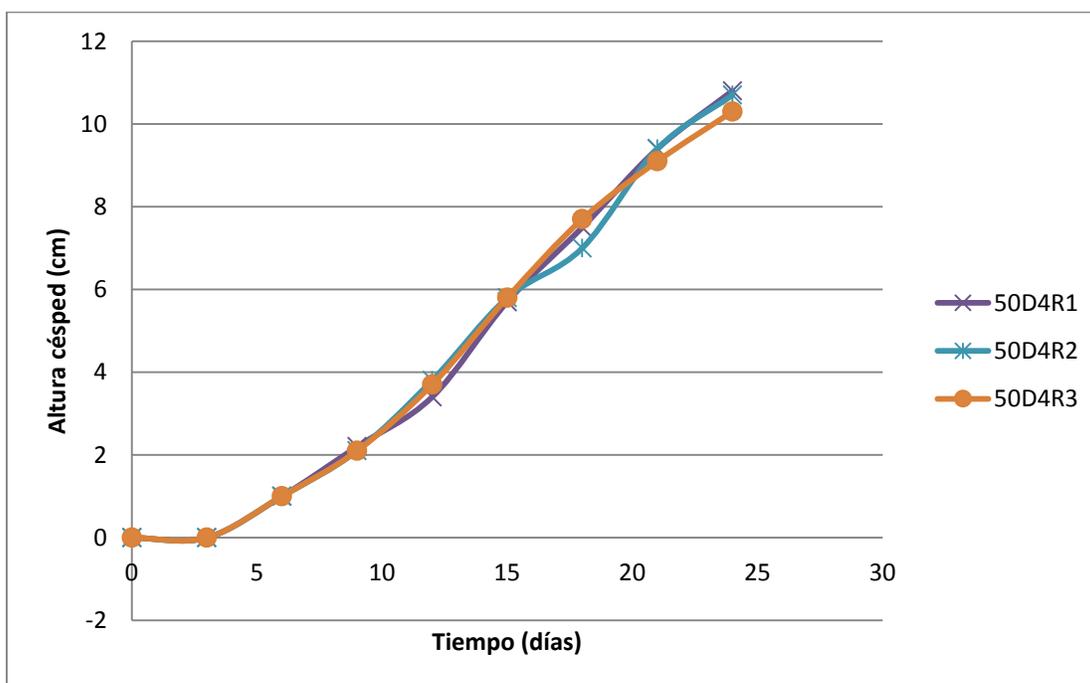


Figura B.8. Alturas de las réplicas Distribución 4 25% (Mezcla Biosólido-Suelo)

