

Facultad de Ciencias *Departamento de Estadística*

Carrera Ingeniería Estadística

Proyecto de Título II

Asignatura	:	Proyecto de Título II (220068)
Título	:	<i>“Estudio experimental de métodos de control de maleza utilizados en plantaciones de E. globulus y propuesta de análisis alternativo de los modelos de diseños experimentales usando el enfoque de regresión”</i>
Realizado por	:	Eduard Burgos Berna. Ingeniería Estadística UBB.
Profesor Guía	:	Dr. Luis Cid Serrano. Departamento de Estadística UBB.
Prof. Corrector	:	Dr. Sergio Contreras Espinoza. Jefe de Carrera Ingeniería Estadística UBB.
Semestre	:	Segundo semestre 2013.
Fecha	:	Junio 2014.



Tabla de Contenido

1. Introducción.....	9
2. Objetivos.....	12
3. Materiales y Métodos.....	13
3.1. Definición de Variables Respuesta	13
3.2. Clasificación de los factores involucrados en el estudio.....	14
3.3. Respecto del Diseño Experimental.	16
4. Análisis Grupo 1: Control vs. Simazina	17
4.1. Definición de variables auxiliares para enfoque de regresión	18
4.2. Análisis del modelo asociado a la variable altura H7_H1	20
4.2.1. Enfoque ANOVA para H7_H1	20
4.2.2. Efectos principales Factor Herbicida.....	21
4.2.3. Efectos principales Factor Localidad	22
4.2.4. Enfoque de regresión para H7_H1	24
4.3. Análisis del modelo asociado a la variable diámetro D7_D1	27
4.3.1. Enfoque ANOVA para D7_D1.....	27
4.3.2. Análisis de la interacción Herbicida*Localidad	29
4.3.3. Enfoque de regresión para D7_D1	31
4.4. Conclusión análisis Grupo 1	34
4.4.1. Variable Altura H7_H1	34
4.4.2. Variable Diámetro D7_D1	34
5. Grupo 2: Control, Tratamiento Mecánico y Mulch	35
5.1. Definición de variables auxiliares para enfoque de regresión	36
5.2. Análisis del modelo asociado a la variable altura H7_H1	38
5.2.1. Enfoque ANOVA para H7_H1.....	38
5.2.2. Efectos principales Factor Localidad	39

5.2.3.	Enfoque de regresión para H7_H1	41
5.3.	Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1	44
5.3.1.	Enfoque ANOVA para D7_D1	44
5.3.2.	Efectos principales Factor Localidad	45
5.3.3.	Enfoque de regresión para D7_D1	47
5.4.	Conclusión análisis grupo 2	50
5.4.1.	Variable Altura H7_H1	50
5.4.2.	Variable Altura D7_D1	50
6.	Grupo 3: Control, AJAX5, AJAX6 y AJAX7	51
6.1.	Definición de variables auxiliares para enfoque de regresión	52
6.2.	Análisis del modelo asociado a la variable H7_H1	54
6.2.1.	Enfoque ANOVA para H7_H1	54
6.2.2.	Efectos principales Factor Herbicida.....	55
6.2.3.	Efectos principales Factor Localidad	56
6.2.4.	Enfoque de regresión para H7_H1	58
6.3.	Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1	61
6.3.1.	Enfoque ANOVA para D7_D1	61
6.3.2.	Analisis de la interacción Herbicida*Localidad	63
6.3.3.	Enfoque de regresión para D7_D1	65
6.4.	Conclusión análisis grupo 3	68
6.4.1.	Variable Altura H7_H1	68
6.4.2.	Variable Altura D7_D1	68
7.	Grupo 4: Control, SPIDER8, SPIDER9, SPIDER10	69
7.1.	Análisis del modelo asociado a la variable H7_H1	70
7.1.1.	Enfoque ANOVA para H7_H1	70
7.1.2.	Efectos principales Factor Herbicida.....	71
7.1.3.	Efectos principales Factor Localidad	72

7.2.	Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1	74
7.2.1.	Enfoque ANOVA para D7_D1	74
7.2.2.	Análisis de la interacción Herbicida*Localidad	76
7.3.	Conclusión análisis grupo 4	78
7.3.1.	Variable Altura H7_H1	78
7.3.2.	Variable Altura D7_D1	78
8.	Grupo 5: Control, ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14, ROUNDUP15, ROUNDUP16.....	79
8.1.	Estimador de los valores faltantes utilizando el método de Yates y el Enfoque de Regresión.	83
8.2.	Análisis del modelo asociado a la variable H7_H1	90
8.2.1.	Efectos principales Factor Herbicida.....	91
8.2.2.	Efectos principales Factor Localidad	93
8.3.	Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1	94
8.3.1.	Efectos principales Factor Herbicida.....	95
8.3.2.	Efectos principales Factor Localidad	97
8.4.	Conclusión análisis grupo 5	98
8.4.1.	Variable Altura H7_H1	98
8.4.2.	Variable Altura D7_D1	99
9.	Conclusiones	101
10.	Anexos	105
10.1.	Grupo1	105
10.1.1.	Datos y variables auxiliares.....	105
10.1.2.	Verificación de supuestos del modelo para H7_H1	106
10.1.3.	Verificación de supuestos del modelo D7_D1	109
10.2.	Grupo2.....	112
10.2.1.	Datos y variables auxiliares.....	112
10.2.2.	Verificación de supuestos del modelo H7_H1	113

10.2.3.	Verificación de supuestos del modelo D7_D1	117
10.3.	Grupo3.....	120
10.3.1.	Verificación de supuestos del modelo H7_H1	120
10.3.2.	Verificación de supuestos del modelo D7_D1	123
10.4.	Grupo4.....	126
10.4.1.	Verificación de supuestos del modelo H7_H1	126
10.4.2.	Verificación de supuestos del modelo D7_D1	129
10.5.	Grupo5.....	132
10.5.1.	Verificación de supuestos del modelo H7_H1	132
10.5.2.	Verificación de supuestos del modelo D7_D1	135
11.	Referencias.....	138

Índice de figuras

Grupo 1: Control vs Simazina

Figura 1. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.....	21
Figura 2. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.	23
Figura 3. Medias de la interacción Herbicida*Localidad para D7_D1.....	28

Grupo 2: Control, Tratamiento Mecánico, Mulch

Figura 4. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.....	39
Figura 5. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.	40
Figura 6. Medias de la variable altura por Herbicida para D7_D1.....	45
Figura 7. Medias de la variable altura por Localidad para D7_D1.	46

Grupo 3: Control, AJAX5, AJAX6, AJAX7

Figura 8. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.....	55
Figura 9. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.	57
Figura 10. Medias de la interacción Herbicida*Localidad para D7_D1.	62

Grupo 4: Control, SPIDER8, SPIDER9, SPIDER10

Figura 11. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.	71
Figura 12. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.	73
Figura 13. Medias de la interacción Herbicida*Localidad para D7_D1.	75
Figura 14. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.	91

Grupo 5: Control, ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14, ROUNDUP15, ROUNDUP16

Figura 15. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.	93
Figura 16. Medias de la variable altura por Herbicida para D7_D1.	95
Figura 17. Medias de la variable altura por Localidad para D7_D1.	97

Figuras de anexos

Figura 18. Histograma de Residuos H7_H1. 106

Figura 19. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1..... 107

Figura 20. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1..... 107

Figura 21. Residuos en el tiempo H7_H1..... 108

Figura 22. Histograma de Residuos D7_D1. 109

Figura 23. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1..... 110

Figura 24. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1..... 110

Figura 25. Residuos en el tiempo D7_D1..... 111

Figura 26. Histograma de Residuos H7_H1. 113

Figura 27. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1..... 114

Figura 28. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1..... 115

Figura 29. Residuos en el tiempo H7_H1..... 116

Figura 30. Histograma de Residuos H7_H1. 117

Figura 31. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1..... 118

Figura 32. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1..... 118

Figura 33. Residuos en el tiempo D7_D1..... 119

Figura 34. Histograma de Residuos H7_H1. 120

Figura 35. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1..... 121

Figura 36. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1..... 121

Figura 37. Residuos en el tiempo H7_H1..... 122

Figura 38. Histograma de Residuos D7_D1. 123

Figura 39. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1..... 124

Figura 40. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1..... 124

Figura 41. Residuos en el tiempo D7_D1..... 125

Figura 42. Histograma de Residuos H7_H1. 126

Figura 43. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1..... 127

Figura 44. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1..... 127

Figura 45. Residuos en el tiempo H7_H1..... 128

Figura 46. Histograma de Residuos D7_D1. 129

Figura 47. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1..... 130

Figura 48. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1..... 130

Figura 49. Residuos en el tiempo D7_D1.....	131
Figura 50. Histograma de Residuos H7_H1.	132
Figura 51. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1.....	133
Figura 52. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.....	133
Figura 53. Residuos en el tiempo H7_H1.....	134
Figura 54. Histograma de Residuos D7_D1.	135
Figura 55. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1.....	136
Figura 56. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1.....	136
Figura 57. Residuos en el tiempo D7_D1.....	137

1. Introducción

Los *Eucalyptus* son una de las especies de árboles que despiertan mayor interés para la forestación en diferentes partes del mundo, particularmente el *E. globulus* que es la especie más ampliamente plantada en las regiones de clima mediterráneo. Su madera es sumamente requerida en la industria de la celulosa debido a sus buenas aptitudes para la fabricación de papel de calidad y su rápido crecimiento. La rentabilidad que se puede obtener de una plantación de *Eucalyptus* está relacionada, entre otros factores, con la aplicación de un adecuado programa de control de malezas, pues, sus cultivos no están ajenos a las pérdidas ocasionadas por las malas hierbas, siendo significativo su efecto en el crecimiento en altura y diámetro, y supervivencia de las plantas.

Las especies de *Eucalyptus* recomendadas para su plantación en Chile son altamente susceptibles a la competencia por luz, agua y nutrientes que imponen las malezas, particularmente el tipo herbáceo (citado por Bravo et al. 2009). Las malezas no solo restan la disponibilidad de agua en el suelo por incremento de la evapotranspiración, sino que, además interceptan parte de la precipitación reteniéndola en la superficie del suelo. Hay suficiente evidencia que indica que el momento de control de las malezas es uno de los factores de mayor importancia (Kogan 1993). Mientras más largo sea el periodo de interferencia de las malezas, más significativo será su efecto negativo (citado por Bravo et al. 2009). Es evidente entonces, la importancia de las técnicas de control de malezas para la agricultura, jardinería y sobre todo para el ámbito forestal. Combatir los perjuicios que producen las malas hierbas sobre las plantaciones, optimiza el desarrollo de los cultivos, provocando una disminución de los costos incurridos en sus establecimientos y plazo de retorno de la inversión.

En las siguientes páginas se abordará el análisis de datos de los resultados proporcionados por un diseño experimental, aplicado al área del cultivo forestal de *Eucalyptus Globulus* en la zona sur de Chile, el nombre la empresa gestora del estudio se mantendrá reservada por acuerdos de confidencialidad.

El objetivo principal consiste en identificar, de un conjunto de métodos de control de maleza, cuáles maximizan las variables Altura y Diámetro de los árboles, como efecto contrario de la acción de los controles sobre la maleza.

De los tipos de control de maleza considerados para el desarrollo del experimento, se utilizaron; los controles físicos (manual o mecánicos) y los químicos, éstos también conocidos como herbicidas cuya definición presentamos a continuación.

¿Qué es un herbicida?

En sentido amplio, un herbicida es todo compuesto químico que inhibe total o parcialmente el crecimiento de las plantas. Básicamente un herbicida, al introducirse en la planta, interrumpe algunos de los procesos fisiológicos esenciales de la misma (Documento “*Uso De Herbicidas*”).

Los perjuicios causados por las malas hierbas las podemos dividir en cuatro apartados.

- a) Reducción de los rendimientos: Las malas hierbas compiten con los cultivos por los recursos disponibles en el medio (agua, luz, nutrientes, espacio) y como resultado se obtiene una menor cosecha o efectos contrarios sobre el crecimiento.
- b) Interferencia con la recolección: La presencia de malas hierbas atrasa y dificulta la tarea de recolección.
- c) Reducción en el valor de los productos
- d) Incremento de los costos de producción: Debido a los costos que ocasiona combatirlas y a los apartados anteriores.

Los herbicidas actúan directamente sobre los perjuicios mencionados anteriormente, principalmente sobre el a) y el b) que están estrechamente relacionados con las unidades experimentales del estudio (parcelas de plantas).

Haciendo uso de las técnicas del análisis de varianza asociadas a los experimentos factoriales del diseño experimental, se estudiará la significatividad de los factores Herbicida y Localidad, para explicar la variabilidad del crecimiento en Altura y Diámetro de las plantaciones de *Eucaliptus Globulus*, además de identificar los controles físicos o químicos que optimizan las variables de interés. Finalmente, se presentará el enfoque de regresión como una forma alternativa de análisis, mediante la reparametrización de los modelos factoriales utilizados.

El análisis de los datos se hará utilizando el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 año 2002.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Identificar los herbicidas y métodos de control de maleza que optimizan las variables Altura y Diámetro de las plantaciones de Eucaliptus Globulus, empleando experimentos factoriales asociados a modelos en bloques completamente aleatorizados y verificando los resultados por medio del enfoque de regresión.

2.2. Objetivos específicos

- Definir las variables independientes y clasificar los factores involucrados en el estudio.
- Dividir los herbicidas y métodos de control de maleza en 5 grupos de comparaciones, manteniendo presente el Tratamiento Control en cada uno de ellos.
- Analizar los modelos ANOVA de las variables Altura y Diámetro en cada grupo, estudiando las pruebas de efectos principales y de la interacción de los factores Herbicida y Localidad.
- Llevar a cabo las pruebas de comparaciones múltiples de los efectos principales o efectos simples, dependiendo de la significatividad de la interacción Herbicida*Localidad.
- Identificar el o los herbicidas y métodos de control de maleza que maximizan las variables de interés, además de conocer las localidades con los mayores crecimientos promedios en altura y diámetro cuando la interacción no es significativa.
- Reparametrizar los modelos factoriales utilizados, definiendo variables auxiliares con el objetivo de expresar dichos modelos como regresiones y verificando los resultados previos con esta nueva alternativa de análisis.
- Validar los supuestos de cada modelo.

3. Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la zona sur del país, específicamente en 5 localidades que se mencionan a continuación.

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

La localidad constituye una fuente de variación adicional y por lo tanto corresponde a otro factor del experimento con 5 niveles.

3.1. Definición de Variables Respuesta

H7_H1: Incremento en altura medida en centímetros (cm), correspondiente a la diferencia entre la altura inicial de la planta (1° medición) y su altura al final del ensayo (7° medición).

D7_D1: Incremento en diámetro medido en milímetros (mm), correspondiente a la diferencia entre el diámetro inicial de la planta (1° medición) y su diámetro al final del ensayo (7° medición).

3.2. Clasificación de los factores involucrados en el estudio

El experimento comprendió los factores asociados a los Métodos de Control de Maleza Mecánicos y Químicos (15 tratamientos), el Factor Localidad y al Tratamiento de Control que corresponde a las unidades experimentales (parcelas de Eucaliptus Globulus) a las cuales no se les aplicaron tratamientos.

Factor Herbicidas: comprende los métodos de control de malezas físicos, mecánicos y químicos utilizados en el experimento, además de incluir el tratamiento Control.

Tratamiento Control

- 1- Control

Métodos Físicos y Mecánicos

- 1- Mulch
- 2- Tratamiento Mecánico

Métodos Químicos

- | | | |
|-------------|-------------|---------------|
| 4- Simazina | 8- SPIDER8 | 11- ROUNDUP11 |
| 5- AJAX5 | 9- SPIDER9 | 12- ROUNDUP12 |
| 6- AJAX6 | 10-SPIDER10 | 13- ROUNDUP13 |
| 7- AJAX7 | | 14- ROUNDUP14 |
| | | 15- ROUNDUP15 |
| | | 16- ROUNDUP16 |

Factor Localidad: Corresponde a las 5 localidades que se visualizan en el mapa correspondiente al sur de Chile.

1. AVELLANAL HUACHO,
ARAUCO (AVELL).

2. EL LAUREL, CONTULMO
(ELAUR).

3. CASAS QUEMADAS,
MULCHÉN (CASQUE).

4. LA NARANJA, PUERTO
MONTT (LANAR).

5. SANTA ADRIANA,
NACIMIENTO (STADR).



3.3. Respetto del Diseño Experimental.

El ensayo se planteó con un arreglo factorial y un diseño en bloques completamente aleatorizados. Se efectuaron cuatro repeticiones (bloques) y la unidad experimental estuvo compuesta por una parcela de 30 plantas. Este tipo de aleatorización implica que los 16 tratamientos (Tratamiento de Control + Métodos Físicos y Químicos) fueron aleatorizados dentro de cada réplica. Se tiene un dato por Tratamiento*Bloque*Localidad que corresponde al promedio de 15 plantas en las parcelas de 30, ya que solo se seleccionaron las del centro para evitar contaminación de los bordes.

El análisis se hará en los siguientes 5 grupos de comparaciones, donde interesa identificar el método o herbicida que optimiza las variables diámetro D7_D1 y altura H7_H1. Además de analizar los efectos simples de los tratamientos en caso de ser significativa la interacción Herbicida*Localidad.

Grupos de comparaciones

Grupo 1.

- **Control** vs. Simazina.

Grupo 2.

- **Control** vs. Trat mecánico y Mulch.

Grupo 3.

- **Control** vs. AJAX5, AJAX6, AJAX7.

Grupo 4.

- **Control** vs. SPIDER8, SPIDER9, SPIDER10.

Grupo 5.

- **Control** vs. ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14, ROUNDUP15, ROUNDUP16.

4. Análisis Grupo 1: Control vs. Simazina

Este capítulo tiene por objetivo analizar los modelos asociados a las variables altura $H7_H1$ y diámetro $D7_D1$ de los cultivos de Eucaliptus Globulus, los cuales fueron sometidos a los tratamientos Control y Simazina para las cinco localidades. Además se definirán variables auxiliares para representar dichos modelos de ANOVA como modelos de regresión, siendo ésta una forma alternativa de análisis. Para comenzar, se definen los factores involucrados en este grupo.

Los factores analizados y sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- Tratamiento o Herbicida
 1. Control
 2. Simazina

- Localidad
 1. AVELL
 2. ELAUR
 3. CASQUE
 4. LANAR
 5. STADR.

Los modelos estadísticos propuestos son

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (6.1)$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (6.2)$$

donde

$H7_H1_{ijk}$: Altura de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

$D7_D1_{ijk}$: Diámetro de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

μ : Media global.

α_i : Efecto del factor Localidad.

β_j : Efecto del factor Herbicida.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción entre los factores Herbicida y Localidad.

γ : Efecto de los bloques.

ε_{ijk} : Error aleatorio,

con

$i = 1, 2, \dots, 5$ Localidades.

$j = 1$ Control y 2 Simazina.

$k = 1, 2, 3, 4$ Bloques.

