

Facultad de Ciencias *Departamento de Estadística*

Carrera Ingeniería Estadística

Proyecto de Título II

Asignatura : Proyecto de Título II (220068)
Título : "Evaluación del impacto entre variables climatológicas y el control químico de malezas en plantaciones de eucaliptus"

Realizado por : Claudia Rubio Benítez.
Ingeniería Estadística UBB

Profesor Guía : Dr. Luis Cid Serrano.
Departamento de Estadística

Patrocinador : Sr. Victor Vargas
Instituto Forestal, INFOR

Semestre : Primer semestre 2013
Fecha : Abril 2014.



Agradecimientos

Simplemente, Gracias Señor!!

Dar las Gracias a Dios, por este logro, por cada paso que pude dar para finalmente llegar a la meta. Meta que en algunas veces vi lejana, pero a pesar de complicaciones pude llegar.

Dedicar este logro a mi hija Antonia, mi vida, mi centro y mi cable a tierra. Sin ella quizás no estaría en donde estoy ahora. Como dejar de lado a mi madre, quien se esforzó para que pudiera terminar mis estudios y quien me apoyó en cada etapa.

Agradecer a mis hermanos (Maricela, Luis y Cristian) quienes me soportaron en momentos de estrés en todos los años de estudio. A mi tía Ramona quien para mi es mi segunda madre y estuvo ahí cuando la necesite en compañía de mi prima Vanesa tanto en momentos difíciles como los mejores momentos de mi vida. A mi padre quien en cada llamado que hice acudió para socorrerme a pesar de las situaciones.

Como dejar de lado a mis amigas, las que estuvieron conmigo durante todos estos años y hasta el día de hoy siguen ahí, quienes me hacían reír cuando estaba triste, me dieron un abrazo una palabra de aliento cuando me iba mal en algún ramo. Quienes estuvieron conmigo el día en que nació mi hija, compartieron mis alegrías y tristezas. Clau, Berny, Alis y Jeru, gracias por ayudarme, alentarme y socorrerme.

A mi querida secretaria académica Patricia Toledo, que más que decir muuuuchas gracias!!. Gracias por aguantarme, por realizar cada favor que necesitaba y aclarar todas las dudas que tenía, gracias por los cafecitos, galletitas y cuchuflis.

A todos los que estuvieron allí sólo decirle ¡Gracias!.

Índice de Contenido

1. Resumen	6
2. Introducción	7
3. Origen del tema.....	8
4. Objetivos.....	9
4.1 <i>Objetivo General.</i>	9
4.2 <i>Objetivos Específicos.</i>	9
5. Materiales y Métodos	10
5.1 Información Inicial.....	10
5.2 Métodos	14
6. Antecedentes Generales.	16
7. Marco conceptual	18
8. Resultados y Discusión.....	22
8.1 Comportamiento de las variables climáticas.....	22
8.2 Relación entre variables climáticas y crecimiento de plantas.	25
8.2.1 Análisis Descriptivo.	26
8.2.2 Análisis de Correlación.....	37
8.2.3 Análisis de Regresión.....	42
8.2.3.1 Formulación del Modelo	42
8.2.3.2 Estimación de los modelos con autocorrelación de los errores.	50
8.2.4 Análisis de Covarianza (ANCOVA).	55
9. Recomendaciones.	61
10. Bibliografía.....	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Tratamientos para el Estudio	11
Tabla 2. Transformación de variables Respuesta	12
Tabla 3. Resumen de las medidas para cada tratamiento, variable altura.	26
Tabla 4. Resumen de las medidas para cada tratamiento, variable Diámetro	28
Tabla 5. Resumen de pruebas de normalidad para la variable altura.....	30
Tabla 6. Resumen de pruebas de normalidad para la variable diámetro.....	31
Tabla 7. Correlación de las variables climáticas con la respuesta, referente a la altura. ..	37
Tabla 8. Correlación de las variables climáticas con la respuesta, referente al diámetro. 39	
Tabla 9. Resumen aplicación del modelo de regresión con respecto a la variable Altura. 44	
Tabla 10. Resumen de la prueba Kolmogov-Smirnov para los residuos.	46
Tabla 11. Resumen del test de igualdad de varianzas, Levene.	47
Tabla 12. Prueba de Durbin-Watson, tratamientos del modelo 1.	48
Tabla 13. Resumen de supuestos para cada tratamiento	49
Tabla 14. Coeficiente calculado para transformación del modelo	51
Tabla 15. Resumen de todos los modelos, incluidos los corregidos.....	52
Tabla 16. Resumen de Supuestos del Modelo.....	53
Tabla 17. Resumen del Modelo de Regresión	56
Tabla 18. Tabla ANOVA para la variable altura.....	56
Tabla 19. Tabla de coeficientes del modelo	56
Tabla 20. Anova para la covariable y el tratamiento.....	57
Tabla 21. Test de Levene para la altura.....	58
Tabla 22. Anova para la variable Altura	58
Tabla 23. Test de tukey para los tratamientos.....	59
Tabla 24. Resumen Ancova.....	60

Índice de Figuras

Figura 1. Sedes del Instituto Forestal	17
Figura 2. Temperaturas promedio.....	23
Figura 3. Precipitación Promedio	23
Figura 4. Boxplot para la variable altura.	26
Figura 5. Boxplot para la variable diámetro	28
Figura 6. Dispersión entre variables, Control.	32
Figura 7. Dispersión entre variables, Simazina.	32
Figura 8. Dispersión entre variables, Mecánico.....	32
Figura 9. Dispersión entre variables, Mulch.	32
Figura 10. Dispersión entre variables, Ajax 5.	33
Figura 11. Dispersión entre variables, Ajax 6.	33
Figura 12. Dispersión entre variables, Ajax 7.	33
Figura 13. Dispersión entre variables, Spider 8.....	33
Figura 14. Dispersión entre variables, Spider 9.....	34
Figura 15. Dispersión entre variables, Spider 10.	34
Figura 16. Dispersión entre variables, Roundup 11.	34
Figura 17. Dispersión entre variables, Roundup 12.	34
Figura 18. Dispersión entre variables, Roundup 13.	35
Figura 19. Dispersión entre variables, Roundup 14.	35
Figura 20. Dispersión entre variables, Roundup 15.	35
Figura 21. Dispersión entre variables, Roundup 16.	35

1. Resumen

Un factor limitante del crecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales es la presencia de malezas que crece alrededor de las plantas, particularmente en sus primeras etapas de crecimiento, lo que compromete su supervivencia y consecuentemente su rentabilidad. Algunos herbicidas utilizados en Chile son cuestionados por los estándares de certificación internacionales. Uno de ellos es la SIMAZINA, por lo que es necesario encontrar algún tipo de herbicida que la reemplace cumpliendo con los estándares de certificación.

En efecto, la exportación de madera está condicionada al cumplimiento de estos estándares, provocando pérdidas para las industrias forestales.

El estudio propuesto forma parte del proyecto “Alternativas de Control de malezas a herbicidas cuestionados por los sellos de certificación” desarrollado por el Instituto Forestal (INFOR), filial de la CORFO.

Es posible además, que estos químicos interactúen con variables climáticas potenciando el efecto de éstos sobre el crecimiento de las plantas o sobre el medio ambiente. En este estudio pretendemos establecer la relación entre variables climáticas y efecto de distintos tipos de herbicidas, sobre el crecimiento de algunas especies de importancia forestal en la región del Bío-Bío.

En efecto, se cree que el clima es un factor influyente para la efectividad del herbicida. Utilizando técnicas de diseño experimental, análisis de regresión, análisis de correlación y análisis de covarianza se busca evaluar su relación con los herbicidas analizados. Los datos corresponden a plantaciones de *Eucalyptus globulus* situadas en la región del Bío-Bío. Se aplicaron 15 tipos de herbicidas químicos y mecánicos más un control. En cada caso se analizó el crecimiento y la sobrevivencia durante un periodo de cinco años.

Se analizó además el impacto del tipo de maleza sobre estas variables. Los resultados se contrastaron con las condiciones climático-meteorológicas durante el periodo de estudio.

2. Introducción

Chile es un país con una gran cantidad de industrias forestales las que día a día buscan obtener mayor productividad y calidad en cada uno de sus productos. Uno de los mayores ingresos en el ámbito forestal son las exportaciones a países de baja producción, por lo que deben cumplir con los estándares de certificación internacionales para la exportación de los productos. Para que la empresa obtenga productos de calidad es necesario aplicar una serie de medidas de cuidado en sus plantaciones entre las cuales se encuentran especies como pino, eucalipto, pino Oregón, etc.

Uno de los principales factores que limita el crecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales es la alta presencia de malezas que crece alrededor, lo que además compromete seriamente su supervivencia y por consecuencia la rentabilidad de los cultivos. Para superar este problema, las empresas forestales han diseñado estrategias de manejo de vegetación competitiva, basadas en la aplicación de herbicidas como complemento a la preparación del suelo, dejando de lado alternativas mecánicas y manuales que implican altos costos de operación afectando negativamente la rentabilidad del negocio.

Actualmente algunos herbicidas utilizados son cuestionados por los estándares de certificación internacionales, por lo que el propósito de este estudio es determinar las mejores alternativas a los herbicidas cuestionados utilizando una serie de variables climatológicas que puedan influir en su efectividad, ya que es posible que los químicos interactúen con las variables climáticas y por consecuencia afecten el crecimiento de las plantas.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de las variables climáticas sobre el crecimiento de las plantas en 16 tratamientos distintos aplicando distintos tipos de análisis estadísticos.

3. Origen del tema

Este estudio deriva de los problemas que surgen en la exportación de madera ya que actualmente algunos herbicidas utilizados son cuestionados por los estándares de certificación internacionales, causando una gran pérdida económica para las industrias forestales y por consecuencia a Chile.

El estudio propuesto forma parte del proyecto “Alternativas de Control de malezas a herbicidas cuestionados por los sellos de certificación”, desarrollada por el INFOR, el cual ya tiene incorporado un diseño experimental para los tipos de herbicidas a prueba entre las distintas localidades en estudio, para determinar el efecto de estos sobre el crecimiento de las plantas de eucalipto, realizado por el Dr. Luis Cid Serrano (ver anexo, pág. 37 proyecto de título I). Para el desarrollo de este proyecto se requiere realizar un detallado análisis estadístico, por lo que se recurrió a especialistas en el área.

El Proyecto está dirigido por el Sr. Victor Vargas, investigador de INFOR.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General.

Establecer la relación entre variables climáticas y herbicidas sobre el crecimiento de algunas especies de importancia forestal en la región del Bío-Bío.

4.2 Objetivos Específicos.

1. Analizar cada una de las variables climáticas para determinar su comportamiento temporal.
2. Determinar las relaciones entre las variables climáticas determinadas en el objetivo específico 2 del proyecto de título I y los resultados de la aplicación de los distintos tipos de herbicidas sobre el crecimiento de las plantas.

5. Materiales y Métodos

5.1 Información Inicial.

Para realizar este estudio la forestal MININCO ha proporcionado información para los siguientes predios de plantaciones de eucaliptus, a los cuales anualmente se les midió el crecimiento tanto de altura y diámetro.

1. SANTA ADRIANA, Comuna de Nacimiento
2. CASAS QUEMADAS, Comuna de Mulchén
3. AVELLANAL HUACHO, Comuna de Arauco
4. EL LAUREL, Comuna de Contulmo
5. LA NARANJA, Comuna de Puerto Montt

Las mediciones a cada uno de los predios se realizaron en las siguientes fechas:

1 sept 2006, 2 mayo 2007, 3 nov 2007, 4 mayo 2008, 5 Nov 2008, 6 Mayo 2009 y 7 Nov 2009.

Los predios comprenden solo plantaciones de eucaliptus Globulus, a los cuales se les aplicaron los distintos tipos de herbicidas puestos a prueba, se propusieron ciertos herbicidas de laboratorios distintos los cuales se contrastan con los métodos Simazina, mecánico y un caso control. Entre los herbicidas propuestos por los laboratorios se encuentran, AJAX, SPIDER, ROUNDUP y MULCH.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>
1	Control
2	Simazina
3	Mecánico
4	Mulch
5	Ajax 5
6	Ajax 6
7	Ajax 7
8	Spider 8
9	Spider 9
10	Spider 10
11	Roundup 11
12	Roundup 12
13	Roundup 13
14	Roundup 14
15	Roundup 15
16	Roundup 16

Tabla 1. Tratamientos para el Estudio

Unidad Experimental: Parcela de 15 plantas

Variables Respuesta.

- ✚ *Altura media de la parcela : medida en cm*
- ✚ *Diámetro medio de la parcela:, medida en cm*

Variables Climáticas.

Se discutieron las variables que podrían estar asociadas al efecto de los químicos y al crecimiento de las plantaciones de eucaliptus y se decidió junto con la empresa y especialista encargado que las variables climáticas que finalmente se utilizaran para el estudio son las siguientes.