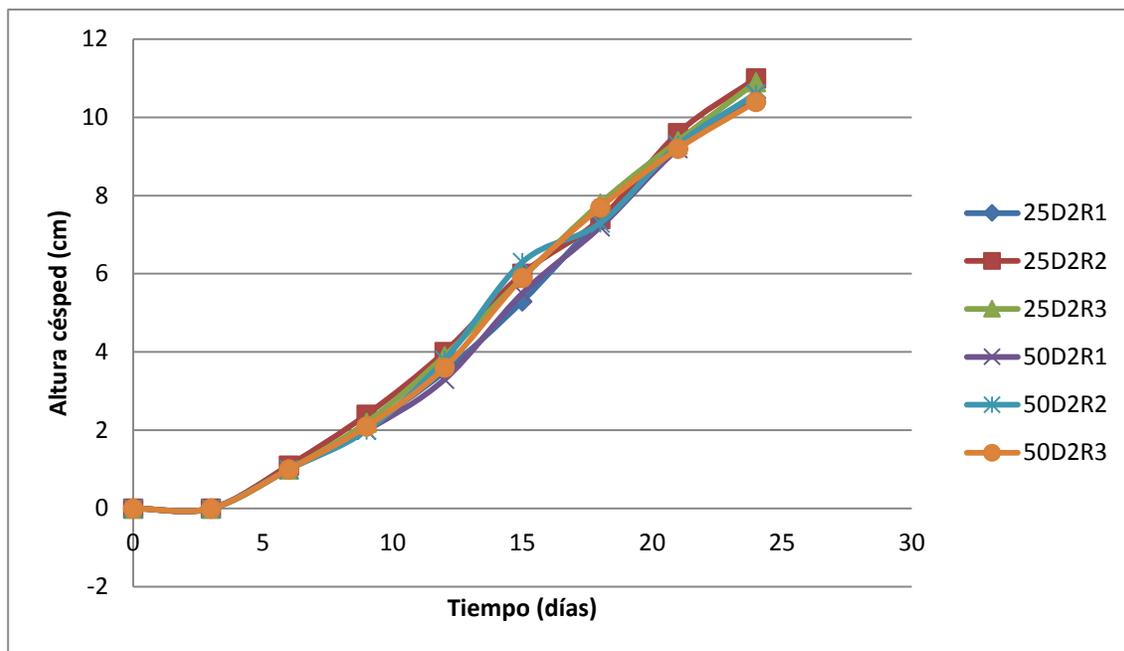


Figura B. 9. Altura promedio en el tiempo de los porcentajes y réplicas de la Distribución 2.

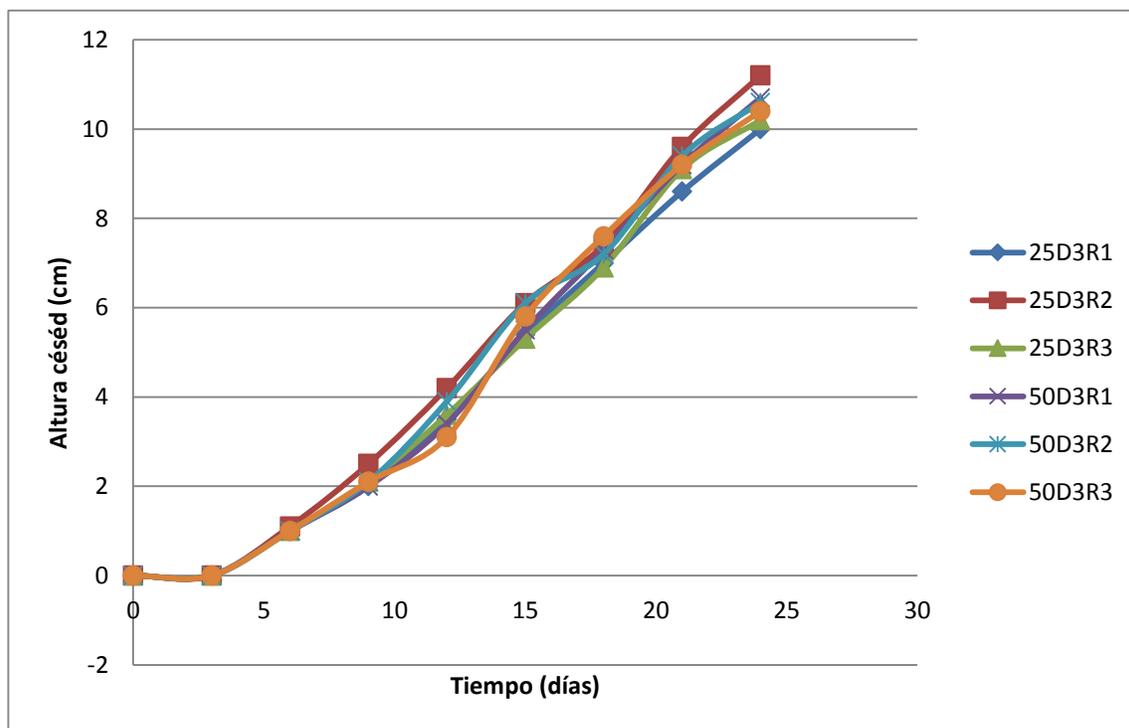


Figura B.10. Altura promedio en el tiempo de los porcentajes y réplicas de la Distribución 3.