4.1. Definición de variables auxiliares para enfoque de regresión

Variables auxiliares para Localidad

$$X_1 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es AVELL} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_2 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es CASQUE} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_3 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es ELAUR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_4 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es LANAR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

Variable auxiliar para tratamientos

$$X_5 = \begin{cases} 1 & \text{Factor Control} \\ -1 & \text{Herbicida Simazina} \end{cases}$$

Variables auxiliares para Bloques

$$X_6 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 1} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & e.o.c \end{cases} \quad X_7 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 2} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & e.o.c \end{cases}$$

$$X_8 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 3} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & e.o.c \end{cases} .$$

Utilizando las variables auxiliares ya definidas, los modelos (6.1) y (6.2) respectivamente quedan reparametrizados de la siguiente forma.

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \underbrace{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4}_{LOCALIDAD} + \underbrace{\beta_1 X_5}_{HERBICIDA} + \underbrace{\gamma_1 X_6 + \gamma_2 X_7 + \gamma_3 X_8}_{BLOQUES} \\ + \underbrace{(\alpha\beta)_{11} X_1 X_5 + (\alpha\beta)_{21} X_2 X_5 + (\alpha\beta)_{31} X_3 X_5 + (\alpha\beta)_{41} X_4 X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA}$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \underbrace{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4}_{LOCALIDAD} + \underbrace{\beta_1 X_5}_{HERBICIDA} + \underbrace{\gamma_1 X_6 + \gamma_2 X_7 + \gamma_3 X_8}_{BLOQUES} \\ + \underbrace{(\alpha\beta)_{11} X_1 X_5 + (\alpha\beta)_{21} X_2 X_5 + (\alpha\beta)_{31} X_3 X_5 + (\alpha\beta)_{41} X_4 X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA}$$

donde

X_{ijk1} : Corresponde al valor de X_1 para la k -ésima réplica del j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

4.2. Análisis del modelo asociado a la variable altura H7_H1

Como ya se mencionó, el análisis se aborda de 2 maneras similares: mediante análisis de varianza y por medio del enfoque de regresión, empleando las variables auxiliares ya definidas.

Respecto de la validación de los supuestos del ANOVA (Normalidad, Independencia y homocedasticidad de los residuos), éstos se encuentran en los anexos al final de este trabajo.

4.2.1. Enfoque ANOVA para H7_H1

The GLM Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
HERBICIDAS	2	Control Simazina
LOCAL	5	AVELL CASQUE ELAUR LANAR STADR
BLOQ	4	1 2 3 4

Number of observations 40

Dependent Variable: H7_H1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	1302909.510	108575.792	9.29	<.0001
Error	27	315726.122	11693.560		
Corrected Total	39	1618635.631			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	H7 H1 Mean
0.804943	19.30002	108.1368	560.2936

Se aprecia un modelo significativo que explica el 80.49% de la variabilidad del crecimiento en altura de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOCAL	4	862383.3297	215595.8324	18.44	<.0001
BLOQ	3	48879.1993	16293.0664	1.39	0.2662
HERBICIDA	1	287514.7532	287514.7532	24.59	<.0001
LOCAL*HERBICIDA	4	104132.2274	26033.0568	2.23	0.0927

Dado que la interacción no es significativa, se pueden analizar los efectos principales de ambos factores por medio del estudio de las comparaciones múltiples.

4.2.2. Efectos principales Factor Herbicida

Para el Factor Herbicida se desea contrastar la hipótesis de que el efecto medio sobre el crecimiento en altura de los cultivos, es igual para los tratamientos Simazina y Control; es decir,

$$H_0 : \mu_{Simazina} = \mu_{Control} \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_{Simazina} \neq \mu_{Control}$$

Medias de cuadrados mínimos
 H0:LSMean1=LSMean2
 Differences of Least Squares Means
 Error

Effect	HERBICIDAS	HERBICIDAS	Estimador	estándar	DF	Valor t	Pr > t
HERBICIDAS	Control	Simazina	-169.56	34.1958	27	-4.96	<.0001

Esta tabla indica que existe evidencia altamente significativa en contra H_0 , pues el estimador de la diferencia de medias es de 169.56 cm de altura, por lo tanto; se concluye que el crecimiento promedio de los cultivos con tratamiento de Simazina es significativamente mayor que en aquellos cultivos con tratamiento Control.

La afirmación anterior se puede visualiza en la Figura.1 presentada más abajo, en la cual se grafican las medias de ambos niveles y donde claramente la altura promedio de los cultivos con tratamiento de Simazina superan a los cultivos sin tratamiento.

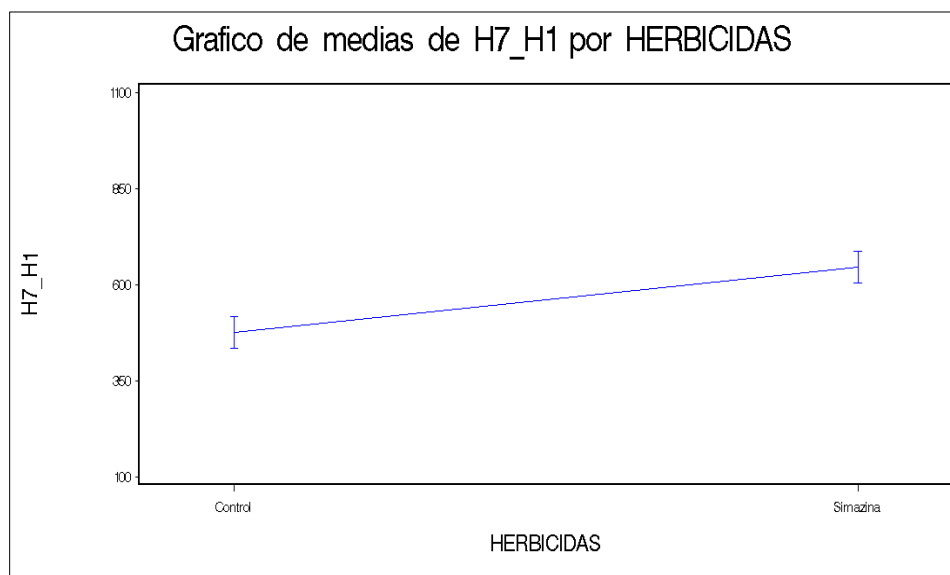


Figura 1. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.

Procedimiento GLM

Nivel de HERBICIDAS	N	Media	Dev std
Control	20	475.512300	187.988334
Simazina	20	645.074900	186.331371

4.2.3. Efectos principales Factor Localidad

Al analizar los resultados por localidad se tiene que AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) contiene los cultivos de Eucaliptus Globulus con mayor crecimiento, además de superar significativamente a las demás localidades. Esto se muestra en la tabla de comparaciones múltiples presentada a continuación, donde el color rojo indica significatividad.

Medias de cuadrados mínimos para el efecto LOCAL

Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Variable dependiente: H7_H1

Differences of Least Squares Means

Effect	LOCAL	LOCAL	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
LOCAL	AVELL	CASQUE	352.16	54.0684	27	6.51	<.0001
LOCAL	AVELL	ELAUR	417.48	54.0684	27	7.72	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	224.71	54.0684	27	4.16	0.0003
LOCAL	AVELL	STADR	336.47	54.0684	27	6.22	<.0001
LOCAL	CASQUE	ELAUR	65.3246	54.0684	27	1.21	0.2375
LOCAL	CASQUE	LANAR	-127.45	54.0684	27	-2.36	0.0259
LOCAL	CASQUE	STADR	-15.6922	54.0684	27	-0.29	0.7739
LOCAL	ELAUR	LANAR	-192.78	54.0684	27	-3.57	0.0014
LOCAL	ELAUR	STADR	-81.0169	54.0684	27	-1.50	0.1456
LOCAL	LANAR	STADR	111.76	54.0684	27	2.07	0.0484

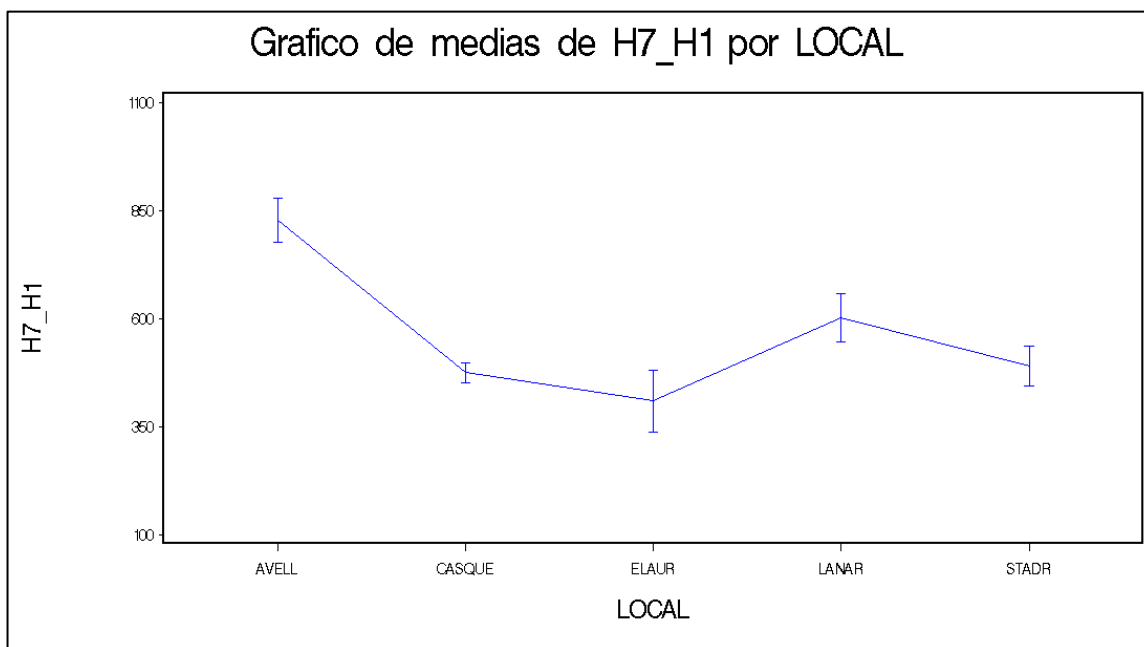


Figura 2. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.

Procedimiento GLM
Alturas medias por localidad

Nivel de LOCAL	N	Media	Dev std
AVELL	8	826.457500	145.451375
CASQUE	8	474.297375	64.202241
ELAUR	8	408.972750	202.396848
LANAR	8	601.750750	158.270608
STADR	8	489.989625	129.398390

La localidad de LANAR es la segunda con mayor crecimiento promedio en altura y las localidades de CASQUE, ELAUR y STADR no presentan diferencias significativas en el crecimiento promedio de sus árboles, esto se visualizó en la Figura 2.

4.2.4. Enfoque de regresión para H7_H1

A continuación se muestran los resultados de ajustar el modelo de regresión descrito previamente en la página 17, utilizando como variable respuesta el crecimiento en altura (H7_H1) y diámetro (D7_D1), y como variables explicativas las variables indicadoras definidas en la página 16.

Obsérvese que el estimador de la varianza (CME), el estadístico F, el R-cuadrado, etc., que entrega el enfoque de regresión coinciden exactamente con los resultados de la tabla de análisis de varianza previo.

The REG Procedure
 Model: MODEL1
 Dependent Variable: H7_H1

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	1302910	108576	9.29	<.0001
Error	27	315726	11694		
Corrected Total	39	1618636			

Root MSE	108.13677	R-Square	0.8049
Dependent Mean	560.29360	Adj R-Sq	0.7183
Coeff Var	19.30002		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter		t Value	Pr > t	Type I SS
		Estimate	Standard Error			
Intercept	1	560.29360	17.09792	32.77	<.0001	12557157
x1	1	266.16390	34.19585	7.78	<.0001	452843
x2	1	-85.99623	34.19585	-2.51	0.0182	180420
x3	1	-151.32085	34.19585	-4.43	0.0001	211933
x4	1	41.45715	34.19585	1.21	0.2359	17187
x5	1	-84.78130	17.09792	-4.96	<.0001	287515
x6	1	-2.03470	29.61447	-0.07	0.9457	16145
x7	1	-42.03640	29.61447	-1.42	0.1672	31203
x8	1	-10.71800	29.61447	-0.36	0.7202	1531.67365
x15	1	-16.87695	34.19585	-0.49	0.6256	8854.01017
x25	1	70.68968	34.19585	2.07	0.0484	21874
x35	1	-82.59820	34.19585	-2.42	0.0228	73385
x45	1	-1.38545	34.19585	-0.04	0.9680	19.19472

SC(Local)

SC(Herbicida)

SC(Bloque)

SC(Interacción)

La significancia de los parámetros estimados no tiene interpretación inmediata concerniente al fenómeno de estudio, sin embargo, tienen estrecha relación con los test de efectos principales e interacciones de los factores.

Para explicar esto, se hará uso de la suma de cuadrados secuencial o tipo I que se incluye en la última columna de la tabla anterior, cada valor de ésta representa el incremento marginal producido en la suma de cuadrados de la regresión (SCR) después de incluir la variable al modelo, lo que se conoce como Sumas de Cuadrados Extra. Si se lleva a cabo la sumatoria de estas sumas de cuadrados correspondientes al conjunto de variables predictoras que representan a un factor determinado, como por ejemplo el Factor Localidad, y se divide esta suma por la cantidad de variables consideradas, se obtiene una fracción del cuadrado medio de la regresión aportado por el Factor Localidad, denotado como $CMR(LOCAL)$ o equivalentemente, $CM(LOCAL)$. Finalmente el cociente de este resultado con el CME corresponde valor del estadístico F para probar la significatividad del Factor Localidad (Ver Título I, Eduard Burgos). Lo anterior se aclara a continuación.

Prueba de significatividad para factores e interacción Herbicida*localidad

Factor Localidad

Las variables indicadoras para el factor Localidad son X_1, X_2, X_3, X_4

$$CM(LOCAL) = \frac{SC(X_1) + SC(X_2 / X_1) + SC(X_3 / X_1, X_2) + SC(X_4 / X_1, X_2, X_3)}{4}$$

$$CM(LOCAL) = \frac{452843 + 180420 + 211933 + 17187}{4} = \frac{862383}{4} = 215595.8$$

dividiendo el $CM(LOCAL)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar el efecto principal del Factor Localidad.

$$F_{LOCAL} = \frac{CM(LOCAL)}{CME} = \frac{215595.8}{11694} = 18.44 \Rightarrow P(F_{4,27} > 18.44) < 0.0001.$$

Se procede del mismo modo para probar el efecto principal del Factor Herbicida y la interacción.

Factor Herbicida

El Factor Herbicida tiene sólo la variable indicadora X_5 ; por lo tanto,

$$CM(HERBICIDA) = \frac{SC(X_5 / X_1, X_2, X_3, X_4)}{1}$$

$$CM(HERBICIDA) = \frac{287515}{1} = 287515$$

dividiendo el $CM(HERBICIDA)$ por el CME , se obtiene

$$F_{HERBICIDA} = \frac{CM(HERBICIDA)}{CME} = \frac{287515}{11694} = 24.59 \Rightarrow P(F_{1,27} > 24.59) < 0.0001$$

Interacción Herbicida*Localidad

Para probar la significancia de la interacción se tienen las variables indicadoras $X_{15}, X_{25}, X_{35}, X_{45}$; por lo tanto,

$$CM(INTER) = \frac{SC(X_{15} / X_1, X_2, \dots, X_8) + SC(X_{25} / X_1, \dots, X_8, X_{15}) + \dots + SC(X_{45} / X_1, \dots, X_{35})}{4}$$

$$CM(INTER) = \frac{8854.01017 + 21874 + 73385 + 19.19472}{4} = \frac{104132.20489}{4} = 26.033$$

dividiendo el $CM(INTER)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar si la interacción Herbicida*Localidad es significativa.

$$F_{INTERACCIÓN} = \frac{CM(INTER)}{CME} = \frac{26.033}{11694} = 2.23 \Rightarrow P(F_{4,27} > 2.23) = 0.0927$$

Notar que los resultados son coincidentes con lo entregado por el enfoque ANOVA visto previamente (pp 18).

El modelo de regresión queda expresado finalmente como sigue

$$\begin{aligned}
 H7_H1_{ijk} = & 560.293 + \underbrace{266.16390X_1 - 85.99623X_2 - 151.32085X_3 + 41.45715X_4}_{LOCALIDAD} \\
 & - \underbrace{84.78130X_5}_{HERBICIDAS} - \underbrace{2.03470X_6 - 42.03640X_7 - 10.71800X_8}_{BLOQUES} + \\
 & - \underbrace{16.87695X_1X_5 + 70.68968X_2X_5 - 82.59820X_3X_5 - 1.38545X_4X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDAS}
 \end{aligned}$$

4.3. Análisis del modelo asociado a la variable diámetro D7_D1

4.3.1. Enfoque ANOVA para D7_D1

Dependent Variable: D7_D1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	17727.91297	1477.32608	9.64	<.0001
Error	27	4137.98997	153.25889		
Corrected Total	39	21865.90293			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	D7_D1 Mean
0.810756	16.52634	12.37978	74.90938

Se aprecia un modelo significativo que explica el 81.08% de la variabilidad del diámetro de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	1	6016.301424	6016.301424	39.26	<.0001
LOCAL	4	9854.946828	2463.736707	16.08	<.0001
BLOQ	3	158.950067	52.983356	0.35	0.7925
HERBICIDAS*LOCAL	4	1697.714645	424.428661	2.77	0.0475

Considerando que la interacción Herbicida*Localidad para el modelo de la variable diámetro es significativa (aun cuando la evidencia aportada por valor del estadístico F indicaría que esta evidencia es solo marginal y no concluyente), se deben analizar los efectos simples del Factor Herbicida dentro de cada localidad, esto se mostrará en las páginas siguiente.

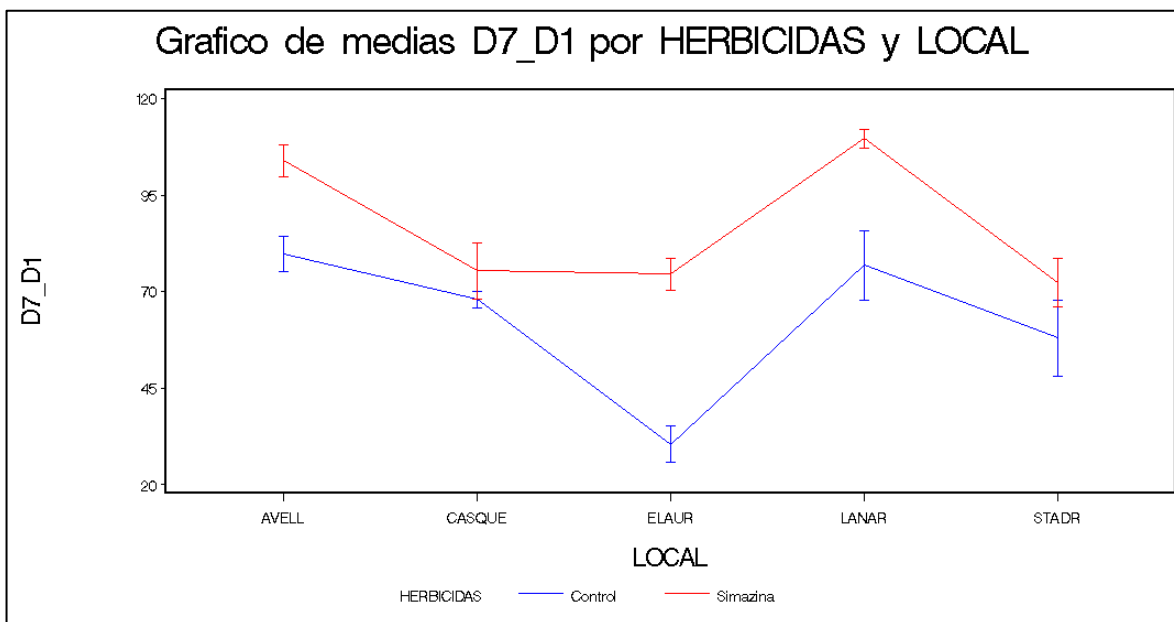


Figura 3. Medias de la interacción Herbicida*Localidad para D7_D1.