- ✚ *Temperatura Máxima:* Temperatura promedio registrada mensualmente, medida en °C
- ✚ *Temperatura Mínima:* Temperatura promedio registrada mensualmente, medida en °C
- ✚ *Temperatura Media:* Temperatura promedio registrada mensualmente, medida en °C
- ✚ *Precipitaciones:* Cantidad de agua caída mensualmente, medida en mm

Transformación de los Datos.

- **Variables Respuesta:** Determinar el crecimiento fijo en centímetros que adquirió la planta “entre” mediciones, esto se aplicó tanto para la variable “Altura” como para “Diámetro”.
- Obtener el promedio de información de las variables climáticas “entre” mediciones. Para ello se aplicó un intervalo de tiempo aproximado de 6 meses entre cada una de las mediciones.

En un principio se tenían observaciones para cada uno de los 16 tratamientos en los 4 bloques lo que daba un total de 28 datos para cada tratamiento. Sin embargo por efectos de la transformación y por falta de información climática para el primer intervalo, se tiene para el estudio la cantidad de 20 datos en donde las *variables de interés* son “Altura” y “Diámetro” de la planta.

Medición	Fechas de la Medición	Variable de Interés	Transformación variable de Interés	Intervalo entre mediciones
1	1 sept 2006	<i>dato</i> ₁		
2	2 mayo 2007	<i>dato</i> ₂	<i>obs</i> ₁	[Sep-06—Abr-07]
3	3 nov 2007	<i>dato</i> ₃	<i>obs</i> ₂	[May-07--Oct-07]
4	4 mayo 2008	<i>dato</i> ₄	<i>obs</i> ₃	[Nov-07--Abr-08]
5	5 Nov 2008	<i>dato</i> ₅	<i>obs</i> ₄	[May-08--Oct-08]
6	6 Mayo 2009	<i>dato</i> ₆	<i>obs</i> ₅	[Nov-08--Abr-09]
7	7 Nov 2009	<i>dato</i> ₇	<i>obs</i> ₆	[May-09--Nov-09]

Tabla 2. Transformación de variables Respuesta

La transformación aplicada fue:

$$\mathbf{obs}_i = \mathbf{dato}_{i+1} - \mathbf{dato}_i \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4, \dots, 16$$

En donde

- \mathbf{obs}_i = *Nuevo dato obtenido, transformación de la variable de interés.*
- \mathbf{dato}_i : *Dato en cada una de las mediciones para la variable de interés.*

Sin embargo, después de discutir con el profesor encargado el tema de la falta de información y la transformación de los datos para realizar ciertos tipos de análisis estadísticos en cada predio, se llegó a la conclusión que sólo se hará el estudio para uno de los predios, el cual será “Casas Quemadas” ubicado en Mulchén, Región Del Bío-Bío.

Para efectos del estudio se trabajará con planilla de datos Excel y los softwares estadísticos SPSS 19, SAS.

En cada uno de los análisis estadísticos que se aplicarán estarán integradas las diferentes pruebas de hipótesis correspondientes.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los distintos análisis aplicados para el predio que finalmente quedó para el estudio “Casas Quemadas”.

5.2 Métodos

La metodología a utilizar para cumplir los objetivos contemplados en el Proyecto de Título II se describe a continuación:

1. Para el cumplimiento del cuarto objetivo “analizar cada una de las variables climáticas para determinar su comportamiento temporal” primeramente se observarán si existen discontinuidades en los datos climáticos, en el caso que se presenten estas serán estimadas mediante interpolación lineal simple.

Luego se analizarán los datos climáticos con series temporales, donde el primer paso obligatorio para realizar el análisis es presentar los gráficos de las evoluciones de las variables a lo largo del tiempo, el segundo paso consistirá en determinar si la secuencia de valores es completamente aleatoria o si, por el contrario, se puede encontrar algún patrón a lo largo del tiempo, pues sólo en este caso podremos seguir con el análisis.

La metodología tradicional para el estudio de series temporales se basa en descomponer las series en varias partes: tendencia, variación estacional o periódica, y otras fluctuaciones irregulares. De esta forma se determinará el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo.

2. Anteriormente se aplicó un diseño experimental a los tipos de herbicidas puestos a prueba en las distintas localidades, para determinar el efecto de estos sobre el crecimiento de las plantas.

La relación de las variables climáticas y los resultados de la aplicación de los herbicidas con respecto al crecimiento de los árboles será evaluado con distintos tipos de análisis, entre los cuales están “análisis descriptivo”, con el objetivo de representar, resumir y analizar datos para tomar mejores decisiones.

También se utilizarán “Análisis de correlación”, “Análisis de Regresión” y “Análisis de Covarianza”. En el caso de la correlación servirá para determinar que variables están correlacionadas entre sí, así al aplicar el análisis de regresión (simple y/o múltiple) se tendrá en cuenta la relación entre el crecimiento de los árboles y las variables que verdaderamente influyen en el modelo. Finalmente se aplicará “Análisis de Covarianza” para determinar el efecto de las variables climáticas sobre los tratamientos.

La decisión final será determinada por los resultados obtenidos de los distintos análisis aplicados y así establecer la relación entre variables climáticas y herbicidas sobre el crecimiento de algunas especies de importancia forestal en la región del Bío-Bío.

6. Antecedentes Generales.

Instituto forestal, INFOR.

El Instituto Forestal realiza investigación forestal en el país desde su nacimiento como Proyecto FAO en el año 1961 y su creación oficial por el Gobierno de Chile en el año 1965. Innumerables investigaciones han sido desarrolladas desde entonces. La institución ha sido pionera en el sector forestal en una variedad y cantidad de investigaciones e innovaciones y tecnologías.

Su misión es : "Crear y transferir conocimientos científicos y tecnológicos de excelencia para el uso sostenible de los recursos y ecosistemas forestales, el desarrollo de productos y los servicios derivados; así como, generar información relevante para el sector forestal, en los ámbitos económico, social y ambiental".



De norte a sur, INFOR cuenta con cinco sedes: Sede Diaguítas en La Serena, Región de Coquimbo; Sede Metropolitana en Santiago, Región Metropolitana; Sede Bio Bio en Concepción, Región del Bio Bio; Sede Los Ríos en Valdivia, Región de Los Ríos; y Sede Patagonia en Coyhaique, Región de Aysén. Esta presencia geográfica le permite cubrir adecuadamente con sus actividades técnicas, desde las zonas áridas y semiáridas del norte hasta los bosques templados de la zona sur.



Figura 1. Sedes del Instituto Forestal

7. Marco conceptual

Con el propósito de conocer y comprender algunos términos que se utilizan en el presente estudio se especifican a continuación las siguientes definiciones:

Predios¹: También denominada fundo o finca es una propiedad inmueble que se compone de una porción delimitada de terreno, representa el bien inmueble por excelencia: la tierra.

Eucalyptus Globulus²: Árbol de elevada talla, llega a alcanzar los 70 m de altura y los 2 m de diámetro, aunque normalmente supera los 50 m de altura y los 1,50 m de diámetro medido a 1,30 m de altura sobre el suelo (denominada "altura normal" o "altura del pecho -DAP"). Se caracteriza y reconoce fácilmente por su corteza, que se desprende en tiras que, tras permanecer colgado del árbol durante un cierto tiempo, acaban por caer al suelo tras las ventoleras, dejando ver al exterior una nueva corteza de color blanco-plateado o azulado-pruinoso. Presentan frecuentemente daños por heladas por debajo de unos -3°C (especialmente si las heladas se producen cuando el árbol está brotando) y siempre si las temperaturas descienden de -5°C. Si bajan de -6°C a -8°C es posible que el arbolado llegue incluso a morir, especialmente si son prolongados. Son muy sensibles a las heladas las plantas más jóvenes. La resistencia a las heladas aumenta al alcanzar los dos o tres años de edad. Puede soportar temperaturas máximas de hasta 40°C. Sus limitaciones térmicas estivales le obligan a una distribución más bien costera, en la que además disfruta de mejor humedad relativa en el aire.

Herbicida³: Un herbicida es un producto fitosanitario utilizado para eliminar plantas indeseadas. Algunos actúan interfiriendo con el crecimiento de las malas hierbas y se basan frecuentemente en las hormonas de las plantas. No existe un solo sistema de clasificación de los herbicidas. Los diferentes sistemas se basan en criterios muy dispares, como su naturaleza química, su mecanismo de acción o su toxicidad.

¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Finca> ² <http://www.maderas.com/eucalip-car.htm> ³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Herbicida>.

Manejo de malezas manuales⁴: El sistema manual, con utilización de herramientas o maquinaria, es efectivo para terminar un buen despeje de áreas con vegetación, sin embargo como controla sólo las malezas presentes, no tienen efecto sobre las que emergerán con posterioridad, ya sea de semillas o del rebrote de estructuras vegetativas de las perennes. Este sistema es aconsejable para pequeñas plantaciones

Manejo de malezas mecánicas⁵: puede realizarse con numerosos tipos de maquinarias entre las que se incluye arados, cinceles y rastras; el subsolado también es efectivo contra las malezas pero en menor grado. Es factible realizar continuos rastros durante los primeros meses de la plantación; así en plantaciones de primavera realizada en sectores de Argentina se habla de cuatro rastros cruzados si la distancia de plantación lo permite. Incluso se recomienda pasar cerca de la línea de plantación para que los discos agreguen tierra a las plantas y así tapar las plántulas de malezas que están emergiendo. A pesar de esto, si no es posible agregar tierra, se recomienda trabajar en alrededor de 1 m de diámetro en la tasa de los árboles (Dalla Tea y Larocca, 1998).

Manejo de malezas químicas⁶: tiene como principal ventaja, además de la rapidez, la mejor relación costo-efectividad. Así, el uso de herbicidas ha desplazado rápidamente al resto de los sistemas, ya que su versatilidad le permite adecuarse a diferentes situaciones y a diferentes problemas de malezas y casi siempre a un menor costo efectivo. Entre los herbicidas, se distinguen los pre-emergentes, que se aplican antes de la plantación y emergencia de las malezas y los de post-emergencia que se aplican después de la plantación y emergencia de las malezas. Todos se pueden aplicar a toda la superficie o la hilera de plantación, usándose en este último caso, un tercio de la cantidad de herbicida; pero es necesario considerar algún sistema de control entre las hileras ya que las malezas rápidamente invaden la hilera de plantación.

4, 5 y 6

<http://www.goremagallanes.cl/ESTUDIOS/Archivos/Agricultura/20137502/Ruibargo/RUIBARBO%20XII%20REGION.pdf>

SIMAZINA⁷: (Simazina 500F, Gesatop 90). Es un herbicida suelo-activo selectivo perteneciente al grupo de la triazinas, sub grupo clorotriazinas. Tiene una amplia utilización para el control pre emergente de malezas anuales de hoja ancha y algunas gramíneas; es absorbido por las raíces de las plantas durante la germinación y tiene traslocación aploplástica (afecta la fotosíntesis en la etapa II al alterar el transporte de electrones).

A pesar de pertenecer al mismo subgrupo de atrazina y hexazinona, la simazina es de muy baja solubilidad, 6,2 ppm, se esperaría una baja lixiviación. Aunque tiene una vida media de 2 meses, hay numerosos reportes que lo incluyen como una de los herbicidas detectados en aguas subterráneas por lo que ha sido permanentemente incluido en reportes como un herbicida con inconvenientes medio ambientales. Además hay numerosas especies de malezas reportadas con resistencia, no hay reportes en Chile. Su K_{ow} es 122. K_{oc} es 130 mL/g.

AJAX⁸: es un herbicida del grupo de las sulfonilureas, recomendado para el control selectivo de malezas de hoja ancha en los cultivos descritos en el cuadro de instrucciones de uso. Actúa en forma sistémica y residual, siendo absorbido por el follaje y el sistema radicular, para ser traslocado a toda la planta.

SPIDER⁹: es un herbicida de presembrado y preemergencia que provee un excelente control de malezas duras o tolerantes a glifosato, como conyza, chamico, malva, ipomoea, chinchilla, entre otras. Es un herbicida de excelente rendimiento en siembra directa, ya que es altamente compatible con glifosato, posee baja retención por rastros y permite ser aplicado con coberturas verdes sin ser retenido por la intercepción de tejido vegetal verde, lo cual mantiene intacto su poder residual en el suelo durante el ciclo del cultivo

^{7, 8 y 9} Control de malezas y herbicidas usados en sector forestal.pdf

ROUNDUP¹⁰: Herbicida no residual contra hierbas gramíneas y dicotiledóneas anuales y perennes. Destruye incluso las partes subterráneas. Es absorbido por las hojas y tallos verdes y translocado al resto de la planta, ocasionando la muerte de ella. Sus efectos son lentos, sobre todo en especies perennes, después de 4-10 días de la aplicación comienza el amarillamiento de las hojas y tallos que culmina con la muerte total de las malezas.