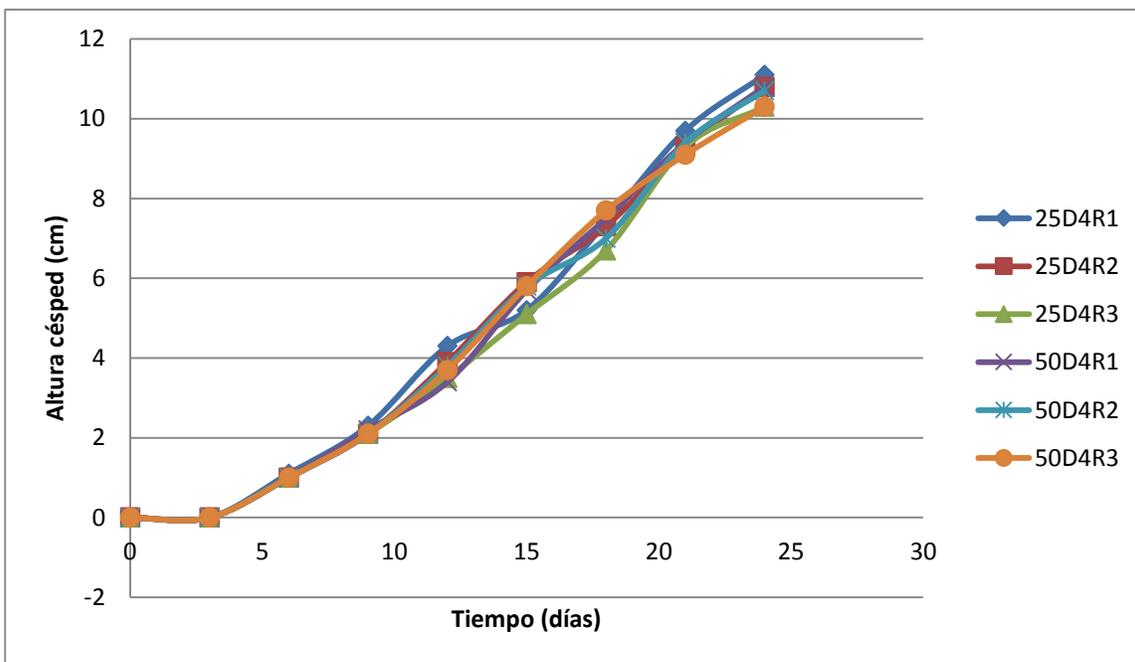


Figura B. 11. Altura promedio en el tiempo de los porcentajes y réplicas de la Distribución 4.

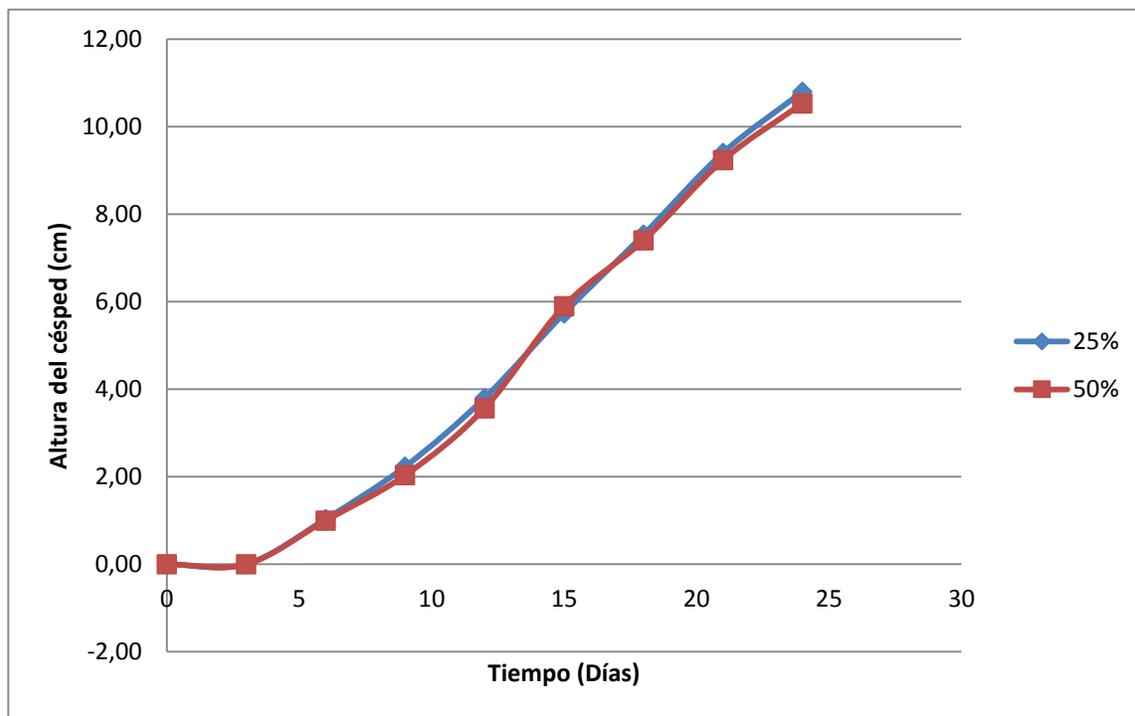


Figura B.12. Altura promedio de cada porcentaje de la Distribución 2.