Level of HERBICIDAS	Level of LOCAL	N	-----D7_D1----- Mean	Std Dev
Control	AVELL	4	79.808250	9.0008073
Control	CASQUE	4	68.064500	4.2790992
Control	ELAUR	4	30.500250	9.4977062
Control	LANAR	4	76.827250	18.0143357
Control	STADR	4	58.026250	19.6166322
Simazina	AVELL	4	103.974000	8.3188085
Simazina	CASQUE	4	75.369000	14.4200177
Simazina	ELAUR	4	74.491000	8.5447713
Simazina	LANAR	4	109.677750	4.9147687
Simazina	STADR	4	72.355500	12.6152922

La Figura 3, confirma la significatividad de la interacción, pues los efectos medios de los herbicidas no son los mismos en todas las localidades. Si bien el diámetro promedio de los cultivos con tratamiento de Simazina supera al de los cultivos sin tratamientos (Control), la diferencia no es constante en todas las localidades, por lo cual, es necesario analizar los tratamientos dentro de cada localidad.

4.3.2. Análisis de la interacción Herbicida*Localidad

Los efectos simples del factor Herbicidas se obtienen utilizando la sentencia “lsmeans HERBICIDA*LOCAL /slice=LOCAL;” correspondiente al procedimiento PROC GLM de SAS. Este compara los niveles del factor HERBICIDAS separados por localidad, donde las pruebas F corresponden al test de comparaciones múltiples dentro de cada localidad.

Por ejemplo, el contraste de hipótesis para comparar el efecto de los niveles del Factor Herbicida dentro de la localidad AVELL se define de la siguiente forma

$$H_0 : \mu_{Simazina} = \mu_{Control} / AVELL \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_{Simazina} \neq \mu_{Control} / AVELL$$

El numerador del estadístico de prueba F corresponde al *CM* del Factor Herbicida condicionado a la localidad AVELL, y el denominador al *CME* general que incluye todos los niveles de ambos factores.

$$F = \frac{CM(HERBICIDAS / AVELL)}{CME_{General}} = \frac{1167.966946}{153.25889} = 7.6208$$

⇒ $P(F_{1,27} > 7.62) = 0.0102$, lo cual indica una fuerte evidencia en contra de la hipótesis nula, concluyéndose que los efectos medios de la Simazina sobre el diámetro de los árboles difiere significativamente en comparación al tratamiento Control, dentro de la localidad AVELL.

De este modo se prueban los efectos simples del Factor Herbicida para cada localidad. Más abajo se adjunta la tabla que contiene el resto de las pruebas de efectos simples del Factor Herbicida.

Procedimiento GLM
Medias de cuadrados mínimos
LOCAL*HERBICIDAS Efecto dividido por LOCAL for D7_D1

LOCAL	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
AVELL	1	1167.966946	1167.966946	7.62	0.0102
CASQUE	1	106.711440	106.711440	0.70	0.4114
ELAUR	1	3870.372171	3870.372171	25.25	<.0001
LANAR	1	2158.310701	2158.310701	14.08	0.0008
STADR	1	410.654811	410.654811	2.68	0.1133

En las localidades de CASQUE y STADR no se observaron diferencias significativas entre los efectos de la Simazina y Control sobre los diámetros de los cultivos, no así para las localidades de AVELL, ELAUR y LANAR donde el diámetro promedio de los cultivos con Simazina superaron considerablemente a los cultivos sin tratamiento (Control), tal como se evidenció en la Figura. 3.

Otra forma de visualizar lo anterior es por medio de la matriz de comparaciones múltiples, donde las localidades se diferencian por colores.

Procedimiento GLM
Medias de cuadrados mínimos

LOCAL	HERBICIDAS	D7 D1 LSMEAN	Número LSMEAN
AVELL	Control	79.808250	1
AVELL	Simazina	103.974000	2
CASQUE	Control	68.064500	3
CASQUE	Simazina	75.369000	4
ELAUR	Control	30.500250	5
ELAUR	Simazina	74.491000	6
LANAR	Control	76.827250	7
LANAR	Simazina	109.677750	8
STADR	Control	58.026250	9
STADR	Simazina	72.355500	10

Los cuadros de colores de la diagonal corresponden a los test de efectos simples para el factor HERBICIDA dentro de cada localidad. Los valores fuera de la diagonal pertenecen a otras comparaciones que no son de interés y por lo tanto no serán interpretadas.

Medias de cuadrados mínimos para el efecto LOCAL*HERBICIDAS

Pr > |t| for H0: LSmean(i)=LSmean(j)

Variable dependiente: D7_D1

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0102	0.0102	0.1909	0.6162	<.0001	0.5486	0.7361	0.0020	0.0193	0.4021
2	0.0102	0.0102	0.0003	0.0030	<.0001	0.0023	0.0045	0.5202	<.0001	0.0012
3	0.1909	0.0003	0.0003	0.4114	0.0002	0.4692	0.3257	<.0001	0.2616	0.6280
4	0.6162	0.0030	0.4114	0.4114	<.0001	0.9208	0.8689	0.0005	0.0578	0.7333
5	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0040	<.0001
6	0.5486	0.0023	0.4692	0.9208	<.0001	<.0001	0.7916	0.0004	0.0708	0.8091
7	0.7361	0.0045	0.3257	0.8689	<.0001	0.7916	0.7916	0.0008	0.0409	0.6136
8	0.0020	0.5202	<.0001	0.0005	<.0001	0.0004	0.0008	0.0008	<.0001	0.0002
9	0.0193	<.0001	0.2616	0.0578	0.0040	0.0708	0.0409	<.0001	<.0001	0.1133
10	0.4021	0.0012	0.6280	0.7333	<.0001	0.8091	0.6136	0.0002	0.1133	0.1133

4.3.3. Enfoque de regresión para D7_D1

Nuevamente se muestra la equivalencia del enfoque de regresión con los resultados de las técnicas de ANOVA.

The REG Procedure
 Dependent Variable: D7_D1
 Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	17728	1477.32608	9.64	<.0001
Error	27	4137.98997	153.25889		
Corrected Total	39	21866			

Root MSE	12.37978	R-Square	0.8108
Dependent Mean	74.90938	Adj R-Sq	0.7266
Coeff Var	16.52634		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type I SS
Intercept	1	74.90938	1.95741	38.27	<.0001	224457
x1	1	16.98175	3.91483	4.34	0.0002	2851.61340
x2	1	-3.19262	3.91483	-0.82	0.4219	248.37540
x3	1	-22.41375	3.91483	-5.73	<.0001	3390.25568
x4	1	18.34313	3.91483	4.69	<.0001	3364.70235
x5	1	-12.26408	1.95741	-6.27	<.0001	6016.30142
x6	1	-1.59767	3.39034	-0.47	0.6413	120.72715
x7	1	-1.51848	3.39034	-0.45	0.6578	37.68972
x8	1	-0.19998	3.39034	-0.06	0.9534	0.53320
x15	1	0.18120	3.91483	0.05	0.9634	96.75673
x25	1	8.61183	3.91483	2.20	0.0366	190.18033
x35	1	-9.73130	3.91483	-2.49	0.0194	1237.62381
x45	1	-4.16118	3.91483	-1.06	0.2972	173.15377

SC(Local)	
SC(Herbicida)	
SC(Bloque)	
SC(Interacción)	

A continuación se verifican los resultados de las pruebas de significancia de los factores e interacción, utilizando las sumas de cuadrado extra secuencial o tipo I.

Prueba de significatividad para factores e interacción Herbicida*localidad

Factor Localidad

Las variables indicadoras para el factor Localidad son X_1, X_2, X_3, X_4 ; por lo tanto,

$$CM(LOCAL) = \frac{SC(X_1) + SC(X_2 / X_1) + SC(X_3 / X_1, X_2) + SC(X_4 / X_1, X_2, X_3)}{4}$$

$$CM(LOCAL) = \frac{2851.61340 + 248.37540 + 3390.25568 + 3364.70235}{4} = \frac{9854.9468}{4} = 2463.736$$

dividiendo el $CM(LOCAL)$ por el CME , se obtiene

$$F_{LOCAL} = \frac{CM(LOCAL)}{CME} = \frac{2463.736}{153.25889} = 16.08 \Rightarrow P(F_{4,27} > 16.08) < 0.0001.$$

Factor Herbicida

Para probar el efecto principal del Factor Herbicida se tiene sólo la variable indicadora X_5 ; por lo tanto,

$$CM(HERBICIDA) = \frac{SC(X_5 / X_1, X_2, X_3, X_4)}{1}$$

$$CM(HERBICIDA) = \frac{6016.30142}{1} = 6016.30142$$

dividiendo el $CM(HERBICIDA)$ por el CME , se obtiene

$$F_{HERBICIDA} = \frac{CM(HERBICIDA)}{CME} = \frac{6016.30142}{153.25889} = 39.26 \Rightarrow P(F_{1,27} > 39.26) < 0.0001$$

Interacción Herbicida*Localidad

Para probar la significancia de la interacción se tienen las variables indicadoras $X_{15}, X_{25}, X_{35}, X_{45}$; por lo tanto,

$$CM(INTER) = \frac{SC(X_{15} / X_1, X_2, \dots, X_8) + SC(X_{25} / X_1, \dots, X_8, X_{15}) + \dots + SC(X_{45} / X_1, \dots, X_{35})}{4}$$

$$CM(INTER) = \frac{96.75673 + 190.18033 + 1237.62381 + 173.15377}{4} = \frac{1697.714645}{4} = 424.428661$$

dividiendo el $CM(INTER)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar si la interacción Herbicida*Localidad es significativa.

$$F_{INTERACCIÓN} = \frac{CM(INTER)}{CME} = \frac{424.42866}{153.25889} = 2.77 \Rightarrow P(F_{4,27} > 2.77) = 0.0475$$

los resultados son coincidentes con lo entregado por el enfoque ANOVA visto previamente (pp 25).

El modelo de regresión queda finalmente como sigue:

$$D7_D1_{ijk} = 74.90938 + \underbrace{16.98175X_1 - 3.19262X_2 - 22.41375X_3 + 18.34313X_4}_{LOCALIDAD} - \underbrace{12.26408X_5}_{HERBICIDAS} - \underbrace{1.59767X_6 - 1.51848X_7 - 0.19998X_8}_{BLOQUES} + \underbrace{0.18120X_1X_5 + 8.61183X_2X_5 - 9.73130X_3X_5 - 4.16118X_4X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDAS}$$

4.4. Conclusión análisis Grupo 1

En este apartado se elabora una breve conclusión de los resultados obtenidos de este capítulo.

4.4.1. Variable Altura H7_H1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en altura de los cultivo, sin embargo; su interacción no resultó significativa.
- Respecto a los efectos principales del Factor Herbicida; el componente Simazina influye significativamente sobre la variable de interés, superando de manera importante los rendimientos de los cultivos sin tratamiento (Control).
- En relación a los efectos principales del Factor Localidad; AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) maximiza los rendimientos en altura de los cultivos superando significativamente a las demás localidades.

4.4.2. Variable Diámetro D7_D1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en diámetro de los cultivo, incluyendo la interacción de ambos factores.
- Respecto al análisis de la interacción Herbicida*Localidad; En las localidades de CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN) y STADR (SANTA ADRIANA, NACIMIENTO) los diámetros promedios de los cultivos tratados con Simazina no presentaron diferencias significativas en contraste con lo cultivos sin tratamiento, sin embargo; las localidades de AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO), ELAUR (EL LAUREL, CONTULMO) y LANAR (LA NARANJA, PUERTO MONTT) el diámetro promedio de los cultivos con Simazina supera significativamente al de los cultivos sin tratamiento (Control).

5. Grupo 2: Control, Tratamiento Mecánico y Mulch

A continuación se analizan los modelos de las variables respuesta H7_H1 y D7_D1, asociados a los cultivos de Eucaliptus Globulus que fueron sometidos a las técnicas de control de maleza Mulch, Tratamiento Mecánico y Control. Adicionalmente se reparametrizan estos modelo de ANOVA para estudiarlos como regresiones.

Los factores analizados y sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- Tratamiento o Herbicida:
 1. Control
 2. Tratamiento mecánico
 3. Mulch

- Localidad:
 1. AVELL
 2. ELAUR
 3. CASQUE
 4. LANAR
 5. STADR

Los modelos estadísticos propuestos son

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (7.1)$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (7.2)$$

donde

$H7_H1_{ijk}$: Altura de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

$D7_D1_{ijk}$: Diámetro de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

μ : Media global.

α_i : Efecto del factor Localidad.

β_j : Efecto del factor Herbicida.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción entre los factores Herbicida y Localidad.

γ : Efecto de los bloques.

ε_{ijk} : Error aleatorio.

con

$i = 1, 2, \dots, 5$ Localidades.

$j = 1$ Control, 2 Tratamiento mecánico y 3 Mulch.

$k = 1, 2, 3, 4$ Bloques.

5.1. Definición de variables auxiliares para enfoque de regresión

Variables auxiliares para Localidad

$$X_1 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es AVELL} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_2 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es CASQUE} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_3 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es ELAUR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_4 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es LANAR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

Variable auxiliar para tratamientos

$$X_5 = \begin{cases} 1 & \text{Factor Control} \\ -1 & \text{Mulch} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad X_6 = \begin{cases} 1 & \text{Tratamiento mecánico} \\ -1 & \text{Mulch} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

Variables auxiliares para Bloques

$$X_7 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 1} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad X_8 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 2} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_9 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 3} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} .$$

Utilizando las variables auxiliares ya definidas, los modelos (7.1) y (7.2) respectivamente quedan reparametrizados de la siguiente forma

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \underbrace{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4}_{LOCALIDAD} + \underbrace{\beta_1 X_5 + \beta_2 X_6}_{HERBICIDA} + \underbrace{\gamma_1 X_7 + \gamma_2 X_8 + \gamma_3 X_9}_{BLOQUES}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{11} X_1 X_5 + (\alpha\beta)_{21} X_2 X_5 + (\alpha\beta)_{31} X_3 X_5 + (\alpha\beta)_{41} X_4 X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{12} X_1 X_6 + (\alpha\beta)_{22} X_2 X_6 + (\alpha\beta)_{32} X_3 X_6 + (\alpha\beta)_{42} X_4 X_6}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA}$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \underbrace{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4}_{LOCALIDAD} + \underbrace{\beta_1 X_5 + \beta_2 X_6}_{HERBICIDA} + \underbrace{\gamma_1 X_7 + \gamma_2 X_8 + \gamma_3 X_9}_{BLOQUES}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{11} X_1 X_5 + (\alpha\beta)_{21} X_2 X_5 + (\alpha\beta)_{31} X_3 X_5 + (\alpha\beta)_{41} X_4 X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{12} X_1 X_6 + (\alpha\beta)_{22} X_2 X_6 + (\alpha\beta)_{32} X_3 X_6 + (\alpha\beta)_{42} X_4 X_6}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA} .$$

5.2. Análisis del modelo asociado a la variable altura H7_H1

El análisis se abordará primeramente empleando las técnicas del ANOVA y posteriormente el método alternativo del enfoque de regresión.

5.2.1. Enfoque ANOVA para H7_H1

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
HERBICIDAS	3	Mulch control trat_mec
LOCAL	5	AVELL CASQUE ELAUR LANAR STADR
BLOQ	4	1 2 3 4

Number of observations 60

Dependent Variable: H7_H1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	1947241.220	114543.601	8.27	<.0001
Error	42	581758.478	13851.392		
Corrected Total	59	2528999.698			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	H7_H1 Mean
0.769965	23.82074	117.6919	494.0735

El modelo es significativo y el porcentaje de varianza explicada del crecimiento en altura es 77%. Observar que el factor Herbicida no explica el crecimiento de los árboles; es decir, los tratamientos Control, Mecánico y Mulch, no influyen en la variable altura.

Estas afirmaciones son entregadas por la siguiente tabla.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	2	28583.379	14291.690	1.03	0.3652
LOCAL	4	1716017.215	429004.304	30.97	<.0001
BLOQ	3	131749.489	43916.496	3.17	0.0340
HERBICIDAS*LOCAL	8	70891.137	8861.392	0.64	0.7398

En la Figura 4 se grafican los crecimientos medios de los 3 tratamientos y se visualiza que estos no difieren significativamente en sus magnitudes.

Level of HERBICIDAS	N	Mean	Std Dev
Mulch	20	481.995250	230.686515
control	20	475.512300	187.988334
trat_mec	20	524.712800	207.472834

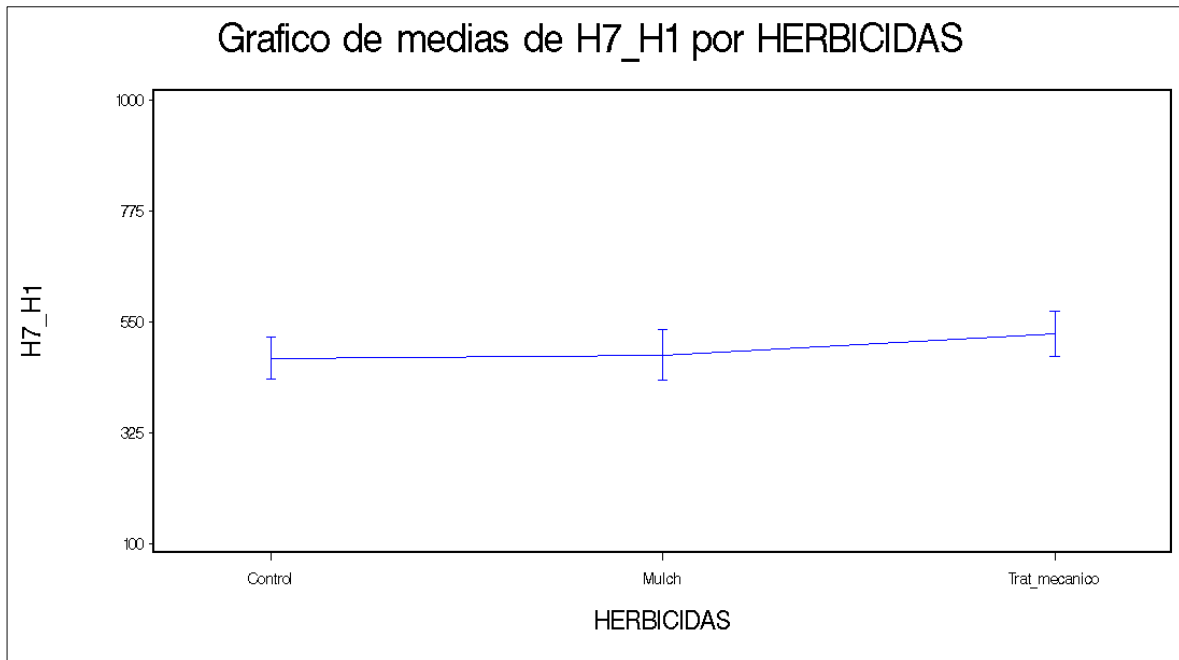


Figura 4. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.