Estándares de certificación¹¹: Es el documento que servirá como referente para evaluar y certificar la competencia laboral de las personas y que describe en términos de resultados, el estándar o patrón del desempeño eficiente de una función laboral.

¹⁰ Control de malezas y herbicidas usados en sector forestal.pdf

¹¹ http://www.cplcentroevaluador.com/certificacion_competencias.php

8. Resultados y Discusión

8.1 Comportamiento de las variables climáticas.

Uno de los dos objetivos específicos a desarrollar en el proyecto de título II fue: “Analizar cada una de las variables climáticas para determinar su comportamiento temporal”.

En el Proyecto de Título I se muestran los gráficos de las variables climáticas para cada una de las estaciones, en ellos se pueden observar las pequeñas faltas de información, en algunos casos se realizó interpolación lineal simple y en otros se tomó el promedio de cada año en los meses correspondientes para así obtener una serie de datos completa y sin saltos.

Se analizarán los datos climáticos con serie temporal, donde el primer paso obligatorio para realizar este análisis es presentar los gráficos de las evoluciones de las variables a lo largo del tiempo para el predio en estudio, lo que se muestra a continuación.

Casas Quemadas

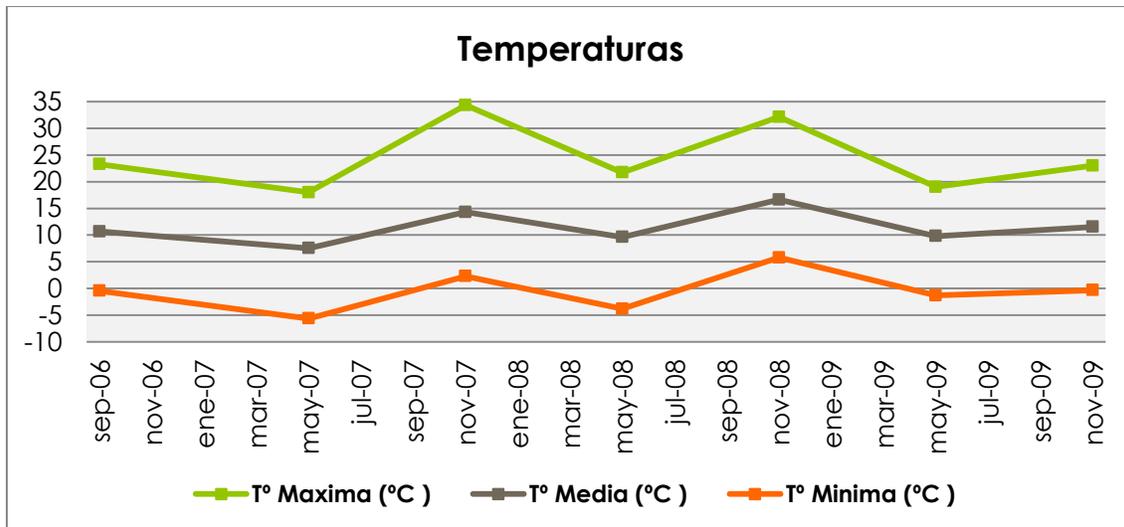


Figura 2. Temperaturas promedio

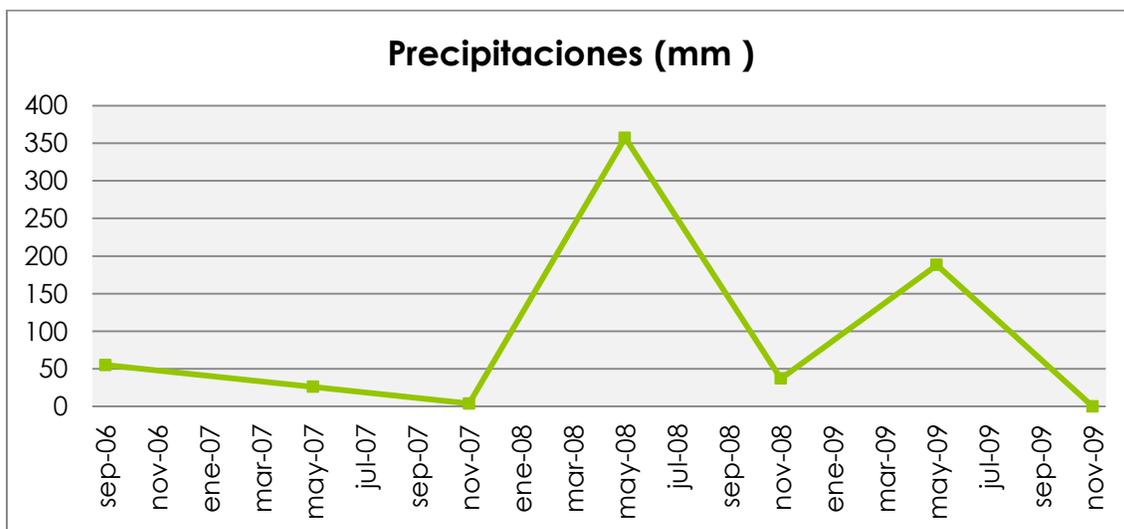


Figura 3. Precipitación Promedio

Interpretación.

- ✓ Para la figura 2 se puede observar que para las temperaturas promedio hay una tendencia entre ciertos meses del año, sin embargo no se observan outliers que puedan influir dentro del estudio.

- ✓ En la figura 3 se observa una gran diferencia de cantidad de agua promedio, caída entre los distintos años que duró la medición. Entre noviembre 2006 y noviembre 2007 no se observa la tendencia de agua caída como se observa para los años posteriores.

Como conclusión para la serie temporal se puede decir que los datos obtenidos no son suficientes para poder realizar un análisis más detallado de la serie de tiempo a pesar que para ello se utilizaron los datos obtenidos en un principio, sin aplicar la transformación, ya que en primera instancia son insuficientes y no fueron medidos periódicamente. Por lo que el análisis sólo será gráfico.

8.2 Relación entre variables climáticas y crecimiento de plantas.

El último objetivo específico es “Determinar las relaciones entre las variables climáticas determinadas y los resultados de la aplicación de los distintos tipos de herbicidas sobre el crecimiento de las plantas”.

Para ello en primera instancia se aplicará un análisis descriptivo de las 2 variables respuesta que en este caso son la altura y diámetro, para luego desarrollar un análisis de regresión, validando supuestos y realizando un análisis de correlación entre las variables, finalmente se aplicará un análisis de covarianza (ANCOVA) y así determinar la influencia de las variables climáticas sobre las variables de crecimiento.

8.2.1 Análisis Descriptivo.

Variable Altura (cm)						
Tratamiento <i>i</i>	Nombre del Tratamiento	N	Media	Des. Típ	Mínimo	Máximo
1	Control	20	76,92	49,18	6,67	165,720
2	Simazina	20	84,05	56,54	7,14	167,86
3	Mecánico	20	89,39	54,51	7,69	181,26
4	Mulch	20	85,36	53,21	0	164,28
5	Ajax 5	20	92,88	59,49	3,08	195,20
6	Ajax 6	20	92,39	57,63	5,00	185,12
7	Ajax 7	20	86,42	58,16	1,54	190,15
8	Spider 8	20	103,11	60,98	1,29	200,73
9	Spider 9	20	90,17	55,65	2,30	190,73
10	Spider 10	20	90,19	56,56	7,14	182,36
11	Roundup 11	20	93,82	61,33	1,34	196,07
12	Roundup 12	20	85,87	56,42	2,67	188,33
13	Roundup 13	20	78,63	50,67	7,14	196,27
14	Roundup 14	20	94,34	61,18	2,14	175,00
15	Roundup 15	20	82,32	47,27	7,14	158,60
16	Roundup 16	20	83,12	50,02	1,54	170,00

Tabla 3. Resumen de las medidas para cada tratamiento, variable altura.

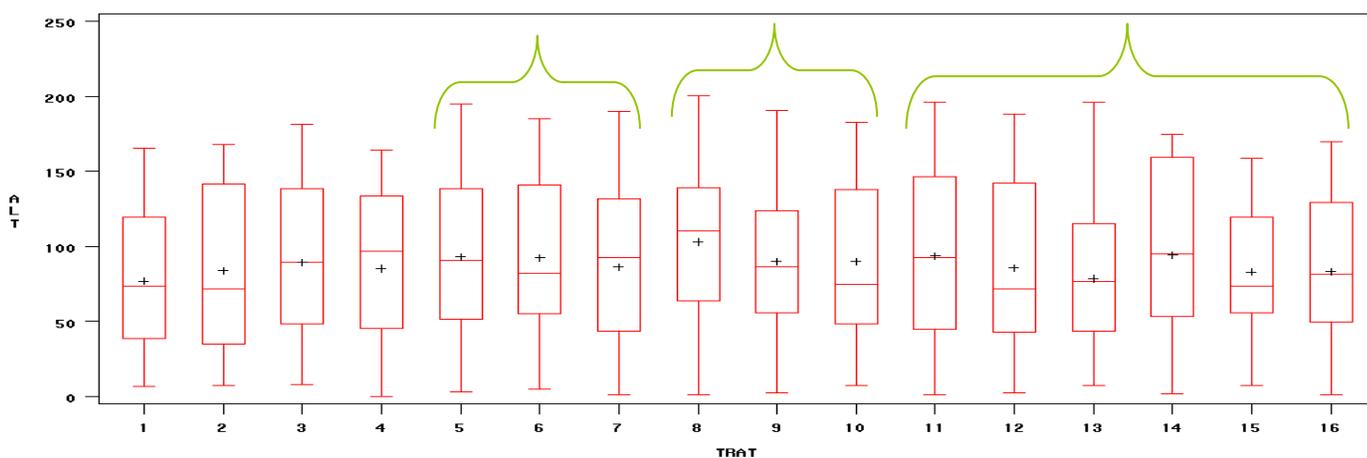


Figura 4. Boxplot para la variable altura.

Descripción de tabla y gráfica para la variable "Altura".

Se aprecia de la Figura 4 que la altura promedio entre las plantas no tiene grandes diferencias entre los distintos tratamientos aplicados, sin embargo se observan cambios entre algunos tratamientos, los cuales veremos en los próximos análisis.

Se parecía entre los distintos grupos algunos tratamientos que presentan más dispersión que el resto; tratamiento 2 (Simazina), tratamiento 5 (Grupo de Ajax), tratamiento 8 (grupo de Spider) tratamiento 11 y 14 (Grupo de Roundup), así también no se observan outliers.

Variable Diámetro (cm)						
Tratamiento i	Nombre del Tratamiento	N	Media	Des, Típ	Mínimo	Máximo
1	Control	20	10,18	4,61	2,36	23,43
2	Simazina	20	12,18	6,01	5,00	28,90
3	Mecánico	20	12,68	3,59	8,40	20,79
4	Mulch	20	12,05	3,59	7,10	17,99
5	Ajax 5	20	13,47	5,68	3,07	23,86
6	Ajax 6	20	13,06	5,24	3,47	26,37
7	Ajax 7	20	12,37	4,66	5,00	25,62
8	Spider 8	20	14,21	5,77	4,21	25,27
9	Spider 9	20	13,07	6,31	4,20	32,67
10	Spider 10	20	14,15	6,99	3,86	33,79
11	Roundup 11	20	15,25	9,71	6,67	48,69
12	Roundup 12	20	11,44	5,48	3,60	24,13
13	Roundup 13	20	11,28	5,09	4,27	26,67
14	Roundup 14	20	12,91	5,61	4,29	25,14
15	Roundup 15	20	11,62	4,38	1,53	21,20
16	Roundup 16	20	12,04	4,01	4,33	18,51

Tabla 4. Resumen de las medidas para cada tratamiento, variable Diámetro

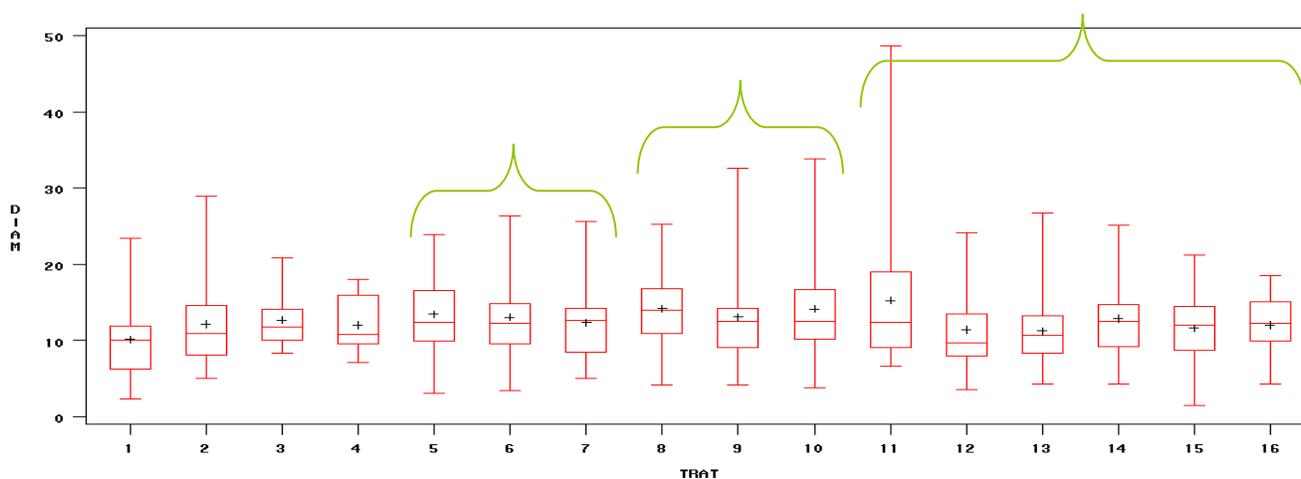


Figura 5. Boxplot para la variable diámetro

Descripción de la tabla y la gráfica para la variable “diámetro”.