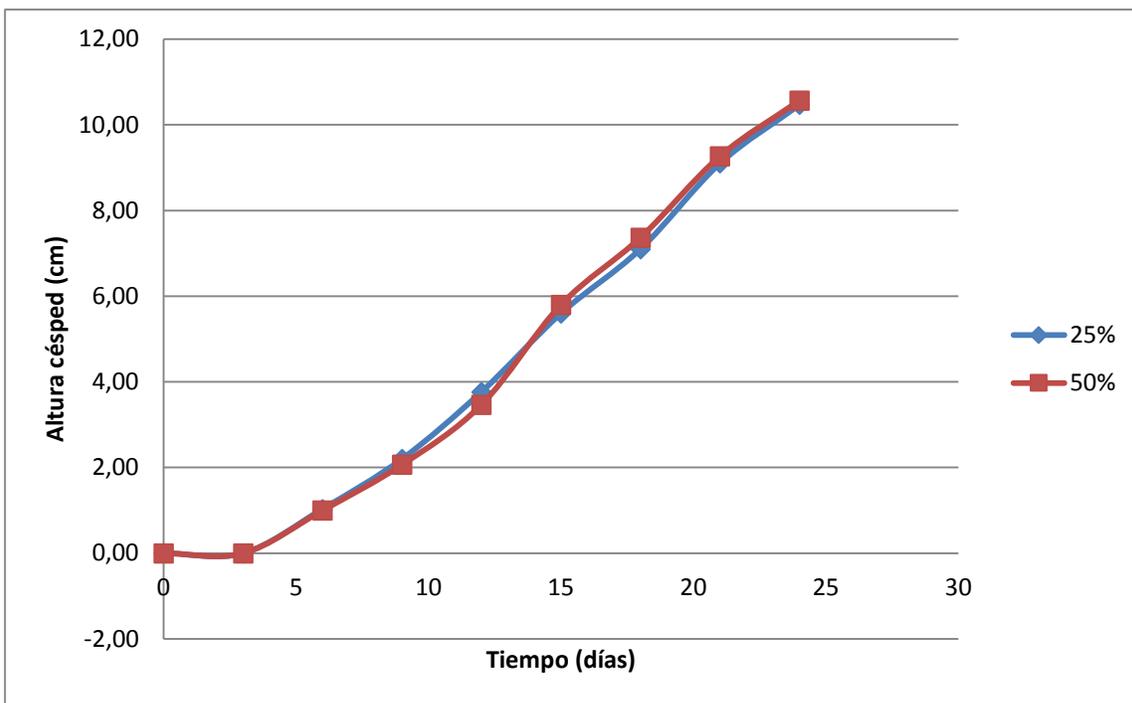


Figura B.13. Altura promedio de cada porcentaje de la Distribución 3.