5.2.2. Efectos principales Factor Localidad

En relación a la localidad, se afirma que ésta es altamente significativa e influye fuertemente en el crecimiento de los árboles, pues este factor comprende variadas características como tipo suelo, temperatura, humedad y muchas otras variables que son determinantes para el desarrollo de cualquier cultivo. En la siguiente página se incluye en gráfico de los crecimientos medios en altura para las 5 localidades.

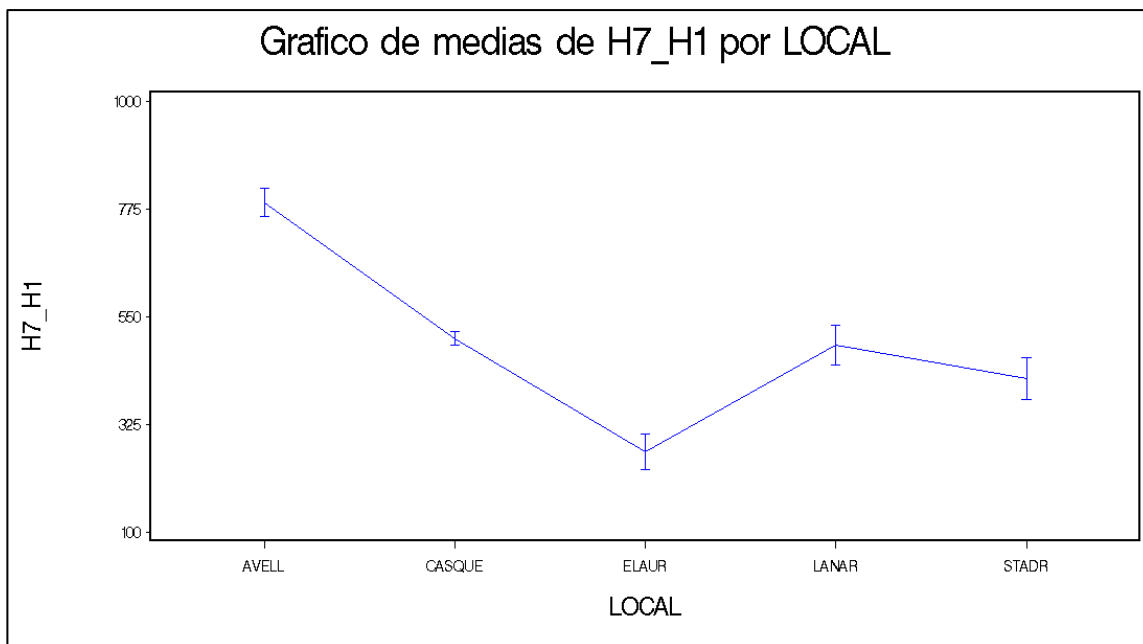


Figura 5. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.

Level of LOCAL	N	Mean	Std Dev
AVELL	12	787.945917	105.085937
CASQUE	12	503.978750	48.794053
ELAUR	12	267.829083	127.764722
LANAR	12	489.585500	145.607130
STADR	12	421.028000	151.520045

El gráfico anterior manifiesta nuevamente que AVELL es la localidad con el mayor crecimiento promedio de los cultivos, y que las otras localidades son similares en sus promedios de altura.

A continuación se adjunta la tabla con las comparaciones múltiples de las localidades.

Differences of Least Squares Means							
Effect	LOCAL	LOCAL	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
LOCAL	AVELL	CASQUE	283.97	48.0475	42	5.91	<.0001
LOCAL	AVELL	ELAUR	520.12	48.0475	42	10.83	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	298.36	48.0475	42	6.21	<.0001
LOCAL	AVELL	STADR	366.92	48.0475	42	7.64	<.0001
LOCAL	CASQUE	ELAUR	236.15	48.0475	42	4.91	<.0001
LOCAL	CASQUE	LANAR	14.3932	48.0475	42	0.30	0.7660
LOCAL	CASQUE	STADR	82.9507	48.0475	42	1.73	0.0916
LOCAL	ELAUR	LANAR	-221.76	48.0475	42	-4.62	<.0001
LOCAL	ELAUR	STADR	-153.20	48.0475	42	-3.19	0.0027
LOCAL	LANAR	STADR	68.5575	48.0475	42	1.43	0.1610

Claramente AVELL es localidad con el crecimiento promedio más alto y difiere significativamente de todas las demás localidades.

5.2.3. Enfoque de regresión para H7_H1

Luego de programar las variables auxiliares, el modelo de regresión entrega exactamente la misma tabla que el enfoque ANOVA.

The REG Procedure
Model: MODEL1
Dependent Variable: H7_H1
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	1947241	114544	8.27	<.0001
Error	42	581758	13851		
Corrected Total	59	2529000			

Root MSE	117.69194	R-Square	0.7700
Dependent Mean	494.07345	Adj R-Sq	0.6769
Coeff Var	23.82074		

el R-cuadrado ajustado suele ser menor que el R-cuadrado sin ajustar.

Acá se presenta la significancia de los parámetros del modelo.

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type I SS
Intercept	1	524.71280	26.31672	19.94	<.0001	14646514
x1	1	291.70145	52.63343	5.54	<.0001	807773
x2	1	14.81795	52.63343	0.28	0.7797	80815
x3	1	-235.11955	52.63343	-4.47	<.0001	827127
x4	1	-41.22530	52.63343	-0.78	0.4379	302.12543
x5	1	-49.20050	37.21746	-1.32	0.1933	420.28641
x6	1	91.91805	64.46253	1.43	0.1613	28163
x7	1	-51.41158	26.31672	-1.95	0.0574	89148
x8	1	-40.52832	26.31672	-1.54	0.1311	19035
x9	1	34.32668	26.31672	1.30	0.1992	23566
x15	1	-42.41450	74.43492	-0.57	0.5718	40015
x25	1	-30.12450	74.43492	-0.40	0.6877	3915.10106
x35	1	1.20050	74.43492	0.02	0.9872	330.28275
x45	1	81.29700	74.43492	1.09	0.2810	6859.67171
x16	1	-6.51305	128.92506	-0.05	0.9599	6086.32277
x26	1	14.73795	128.92506	0.11	0.9095	953.23990
x36	1	-26.62555	128.92506	-0.21	0.8374	2609.17034
x46	1	-110.21205	128.92506	-0.85	0.3975	10122

SC(Local)

SC(Herbi)

SC(Bloq)

SC(interac)

Utilizando la suma de cuadrados extras secuencial o Tipo I, se verificarán los resultados de las pruebas de significancia para los factores Herbicida y Localidad, y la interacción.

Prueba de significatividad para factores e interacción Herbicida*localidad

Factor Localidad

Las variables indicadoras para el factor Localidad son X_1, X_2, X_3, X_4 ; por lo tanto,

$$CM(LOCAL) = \frac{SC(X_1) + SC(X_2 / X_1) + SC(X_3 / X_1, X_2) + SC(X_4 / X_1, X_2, X_3)}{4}$$

$$CM(LOCAL) = \frac{807773 + 80815 + 827127 + 302.12543}{4} = \frac{1716017.215}{4} = 429004.304$$

dividiendo el $CM(LOCAL)$ por el CME , se obtiene

$$F_{LOCAL} = \frac{CM(LOCAL)}{CME} = \frac{429004.304}{13851} = 30.97 \Rightarrow P(F_{4,42} > 30.97) < 0.0001$$

y efectivamente los resultados coinciden exactamente con los proporcionados por la tabla ANOVA.

Factor Herbicida

Las variables indicadoras para el factor herbicida son X_5, X_6 ; por lo tanto,

$$CM(HERBICIDA) = \frac{SC(X_5 / X_1, X_2, X_3, X_4) + SC(X_6 / X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)}{2}$$

$$CM(HERBICIDA) = \frac{420.28641 + 28163}{2} = 14291.6$$

Luego el estadístico F para probar el efecto principal del Factor Herbicida queda expresado de la siguiente forma

$$F_{HERBICIDA} = \frac{CM(HERBICIDA)}{CME} = \frac{14291.6}{13851} = 1.03 \Rightarrow P(F_{2,42} > 1.03) = 0.3652$$

Resultando un valor-p superior a 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis de que los efectos de los herbicidas son nulos.

Interacción Herbicida*Localidad

Para probar la significancia de la interacción se tienen las variables indicadoras $X_{15}, X_{25}, X_{35}, X_{45}, X_{16}, X_{26}, X_{36}, X_{46}$; por lo tanto,

$$CM(INTER) = \frac{SC(X_{15} / X_1, X_2, \dots, X_9) + SC(X_{25} / X_1, \dots, X_9, X_{15}) + \dots + SC(X_{46} / X_1, \dots, X_{26}, X_{36})}{8}$$

$$CM(INTER) = \frac{40015 + 3915.101 + \dots + 2609.170 + 10122}{8} = \frac{70891.137}{8} = 8861.392$$

dividiendo el $CM(INTER)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar si la interacción Herbicida*Localidad es significativa.

$$F_{INTERACCIÓN} = \frac{CM(INTER)}{CME} = \frac{8861.392}{13851} = 0.64 \Rightarrow P(F_{8,42} > 0.64) = 0.7398.$$

Lo anterior verifica el resultado entregado por el enfoque ANOVA visto previamente (pp 36).

El modelo de regresión ajustado es el siguiente:

$$\begin{aligned} H7_H1_{ijk} = & 524.71280 + \underbrace{291.70145X_1 + 14.81795X_2 - 235.11955X_3 - 41.22530X_4}_{LOCALIDAD} \\ & - \underbrace{49.20050X_5 + 91.91805X_6}_{HERBICIDA} - \underbrace{51.41158X_7 - 40.52832X_8 + 34.32668X_9}_{BLOQUES} \\ & - \underbrace{42.41450X_1X_5 - 30.12450X_2X_5 + 1.20050X_3X_5 + 81.29700X_4X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA} \\ & - \underbrace{6.51305X_1X_6 + 14.73795X_2X_6 - 26.62555X_3X_6 - 110.21205X_4X_6}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA} \end{aligned}$$

5.3. Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1

5.3.1. Enfoque ANOVA para D7_D1

Para el diámetro de los árboles, se observa que nuevamente el Factor Herbicida es no significativo; es decir, no existe diferencia entre los efectos medios de los tratamientos Mulch, Control y Tratamiento Mecánico, sin embargo, el Factor Localidad influye fuertemente sobre esta variable, tal como se muestra en la tabla de más abajo.

Dependent Variable: D7_D1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	23468.06822	1380.47460	6.75	<.0001
Error	42	8591.76495	204.56583		
Corrected Total	59	32059.83316			

R-Square	Adj R-Sq	Coeff Var	Root MSE	D7 D1 Mean
0.732008	0.6235	21.60282	14.30265	66.20733

Respecto de la varianza explicada por el modelo, esta es de un 73.2% y un R-cuadrado ajustado de 62.35%.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	2	1104.94557	552.47278	2.70	0.0788
LOCAL	4	20163.36393	5040.84098	24.64	<.0001
BLOQ	3	1371.63647	457.21216	2.24	0.0982
HERBICIDAS*LOCAL	8	828.12224	103.51528	0.51	0.8449

The GLM Procedure

Level of	-----D7_D1-----		
HERBICIDAS	N	Mean	Std Dev
Mulch	20	63.7330500	24.7208991
control	20	62.6453000	21.7828870
trat_mec	20	72.2436500	23.3149649

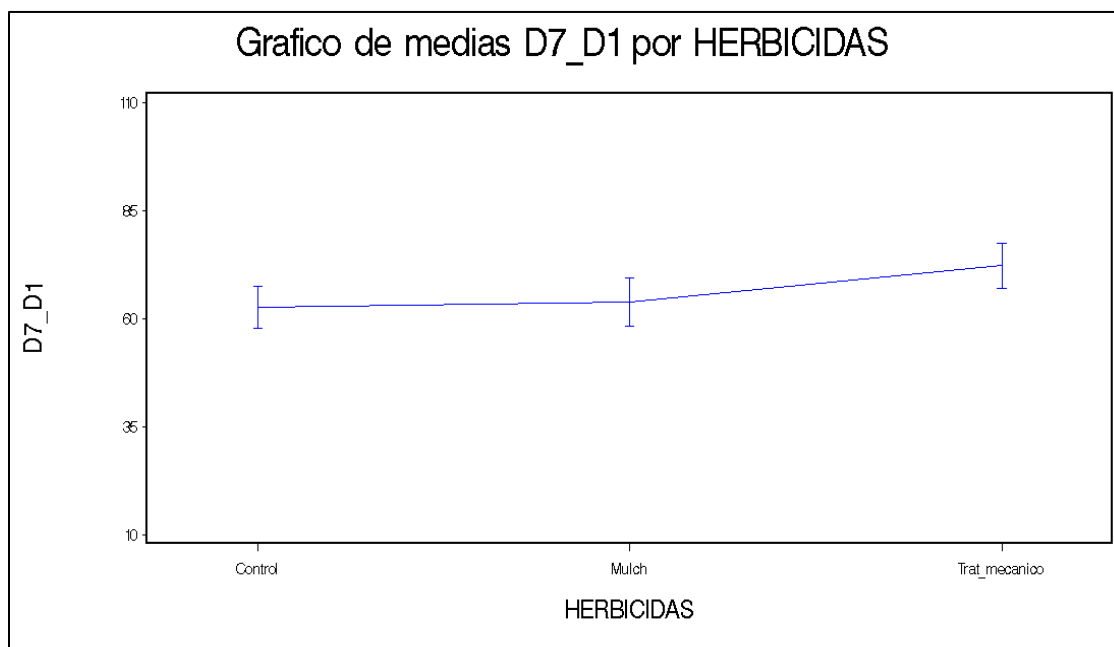


Figura 6. Medias de la variable altura por Herbicida para D7_D1.

En la figura anterior se muestran las alturas medias de los cultivos sometidos a los tres tratamientos de control de maleza y se observa que sus magnitudes son muy similares, confirmando el resultado del test de efectos principales para factor Herbicida.

5.3.2. Efectos principales Factor Localidad

Dado que el Factor Localidad es altamente significativo, se procede a analizar los efectos principales por medios de las comparaciones múltiples de sus niveles.

En la siguiente página se incluye el gráfico de los crecimientos medios en diámetro para las 5 localidades.

Level of LOCAL	N	Mean	Std Dev
AVELL	12	86.1670833	9.3726976
CASQUE	12	76.3845833	8.1843416
ELAUR	12	36.2220000	19.0127507
LANAR	12	77.9463333	15.1488810
STADR	12	54.3166667	18.3219271

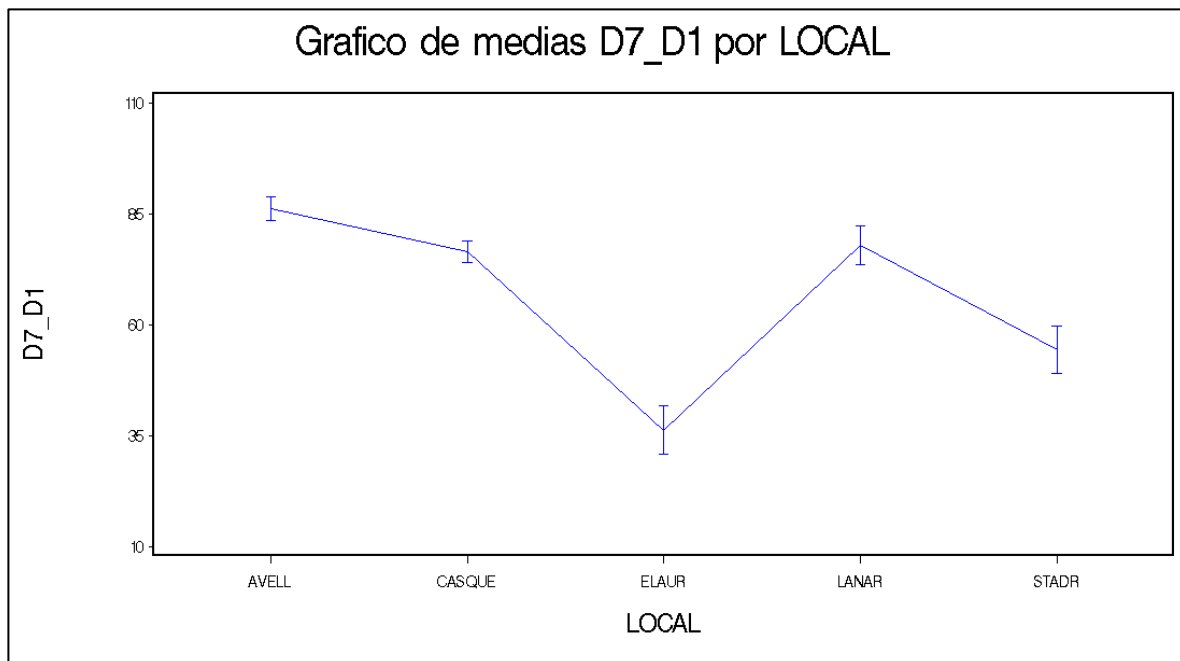


Figura 7. Medias de la variable altura por Localidad para D7_D1.

La Figura 7 revela que las localidades de AVELL, CASQUE y LANAR presentan diámetros medios de sus cultivos muy similares. Ésta aseveración se confirma con la tabla de comparaciones múltiples donde claramente no existen diferencias significativas en sus diámetros promedios. Sin embargo, ELAUR y STADR además de tener rendimientos diferentes entre si, son significativamente inferiores a las demás localidades.

Effect	Differences of Least Squares Means		Error		DF	Valor t	Pr > t
	LOCAL	LOCAL	Estimador	estándar			
LOCAL	AVELL	CASQUE	9.7825	5.8390	42	1.68	0.1013
LOCAL	AVELL	ELAUR	49.9451	5.8390	42	8.55	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	8.2208	5.8390	42	1.41	0.1665
LOCAL	AVELL	STADR	31.8504	5.8390	42	5.45	<.0001
LOCAL	CASQUE	ELAUR	40.1626	5.8390	42	6.88	<.0001
LOCAL	CASQUE	LANAR	-1.5617	5.8390	42	-0.27	0.7904
LOCAL	CASQUE	STADR	22.0679	5.8390	42	3.78	0.0005
LOCAL	ELAUR	LANAR	-41.7243	5.8390	42	-7.15	<.0001
LOCAL	ELAUR	STADR	-18.0947	5.8390	42	-3.10	0.0035
LOCAL	LANAR	STADR	23.6297	5.8390	42	4.05	0.0002

5.3.3. Enfoque de regresión para D7_D1

Luego de varias reparametrizaciones y verificaciones de los resultados de tablas ANOVA, queda claro que el enfoque de regresión constituye una forma alternativa de analizar un modelo de diseño experimental. A continuación se presentan los resultados del modelo de regresión para la variable diámetro.