Para la variable diámetro se puede observar que el diámetro promedio entre las plantas no tiene grandes diferencias entre los distintos grupos de tratamientos aplicados. Se parecía entre los distintos grupos algunos tratamientos que presentan más dispersión que el resto; tratamiento 2 (Simazina), tratamiento 5 (Grupo de Ajax), tratamiento 8 (grupo de Spider), tratamiento 11 (Grupo de Rpundup).

i. Normalidad de las Variables respuesta

*H₀: Los datos del tratamiento i proceden de una población con distribución Normal.
v/s*

H₁: Los datos del tratamiento i no proceden de una población con distribución normal.

Pruebas de normalidad

tratamiento de herbicida aplicado		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA	control	,137	20	,200 [*]	,942	20	,263
	Simazina	,146	20	,200 [*]	,915	20	,079
	Mecánico	,123	20	,200 [*]	,945	20	,303
	Mulch	,140	20	,200 [*]	,934	20	,185
	Ajax 5	,107	20	,200 [*]	,954	20	,436
	Ajax 6	,161	20	,185	,932	20	,167
	Ajax 7	,114	20	,200 [*]	,945	20	,292
	Spider 8	,118	20	,200 [*]	,953	20	,413
	Spider 9	,159	20	,200 [*]	,952	20	,400
	Spider 10	,140	20	,200 [*]	,937	20	,211
	Roundup 11	,096	20	,200 [*]	,955	20	,447
	Roundup 12	,139	20	,200 [*]	,946	20	,312
	Roundup 13	,148	20	,200 [*]	,954	20	,425
	Roundup 14	,152	20	,200 [*]	,907	20	,055
	Roundup 15	,149	20	,200 [*]	,952	20	,404
	Roundup 16	,157	20	,200 [*]	,947	20	,330

Tabla 5. Resumen de pruebas de normalidad para la variable altura

a. Corrección de la significación de Lilliefors * . Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Como conclusión se puede decir que para cada uno de los tratamientos puestos a prueba sobre la variable altura, los datos se distribuyen de forma normal, ya que al observar la significancia al 5% tanto en el test de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk no se rechaza la hipótesis nula.

Pruebas de normalidad

tratamiento de herbicida aplicado		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, DIÁMETRO	control	,171	20	,129	,921	20	,104
	Simazina	,169	20	,138	,889	20	,026
	Mecánico	,183	20	,076	,894	20	,032
	Mulch	,191	20	,054	,900	20	,042
	Ajax 5	,163	20	,172	,945	20	,303
	Ajax 6	,144	20	,200 ⁺	,949	20	,355
	Ajax 7	,165	20	,160	,929	20	,147
	Spider 8	,123	20	,200 ⁺	,963	20	,610
	Spider 9	,216	20	,015	,853	20	,006
	Spider 10	,146	20	,200 ⁺	,909	20	,061
	Roundup 11	,263	20	,001	,733	20	,000
	Roundup 12	,199	20	,037	,896	20	,034
	Roundup 13	,189	20	,061	,888	20	,024
	Roundup 14	,155	20	,200 ⁺	,951	20	,376
	Roundup 15	,135	20	,200 ⁺	,963	20	,601
	Roundup 16	,131	20	,200 ⁺	,955	20	,452

Tabla 6. Resumen de pruebas de normalidad para la variable diámetro

a. Corrección de la significación de Lilliefors *. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Como conclusión se puede decir que para los tratamientos puestos a prueba a excepción de los tratamientos 9 (Spider), 11 y 12 (Roundup) los datos se distribuyen en forma normal, ya que la significancia tanto en el test de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk no se rechaza la hipótesis nula.

ii. **Dispersión entre variables.**

Tratamiento 1

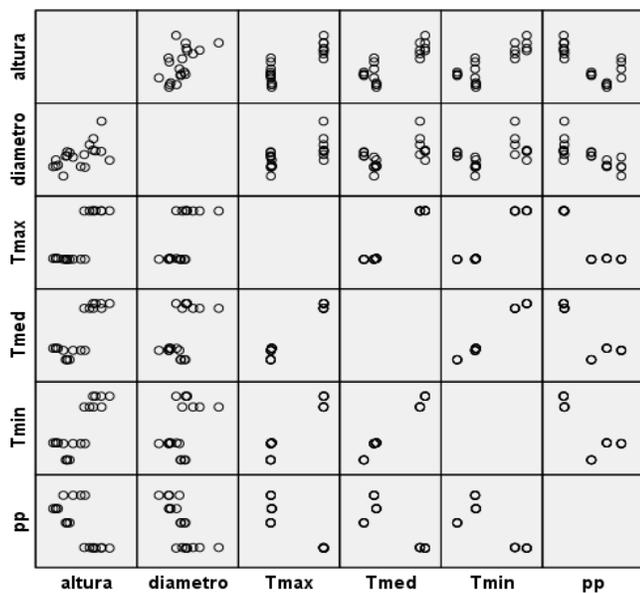


Figura 6. Dispersión entre variables, Control.

Tratamiento 2

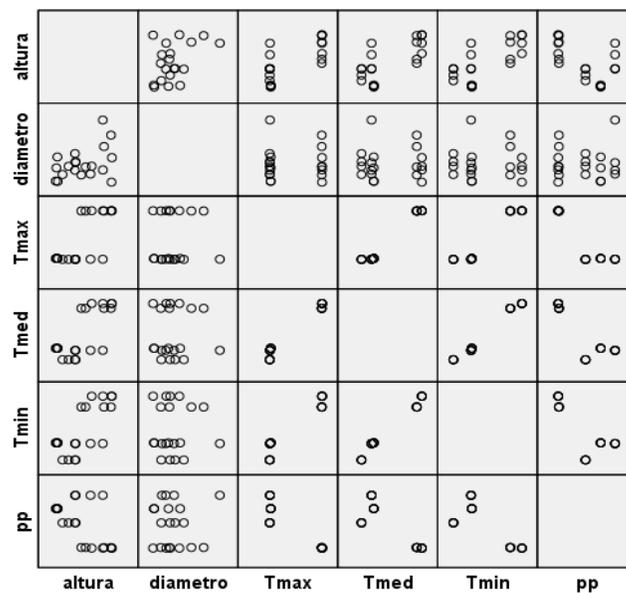


Figura 7. Dispersión entre variables, Simazina.

Tratamiento 3

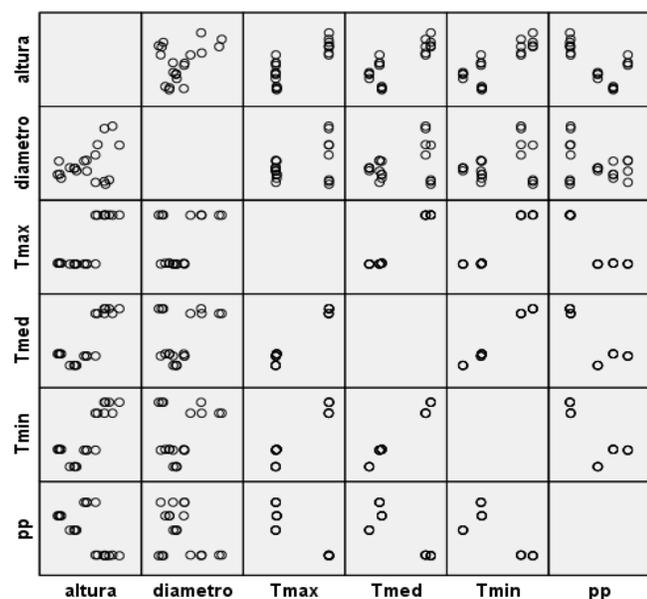


Figura 8. Dispersión entre variables, Mecánico.

Tratamiento 4

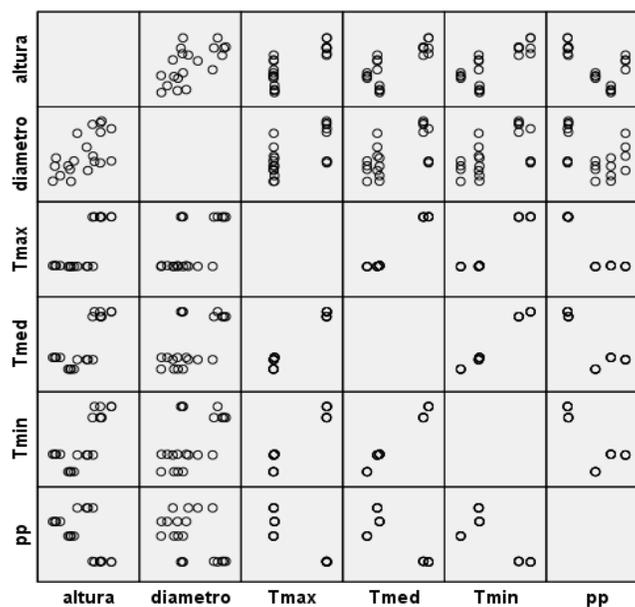


Figura 9. Dispersión entre variables, Mulch.

Tratamiento 5

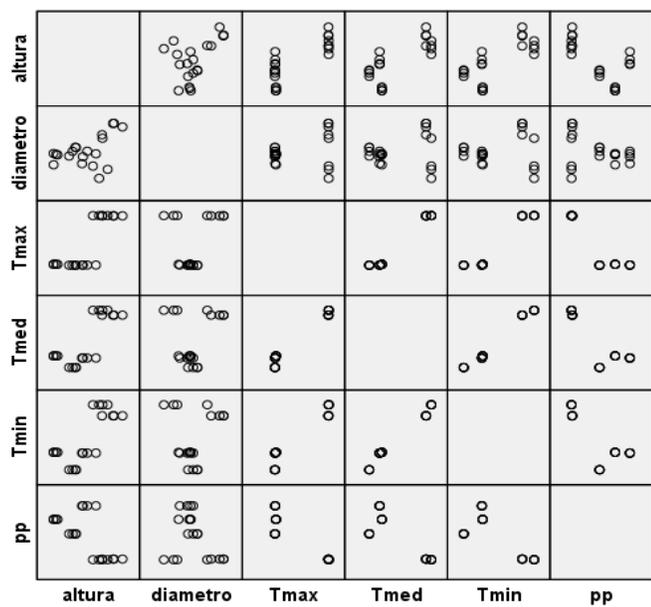


Figura 10. Dispersión entre variables, Ajax 5.

Tratamiento 6

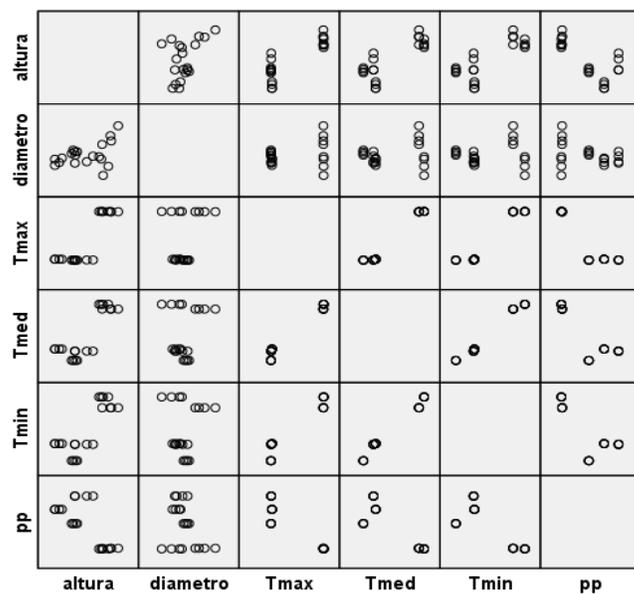


Figura 11. Dispersión entre variables, Ajax 6.