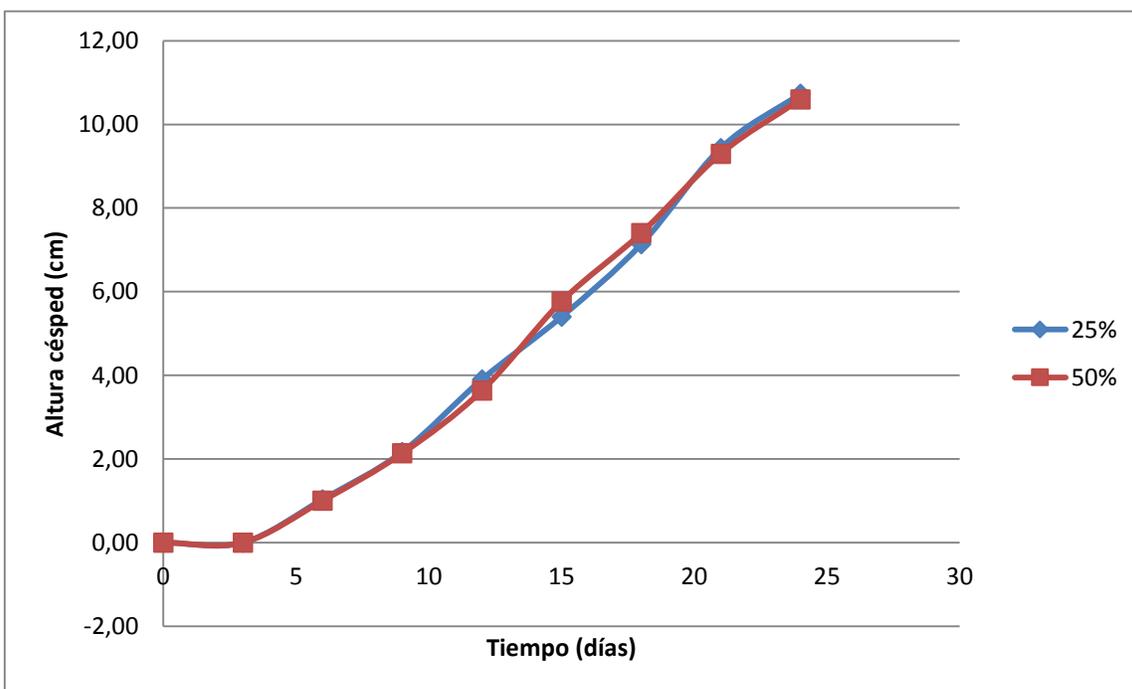


Figura B.14. Altura promedio de cada porcentaje de la Distribución 4.

ANEXO C: Métodos estadísticos

C.1. Normalidad

Antes de realizar el ANOVA es necesario probar si existe normalidad en los datos medidos para cada corte, y se utilizó el Test de Ryan-Joiner para verificar la normalidad.

El Test de Ryan-Joiner evalúa la normalidad calculando la correlación entre sus datos los valores normales de sus datos. Si el coeficiente de correlación está cerca de 1, o si bien el p-valor es mayor a 0,05, se considera que los datos son normales.

Formulas:

$$R_j = \frac{\sum Y_i * b_i}{\sqrt{S(n-1) \sum b_i^2}}$$

$$b_i = \frac{i - 0,375}{-0,25}$$

Dónde:

- R_j : Coeficiente de Correlación
- Y_i : Observaciones ordenadas
- b_i : Puntuaciones normales de las observaciones ordenadas
- S : Varianza de la muestra