Dependent Variable: D7_D1
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	23468	1380.47460	6.75	<.0001
Error	42	8591.76495	204.56583		
Corrected Total	59	32060			

Root MSE	14.30265	R-Square	0.7320
Dependent Mean	66.20733	Adj R-Sq	0.6235
Coeff Var	21.60282		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type I SS
Intercept	1	72.24365	3.19817	22.59	<.0001	263005
x1	1	18.85285	6.39634	2.95	0.0052	6086.69425
x2	1	11.85485	6.39634	1.85	0.0709	301.86293
x3	1	-29.48565	6.39634	-4.61	<.0001	11708
x4	1	9.34810	6.39634	1.46	0.1513	2067.06181
x5	1	-9.59835	4.52290	-2.12	0.0398	11.83200
x6	1	18.10895	7.83388	2.31	0.0258	1093.11357
x7	1	-5.76033	3.19817	-1.80	0.0789	1139.47707
x8	1	-3.12560	3.19817	-0.98	0.3340	124.48666
x9	1	2.32027	3.19817	0.73	0.4722	107.67275
x15	1	-1.68990	9.04579	-0.19	0.8527	509.14538
x25	1	-6.43565	9.04579	-0.71	0.4807	205.67934
x35	1	-2.65940	9.04579	-0.29	0.7702	27.23844
x45	1	4.83385	9.04579	0.53	0.5959	15.56256
x16	1	-3.32070	15.66777	-0.21	0.8332	17.67706
x26	1	5.03280	15.66777	0.32	0.7496	9.86955
x36	1	1.49905	15.66777	0.10	0.9242	0.07690
x46	1	-7.17270	15.66777	-0.46	0.6495	42.87302

SC(Local)

SC(Herbi)

SC(Bloq)

SC(interac)

Nuevamente usando la suma de cuadrados extra se verificarán las pruebas de significancia para los factores y para la interacción Herbicida*Localidad.

Prueba de significatividad para factores e interacción Herbicida*localidad

Factor Localidad

Las variables indicadoras para el factor Localidad son X_1, X_2, X_3, X_4 ; por lo tanto,

$$CM(LOCAL) = \frac{SC(X_1) + SC(X_2 / X_1) + SC(X_3 / X_1, X_2) + SC(X_4 / X_1, X_2, X_3)}{4}$$

$$CM(LOCAL) = \frac{6086.69 + 301.86 + 11708 + 2067.06}{4} = \frac{20163.364}{4} = 5040.841$$

dividiendo el $CM(LOCAL)$ por el CME , se obtiene

$$F_{LOCAL} = \frac{CM(LOCAL)}{CME} = \frac{5040.841}{204.56583} = 24.64 \Rightarrow P(F_{4,42} > 24.64) < 0.0001$$

y efectivamente los resultados coinciden exactamente con los proporcionados por la tabla ANOVA.

Factor Herbicida

Las variables indicadoras para el factor herbicida son X_5, X_6 ; por lo tanto,

$$CM(HERBICIDA) = \frac{SC(X_5 / X_1, X_2, X_3, X_4) + SC(X_6 / X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)}{2}$$

$$CM(HERBICIDA) = \frac{11.83200 + 1093.11357}{2} = 552.47278.$$

Luego el estadístico F para probar el efecto principal del Factor Herbicida queda expresado de la siguiente forma

$$F_{HERBICIDA} = \frac{CM(HERBICIDA)}{CME} = \frac{552.47278}{204.56583} = 2.70 \Rightarrow P(F_{2,42} > 2.70) = 0.0788.$$

Interacción Herbicida*Localidad

Por último, para probar la significancia de la interacción se tienen las variables indicadoras $X_{15}, X_{25}, X_{35}, X_{45}, X_{16}, X_{26}, X_{36}, X_{46}$; por lo tanto,

$$CM(INTER) = \frac{SC(X_{15} / X_1, X_2, \dots, X_9) + SC(X_{25} / X_1, \dots, X_9, X_{15}) + \dots + SC(X_{46} / X_1, \dots, X_{26}, X_{36})}{8}$$

$$CM(INTER) = \frac{509.145 + 205.679 + \dots + 0.0769 + 42.873}{8} = \frac{828.12224}{8} = 103.51528$$

dividiendo el $CM(INTER)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar si la interacción Herbicida*Localidad es significativa.

$$F_{INTERACCIÓN} = \frac{CM(INTER)}{CME} = \frac{13.51528}{204.56583} = 0.51 \Rightarrow P(F_{8,42} > 0.51) = 0.8449.$$

Lo anterior verifica el resultado entregado por el enfoque ANOVA visto previamente (pp 43).

El modelo de regresión para H7_H1 queda expresado como

$$\begin{aligned} H7_H1_{ijk} = & 72.24365 + \underbrace{18.85285X_1 + 11.85485X_2 - 29.48565X_3 + 9.34810X_4}_{LOCALIDAD} \\ & - \underbrace{9.59835X_5 + 18.10895X_6}_{HERBICIDA} - \underbrace{5.76033X_7 - 3.12560X_8 + 2.32027X_9}_{BLOQUES} \\ & - \underbrace{1.68990X_1X_5 - 6.43565X_2X_5 - 2.65940X_3X_5 + 4.83385X_4X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA} \\ & - \underbrace{3.32070X_1X_6 + 5.03280X_2X_6 + 1.49905X_3X_6 - 7.17270X_4X_6}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*HERBICIDA}. \end{aligned}$$

5.4. Conclusión análisis grupo 2

5.4.1. Variable Altura H7_H1

- El factor Localidad resultó ser relevante para explicar el crecimiento en altura de los cultivo, no así el Factor Herbicida ni la interacción Herbicida*Localidad.
- Respecto de lo niveles del Factor Herbicida considerados en este grupo, de los cuales dos corresponden a métodos físicos (Mulch y Tratamiento Mecánico), éstos no presentaron efectos significativos sobre la variable altura, pues sus resultados son estadísticamente iguales que los arrojados por los cultivos sin tratamiento. Se concluye que no son tan eficientes como los métodos químicos para atacar los perjuicios provocados por las malas hierbas.
- En relación a los efectos principales del Factor Localidad; AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) maximiza los rendimientos en altura de los cultivos superando significativamente a las demás localidades.

5.4.2. Variable Altura D7_D1

- Del mismo modo que la variable Altura, el factores Localidad resultó ser relevantes para explicar el crecimiento en diámetro de los cultivo, no así el Factor Herbicida ni la interacción Herbicida*Localidad.
- Las localidades de AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO), CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN) y LANAR (LA NARANJA, PUERTO MONTT) no presentan diferencias significativas en sus diámetros promedios, siendo estas las de mayor rendimiento.

6. Grupo 3: Control, AJAX5, AJAX6 y AJAX7

Este apartado tiene por objetivo analizar los modelos asociados a las variables altura H7_H1 y diámetro D7_D1 de los cultivos de Eucaliptus Globulus, los cuales fueron sometidos a los tratamientos Control, AJAX5, AJAX6 y AJAX7 para las cinco localidades. Además se definirán variables auxiliares para representar dichos modelos de ANOVA como modelos de regresión. Primeramente se definirán los factores involucrados en este grupo.

Los factores analizados y sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- Tratamiento o Herbicida:

1. Control
2. AJAX5
3. AJAX6
4. AJAX7

- Localidad:

1. AVELL
2. ELAUR
3. CASQUE
4. LANAR
5. STADR.

Los modelos estadísticos propuestos son

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (8.1)$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (8.2)$$

donde

$H7_H1_{ijk}$: Altura de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

$D7_D1_{ijk}$: Diámetro de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

μ : Media global.

α_i : Efecto del factor Localidad.

β_j : Efecto del factor Herbicida.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción entre los factores Herbicida y Localidad.

γ : Efecto de los bloques.

ε_{ijk} : Error aleatorio.

con

$i = 1, 2, \dots, 5$ Localidades.

$j = 1$ Control, 2 AJAX5, 3 AJAX6 y 4 AJAX7.

$k = 1, 2, 3, 4$ Bloques.

6.1. Definición de variables auxiliares para enfoque de regresión

Variables auxiliares para Localidad

$$X_1 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es AVELL} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_2 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es CASQUE} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_3 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es ELAUR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_4 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es LANAR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

Variable auxiliar para tratamientos

$$X_5 = \begin{cases} 1 & \text{Control} \\ -1 & \text{AJAX7} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad X_6 = \begin{cases} 1 & \text{AJAX5} \\ -1 & \text{AJAX7} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_7 = \begin{cases} 1 & \text{AJAX6} \\ -1 & \text{AJAX7} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

Variables auxiliares para Bloques

$$X_8 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 1} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad X_9 = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 2} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_{10} = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 3} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} .$$

Utilizando las variables auxiliares ya definidas, los modelos (8.1) y (8.2) respectivamente quedan reparametrizados de la siguiente forma

$$H7 - H1_{ijk} = \mu + \underbrace{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4}_{\text{LOCALIDAD}} + \underbrace{\beta_1 X_5 + \beta_2 X_6 + \beta_3 X_7}_{\text{TRATAMIENTOS}} + \underbrace{\gamma_1 X_8 + \gamma_2 X_9 + \gamma_3 X_{10}}_{\text{BLOQUES}} + \varepsilon_{ijk}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{11} X_1 X_5 + (\alpha\beta)_{21} X_2 X_5 + (\alpha\beta)_{31} X_3 X_5 + (\alpha\beta)_{41} X_4 X_5}_{\text{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO}}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{12} X_1 X_6 + (\alpha\beta)_{22} X_2 X_6 + (\alpha\beta)_{32} X_3 X_6 + (\alpha\beta)_{42} X_4 X_6}_{\text{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO}}$$

$$+ \underbrace{(\alpha\beta)_{13} X_1 X_7 + (\alpha\beta)_{23} X_2 X_7 + (\alpha\beta)_{33} X_3 X_7 + (\alpha\beta)_{43} X_4 X_7}_{\text{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO}}$$

$$\begin{aligned}
 D7_D1_{ijk} = & \mu + \underbrace{\alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4}_{LOCALIDAD} + \underbrace{\beta_1 X_5 + \beta_2 X_6 + \beta_3 X_7}_{TRATAMIENTOS} + \underbrace{\gamma_1 X_8 + \gamma_2 X_9 + \gamma_3 X_{10}}_{BLOQUES} + \varepsilon_{ijk} \\
 & + \underbrace{(\alpha\beta)_{11} X_1 X_5 + (\alpha\beta)_{21} X_2 X_5 + (\alpha\beta)_{31} X_3 X_5 + (\alpha\beta)_{41} X_4 X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO} \\
 & + \underbrace{(\alpha\beta)_{12} X_1 X_6 + (\alpha\beta)_{22} X_2 X_6 + (\alpha\beta)_{32} X_3 X_6 + (\alpha\beta)_{42} X_4 X_6}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO} \\
 & + \underbrace{(\alpha\beta)_{13} X_1 X_7 + (\alpha\beta)_{23} X_2 X_7 + (\alpha\beta)_{33} X_3 X_7 + (\alpha\beta)_{43} X_4 X_7}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO} .
 \end{aligned}$$

6.2. Análisis del modelo asociado a la variable H7_H1

El análisis se abordará empleando las técnicas del ANOVA y nuevamente el método alternativo del enfoque de regresión, se observará que a medida que aumenta el número de factores o los niveles de estos, la reparametrización se torna más compleja, pues la cantidad de variables auxiliares a definir crece.

6.2.1. Enfoque ANOVA para H7_H1

Class Level Information

Class	Levels	Values
HERBICIDAS	4	AJAX5 AJAX6 AJAX7 Control
LOCAL	5	AVELL CASQUE ELAUR LANAR STADR
BLOQ	4	1 2 3 4

Number of observations 80

Dependent Variable: H7_H1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	22	2585927.339	117542.152	14.51	<.0001
Error	57	461752.831	8100.927		
Corrected Total	79	3047680.170			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	H7_H1 Mean
0.848490	13.75975	90.00515	654.1188

El modelo es significativo y los factores considerados en éste, explican el 84.85% de la variabilidad del crecimiento en altura de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	3	883347.645	294449.215	36.35	<.0001
LOCAL	4	1493359.098	373339.775	46.09	<.0001
BLOQ	3	42763.112	14254.371	1.76	0.1652
HERBICIDAS*LOCAL	12	166457.485	13871.457	1.71	0.0881

Dado que la interacción no es significativa, se pueden analizar los efectos principales de ambos factores, pues, éstos son altamente significativos para el modelo. A continuación se analizan las comparaciones múltiples del Factor Herbicida.

6.2.2. Efectos principales Factor Herbicida

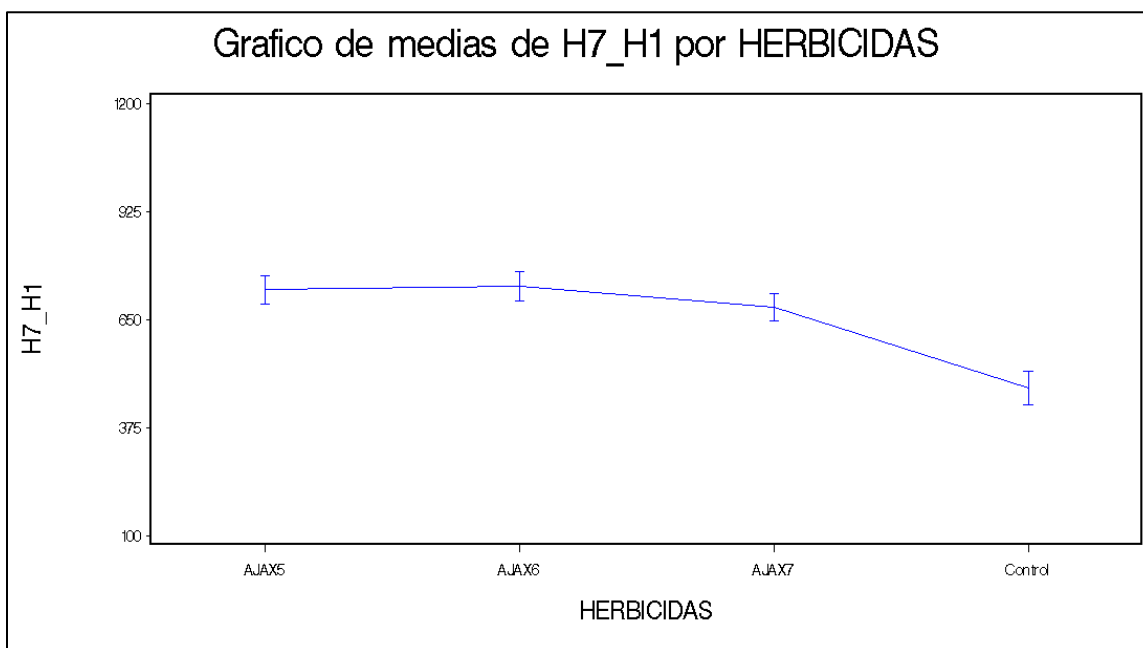


Figura 8. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.

The GLM Procedure

Level of HERBICIDAS	N	Mean	Std Dev
AJAX5	20	725.843700	162.634814
AJAX6	20	734.118900	162.896593
AJAX7	20	681.000450	159.960126
Control	20	475.512300	187.988334

En la Figura 8 y en la tabla de medias se visualiza que los crecimientos promedios de los cultivos con herbicida AJAX no presentan grandes diferencias en sus alturas medias; sin embargo, superan por más de 200 cm de altura a los cultivos que no recibieron tratamiento (Control). Más abajo se presentan las pruebas de comparaciones de medias.

Effect	Differences of Least Squares Means		Error		DF	Valor t	Pr > t
	HERBICIDAS	HERBICIDAS	Estimador	estándar			
HERBICIDAS	AJAX5	AJAX6	-8.2752	28.4621	57	-0.29	0.7723
HERBICIDAS	AJAX5	AJAX7	44.8433	28.4621	57	1.58	0.1207
HERBICIDAS	AJAX5	Control	250.33	28.4621	57	8.80	<.0001
HERBICIDAS	AJAX6	AJAX7	53.1184	28.4621	57	1.87	0.0671
HERBICIDAS	AJAX6	Control	258.61	28.4621	57	9.09	<.0001
HERBICIDAS	AJAX7	Control	205.49	28.4621	57	7.22	<.0001

Se verifica que los crecimientos promedio de los cultivos tratados con los herbicidas AJAX5, AJAX6, AJAX7 no presentan diferencias significativas en sus magnitudes; es decir, los efectos producidos son los mismos para los tres tratamientos y superan significativamente al Tratamiento Control.

6.2.3. Efectos principales Factor Localidad

Al analizar los resultados por localidad se tiene que AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) contiene los cultivos de Eucaliptus Globulus con mayor crecimiento, además de superar significativamente a las demás localidades. Esto se muestra en la tabla de comparaciones múltiples y en Figura. 9 presentada en la siguiente página.

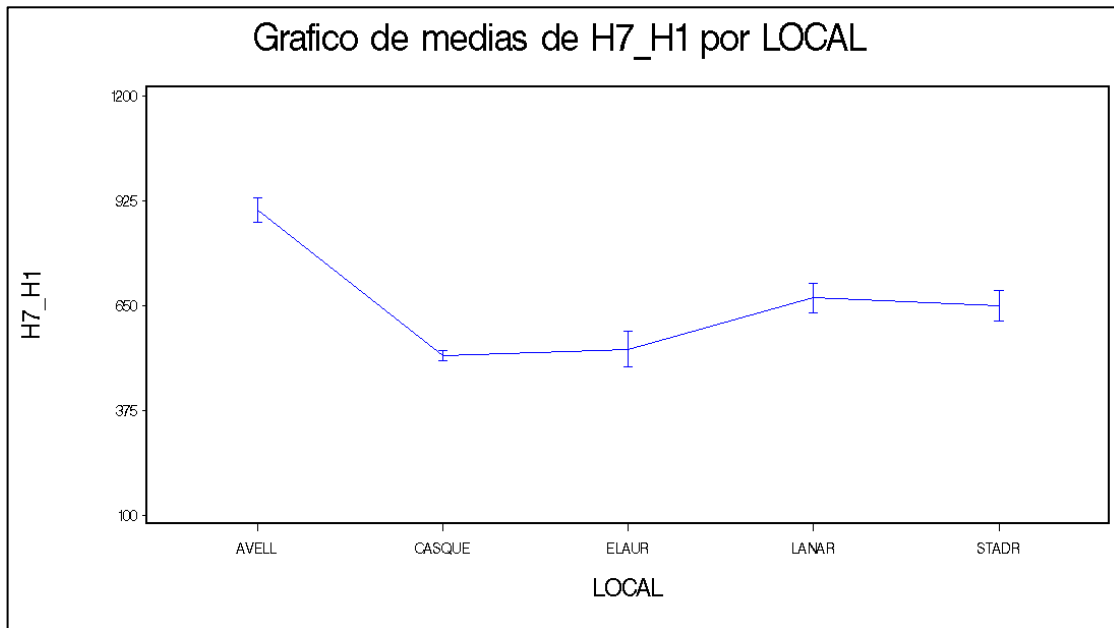


Figura 9. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.