Tratamiento 7

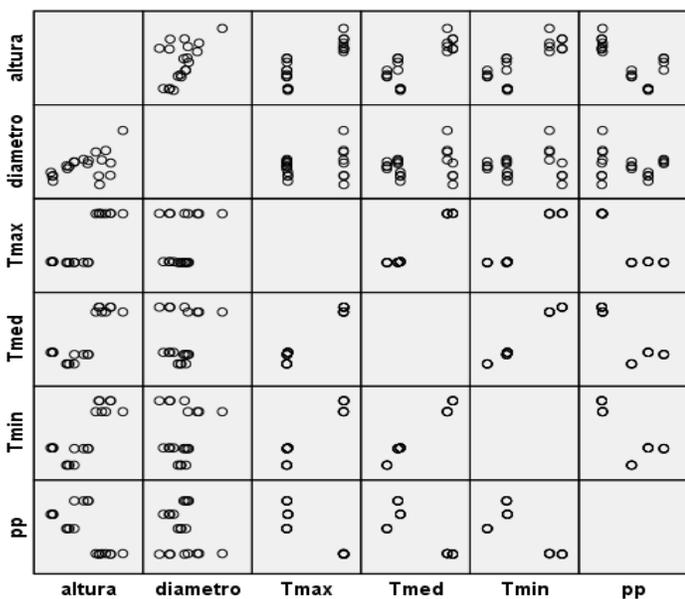


Figura 12. Dispersión entre variables, Ajax 7.

Tratamiento 8

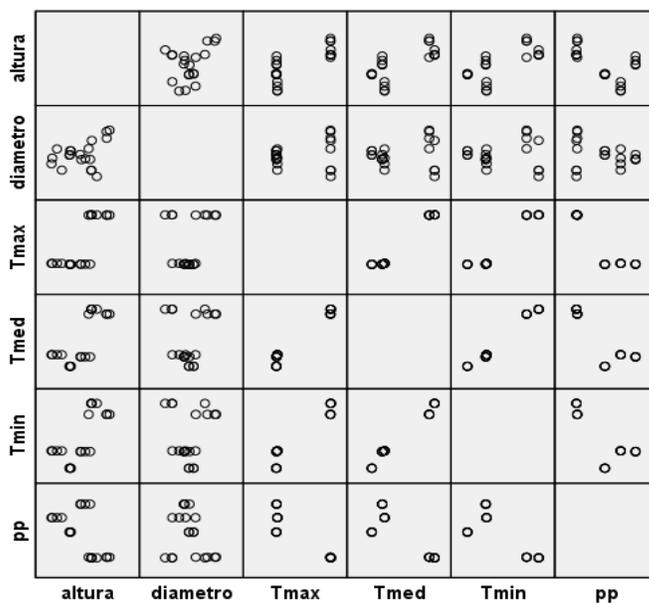


Figura 13. Dispersión entre variables, Spider 8

Tratamiento 9

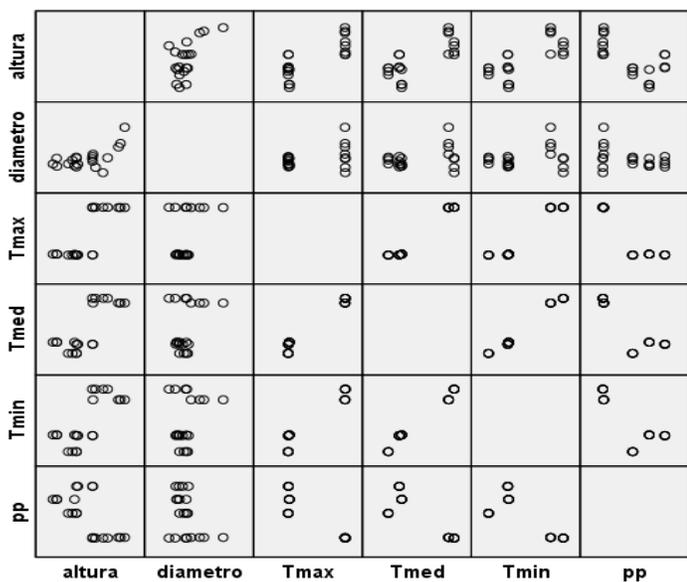


Figura 14. Dispersión entre variables, Spider 9.

Tratamiento 10

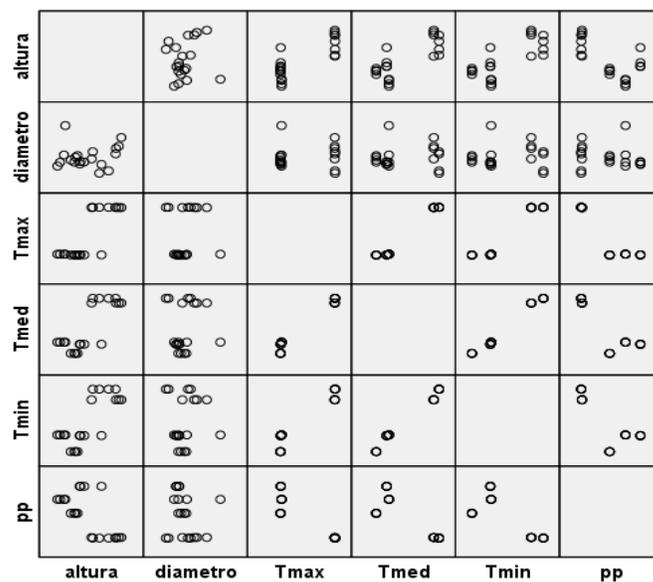


Figura 15. Dispersión entre variables, Spider 10.

Tratamiento 11

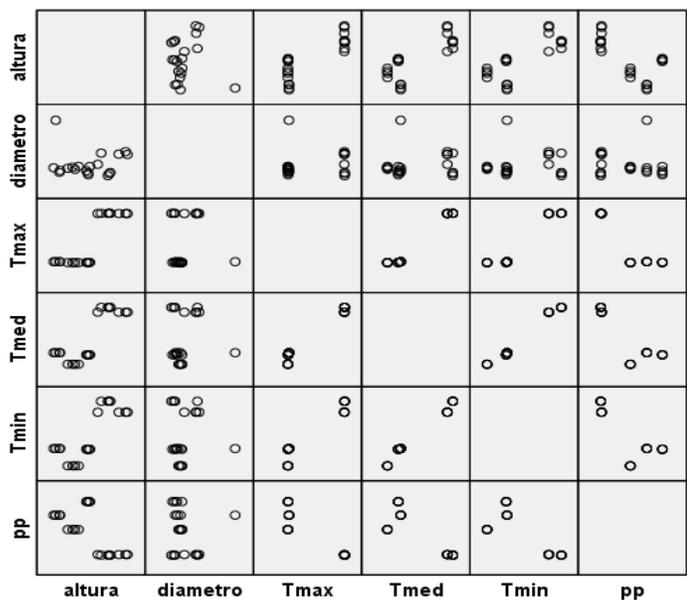


Figura 16. Dispersión entre variables, Roundup 11.

Tratamiento 12

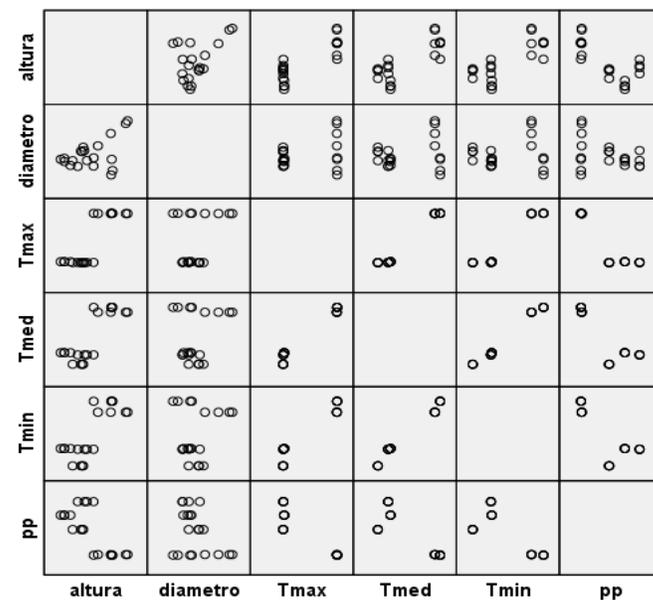


Figura 17. Dispersión entre variables, Roundup 12.

Tratamiento 13

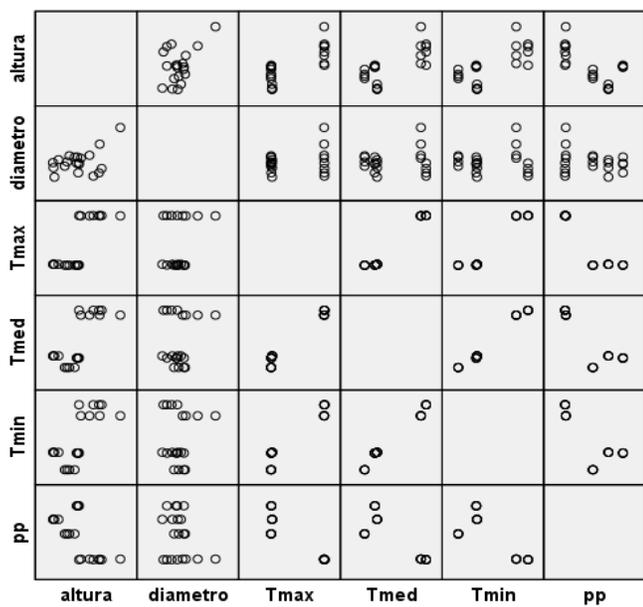


Figura 18. Dispersión entre variables, Roundup 13.

Tratamiento 14

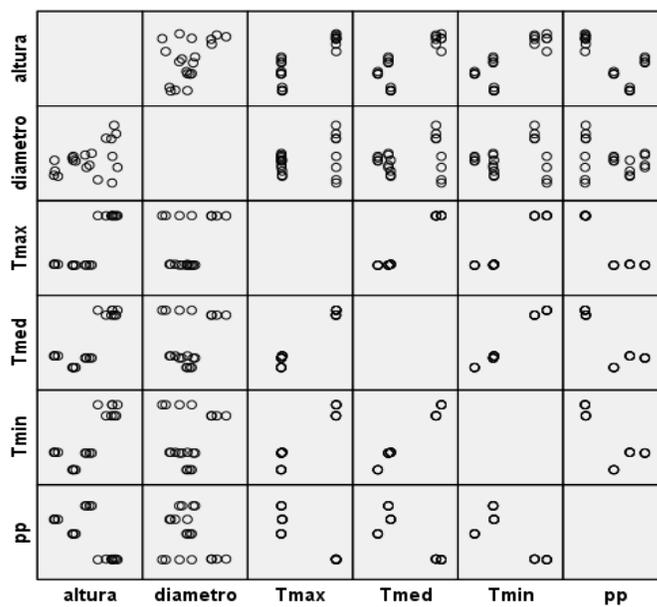


Figura 19. Dispersión entre variables, Roundup 14.

Tratamiento 15

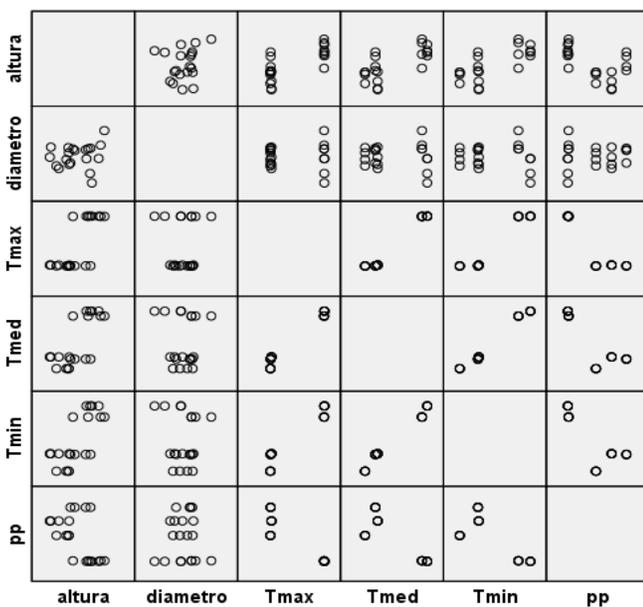


Figura 20. Dispersión entre variables, Roundup 15.