Resultados de normalidad para cada corte obtenidos de Minitab 16

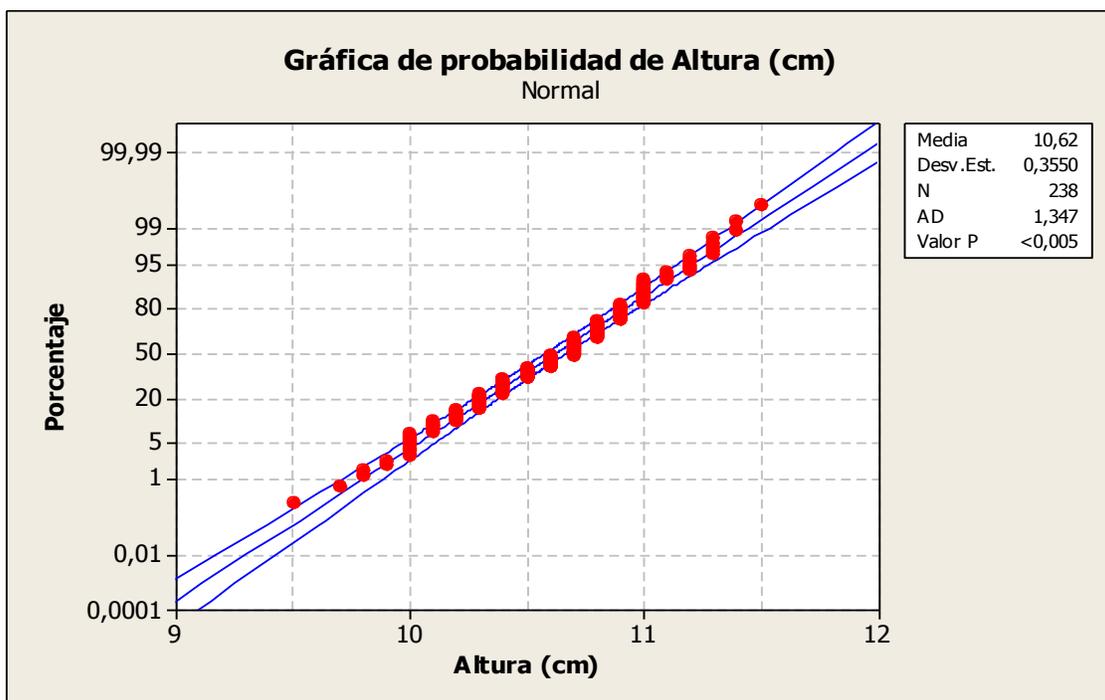


Figura C.1. Grafica de probabilidad de altura para el primer corte

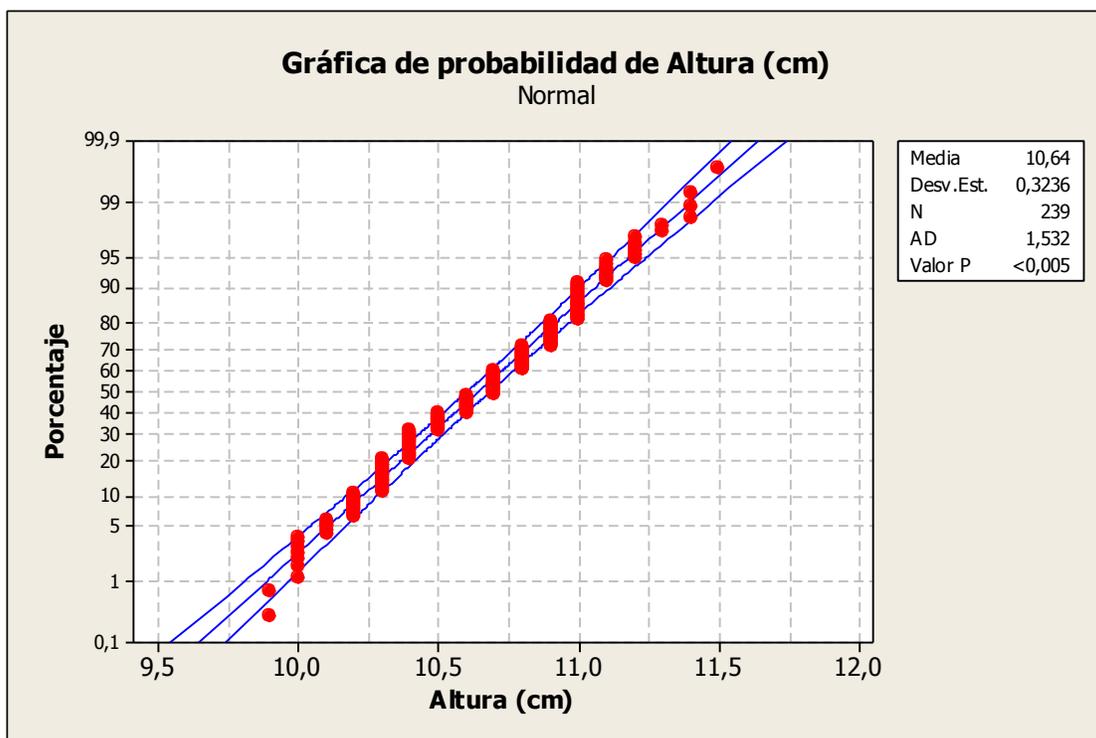


Figura C.2. Grafica de probabilidad de altura para el segundo corte

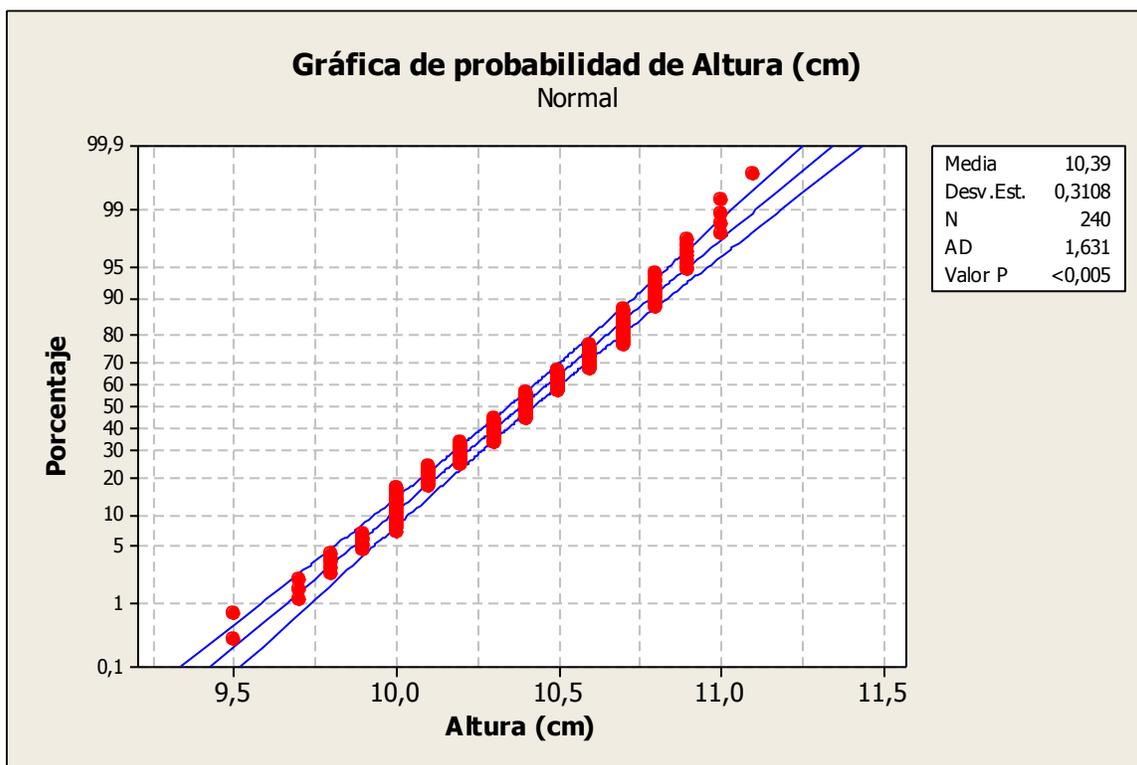


Figura C.3. Grafica de probabilidad de altura para el tercer corte

C.2. 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. Con la aplicación de este análisis se podrá observar de forma descriptiva el crecimiento promedio de la altura del césped en el tiempo

C.2.1. Diseño de Experimento Completamente Aleatorio

El ANOVA es una técnica balanceada y que permite estudiar si existe una relación entre el valor medio de la variable respuesta (altura del césped) y una variable cualitativa o factor (distribución). Con la aplicación de esta técnica se determinará si existen diferencias significativas entre la variable respuesta media de los distintos tratamientos. Este diseño utiliza la Ec. (1) del modelo estadístico lineal.

Modelo Estadístico Lineal

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

Dónde:

- 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.

Luego es necesaria la comprobación de las hipótesis que plantea el ANOVA:

i) Hipótesis Nula:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

Considera que todas las medidas son iguales, por lo que el suelo no influye en el crecimiento del césped.

ii) Hipótesis Alternativa:

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para } i \neq j$$

Considera que las medidas difieren en al menos dos de los niveles y que el suelo influye en el crecimiento del césped.

Una vez aplicado el ANOVA, para cuantificar y clasificar el orden de las diferencias de los tratamientos se aplica el Test de Tukey.

a) *Test de Tukey*