Level of LOCAL	N	Mean	Std Dev
AVELL	16	899.701813	129.656687
CASQUE	16	517.880063	52.078272
ELAUR	16	534.977313	189.597382
LANAR	16	669.511438	153.904036
STADR	16	648.523563	156.412220

Differences of Least Squares Means

Effect	LOCAL	LOCAL	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
LOCAL	AVELL	CASQUE	381.82	31.8216	57	12.00	<.0001
LOCAL	AVELL	ELAUR	364.72	31.8216	57	11.46	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	230.19	31.8216	57	7.23	<.0001
LOCAL	AVELL	STADR	251.18	31.8216	57	7.89	<.0001
LOCAL	CASQUE	ELAUR	-17.0973	31.8216	57	-0.54	0.5932
LOCAL	CASQUE	LANAR	-151.63	31.8216	57	-4.77	<.0001
LOCAL	CASQUE	STADR	-130.64	31.8216	57	-4.11	0.0001
LOCAL	ELAUR	LANAR	-134.53	31.8216	57	-4.23	<.0001
LOCAL	ELAUR	STADR	-113.55	31.8216	57	-3.57	0.0007
LOCAL	LANAR	STADR	20.9879	31.8216	57	0.66	0.5122

Las localidades de CASQUE y ELAUR poseen efectos estadísticamente similares e inferiores a las demás localidades, como se visualizó en la figura anterior.

6.2.4. Enfoque de regresión para H7_H1

Si bien los resultados entregados por el modelo de regresión coinciden exactamente con el enfoque ANOVA, resulta cada vez más complejo realizar la reparametrización, pues el aumento de factores o niveles de estos, implica un aumento en la definición de variables auxiliares.

The REG Procedure

Dependent Variable: H7_H1
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	22	2585927	117542	14.51	<.0001
Error	57	461753	8100.92686		
Corrected Total	79	3047680			

Root MSE	90.00515	R-Square	0.8485
Dependent Mean	654.11884	Adj R-Sq	0.7900
Coeff Var	13.75975		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type I SS
Intercept	1	475.51230	20.12576	23.63	<.0001	34229716
x1	1	249.28695	40.25153	6.19	<.0001	504724
x2	1	-15.30655	40.25153	-0.38	0.7052	700322
x3	1	-233.91905	40.25153	-5.81	<.0001	283575
x4	1	40.07170	40.25153	1.00	0.3237	4738.64270
x5	1	-714.42615	69.71769	-10.25	<.0001	19270
x6	1	250.33140	28.46213	8.80	<.0001	195304
x7	1	258.60660	28.46213	9.09	<.0001	668774
x8	1	-19.63014	17.42942	-1.13	0.2648	34494
x9	1	-13.87829	17.42942	-0.80	0.4292	7434.91513
X10	1	-5.59304	17.42942	-0.32	0.7495	834.18849
x15	1	14.81590	139.43538	0.11	0.9158	137.15733
x25	1	483.72890	139.43538	3.47	0.0010	6619.82369
x35	1	-459.11010	139.43538	-3.29	0.0017	18558
x45	1	98.71640	139.43538	0.71	0.4818	5189.88361
x16	1	-7.59840	56.92425	-0.13	0.8943	355.47689
x26	1	-150.55690	56.92425	-2.64	0.0105	8742.70192
x36	1	132.44985	56.92425	2.33	0.0236	10552
x46	1	-18.21390	56.92425	-0.32	0.7502	60.28911
x17	1	-11.42910	56.92425	-0.20	0.8416	4953.23883
x27	1	-173.42060	56.92425	-3.05	0.0035	51841
x37	1	153.82165	56.92425	2.70	0.0091	57500
x47	1	-27.92210	56.92425	-0.49	0.6257	1949.10917

SC(Local)

SC(Herbi)

SC(Bloq)

SC(interac)

A continuación se verifican los resultados de las pruebas de significancia de los factores e interacción empleando la suma de cuadrados extras secuencial.

Prueba de significatividad para factores e interacción Herbicida*localidad

Factor Localidad

Las variables indicadoras para el factor Localidad son X_1, X_2, X_3, X_4 ; por lo tanto,

$$CM(LOCAL) = \frac{SC(X_1) + SC(X_2 / X_1) + SC(X_3 / X_1, X_2) + SC(X_4 / X_1, X_2, X_3)}{4}$$

$$CM(LOCAL) = \frac{504724 + 700322 + 283575 + 4738.64270}{4} = \frac{1493359.098}{4} = 373339.775$$

dividiendo el $CM(LOCAL)$ por el CME , se obtiene

$$F_{LOCAL} = \frac{CM(LOCAL)}{CME} = \frac{373339.775}{8100.927} = 46.09 \Rightarrow P(F_{4,57} > 46.09) < 0.0001.$$

Factor Herbicida

Para probar el efecto principal del Factor Herbicida se tienen las variables indicadoras X_5, X_6, X_7 ; por lo tanto,

$$CM(HERBICIDA) = \frac{SC(X_5 / X_1, \dots, X_4) + SC(X_6 / X_1, \dots, X_5) + SC(X_7 / X_1, \dots, X_6)}{3}$$

$$CM(HERBICIDA) = \frac{19270 + 195304 + 668774}{3} = 294449.215$$

dividiendo el $CM(HERBICIDA)$ por el CME , se obtiene

$$F_{HERBICIDA} = \frac{CM(HERBICIDA)}{CME} = \frac{294449.215}{8100.927} = 36.35 \Rightarrow P(F_{3,57} > 36.35) < 0.0001.$$

Interacción Herbicida*Localidad

Para probar la significancia de la interacción se tienen las variables indicadoras $X_{15}, X_{25}, X_{35}, X_{45}, X_{16}, X_{26}, X_{36}, X_{46}, X_{17}, X_{27}, X_{37}, X_{47}$; por lo tanto,

$$CM(INTER) = \frac{SC(X_{15} / X_1, \dots, X_{10}) + SC(X_{25} / X_1, \dots, X_{10}, X_{15}) + \dots + SC(X_{47} / X_1, \dots, X_{46})}{12}$$

$$CM(INTER) = \frac{137.15733 + 6619.82369 + 18558 + \dots + 1949.10917}{12} = \frac{166457.485}{12} = 13871.457$$

dividiendo el $CM(INTER)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar si la interacción Herbicida*Localidad es significativa.

$$F_{INTERACCIÓN} = \frac{CM(INTER)}{CME} = \frac{13871.457}{8100.927} = 1.71 \Rightarrow P(F_{12,57} > 1.71) = 0.0881$$

los resultados son coincidentes con lo entregado por el enfoque ANOVA visto previamente (pp 52, 53).

El modelo de regresión obtenido es el siguiente:

$$\begin{aligned} H7_H1_{ijk} = & 475.51 + \underbrace{249.28X_1 - 15.30X_2 - 233.91X_3 + 40.07X_4}_{LOCALIDAD} \\ & - \underbrace{714.42X_5 + 250.33X_6 + 258.60X_7}_{TRATAMIENTOS} - \underbrace{19.63X_8 - 13.87X_9 - 5.59X_{10}}_{BLOQUES} \\ & + \underbrace{14.81X_1X_5 + 483.72X_2X_5 - 459.11X_3X_5 + 98.71X_4X_5}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO} \\ & - \underbrace{7.59X_1X_6 - 150.55X_2X_6 + 132.44X_3X_6 - 18.21X_4X_6}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO} \\ & - \underbrace{11.42X_1X_7 - 173.42X_2X_7 + 153.82X_3X_7 - 27.92X_4X_7}_{INTERACCIÓN LOCALIDAD*TRATAMIENTO} . \end{aligned}$$

6.3. Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1

6.3.1. Enfoque ANOVA para D7_D1

Dependent Variable: D7_D1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	22	31917.00631	1450.77301	16.91	<.0001
Error	57	4890.65497	85.80096		
Corrected Total	79	36807.66128			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	D7 D1 Mean
0.867129	10.64474	9.262881	87.01838

Se aprecia un modelo significativo que explica el 87.02% de la variabilidad del crecimiento en diámetro de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	3	16022.68057	5340.89352	62.25	<.0001
LOCAL	4	13042.06566	3260.51642	38.00	<.0001
BLOQ	3	94.45318	31.48439	0.37	0.7771
HERBICIDAS*LOCAL	12	2757.80690	229.81724	2.68	0.0063

Considerando que la interacción Herbicida*Localidad para el modelo de la variable diámetro es significativa, se deben analizar los efectos simples del Factor Herbicida dentro de cada localidad, esto se mostrará en las siguientes páginas juntos con el grafico de las interacciones de los factores.

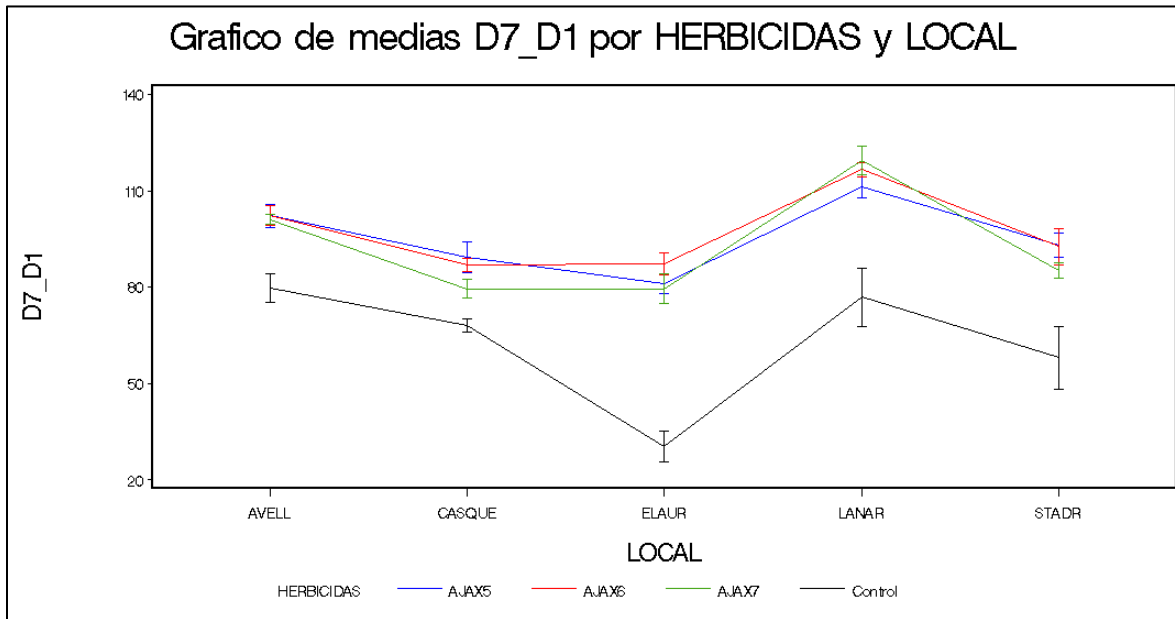


Figura 10. Medias de la interacción Herbicida*Localidad para D7_D1.

Level of HERBICIDAS	Level of LOCAL	N	Mean	Std Dev
AJAX5	AVELL	4	102.247500	7.2948298
AJAX5	CASQUE	4	89.292500	9.7013249
AJAX5	ELAUR	4	80.981500	5.6595426
AJAX5	LANAR	4	111.372500	7.0363637
AJAX5	STADR	4	93.021500	7.3649354
AJAX6	AVELL	4	102.304000	6.2797205
AJAX6	CASQUE	4	86.954250	4.0990444
AJAX6	ELAUR	4	87.205750	6.9640170
AJAX6	LANAR	4	116.661500	4.3985293
AJAX6	STADR	4	92.585000	11.2191434
AJAX7	AVELL	4	101.070000	2.8719131
AJAX7	CASQUE	4	79.425000	5.8485861
AJAX7	ELAUR	4	79.441250	9.2396359
AJAX7	LANAR	4	119.328750	8.8592784
AJAX7	STADR	4	85.250000	4.8442556
Control	AVELL	4	79.808250	9.0008073
Control	CASQUE	4	68.064500	4.2790992
Control	ELAUR	4	30.500250	9.4977062
Control	LANAR	4	76.827250	18.0143357
Control	STADR	4	58.026250	19.6166322

En la Figura. 10 se observa que los herbicidas AJAX5, AJAX6 y AJAX7 tienen efectos medios muy similares sobre el diámetro de los árboles; sin embargo, estos son significativamente superiores a los resultados obtenidos por el Tratamiento Control. A continuación se prueban los efectos de la interacción.

6.3.2. Analisis de la interacción Herbicida*Localidad

Las hipótesis condicionadas por localidad se definen a continuación

$$H_0 : \mu_{AJAX\ 5} = \mu_{AJAX\ 6} = \mu_{AJAX\ 7} = \mu_{Control} / AVELL \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / AVELL$$

$$H_0 : \mu_{AJAX\ 5} = \mu_{AJAX\ 6} = \mu_{AJAX\ 7} = \mu_{Control} / CASQUE \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / CASQUE$$

$$H_0 : \mu_{AJAX\ 5} = \mu_{AJAX\ 6} = \mu_{AJAX\ 7} = \mu_{Control} / ELAUR \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / ELAUR$$

$$H_0 : \mu_{AJAX\ 5} = \mu_{AJAX\ 6} = \mu_{AJAX\ 7} = \mu_{Control} / LANAR \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / LANAR$$

$$H_0 : \mu_{AJAX\ 5} = \mu_{AJAX\ 6} = \mu_{AJAX\ 7} = \mu_{Control} / STADR \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / STADR$$

para algún $i \neq j$.

La siguiente tabla contiene las pruebas de hipótesis condicionales definidas anteriormente, donde se observa que para los cinco tests el valor-p es menor al nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que existe al menos un par de medias significativamente diferentes de entre los 4 niveles del Factor Herbicida, para cada una de las 5 localidades.

La afirmación anterior se verifica en la siguiente página, donde se incluye la tabla con los test comparaciones múltiples dentro de cada localidad.

Procedimiento GLM
Medias de cuadrados mínimos

LOCAL*HERBICIDAS Efecto dividido por LOCAL for D7_D1

LOCAL	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
AVELL	3	1464.553176	488.184392	5.69	0.0018
CASQUE	3	1096.036174	365.345391	4.26	0.0088
ELAUR	3	8260.492931	2753.497644	32.09	<.0001
LANAR	3	4684.908930	1561.636310	18.20	<.0001
STADR	3	3274.496258	1091.498753	12.72	<.0001

Obsérvese que efectivamente los herbicidas AJAX5, AJAX6 y AJAX7 no presentan diferencias significativas en sus efectos medios para cada una de las 5 localidades, tal como se afirmó al interpretar la Figura 10. No obstante, éstos superan considerablemente a los efectos medios del tratamiento Control y producto de esta significatividad, se concluye que las pruebas hipótesis condicionales de la página anterior presentaron fuerte evidencia en contra de H_0 .

Medias de cuadrados mínimos para el efecto LOCAL*HERBICIDAS

Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Variable dependiente: D7_D1

Differences of Least Squares Means

Effect	LOCAL	HERBICIDAS	LOCAL	HERBICIDAS	Pr > t
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	AJAX5	AVELL	AJAX6	0.9931
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	AJAX5	AVELL	AJAX7	0.8580
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	AJAX5	AVELL	Control	0.0011
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	AJAX6	AVELL	AJAX7	0.8512
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	AJAX6	AVELL	Control	0.0011
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	AJAX7	AVELL	Control	0.0020
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	AJAX5	CASQUE	AJAX6	0.7224
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	AJAX5	CASQUE	AJAX7	0.1375
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	AJAX5	CASQUE	Control	0.0020
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	AJAX6	CASQUE	AJAX7	0.2551
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	AJAX6	CASQUE	Control	0.0055
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	AJAX7	CASQUE	Control	0.0882
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	AJAX5	ELAUR	AJAX6	0.3460
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	AJAX5	ELAUR	AJAX7	0.8149
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	AJAX5	ELAUR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	AJAX6	ELAUR	AJAX7	0.2408
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	AJAX6	ELAUR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	AJAX7	ELAUR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	AJAX5	LANAR	AJAX6	0.4227
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	AJAX5	LANAR	AJAX7	0.2295
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	AJAX5	LANAR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	AJAX6	LANAR	AJAX7	0.6854
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	AJAX6	LANAR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	AJAX7	LANAR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	AJAX5	STADR	AJAX6	0.9471
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	AJAX5	STADR	AJAX7	0.2403
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	AJAX5	STADR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	AJAX6	STADR	AJAX7	0.2675
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	AJAX6	STADR	Control	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	AJAX7	STADR	Control	0.0001

6.3.3. Enfoque de regresión para D7_D1

The REG Procedure

Dependent Variable: D7_D1

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	22	31917	1450.77301	16.91	<.0001
Error	57	4890.65497	85.80096		
Corrected Total	79	36808			

Root MSE	9.26288	R-Square	0.8671
Dependent Mean	87.01838	Adj R-Sq	0.8158
Coeff Var	10.64474		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Type I SS
Intercept	1	62.64530	2.07124	30.25	<.0001	605776
x1	1	17.16295	4.14249	4.14	0.0001	1598.78160
x2	1	5.41920	4.14249	1.31	0.1961	744.59760
x3	1	-32.14505	4.14249	-7.76	<.0001	3456.53449
x4	1	14.18195	4.14249	3.42	0.0012	7242.15197
x5	1	-97.49230	7.17500	-13.59	<.0001	923.43497
x6	1	32.73780	2.92918	11.18	<.0001	3198.95350
x7	1	34.49680	2.92918	11.78	<.0001	11900
x8	1	-0.75818	1.79375	-0.42	0.6741	66.16470
x9	1	-0.14097	1.79375	-0.08	0.9376	5.96614
X10	1	-0.91493	1.79375	-0.51	0.6120	22.32234
x15	1	31.29555	14.34999	2.18	0.0333	7.55555
x25	1	46.01405	14.34999	3.21	0.0022	102.91342
x35	1	-58.63545	14.34999	-4.09	0.0001	245.32696
x45	1	-19.38870	14.34999	-1.35	0.1820	364.73374
x16	1	-10.29855	5.85836	-1.76	0.0841	56.75880
x26	1	-11.50980	5.85836	-1.96	0.0543	12.67835
x36	1	17.74345	5.85836	3.03	0.0037	146.71988
x46	1	1.80745	5.85836	0.31	0.7588	2.47265
x17	1	-12.00105	5.85836	-2.05	0.0451	145.51597
x27	1	-15.60705	5.85836	-2.66	0.0100	123.84187
x37	1	22.20870	5.85836	3.79	0.0004	1478.06878
x47	1	5.33745	5.85836	0.91	0.3661	71.22093

SC(Local)

SC(Herbi)

SC(Bloq)

SC(interac)

A continuación se verifican los resultados de las pruebas de significancia de los factores e interacción empleando la suma de cuadrados extras secuencial.