Tratamiento 16

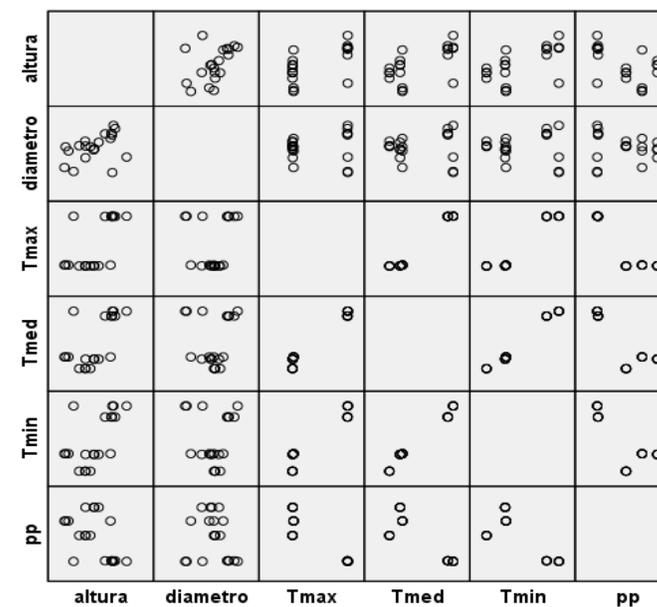


Figura 21. Dispersión entre variables, Roundup 16.

Como conclusión de las gráficas de dispersión se observa que para la variable respuesta “altura” hay una relación lineal entre las variables climáticas en cada uno de los tratamientos, con respecto a las temperaturas es una relación lineal positiva, sin embargo para la variable pp (precipitación) se observa linealidad negativa.

Al observar la variable respuesta diámetro, sólo en algunos tratamientos se observan tendencias lineales entre las variables climáticas con la respuesta, lo que en primera instancia nos puede causar problemas al aplicar análisis de regresión lineal para todos los tratamientos.

Para determinar cuáles son las mejores variables que influyen sobre la respuesta tanto para la altura como para el diámetro se procederá al aplicar un análisis de correlación entre las variables climáticas. Las tablas que se muestran a continuación dan a conocer la información obtenida.

8.2.2 Análisis de Correlación.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Correlación var. Altura</i>	<i>T° Máx.</i>	<i>T° Med</i>	<i>T° Min</i>	<i>pp</i>
1	Control	Correlación. Significancia	0.85465 <.0001	0.83729 <.0001	0.82795 <.0001	-0.72178 0.0003
2	Simazina	Correlación. Significancia	0.73190 0.0002	0.72355 0.0003	0.72535 0.0003	-0.56758 0.0090
3	Mecánico	Correlación. Significancia	0.82852 <.0001	0.81359 <.0001	0.80863 <.0001	-0.66202 0.0015
4	Mulch	Correlación. Significancia	0.80700 <.0001	0.79142 <.0001	0.78657 <.0001	-0.63293 0.0027
5	Ajax 5	Correlación. Significancia	0.81539 <.0001	0.77605 <.0001	0.74467 0.0002	-0.66118 0.0015
6	Ajax 6	Correlación. Significancia	0.86891 <.0001	0.82816 <.0001	0.79492 <.0001	-0.74309 0.0002
7	Ajax 7	Correlación. Significancia	0.84140 <.0001	0.81438 <.0001	0.79552 <.0001	-0.68619 0.0008
8	Spider 8	Correlación. Significancia	0.78306 <.0001	0.74887 0.0001	0.72245 0.0003	-0.61179 0.0041
9	Spider 9	Correlación. Significancia	0.80366 <.0001	0.76796 <.0001	0.73432 0.0002	-0.66228 0.0015
10	Spider 10	Correlación. Significancia	0.81977 <.0001	0.79058 <.0001	0.76493 <.0001	-0.67322 0.0011
11	Roundup 11	Correlación. Significancia	0.84679 <.0001	0.81453 <.0001	0.78702 <.0001	-0.69087 0.0007
12	Roundup 12	Correlación. Significancia	0.85022 <.0001	0.80977 <.0001	0.77472 <.0001	-0.73968 0.0002
13	Roundup 13	Correlación. Significancia	0.78193 <.0001	0.74867 0.0001	0.72370 0.0003	-0.65147 0.0019
14	Roundup 14	Correlación. Significancia	0.85582 <.0001	0.82684 <.0001	0.80692 <.0001	-0.69870 0.0006
15	Roundup 15	Correlación. Significancia	0.73010 0.0003	0.72362 0.0003	0.72021 0.0003	-0.54487 0.0130
16	Roundup 16	Correlación. Significancia	0.63947 0.0024	0.61977 0.0036	0.60155 0.0050	-0.52694 0.0170

Tabla 7. Correlación de las variables climáticas con la respuesta, referente a la altura.

La tabla 7 nos muestra cada correlación y significancia entre las variables climáticas sobre la altura. Se observa que todas tienen una alta correlación con la variable respuesta, en el caso de las temperaturas es alta correlación positiva y para la precipitación es una alta correlación negativa.

Al aplicar la prueba de hipótesis

H₀: las variables no están correlacionadas entre sí

v/s

H₁: las variables están correlacionadas entre sí

Se determina que en cada uno de los casos con una significancia del 5% se rechaza la hipótesis nula.

El color gris aplicado muestra la variable que tiene la correlación más alta con la altura, en este caso y para cada uno de los tratamientos la variable T° Máx resultó ser la variable más correlacionada.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Correlación Var. Diámetro</i>	<i>T° Máx.</i>	<i>T° Med</i>	<i>T° Min</i>	<i>pp</i>
1	Control	Correlación. Significancia	0.63831 0.0025	0.55134 0.0117	0.47155 0.0358	-0.72349 0.0003
2	Simazina	Correlación. Significancia	0.05335 0.8232	0.02875 0.9042	0.01158 0.9614	0.01175 0.9608
3	Mecánico	Correlación. Significancia	0.41968 0.0655	0.36557 0.1130	0.30154 0.1963	-0.37776 0.1006
4	Mulch	Correlación. Significancia	0.61493 0.0039	0.59516 0.0056	0.56282 0.0098	-0.43945 0.0525
5	Ajax 5	Correlación. Significancia	0.31467 0.1766	0.23838 0.3115	0.15676 0.5093	-0.33423 0.1498
6	Ajax 6	Correlación. Significancia	0.29647 0.2044	0.20501 0.3859	0.11630 0.6253	-0.33276 0.1517
7	Ajax 7	Correlación. Significancia	0.25399 0.2799	0.18397 0.4375	0.12142 0.6101	-0.18589 0.4326
8	Spider 8	Correlación. Significancia	0.24395 0.3000	0.16732 0.4808	0.09120 0.7022	-0.27461 0.2413
9	Spider 9	Correlación. Significancia	0.41003 0.0726	0.34274 0.1391	0.26927 0.2510	-0.40243 0.0786
10	Spider 10	Correlación. Significancia	0.13316 0.5757	0.11634 0.6252	0.07765 0.7449	-0.16455 0.4881
11	Roundup 11	Correlación. Significancia	0.12680 0.5942	0.12663 0.5947	0.10154 0.6701	-0.14254 0.5489
12	Roundup 12	Correlación. Significancia	0.34274 0.1391	0.25567 0.2766	0.16665 0.4825	-0.38460 0.0941
13	Roundup 13	Correlación. Significancia	0.24518 0.2975	0.17029 0.4729	0.09595 0.6874	-0.26938 0.2508
14	Roundup 14	Correlación. Significancia	0.33405 0.1500	0.25132 0.2851	0.17118 0.4705	-0.31499 0.1761
15	Roundup 15	Correlación. Significancia	0.00944 0.9685	-0.03539 0.8823	-0.08457 0.7230	0.03606 0.8800
16	Roundup 16	Correlación. Significancia	0.14227 0.5496	0.07969 0.7384	0.01747 0.9417	-0.17538 0.4595

Tabla 8. Correlación de las variables climáticas con la respuesta, referente al diámetro.

La tabla 8 nos muestra cada correlación y significancia entre las variables climáticas sobre el diámetro. Se observa que no todas tienen una alta correlación con la variable respuesta, sólo en dos tratamientos se observan correlaciones altas y significativas los cuales son en el caso del Control y Mulch.

Al contrastar la hipótesis

H₀: las variables no están correlacionadas entre sí

v/s

H₁: las variables están correlacionadas entre sí

Se puede decir que con una significancia del 5% a excepción de sólo los tratamientos Control y Mulch, ninguna de las variables climáticas presenta correlación lineal con el diámetro.

El color gris aplicado muestra la variable que tiene la correlación más alta con la altura, en este caso y para cada uno de los 2 tratamientos la variable pp resultó ser la más alta correlacionada con el diámetro y en el segundo tratamiento (Mulch) la variable T° Máx tenía la correlación más alta.

La siguiente matriz de correlación muestra las correlaciones que hay entre las variables independientes (climáticas). Las tablas anteriores nos dieron a conocer cuales eran las variables más correlacionas con la respuesta, sin embargo es necesario hacer el análisis entre las variables independientes, ya que estas pueden estar correlacionas entre si y al aplicar algún modelo para determinar la influencia se puede presentar alta multicolinealidad, para un descarte de variables analizaremos la siguiente matriz.

Coefficientes de correlación Pearson, N = 20
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	TMAX	TMED	TMIN	PP
TMAX	1.00000	0.98596 <.0001	0.95926 <.0001	-0.90871 <.0001
TMED	0.98596 <.0001	1.00000	0.99228 <.0001	-0.84312 <.0001
TMIN	0.95926 <.0001	0.99228 <.0001	1.00000	-0.78179 <.0001
PP	-0.90871 <.0001	-0.84312 <.0001	-0.78179 <.0001	1.00000

Al observar la correlación entre las variables climáticas se puede decir que existe una alta asociación entre ellas, observando la significancia entre cada una todas son significativas al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula de no correlación entre las variables. Donde la prueba de hipótesis adecuada a contrastar es:

$$H_0: \rho = 0$$

$$v/s$$

$$H_1: \rho \neq 0$$

Esto quiere decir que al aplicar modelos de regresión es recomendable sólo utilizar la variable con la más alta correlación con la respuesta, sin embargo para estar más seguros se aplicará el método de steep wise para determinar el mejor modelo.

A continuación se da a conocer los resultados del análisis de regresión.

8.2.3 Análisis de Regresión

8.2.3.1 Formulación del Modelo

El modelo de regresión teórico propuesto tanto para la “Altura” como para el “diámetro” será:

$$y_h = \beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + x_3\beta_3 + x_4\beta_4 + \varepsilon \quad (\text{Modelo 1})$$

$$y_d = \beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + x_3\beta_3 + x_4\beta_4 + \varepsilon \quad (\text{Modelo 2})$$

Para $i = 1, 2, 3, 4, \dots, 16$

En donde:

y_h : *Altura del árbol*

y_d : *Diámetro del árbol*

x_1 : *Temperatura máxima*

x_2 : *Temperatura media*

x_3 : *Temperatura mínima*

x_4 : *precipitación*

Con este modelo de regresión esperamos determinar el grado de influencia de las variables climáticas sobre las variables de crecimiento. Será utilizado como un modelo explicativo.

Sin embargo ya teniendo en cuenta el análisis de correlación que hay entre las variables independientes es de hecho que el modelo propuesto presentará una alta multicolinealidad. Sin embargo se procederá a utilizar el método de “StepWise” para determinar que variable o que variables representan mejor el crecimiento de las plantas de eucaliptus globulus en cada uno de los tratamientos aplicados.

Utilizando el software estadístico SPSS y activando la opción de pasos sucesivos en modelos de regresión lineal, se obtuvieron los siguientes resultados para cada tratamiento.

Las siguientes tablas muestran en forma resumida los aspectos más importantes a considerar del modelo de regresión tanto para la variable altura como para el diámetro.

i. Método de Stepwise

El procedimiento de Stepwise Regresión es una de las técnicas de selección de variables ampliamente utilizada. El procedimiento construye iterativamente una secuencia de modelos de regresión agregando o removiendo variables en cada paso o etapa. Una vez realizado este procedimiento para cada tratamiento finalmente el modelo de regresión estimado para la variable altura será:

$$\hat{y}_h = \hat{\beta}_0 + x_1\hat{\beta}_1$$

Para $i = 1, 2, 3, 4, \dots, 16$

ii. Resumen del Modelo, Anova, y coeficientes.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Variables Introducidas</i>	R_a^2	<i>Sig. Modelo</i>	<i>coeficientes</i> * β_0 * β_1	<i>Sig. coefi</i>	<i>Durbin Watson</i>
1	Control	T° Máxima	0,715	0,000	-68,986 5,643	0,005 0,000	1,061
2	Simazina	T° Máxima	0,510	0,000	-59,589 5,555	0,085 0,000	1,537
3	Mecánico	T° Máxima	0,669	0,000	-67,383 6,063	0,018 0,000	0,856
4	Mulch	T° Máxima	0,632	0,000	-63,685 5,764	0,028 0,000	0,975
5	Ajax 5	T° Máxima	0,646	0,000	-75,514 6,512	0,019 0,000	0,930
6	Ajax 6	T° Máxima	0,741	0,000	-81,436 6,722	0,003 0,000	0,547
7	Ajax 7	T° Máxima	0,708	0,000	-83,445 6,569	0,006 0,000	0,759
8	Spider 8	T° Máxima	0,592	0,000	-62,641 6,410	0,068 0,000	0,836
9	Spider 9	T° Máxima	0,626	0,000	-65,054 6,003	0,033 0,000	1,421
10	Spider 10	T° Máxima	0,654	0,000	-70,759 6,224	0,019 0,000	1,466
11	Roundup 11	T° Máxima	0,701	0,000	-86,445 6,972	0,006 0,000	0,735
12	Roundup 12	T° Máxima	0,707	0,000	-80,640 6,440	0,005 0,000	1,343
13	Roundup 13	T° Máxima	0,590	0,000	-58,895 5,319	0,042 0,000	1,227
14	Roundup 14	T° Máxima	0,718	0,000	-87,423 7,030	0,004 0,000	0,689
15	Roundup 15	T° Máxima	0,507	0,000	-33,382 4,502	0,227 0,000	1,713
16	Roundup 16	T° Máxima	0,376	0,002	-27,894 4,294	0,405 0,002	1,766

Tabla 9. Resumen aplicación del modelo de regresión con respecto a la variable Altura.