Es un test de comparaciones múltiples que permite saber cuál de las distribuciones tiene mayor y menor crecimiento. Para esto se utiliza la Ec. (1) con el fin de representar 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: $\sum_1^5 \tau_i = 0$

Tukey considera las siguientes hipótesis:

i) Hipótesis Nula:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$$

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.

ii) Hipótesis Alternativa:

$$H_1: \tau_i \neq 0 \quad \text{para al menos una } i$$

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.

Si es rechazada la hipótesis nula, es necesario determinar la presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Para ello se ordenan de mayor a menor los promedios de los efectos de los tratamientos. Para así determinar el estadístico q utilizando la Ec. (3).

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

Dónde:

- $(\hat{t}_{mayor} - \hat{t}_{menor})$: Diferencia de los promedios.
- CM_{ε} : Cuadrado medio del error.
- n_i : Número de datos dentro de cada nivel.

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 Ec. (4).

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

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).

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

$$q > DHS$$

No Paramétricos

Si al realizar la experiencia, los datos medidos no siguen una distribución de probabilidades normal. En estos casos, no se cumpliría con los supuestos para trabajar con pruebas de hipótesis Paramétricas. Entonces se trabaja con las pruebas no Paramétricas (llamadas también de libre distribución).

Una de las pruebas para analizar datos no paramétricos es la desarrollada por Kruskal Wallis, la cual se basa en las siguientes hipótesis:

- iii) Hipótesis Nula: La mediana de las k tratamientos considerados son iguales
- iv) Hipótesis Alternativa: Al menos una de los tratamientos tiene mediana distinta a las otras.