Prueba de significatividad para factores e interacción Herbicida*localidad

Factor Localidad

Las variables indicadoras para el factor Localidad son X_1, X_2, X_3, X_4 ; por lo tanto,

$$CM(LOCAL) = \frac{SC(X_1) + SC(X_2 / X_1) + SC(X_3 / X_1, X_2) + SC(X_4 / X_1, X_2, X_3)}{4}$$

$$CM(LOCAL) = \frac{1598.78160 + 744.59760 + 3456.53449 + 7242.15197}{4} = \frac{13042.06566}{4} = 3260.51642$$

dividiendo el $CM(LOCAL)$ por el CME , se obtiene

$$F_{LOCAL} = \frac{CM(LOCAL)}{CME} = \frac{3260.51642}{85.80096} = 38.00 \Rightarrow P(F_{4,57} > 38.00) < 0.0001.$$

Factor Herbicida

Para probar el efecto principal del Factor Herbicida se tienen las variables indicadoras X_5, X_6, X_7 ; por lo tanto,

$$CM(HERBICIDA) = \frac{SC(X_5 / X_1, \dots, X_4) + SC(X_6 / X_1, \dots, X_5) + SC(X_7 / X_1, \dots, X_6)}{3}$$

$$CM(HERBICIDA) = \frac{923.43497 + 3198.95350 + 11900}{3} = 5340.89352$$

dividiendo el $CM(HERBICIDA)$ por el CME , se obtiene

$$F_{HERBICIDA} = \frac{CM(HERBICIDA)}{CME} = \frac{5340.89352}{85.80096} = 62.25 \Rightarrow P(F_{3,57} > 62.25) < 0.0001.$$

Interacción Herbicida*Localidad

Para probar la significancia de la interacción se tienen las variables indicadoras $X_{15}, X_{25}, X_{35}, X_{45}, X_{16}, X_{26}, X_{36}, X_{46}, X_{17}, X_{27}, X_{37}, X_{47}$; por lo tanto,

$$CM(INTER) = \frac{SC(X_{15} / X_1, \dots, X_{10}) + SC(X_{25} / X_1, \dots, X_{10}, X_{15}) + \dots + SC(X_{47} / X_1, \dots, X_{46})}{12}$$

$$CM(INTER) = \frac{7.555 + 102.913 + 245.32696 + \dots + 71.22093}{12} = \frac{2757.80690}{12} = 229.81724$$

dividiendo el $CM(INTER)$ por el CME , se obtiene el estadístico F para probar si la interacción Herbicida*Localidad es significativa.

$$F_{INTERARCCION} = \frac{CM(INTER)}{CME} = \frac{229.81724}{85.80096} = 2.68 \Rightarrow P(F_{12,57} > 2.68) = 0.0063$$

los resultados coinciden con los entregado por el enfoque ANOVA visto previamente (pp 59).

El modelo de regresión obtenido es el siguiente:

$$\begin{aligned} D7 - D1_{ijk} = & 62.64 + \underbrace{17.16X_1 + 5.41X_2 - 32.14X_3 + 14.18X_4}_{LOCALIDAD} \\ & - \underbrace{97.49 + 32.73X_6 + 34.49X_7}_{TRATAMIENTOS} - \underbrace{0.75X_8 - 0.14X_9 - 0.91X_{10}}_{BLOQUES} \\ & + \underbrace{31.29X_1X_5 + 46.01X_2X_5 - 58.63X_3X_5 - 19.38X_4X_5}_{INTERACCION LOCALIDAD*TRATAMIENTO} \\ & - \underbrace{10.29X_1X_6 - 11.50X_2X_6 + 17.74X_3X_6 + 1.80X_4X_6}_{INTERACCION LOCALIDAD*TRATAMIENTO} \\ & - \underbrace{12.00X_1X_7 - 15.60X_2X_7 + 22.20X_3X_7 + 5.33X_4X_7}_{INTERACCION LOCALIDAD*TRATAMIENTO} . \end{aligned}$$

6.4. Conclusión análisis grupo 3

6.4.1. Variable Altura H7_H1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en altura de los cultivo, sin embargo; su interacción no resultó significativa.
- Respecto a los efectos principales del Factor Herbicida; Los componentes AJAX5, AJAX6, AJAX7 influyen significativamente sobre la variable de interés, con efectos estadísticamente similares y superando de manera importante a los rendimientos de los cultivos sin tratamiento (Control).
- En relación a los efectos principales del Factor Localidad; AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) maximiza los rendimientos en altura de los cultivos superando significativamente a las demás localidades. Además CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN) y ELAUR (EL LAUREL, CONTULMO) poseen efectos estadísticamente similares e inferiores a las demás localidades.

6.4.2. Variable Altura D7_D1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en diámetro de los cultivo, incluyendo la interacción de ambos factores.
- Respecto al análisis de la interacción Herbicida*Localidad; Los herbicidas AJAX5, AJAX6 y AJAX7 no presentan diferencias significativas en sus efectos medios para cada una de las 5 localidades, no obstante, estos superan considerablemente a los efectos medios del Tratamiento Control.

7. Grupo 4: Control, SPIDER8, SPIDER9, SPIDER10

En este capítulo se analizan los modelos de las variables respuesta $H7_H1$ y $D7_D1$, asociados a los cultivos de Eucaliptus Globulus que fueron sometidos a los métodos de control de maleza SPIDER8, SPIDER9, SPIDER10 y al tratamiento Control.

Los factores analizados y sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- Tratamiento o Herbicida:
 1. Control
 2. SPIDER8
 3. SPIDER9
 4. SPIDER10

- Localidad:
 1. AVELL
 2. ELAUR
 3. CASQUE
 4. LANAR
 5. STADR.

Los modelos estadísticos propuestos son

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (9.1)$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (9.2)$$

donde

$H7_H1_{ijk}$: Altura de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

$D7_D1_{ijk}$: Diámetro de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

μ : Media global.

α_i : Efecto del factor Localidad.

β_j : Efecto del Tratamiento o Herbicida.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción entre los factores Herbicida y Localidad.

γ : Efecto de los bloques.

ε_{ijk} : Error aleatorio.

con

$i = 1, 2, \dots, 5$ Localidades.

$j = 1$ Control, 2 SPIDER8, 3 SPIDER9 y 4 SPIDER10.

$k = 1, 2, 3, 4$ Bloques.

7.1. Análisis del modelo asociado a la variable H7_H1

7.1.1. Enfoque ANOVA para H7_H1

A continuación se presenta la tabla de análisis de varianza entregada por SAS.

The GLM Procedure					
Class Level Information					
Class	Levels	Values			
HERBICIDAS	4	Control	SPIDER10	SPIDER8	SPIDER9
LOCAL	5	AVELL	CASQUE	ELAUR	LANAR STADR
BLOQ	4	1	2	3	4
Number of observations					80
Dependent Variable: H7_H1					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	22	2415188.180	109781.281	11.73	<.0001
Error	57	533299.489	9356.131		
Corrected Total	79	2948487.670			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	H7_H1 Mean		
0.819128	14.99780	96.72710	644.9419		

El modelo es significativo y los factores considerados en éste, explican el 81.91% de la variabilidad del crecimiento en altura de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	3	765824.609	255274.870	27.28	<.0001
LOCAL	4	1359422.228	339855.557	36.32	<.0001
BLOQ	3	102188.308	34062.769	3.64	0.0179
HERBICIDAS*LOCAL	12	187753.035	15646.086	1.67	0.0977

Dado que la interacción no es significativa, se analizar los efectos principales de ambos factores, pues, éstos son altamente significativos para el modelo. A continuación se analizan las comparaciones múltiples del Factor Herbicida.

7.1.2. Efectos principales Factor Herbicida

En la Figura 11 y en la tabla de medias se visualiza que los crecimientos promedios de los cultivos con herbicidas SPIDER8, SPIDER9 y SPIDER10, no presentan grandes diferencias en sus alturas medias; sin embargo, superan por más de 200 cm de altura a los cultivos que no recibieron tratamiento (Control). En la siguiente página se presentan las pruebas de comparaciones de medias.

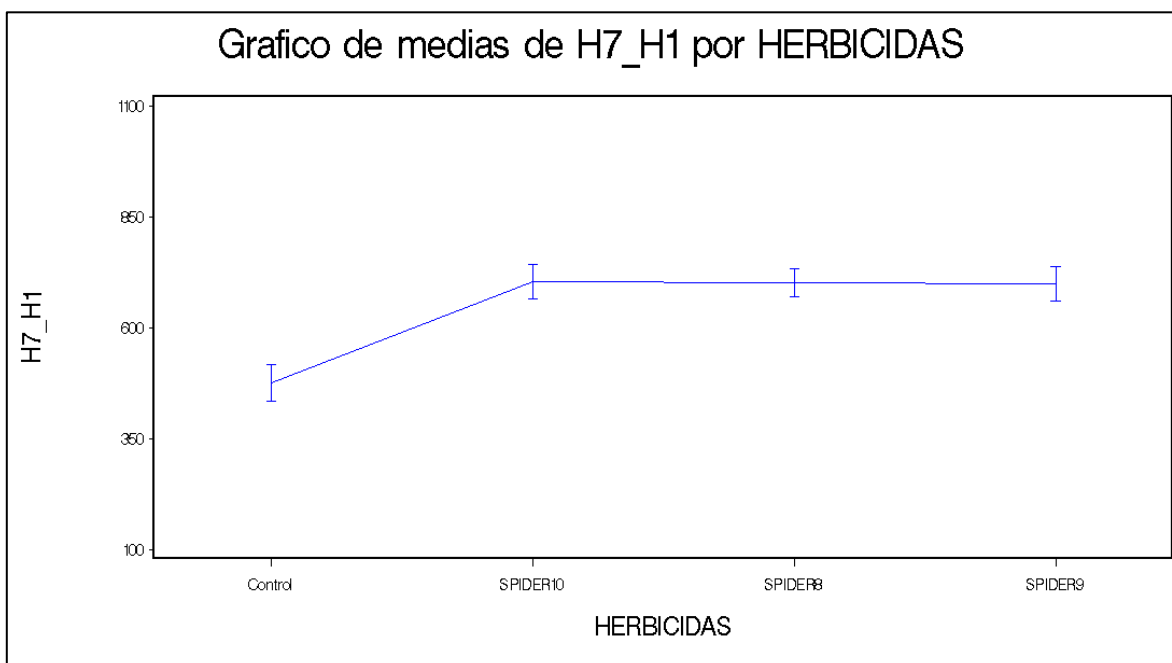


Figura 11. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.

Level of	-----H7_H1-----		
HERBICIDAS	N	Mean	Std Dev
Control	20	475.512300	187.988334
SPIDER10	20	704.219250	173.556673
SPIDER8	20	701.479600	139.749569
SPIDER9	20	698.556500	172.874315

Se puede verificar que los crecimientos promedios de los cultivos tratados con los herbicidas SPIDER8, SPIDER9 y SPIDER10, no presentan diferencias significativas en sus magnitudes; es decir, los efectos producidos son los mismos para los tres. Además el Tratamiento Control es significativamente inferior a estos herbicidas, tal como se muestra en la siguiente tabla de comparaciones.

Effect	HERBICIDAS	HERBICIDAS	Differences of Least Squares Means		DF	Valor t	Pr > t
			Estimador	Error estándar			
HERBICIDAS	Control	SPIDER10	-228.71	30.5878	57	-7.48	<.0001
HERBICIDAS	Control	SPIDER8	-225.97	30.5878	57	-7.39	<.0001
HERBICIDAS	Control	SPIDER9	-223.04	30.5878	57	-7.29	<.0001
HERBICIDAS	SPIDER10	SPIDER8	2.7396	30.5878	57	0.09	0.9289
HERBICIDAS	SPIDER10	SPIDER9	5.6627	30.5878	57	0.19	0.8538
HERBICIDAS	SPIDER8	SPIDER9	2.9231	30.5878	57	0.10	0.9242

7.1.3. Efectos principales Factor Localidad

Al analizar los resultados por localidad nuevamente se tiene que AVELL contiene los cultivos de Eucaliptus Globulus con mayor crecimiento, además de superar significativamente a las otras localidades. Esto se muestra en la Figura 12 presentada a continuación y se verifica en la tabla de comparaciones múltiples de más abajo.

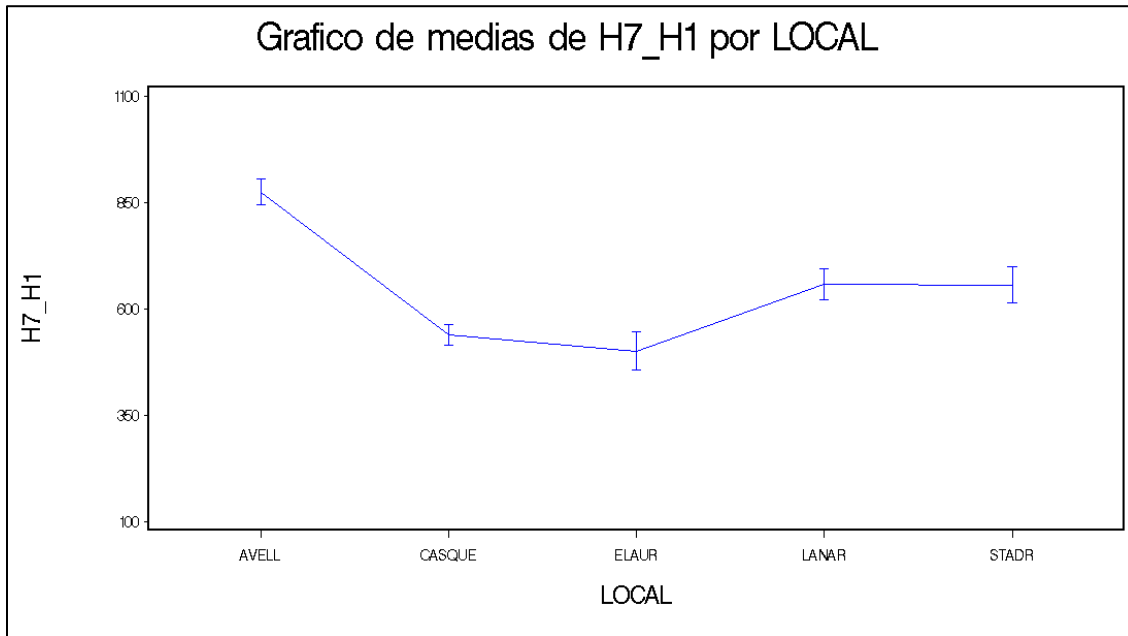


Figura 12. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.

Level of LOCAL	N	Mean	Std Dev
AVELL	16	873.460188	120.364453
CASQUE	16	538.495375	96.400868
ELAUR	16	499.554750	179.029491
LANAR	16	657.862625	146.045351
STADR	16	655.336625	169.635386

Differences of Least Squares Means

Effect	LOCAL	LOCAL	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
LOCAL	AVELL	CASQUE	334.96	34.1982	57	9.79	<.0001
LOCAL	AVELL	ELAUR	373.91	34.1982	57	10.93	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	215.60	34.1982	57	6.30	<.0001
LOCAL	AVELL	STADR	218.12	34.1982	57	6.38	<.0001
LOCAL	CASQUE	ELAUR	38.9406	34.1982	57	1.14	0.2596
LOCAL	CASQUE	LANAR	-119.37	34.1982	57	-3.49	0.0009
LOCAL	CASQUE	STADR	-116.84	34.1982	57	-3.42	0.0012
LOCAL	ELAUR	LANAR	-158.31	34.1982	57	-4.63	<.0001
LOCAL	ELAUR	STADR	-155.78	34.1982	57	-4.56	<.0001
LOCAL	LANAR	STADR	2.5260	34.1982	57	0.07	0.9414

Las localidades de CASQUE y ELAUR poseen efectos estadísticamente similares e inferiores a las demás localidades, como se visualizó en la Figura 12.

7.2. Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1

7.2.1. Enfoque ANOVA para D7_D1

Dependent Variable: D7_D1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	22	29438.58768	1338.11762	13.53	<.0001
Error	57	5635.66281	98.87128		
Corrected Total	79	35074.25049			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	D7_D1 Mean
0.839322	11.55734	9.943404	86.03539

Se aprecia un modelo significativo que explica el 83.93% de la variabilidad del crecimiento en diámetro de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	3	14697.81315	4899.27105	49.55	<.0001
LOCAL	4	10972.38799	2743.09700	27.74	<.0001
BLOQ	3	1193.79256	397.93085	4.02	0.0115
HERBICIDAS*LOCAL	12	2574.59398	214.54950	2.17	0.0258

Considerando que la interacción Herbicida*Localidad para el modelo de la variable diámetro es significativa, se deben analizar los efectos simples del Factor Herbicida dentro de cada localidad, esto se mostrará en las siguientes páginas junto con el gráfico de las interacciones de los factores.

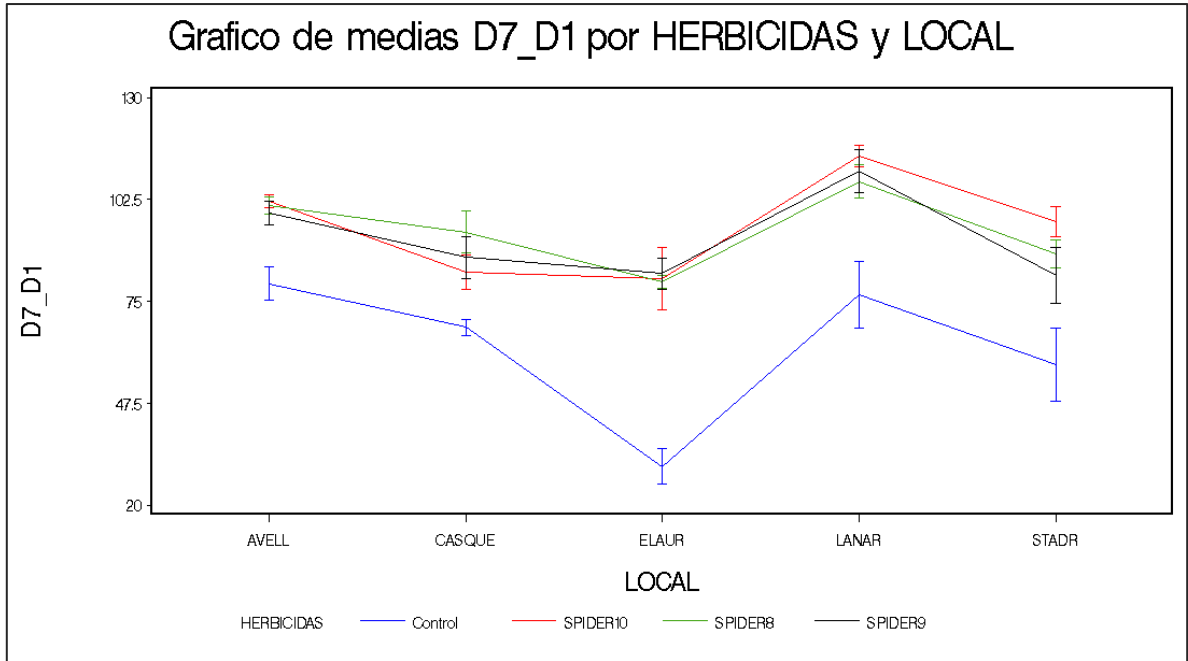


Figura 13. Medias de la interacción Herbicida*Localidad para D7_D1.