- *Modelo 1: Variable Respuesta, "Altura".*

En este caso se observa que para cada uno de los 16 tratamientos el procedimiento stepwise sólo dejó una variable y que fue la misma para todos T° Máx lo que corrobora el análisis de correlación aplicado anteriormente.

La bondad del ajuste (R_a^2) muestra que en cada uno de los tratamientos hay un alto porcentaje explicativo a excepción del tratamiento Roundup 16 en donde sólo el 37,6% de la variabilidad de los centímetros que creció la planta entre ciertos periodos de tiempo está explicada por la temperatura máxima promedio.

Se observa que la mejor bondad de ajuste es para el tratamiento Ajax 6, donde el 74,1% de la variabilidad de los centímetros que creció la planta entre ciertos periodos de tiempo está explicada por la temperatura máxima promedio.

iii. Ajuste del Modelo

Al probar la prueba de hipótesis con una significancia del 5% para determinar si el modelo tiene un buen ajuste, se puede concluir que en cada uno de los 16 tratamientos se rechaza la hipótesis nula. Ya que todos contienen una significancia menor al 5%. Por lo que puede decir que el modelo es explicativo en cada uno de los tratamientos.

$$H_0: \hat{y}_h = \hat{\beta}_0 \quad v/s \quad H_1: \hat{y}_h = \hat{\beta}_0 + x_1 \hat{\beta}_1$$

iv. Coeficientes

La prueba de hipótesis para determinar qué tan bueno son los coeficientes del modelo de regresión es:

$$H_0: \beta_i = 0 \quad v/s \quad H_1: \beta_i \neq 0 \quad \text{para } i = 0,1$$

En este caso se observan que en los tratamientos simazina, spider 8, Roundup 15 y Roundup 16 no se rechaza la hipótesis nula, sin embargo para el resto de los tratamientos los coeficientes estimados tienen un buen ajuste sobre el modelo.

v. Normalidad de los residuos:

H_0 : Los residuos del tratamiento i proceden de una población con distribución Normal.

v/s

H_1 : Los residuos del tratamiento i no proceden de una población con distribución normal.

Prueba de normalidad de kolmogorob smirnov.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Significancia</i>	<i>Conclusión</i>
1	Control	0,986	No Se Rechaza la Hipótesis
2	Simazina	0,792	No Se Rechaza la Hipótesis
3	Mecánico	0,998	No Se Rechaza la Hipótesis
4	Mulch	0,805	No Se Rechaza la Hipótesis
5	Ajax 5	0,951	No Se Rechaza la Hipótesis
6	Ajax 6	0,889	No Se Rechaza la Hipótesis
7	Ajax 7	0,976	No Se Rechaza la Hipótesis
8	Spider 8	0,830	No Se Rechaza la Hipótesis
9	Spider 9	0,953	No Se Rechaza la Hipótesis
10	Spider 10	0,948	No Se Rechaza la Hipótesis
11	Roundup 11	0,676	No Se Rechaza la Hipótesis
12	Roundup 12	0,869	No Se Rechaza la Hipótesis
13	Roundup 13	0,893	No Se Rechaza la Hipótesis
14	Roundup 14	0,337	No Se Rechaza la Hipótesis
15	Roundup 15	0,987	No Se Rechaza la Hipótesis
16	Roundup 16	0,375	No Se Rechaza la Hipótesis

Tabla 10. Resumen de la prueba Kolmogov-Smirnov para los residuos.

Para probar la normalidad de los residuos se recurrió a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual arrojó que en cada uno de los 16 modelos de regresión aplicados a los tratamientos los residuos tienen una distribución normal.

vi. Homocedasticidad de los residuos.

Para determinar el supuesto de homocedasticidad de los errores se aplicó el test de Levene para cada uno de los 16 tratamientos. El estadístico y significancia de la prueba se muestra en la siguiente tabla.

Hipótesis a contrastar:

H₀: Las varianzas son iguales entre los residuos, Homocedasticidad v/s

H₁: Las varianzas difieren entre los residuos, Heterocedasticidad

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Estadístico de Levene</i>	<i>Sig. Estadístico</i>	Conclusión
1	Control	3,094	0,048	Se rechaza la hipótesis nula
2	Simazina	6,493	0,003	Se rechaza la hipótesis nula
3	Mecánico	2,166	0,123	No se rechaza la hipótesis nula
4	Mulch	2,780	0,065	No se rechaza la hipótesis nula
5	Ajax 5	,902	0,487	No se rechaza la hipótesis nula
6	Ajax 6	2,865	0,060	No se rechaza la hipótesis nula
7	Ajax 7	2,577	0,080	No se rechaza la hipótesis nula
8	Spider 8	3,582	0,031	Se rechaza la hipótesis nula
9	Spider 9	1,686	0,205	No se rechaza la hipótesis nula
10	Spider 10	2,477	0,089	No se rechaza la hipótesis nula
11	Roundup 11	3,386	0,037	Se rechaza la hipótesis nula
12	Roundup 12	2,958	0,055	No se rechaza la hipótesis nula
13	Roundup 13	3,625	0,029	Se rechaza la hipótesis nula
14	Roundup 14	2,697	0,071	No se rechaza la hipótesis nula
15	Roundup 15	2,098	0,132	No se rechaza la hipótesis nula
16	Roundup 16	3,384	0,037	Se rechaza la hipótesis nula

Tabla 11. Resumen del test de igualdad de varianzas, Levene.

Para los tratamientos Control, Simazina, Spider 8, Roundup 11, Roundup 13 y Roundup 16 se rechaza la hipótesis nula de residuos homocedásticos.

vii. Autocorrelación de los Residuos.

Uno de los supuesto que debemos tener claro es detectar la autocorrelación de los errores, para ello se puede utilizar la prueba de Durbin-Watson.

Los valores para contrastar la hipótesis

H_0 : los errores no están autocorrelacionados entre sí

v/s

H_1 : los errores están autocorrelacionados entre sí

$H_0: \rho = 0$

v/s

$H_1: \rho \neq 0$

Si $d < d_L$, se rechaza la hipótesis nula

Si $d > d_U$, no se rechaza la hipótesis nula

Si $d_L < d < d_U$, la prueba no es concluyente

Tratamiento i	Nombre del Tratamiento	Durbin Watson	Conclusión	d_L	d_U
1	Control	1,061	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
2	Simazina	1,537	No se rechaza la hipótesis	1,08	1,28
3	Mecánico	0,856	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
4	Mulch	0,975	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
5	Ajax 5	0,930	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
6	Ajax 6	0,547	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
7	Ajax 7	0,759	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
8	Spider 8	0,836	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
9	Spider 9	1,421	No se rechaza la hipótesis	1,08	1,28
10	Spider 10	1,466	No se rechaza la hipótesis	1,08	1,28
11	Roundup 11	0,735	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
12	Roundup 12	1,343	No se rechaza la hipótesis	1,08	1,28
13	Roundup 13	1,227	La Prueba no es concluyente	1,08	1,28
14	Roundup 14	0,689	Se Rechaza la Hipótesis	1,08	1,28
15	Roundup 15	1,713	No se rechaza la hipótesis	1,08	1,28
16	Roundup 16	1,766	No se rechaza la hipótesis	1,08	1,28

Tabla 12. Prueba de Durbin-Watson, tratamientos del modelo 1.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Independencia de los errores</i>	<i>Normalidad de los errores</i>	<i>Homocedasticidad en los errores</i>	<i>Errores autocorrelacionados</i>
1	Control	✓ Sí	✓ Sí	No	Sí
2	Simazina	✓ Sí	✓ Sí	No	No
3	Mecánico	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	Sí
4	Mulch	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	Sí
5	Ajax 5	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	Sí
6	Ajax 6	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	Sí
7	Ajax 7	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	Sí
8	Spider 8	✓ Sí	✓ Sí	No	Sí
9	Spider 9	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	No
10	Spider 10	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	No
11	Roundup 11	✓ Sí	✓ Sí	No	Si
12	Roundup 12	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	No
13	Roundup 13	✓ Sí	✓ Sí	No	no es concluyente
14	Roundup 14	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	Sí
15	Roundup 15	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	No
16	Roundup 16	✓ Sí	✓ Sí	No	No

Tabla 13. Resumen de supuestos para cada tratamiento

La tabla de resumen muestra cuales son los supuestos que se cumplen en los tratamientos y los que no, el color plomo muestran la respuesta favorable y el color naranja indica la respuesta desfavorable para los supuestos.

Se observa que para los tratamientos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13 y 14 hay errores autocorrelacionados, por lo que se procederá a realizar una corrección de los modelos para residuos autocorrelacionados, para ello se procederá a utilizar el procedimiento propuesto por Cochrane & Orcutt.

8.2.3.2 Estimación de los modelos con autocorrelación de los errores.

Cuando se rechaza la hipótesis nula de autocorrelación cero, para poder ajustar el modelo de regresión se deben transformar los datos para compensar la presencia de errores autocorrelacionados. El procedimiento usualmente utilizado es debido a Cochrane & Orcutt (1949). Este enfoque se basa en un método iterativo el cual incluye la transformación de las variables respuesta y predictoras del modelo de regresión original.

Dado el modelo de regresión $\hat{y}_h = \hat{\beta}_0 + x_1 \hat{\beta}_1$

Se calcula

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{t=2}^{16} (e_t \cdot e_{t-1})}{\sum_{t=1}^{16} e_t^2}$$

Donde

$$\beta_0^* = (1 - \hat{\rho}) \hat{\beta}_0$$

$$x_1^* = x_t - (\hat{\rho} \cdot x_{t-1})$$

$$Y_h^* = y_t - (\hat{\rho} \cdot y_{t-1})$$

Así el nuevo modelo corregido será $\hat{y}_h^* = \hat{\beta}_0^* + x_1^* \hat{\beta}_1$

A continuación se muestra una tabla de resumen con la corrección de estos modelos.

tratamiento	$\hat{\rho}$
<i>Tratamiento 1</i>	0,411
<i>Tratamiento 3</i>	0,533
<i>Tratamiento 4</i>	0,439
<i>Tratamiento 5</i>	0,473
<i>Tratamiento 6</i>	0,641
<i>Tratamiento 7</i>	0,569
<i>Tratamiento 8</i>	0,565
<i>Tratamiento 11</i>	0,597
<i>Tratamiento 13</i>	0,350
<i>Tratamiento 14</i>	0,585

Tabla 14. Coeficiente calculado para transformación del modelo

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	R_a^2	<i>Sig. Modelo</i>	<i>coeficientes</i> * β_0 * β_1	<i>Sig. coefi</i>	<i>Durbin Watson</i>
1	Control	0,633	0,000	-33,092 5,090	0,040 0,000	1,928
2	Simazina	0,510	0,000	-59,589 5,555	0,085 0,000	1,537
3	Mecánico	0,663	0,000	-33,873 6,163	0,026 0,000	1,993
4	Mulch	0,595	0,000	-37,096 5,778	0,049 0,000	2,095
5	Ajax 5	0,574	0,000	-32,822 5,944	0,083 0,000	2,113
6	Ajax 6	0,785	0,000	-30,675 6,616	0,003 0,000	1,776
7	Ajax 7	0,741	0,000	-44,882 7,236	0,003 0,000	1,542
8	Spider 8	0,569	0,000	-25,733 6,213	0,128 0,000	2,227
9	Spider 9	0,626	0,000	-65,054 6,003	0,033 0,000	1,421
10	Spider 10	0,654	0,000	-70,759 6,224	0,019 0,000	1,466
11	Roundup 11	0,705	0,000	-34,822 6,831	0,013 0,000	2,097
12	Roundup 12	0,707	0,000	-80,640 6,440	0,005 0,000	1,343
13	Roundup 13	0,487	0,000	-30,912 4,846	0,153 0,001	1,734
14	Roundup 14	0,733	0,000	-38,250 7,054	0,006 0,000	1,596
15	Roundup 15	0,507	0,000	-33,382 4,502	0,227 0,000	1,713
16	Roundup 16	0,376	0,002	-27,894 4,294	0,405 0,002	1,766

Tabla 15. Resumen de todos los modelos, incluidos los corregidos.