Este test lo que hace es calcular el estadístico H a partir de la fórmula:

$$H = \frac{12}{N(N-1)} \sum_{i=1}^k \left(\frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1) \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

- N : es el tamaño total de la muestra.
- n_i : es el tamaño de la muestra de cada grupo.

En el caso de que hubiera ligaduras (valores repetidos) la fórmula se corrige dividiendo la anterior:

$$H = \frac{\frac{12}{N(N-1)} \sum_{i=1}^k \left(\frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum_{i=1}^g (t_i^3 - t_i)}{N^3 - N}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde:

- g : Denota el número de grupos de ligaduras
- t_i : El total de números de orden ligados en el i -ésimo grupo.

Si el tamaño muestral es mayor a 5, el estadístico H sigue una distribución χ^2 con $k-1$ grados de libertad.

Se aprecia que al aplicar el Test de Ryan-Joiner para probar la normalidad de los datos, se obtiene que los datos no se comportan normalmente. Por ello el ANOVA no es válido en este caso, y se debe aplicar una prueba para datos no paramétricos. En esta oportunidad se utilizó el Test de Kruskal-Wallis, el cual arrojó los siguientes valores.

Para el segundo corte

Un p-valor igual a $0,00 < 0,05$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los tratamientos no son todos iguales. Es decir; al menos uno de los tratamientos tiene mediana distinta a los otros. Además, tal como se muestra en la Tabla C.1 la distribución 2 es la que se comporta de mejor manera alcanzado un mayor valor en mediana (10,9 cm).

Tabla C.1. Prueba de Kruskal-Wallis: Altura (cm) vs. Tratamiento.

Distribución	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
1	60	10,65	108,9	-1,49
2	60	10,9	155,1	4,45
3	60	10,7	119,8	-0,09
4	60	10,5	98,2	-2,87
General	240		120,5	

Para el tercer corte

Un p-valor igual a $0,00 < 0,05$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los tratamientos no son todos iguales. Es decir; al menos uno de los tratamientos tiene mediana distinta a los otros. Además, tal como se muestra en la Tabla C.2 la distribución 2 es la que se comporta de mejor manera alcanzado un mayor valor en mediana (10,7 cm).

Tabla C.2. Prueba de Kruskal-Wallis: Altura (cm) vs. Tratamiento.

Distribución	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
1	60	10,2	77,5	-5,53
2	60	10,7	189,9	8,94
3	60	10,5	150,6	3,88
4	60	10,2	63,9	-7,29
General	240		120,5	

ANEXO D: Registro Fotográfico

D.1 Parcelas rellenas y recién sembradas



Figura D.1. Primer día de las parcelas sembradas

D. 2. Palmetas antes de ser enrolladas:

D. 2. 1. Distribución 1 con sus porcentajes y respectivas replicas



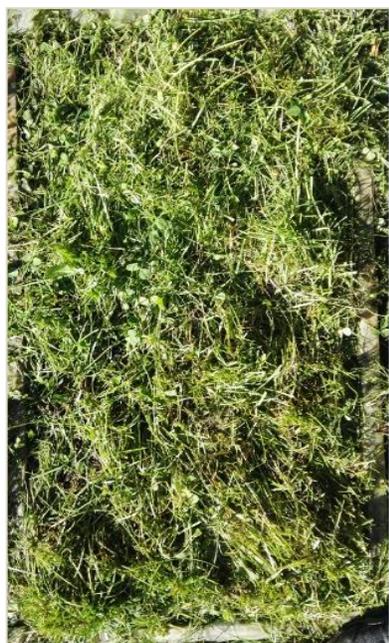
25D1R1



25D1R2



25D1R3



50D1R1



50D1R2



50D1R3

D. 2. 2. Distribución 2 con sus porcentajes y respectivas replicas



25D2R1



25D2R2



25D2R3



50D2R1



50D2R2



50D2R3

D. 2. 3. Distribución 3 con sus porcentajes y respectivas replicas



25D3R1



25D3R2



25D3R3



50D3R1



50D3R2



50D3R3

D. 2. 4. Distribución 4 con sus porcentajes y respectivas replicas



25D4R1



25D4R2



25D4R3



50D4R1



50D4R2



50D4R3

D. 3. Palmetas enrolladas



D. 4. Palmetas que no soportaron la forma de rollo



D. 5. Traslado



D. 6. Palmetas Instaladas



Después de un mes de instaladas las palmetas, el césped sigue creciendo sin presentar ningún inconveniente.