Después de haber realizado la corrección de los modelos con errores autocorrelacionados, se observa que el coeficiente de Durbin-Watson aumentó, por lo que ahora en cada uno de los modelos ya no existe el problema de autocorrelación.

El coeficiente de determinación si bien sufrió algunos cambios este no fue excesivo, en algunos casos subió, mientras que en otros bajo. Se observa que a pesar que los modelos tienen un buen ajuste, en ciertos tratamientos la constante no resultó ser significativa al 5%.

La siguiente tabla muestra un resumen de los supuestos del modelo de regresión que nuevamente fueron contrastados, en los modelos que fueron corregidos se observa que en algunos casos que corrigió la falta de homocedasticidad de los errores, pero en otros a pesar de la corrección esta se mantuvo.

<i>Tratamiento i</i>	<i>Nombre del Tratamiento</i>	<i>Errores Independientes</i>	<i>Normalidad de los errores</i>	<i>Homocedasticidad en los errores</i>	<i>Errores autocorrelacionados</i>
1	Control	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
2	Simazina	✓ Sí	✓ Sí	No	✓ No
3	Mecánico	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
4	Mulch	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
5	Ajax 5	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
6	Ajax 6	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
7	Ajax 7	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
8	Spider 8	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
9	Spider 9	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
10	Spider 10	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
11	Roundup 11	✓ Sí	✓ Sí	No	✓ No
12	Roundup 12	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
13	Roundup 13	✓ Sí	✓ Sí	No	✓ No
14	Roundup 14	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
15	Roundup 15	✓ Sí	✓ Sí	✓ Si	✓ No
16	Roundup 16	✓ Sí	✓ Sí	No	✓ No

Tabla 16. Resumen de Supuestos del Modelo

Finalmente se puede decir que los modelos de regresión ajustados a cada uno de los tratamientos muestran que tanto aporta la variable climática en el crecimiento de las plantas, para los casos de Simazina, Roundup 11, Roundup 13 y Roundup 16, no se cumple el supuesto de homocedasticidad de los errores, por lo que para ellos los estimadores MCO dejan de ser óptimos y nada nos garantiza que el estimador MCO de β , del modelo especificado, sea el de menor varianza dentro de la clase de estimadores lineales e insesgados.

Sin embargo, se determinó que la variable respuesta “Diámetro” no tiene un comportamiento lineal, a pesar de aplicar distintos tipos de transformaciones para poder realizar análisis, esta variable seguía teniendo un comportamiento no definido. Por lo que el análisis sólo se llevó a cabo para la variable “Altura”.

8.2.4 Análisis de Covarianza (ANCOVA).

Uno de los objetivos de la ancova es ajustar medias de los tratamientos de las variables dependientes a las diferencias en conjuntos de valores de las variables independientes.

Los datos obtenidos fueron determinados por un diseño de experimento de bloques completos al azar. Los valores características de interés son y_{ij} y x_{ij} . Donde x_{ij} es la covariable, si se sospecha que x_{ij} ejerce alguna influencia sobre y_{ij} se aplica el análisis de covarianza.

Supuestos del Ancova:

- Relación entre x e y debe ser lineal.
- Supuesto de homogeneidad de las pendientes
- Supuesto de Independencia entre la covariable y el tratamiento

i. Supuesto de linealidad.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,798 ^a	,637	,636	33,01824

Tabla 17. Resumen del Modelo de Regresión

a. Variables predictoras: (Constante), Temperatura máxima promedio entre los intervalos de tiempo

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	607611,483	1	607611,483	557,337	,000 ^a
	Residual	346684,947	318	1090,204		
	Total	954296,430	319			

Tabla 18. Tabla ANOVA para la variable altura.

a. Variables predictoras: (Constante), Temperatura máxima promedio entre los intervalos de tiempo

b. Variable dependiente: Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-67,073	6,828		-9,824	,000
	Temperatura máxima promedio entre los intervalos de tiempo	6,001	,254	,798	23,608	,000

Tabla 19. Tabla de coeficientes del modelo

a. Variable dependiente: Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA

Se observa que se cumple el supuesto de linealidad entre la variable dependiente y la covariable.

ii. **Supuesto de independencia entre covariable y tratamiento**

H_0 : la covariable es independiente del tratamiento

H_1 : la covariable es dependiente del tratamiento

ANOVA

Temperatura máxima promedio entre los intervalos de tiempo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,000	15	,000	,000	1,000
Intra-grupos	16870,456	304	55,495		
Total	16870,456	319			

Tabla 20. Anova para la covariable y el tratamiento

Con una significancia del 5% no se rechaza la hipótesis nula, por tanto la covariable T.Max es independiente del tratamiento.

iii. Supuesto de homogeneidad de las pendientes

H_0 : Las varianzas de los diferentes tratamientos son iguales

v/s

H_1 : Las varianzas de los tratamientos difieren

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA	,428	15	304	,970

Tabla 21. Test de Levene para la altura

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA	Inter-grupos	12908,925	15	860,595	,278	,997
	Intra-grupos	941387,505	304	3096,669		
	Total	954296,430	319			

Tabla 22. Anova para la variable Altura

El test de Levene aplicado muestra que con una significancia del 5% no se rechaza la hipótesis nula de que las varianzas entre tratamientos son iguales, por lo que las varianzas entre los tratamientos son homogéneas.

En la tabla anova se observa que para la variable altura, la media cuadrática dentro de los tratamientos es mayor que entre los tratamientos. Sin embargo con una significancia del 5% no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias, por lo que las medias de los tratamientos son iguales.

Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA

HSD Tukey^a

tratamiento de herbicida aplicado	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
control	20	76,9235
Roundup 13	20	78,6330
Roundup 15	20	83,0355
Roundup 16	20	83,1275
Simazina	20	84,0530
Mulch	20	85,3605
Roundup 12	20	85,8795
Ajax 7	20	86,4290
Mecánico	20	89,3930
Spider 9	20	90,1745
Spider 10	20	90,1900
Ajax 6	20	92,3905
Ajax 5	20	92,8800
Roundup 11	20	93,8250
Roundup 14	20	94,3460
Spider 8	20	103,1180
Sig.		1,000

Tabla 23. Test de tukey para los tratamientos

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 20,000.

SPSS proporciona una tabla con comparación de medias múltiple, en la opción de post-hoc en la que se muestran los contrastes de igualdad de medias. Para ello se eligió el método de Tukey. Sin embargo, al ser una cantidad de 16 tratamientos es una tabla muy extensa, sin embargo los resultados arrojaron que al observar los p-valor con una significancia del 5% se concluye que todos los herbicidas producen el mismo efecto. Se empleó el test de tukey, ya que todos los tratamientos contienen la misma cantidad de muestras y todos tienen la misma distribución normal, además se utilizará este test por la cantidad de tratamientos que hay, que en nuestro caso son 16. El método de Tukey realiza comparaciones en aquellos grupos con medias más parecidas. En este caso los herbicidas no presentan una diferencia alta entre las medias, a pesar que se pueden observar pequeños subgrupos, la prueba arrojó que las medias para los 16 herbicidas son iguales.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Centímetros que creció la planta entre intervalos de tiempo, ALTURA

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	630568,399 ^a	31	20340,916	18,096	,000
Intersección tratamiento	105214,432	1	105214,432	93,603	,000
T.Max	6379,610	15	425,307	,378	,984
tratamiento * T.Max	607611,483	1	607611,483	540,553	,000
Error	10047,990	15	669,866	,596	,877
Total	323728,032	288	1124,056		
Total corregida	3438570,216	320			
	954296,430	319			

Tabla 24. Resumen Ancova

a. R cuadrado = ,661 (R cuadrado corregida = ,624)

Se observa que con una significancia del 5%, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos. Lo que quiere decir que el tratamiento aplicado a cada planta no influye estadísticamente sobre el crecimiento de las plantas.

Sin embargo la covariable T.Máx es significativa al 5% lo cual indica que esta variable influye en el crecimiento de las plantas.

En el caso de la interacción del tratamiento con la variable T.Max no es significativa al 5% por lo que no hay interacción ente ellas.

9. Conclusiones.

Los análisis aplicados para establecer la relación entre variables climáticas y herbicidas sobre el crecimiento de algunas especies de importancia forestal sólo se aplicó en el predio “Casas Quemadas”, ya que se carecía de información climática para el resto de los predios y a la vez habían predios en los cuales no se encontraban todas las mediciones para los periodos de tiempo.

A lo largo del informe se trabajó con la variable altura, ya que la variable respuesta diámetro, no mostraba ningún tipo de asociación con las variables climáticas.

La tabla de resumen de los modelos de regresión arroja que los mejores modelos de regresión ajustados en forma explicativa entre cada grupo de herbicida son:

- Para el grupo de tratamientos de Ajax, se observa que la mejor respuesta tanto para el coeficiente de determinación ajustado, como para los coeficientes del modelo (intercepto y pendiente) y que además cumple con todos los supuestos de regresión, es “AJAX 6”. Ya que en este caso, el 78,5% de la variabilidad promedio del crecimiento de las plantas está explicado por las temperaturas máximas promedios en ciertos periodos de tiempo. A su vez tiene una de las mayores pendientes positivas, lo que explica que a mayor temperatura promedio mayor crecimiento.
- Para el grupo de tratamientos de Spider, se observa que la mejor respuesta tanto para el coeficiente de determinación ajustado, como para los coeficientes del modelo (intercepto y pendiente) y que además cumple con todos los supuestos de regresión, es “Spider 10”. Ya que en este caso, el 65,4% de la variabilidad promedio del crecimiento de las plantas está explicado por las temperaturas máximas promedios en ciertos periodos de tiempo. A su vez tiene una de las mayores pendientes positivas, lo que explica que a mayor temperatura promedio mayor crecimiento.

- Para el grupo de tratamientos de Roundup, se observa que la mejor respuesta tanto para el coeficiente de determinación ajustado, como para los coeficientes del modelo (intercepto y pendiente) y que además cumple con todos los supuestos de regresión, es Roundup 14. Ya que en este caso el 73,3% de la variabilidad promedio del crecimiento de las plantas está explicado por las temperaturas máximas promedios en ciertos periodos de tiempo. A su vez tiene una de las mayores pendientes positivas, lo que explica que a mayor temperatura promedio mayor crecimiento.

Finalmente después de aplicar los distintos análisis entre los cuales estaban; Análisis Descriptivo, Análisis de correlación, Análisis de Regresión y Análisis de Covarianza se llega a la conclusión que la variable climática “Temperatura Máxima” fue la variable que más correlación presentaba con el crecimiento de las plantas, los resultados con respecto a esta variable climática es que sí influye en el crecimiento de las plantas de eucaliptus globulus, sin embargo esta no tiene efecto significativo sobre los diferentes tratamientos puestos a prueba, los tratamientos no muestran diferencias significativas sobre el crecimiento de las plantas. se llega a la conclusión que si bien el ancova no muestra diferencias significativas en los efectos medios de los tratamientos, sí es posible identificar diferencias significativas mediante el análisis de regresión entre los grupos de tratamientos.

Las recomendaciones para tener mejores conclusiones son, el poder medir de forma más exacta y periódicamente tanto el crecimiento de las plantas como las temperaturas que le rodean, además de poder incluir variables que se crean que estén involucradas a los herbicidas.

10. Bibliografía

1. Forestal Mininco, sección climática,[En Línea]
< <http://www.silvoclima.imf.cl/>>
2. INFOR, Instituto Forestal,[En Línea]
<<http://www.infor.cl/>>
3. Dirección Meteorológica de Chile, [En Línea]
< <http://www.meteochile.gob.cl/>>
4. Dirección General de Aguas, [En Línea]
< <http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>>
5. CANAVOS, George. Probabilidad y Estadística: Aplicaciones y Métodos. McGraw-Hill, 1988.
6. Introducción al Diseño de Experimentos, [En Línea]
<<http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica7/index.html>>
7. CAYUELA, Luis. Modelos Lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA. [En Línea] < http://recursos.salonesvirtuales.com/assets/bloques/2-Modelos-lineales_luis_cayuela.pdf>
8. How to Use SPSS: One-Way ANCOVA – YouTube. [En Línea]
<https://www.youtube.com/watch?v=6iKC-EQ2lio>