Level of HERBICIDAS	Level of LOCAL	N	-----D7_D1----- Mean	Std Dev
Control	AVELL	4	79.808250	9.0008073
Control	CASQUE	4	68.064500	4.2790992
Control	ELAUR	4	30.500250	9.4977062
Control	LANAR	4	76.827250	18.0143357
Control	STADR	4	58.026250	19.6166322
SPIDER10	AVELL	4	102.013250	3.4784872
SPIDER10	CASQUE	4	82.919000	9.3169024
SPIDER10	ELAUR	4	81.161250	16.5728836
SPIDER10	LANAR	4	114.292500	5.8553374
SPIDER10	STADR	4	96.547250	8.2585577
SPIDER8	AVELL	4	100.854750	4.8255810
SPIDER8	CASQUE	4	93.763000	11.5492312
SPIDER8	ELAUR	4	80.286250	3.6349051
SPIDER8	LANAR	4	107.313000	8.9903961
SPIDER8	STADR	4	87.805750	7.4904754
SPIDER9	AVELL	4	98.916750	6.4651364
SPIDER9	CASQUE	4	86.837750	11.1571422
SPIDER9	ELAUR	4	82.460500	8.1868406
SPIDER9	LANAR	4	110.224000	11.6025153
SPIDER9	STADR	4	82.086250	15.0608990

En la Figura 13 se observa que los herbicidas SPIDER8, SPIDER9 y SPIDER10 tienen efectos medios muy similares sobre el diámetro de los árboles; sin embargo, estos son significativamente superiores a los resultados obtenidos por el tratamiento Control. A continuación se prueban los efectos de la interacción.

7.2.2. Analisis de la interacción Herbicida*Localidad

Las hipótesis condicionadas por localidad se definen a continuación

$$H_0 : \mu_{SPIDER8} = \mu_{SPIDER9} = \mu_{SPIDER10} = \mu_{Control} / AVELL \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / AVELL$$

$$H_0 : \mu_{SPIDER8} = \mu_{SPIDER9} = \mu_{SPIDER10} = \mu_{Control} / CASQUE \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / CASQUE$$

$$H_0 : \mu_{SPIDER8} = \mu_{SPIDER9} = \mu_{SPIDER10} = \mu_{Control} / ELAUR \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / ELAUR$$

$$H_0 : \mu_{SPIDER8} = \mu_{SPIDER9} = \mu_{SPIDER10} = \mu_{Control} / LANAR \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / LANAR$$

$$H_0 : \mu_{SPIDER8} = \mu_{SPIDER9} = \mu_{SPIDER10} = \mu_{Control} / STADR \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j / STADR$$

para algún $i \neq j$

La tabla presentada más abajo contiene las pruebas de hipótesis condicionales definidas anteriormente, donde se observa que para los cinco tests el valor-p es inferior al nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que existe al menos un par de medias significativamente diferentes de entre los 4 niveles del Factor Herbicida, para cada una de las 5 localidades. Ésta afirmación anterior se verifica en la siguiente página, donde se incluye la tabla con los test comparaciones múltiples dentro de cada localidad.

Procedimiento GLM
Medias de cuadrados mínimos

LOCAL*HERBICIDAS Efecto dividido por LOCAL for D7_D1

LOCAL	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
AVELL	3	1315.838238	438.612746	4.44	0.0072
CASQUE	3	1414.412013	471.470671	4.77	0.0049
ELAUR	3	7752.231336	2584.077112	26.14	<.0001
LANAR	3	3522.108855	1174.036285	11.87	<.0001
STADR	3	3267.816685	1089.272228	11.02	<.0001

Obsérvese que efectivamente los herbicidas SPIDER8, SPIDER9 y SPIDER10 no presentan diferencias significativas en sus efectos medios para las 4 localidades de AVELL, CASQUE, ELAUR y LANAR, tal como se mencionó en la interpretación de la Figura 12. No obstante, en la localidad de STADR el herbicida SPIDER9 es significativamente menor que SPIDER10 en cuanto a sus efectos medios.

Por otro lado, los efectos medios del tratamiento Control son superados considerablemente por los herbicidas de tipo SPIDER, esto se marca con rojo en la siguiente tabla.

Differences of Least Squares Means

Effect	LOCAL	HERBICIDAS	_LOCAL	_HERBICIDAS	Pr > t
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	Control	AVELL	SPIDER10	0.0025
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	Control	AVELL	SPIDER8	0.0041
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	Control	AVELL	SPIDER9	0.0087
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	SPIDER10	AVELL	SPIDER8	0.8697
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	SPIDER10	AVELL	SPIDER9	0.6613
LOCAL*HERBICIDAS	AVELL	SPIDER8	AVELL	SPIDER9	0.7838
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	Control	CASQUE	SPIDER10	0.0390
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	Control	CASQUE	SPIDER8	0.0006
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	Control	CASQUE	SPIDER9	0.0099
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	SPIDER10	CASQUE	SPIDER8	0.1285
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	SPIDER10	CASQUE	SPIDER9	0.5795
LOCAL*HERBICIDAS	CASQUE	SPIDER8	CASQUE	SPIDER9	0.3288
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	Control	ELAUR	SPIDER10	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	Control	ELAUR	SPIDER8	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	Control	ELAUR	SPIDER9	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	SPIDER10	ELAUR	SPIDER8	0.9014
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	SPIDER10	ELAUR	SPIDER9	0.8541
LOCAL*HERBICIDAS	ELAUR	SPIDER8	ELAUR	SPIDER9	0.7583
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	Control	LANAR	SPIDER10	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	Control	LANAR	SPIDER8	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	Control	LANAR	SPIDER9	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	SPIDER10	LANAR	SPIDER8	0.3251
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	SPIDER10	LANAR	SPIDER9	0.5651
LOCAL*HERBICIDAS	LANAR	SPIDER8	LANAR	SPIDER9	0.6804
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	Control	STADR	SPIDER10	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	Control	STADR	SPIDER8	<.0001
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	Control	STADR	SPIDER9	0.0012
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	SPIDER10	STADR	SPIDER8	0.2189
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	SPIDER10	STADR	SPIDER9	0.0443
LOCAL*HERBICIDAS	STADR	SPIDER8	STADR	SPIDER9	0.4193

7.3. Conclusión análisis grupo 4

7.3.1. Variable Altura H7_H1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en altura de los cultivos, sin embargo; su interacción no resultó significativa.
- Respecto a los efectos principales del Factor Herbicida; Los componentes SPIDER8, SPIDER9, SPIDER10 influyen significativamente sobre la variable de interés, con efectos estadísticamente similares y superando de manera importante a los rendimientos de los cultivos sin tratamiento (Control).
- En relación a las localidades, los crecimientos promedios más altos se observaron en AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO). Para el caso de CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN) y ELAUR (EL LAUREL, CONTULMO), estas poseen efectos estadísticamente similares e inferiores a las demás localidades.

7.3.2. Variable Altura D7_D1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en diámetro de los cultivo, incluyendo la interacción de ambos factores.
- Respecto al análisis de la interacción Herbicida*Localidad; Los tres herbicidas SPIDER no presentan diferencias significativas en sus efectos medios para las 4 localidades de AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO), CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN), ELAUR (EL LAUREL, CONTULMO) y LANAR LA NARANJA, PUERTO MONTT), no obstante, en STADR (SANTA ADRIANA, NACIMIENTO) el herbicida SPIDER9 es estadísticamente menor que SPIDER10 (significancia marginal de 0.0443). Por otro lado, los efectos medios del tratamiento Control son superados considerablemente por los herbicidas SPIDER.

8. Grupo 5: Control, ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14, ROUNDUP15, ROUNDUP16

En esta sección se analizan los modelos de las variables respuesta H7_H1 y D7_D1, asociados a los cultivos de Eucaliptus Globulus que fueron sometidos a los métodos de control de maleza ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14, ROUNDUP15 y al tratamiento Control, además de estudiar y comparar sus efectos sobre las variables de interés.

Los factores analizados y sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- Tratamiento o Herbicida:

1. Control
2. ROUNDUP11
3. ROUNDUP12
4. ROUNDUP13
5. ROUNDUP14
6. ROUNDUP15
7. ROUNDUP16

- Localidad:

1. AVELL
2. ELAUR
3. CASQUE
4. LANAR
5. STADR.

Los modelos estadísticos propuestos son

$$H7_H1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (10.1)$$

$$D7_D1_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (10.2)$$

donde

$H7_H1_{ijk}$: Altura de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

$D7_D1_{ijk}$: Diámetro de la k -ésima réplica sometida al j -ésimo tratamiento en la i -ésima localidad.

μ : Media global.

α_i : Efecto del factor Localidad.

β_j : Efecto del Tratamiento o Herbicida.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción entre los factores Herbicida y Localidad.

γ : Efecto de los bloques.

ε_{ijk} : Error aleatorio.

con

$i = 1, 2, \dots, 5$ Localidades.

$j = 1$ Control, 2 ROUNDUP11, 3 ROUNDUP12, ..., 7 ROUNDUP16.

$k = 1, 2, 3, 4$ Bloques.

A continuación se presentan los datos correspondientes a la séptima medición de la variable Altura (H7) y la variable Diámetro (D7) respectivamente. Notar que ambos conjuntos de datos contienen dos observaciones faltantes.

Datos H7 Herbicidas por Localidad	Bloques				Total general
	1	2	3	4	
AVELL	6708.01	6295.19	6306.52	6734.48	26044.2
Control	714	709	679.33	872	2974.33
ROUNDUP11	1012.67	916.92	945.38	945.38	3820.35
ROUNDUP12	952	1003.08	962.67	1086.43	4004.18
ROUNDUP13	1074.67	974	992.67	934	3975.34
ROUNDUP14	980.67	887.86	853.85	1025.33	3747.71
ROUNDUP15	1048	969.33	884.62	978.67	3880.62
ROUNDUP16	926	835	988	892.67	3641.67
CASQUE	3799.49	3758.05	3302.8	3759.09	14619.43
Control	442	496.43	487.33	483.33	1909.09
ROUNDUP11	593.33	506.67	577.69	637.86	2315.55
ROUNDUP12	617.33	583.33	353.33	568	2121.99
ROUNDUP13	480	580	507.14	356.33	1923.47
ROUNDUP14	579.29	545	575	610	2309.29
ROUNDUP15	536	539.29	340	563.57	1978.86
ROUNDUP16	551.54	507.33	462.31	540	2061.18
ELAUR	3283.6	2653.83	3980.57	3154.39	13072.39
Control	326.67	179.17	215	320	1040.84
ROUNDUP11	534.44	606	674	273.33	2087.77
ROUNDUP12	521.43	557.78	634.62	595	2308.83
ROUNDUP13	555	475	670	643.33	2343.33
ROUNDUP14	548.33		542.5	439.4	1530.23
ROUNDUP15	372.73	410	685.56	470	1938.29
ROUNDUP16	425	425.88	558.89	413.33	1823.1
LANAR	4462.91	4316.85	4613.19	6181	19573.95
Control	448.33	487.14	472	783	2190.47
ROUNDUP11	550	636.67	622.86	870	2679.53
ROUNDUP12	653.33	772.67	556	1006	2988
ROUNDUP13	773.33	626.36	586.67	840	2826.36
ROUNDUP14	696.67	592.22	745.33	895.33	2929.55
ROUNDUP15	653.75	622.5	798.33	936	3010.58
ROUNDUP16	687.5	579.29	832	850.67	2949.46
STADR	3739.1	4427.35	4543.83	4644.2	17354.48
Control	387.14	597.14	564.17	262	1810.45
ROUNDUP11	709.29	573.57	821.43	713.33	2817.62
ROUNDUP12	663.08	751.67	695	851.54	2961.29
ROUNDUP13	648.18	719.33	714	738.33	2819.84
ROUNDUP14		553.33	571.54	748	1872.87
ROUNDUP15	883.08	702.31	542.31	716	2843.7
ROUNDUP16	448.33	530	635.38	615	2228.71
Total general	21993.11	21451.27	22746.91	24473.16	90664.45

Datos correspondientes a la séptima medición de la variable Diámetro (D7).

Suma de D7	Bloques				
Herbicidas por Localidad	1	2	3	4	Total general
AVELL	713.199	675.603	697.672	732.93	2819.404
Control	74.533	82.3	77.867	95.2	329.9
ROUNDUP11	104.467	94.923	102.923	107.077	409.39
ROUNDUP12	103.2	103.385	102.2	111.786	420.571
ROUNDUP13	112	100.933	108.4	108.6	429.933
ROUNDUP14	108.933	98	98.538	108.8	414.271
ROUNDUP15	107.733	102.133	101.077	101.2	412.143
ROUNDUP16	102.333	93.929	106.667	100.267	403.196
CASQUE	577.6	578.419	531.796	558.175	2245.99
Control	66.2	73.857	67.467	74.267	281.791
ROUNDUP11	90.333	78.933	92.692	91.429	353.387
ROUNDUP12	95.6	84.8	60.667	81	322.067
ROUNDUP13	73	91.4	80.714	57.8	302.914
ROUNDUP14	83.857	84.786	87.75	88.643	345.036
ROUNDUP15	83.533	85.643	62.583	80.286	312.045
ROUNDUP16	85.077	79	79.923	84.75	328.75
ELAUR	459.561	357.083	480.292	416.9	1713.836
Control	44	22.667	28	37	131.667
ROUNDUP11	78.778	79	76.6	33.333	267.711
ROUNDUP12	76	79.333	85.462	80.5	321.295
ROUNDUP13	71.2	57.833	80.091	83	292.124
ROUNDUP14	73		56.25	63.4	192.65
ROUNDUP15	52	62	86.889	64	264.889
ROUNDUP16	64.583	56.25	67	55.667	243.5
LANAR	736.084	713.741	755.988	821.919	3027.732
Control	59.167	81.143	79.1	102.7	322.11
ROUNDUP11	104.5	106	107.571	119.286	437.357
ROUNDUP12	117.333	110.8	106.8	137.733	472.666
ROUNDUP13	111.667	112.909	112.6	115.533	452.709
ROUNDUP14	121.417	108.889	111.267	115.867	457.44
ROUNDUP15	112	96.5	121.25	123.667	453.417
ROUNDUP16	110	97.5	117.4	107.133	432.033
STADR	486.786	576.419	573.651	578.625	2215.481
Control	53	82.571	68.333	37.4	241.304
ROUNDUP11	89.429	72.571	99.5	90.133	351.633
ROUNDUP12	86.308	96.5	85.5	104.308	372.616
ROUNDUP13	87.818	86.267	92.933	93.917	360.935
ROUNDUP14		77.833	74.615	90.867	243.315
ROUNDUP15	109.231	92.077	77.385	84	362.693
ROUNDUP16	61	68.6	75.385	78	282.985
Total general	2973.23	2901.265	3039.399	3108.549	12022.443

8.1. Estimador de los valores faltantes utilizando el método de Yates y el Enfoque de Regresión.

Los dos conjuntos de datos anteriormente presentados corresponden a las variables respuestas H7 y D7 respectivamente. Estos contienen 2 observaciones perdidas asociadas a las localidades de ELAUR y STADR, ambas del herbicida ROUNDUP14 para el bloque 2 y 1 respectivamente.

Una observación faltante introduce un nuevo problema en el análisis debido a que los tratamientos dejan de ser **ortogonales a los bloques**; es decir, no ocurren todos los tratamientos en cada uno de los bloques. Para este problema es necesario estimar los valores perdidos o faltantes mediante un análisis aproximado, conocido como método de Yates. Cuando se estiman n valores perdidos, se realiza el análisis de varianza usual como si las observaciones estimadas fueran datos reales, con los grados de libertad reducidos en n . (Montgomery. 1991).

En general la observación faltante será denotada como x . Se hará que $y'_{..}$ represente el gran total con una observación faltante, y'_i represente el total del tratamiento con una observación faltante, y que $y'_{.j}$ represente el total del bloque con una observación faltante. Suponga que quiere estimarse la observación faltante x de tal modo que x tenga una participación mínima en la suma de cuadrados del error. Puesto que

$SS_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..})^2$, esto es equivalente a elegir x para minimizar

$$SS_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a \left(\sum_{j=1}^b y_{ij} \right)^2 - \frac{1}{a} \sum_{j=1}^b \left(\sum_{i=1}^a y_{ij} \right)^2 + \frac{1}{ab} \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij} \right)^2$$

o

$$SS_E = x^2 - \frac{1}{b} (y'_i + x)^2 - \frac{1}{a} (y'_{.j} + x)^2 + \frac{1}{ab} (y'_{..} + x)^2 + R$$

donde R incluye todos los términos en donde no interviene x .

A partir de $dSS_E/dx = 0$, se obtiene

$$x = \frac{ay'_i + by'_j - y'_{..}}{(a-1)(b-1)}$$

como la estimación de la observación faltante.

Dado que se tienen dos observaciones perdidas (x, y) para H7 y D7 que deben ser estimadas. Se utiliza el mismo método pero con algunas variaciones que se presentan a continuación:

a) Estimación inicial de x

$$\hat{x} = \frac{\bar{T} + \bar{B}}{2}$$

\bar{T} : Promedio del tratamiento donde falta x

\bar{B} : Promedio del bloque donde falta x

b) Teniendo x estimar y

$$\hat{y} = \frac{bB_y + aT_y - S}{(b-1)(a-1)}$$

c) Teniendo y estimar x

$$\hat{x} = \frac{bB_x + aT_x - S}{(b-1)(a-1)}$$

donde

\hat{y} ó \hat{x} : Estimación del dato perdido

b : Número de repeticiones

B : Total del bloque donde falta el dato de x o de y

T : Total del tratamiento donde falta el dato

a : Número de tratamientos

S : Gran total $Y_{..}$ + el dato previamente estimado de x ó y

- d) Repetir los pasos b) y c) hasta que los resultados sean constantes. Los datos se colocan donde faltan los datos perdidos y se recalcula el ANOVA, restándole 2 grados de libertad al error y 2 grados de libertad al total.

Realizando lo anterior para el problema se obtiene lo siguiente:

Estimación de x e y para H7.

B	4		\hat{x} inicial	570.498186
A	35			
(b-1)(a-1)	102			
B (total bloq)	T (total trat)	S (Y..+ estimado)		
21993.11	1872.87	91234.94819	610.666096	\hat{y}
21451.27	1530.23	91275.1161	471.451117	\hat{x}
21993.11	1872.87	91135.90112	611.637146	\hat{y}
21451.27	1530.23	91276.08715	471.441597	\hat{x}
21993.11	1872.87	91135.8916	611.637239	\hat{y}
21451.27	1530.23	91276.08724	471.441596	\hat{x}
21993.11	1872.87	91135.8916	611.637239	\hat{y}
21451.27	1530.23	91276.08724	471.441596	\hat{x}

Por lo tanto $\hat{x} = 471.441596$ e $\hat{y} = 611.637239$.

Lo anterior implica que los crecimientos promedios estimados para esas parcelas correspondientes a las localidades de ELAUR y STADR son respectivamente

$$\hat{x} - H7_{\text{ELAUR}} = 471.442 - 14.200 = 457.242$$

$$\hat{y} - H7_{\text{STADR}} = 611.637 - 17.733 = 593.904$$

Estimación de x e y para D7.

B	4		\hat{x} inicial	74.7739951
A	35			
(b-1)(a-1)	102			
B (total bloq)	T (total trat)	S (Y..+ estimado)		
2973.23	243.315	12097.217	81.4875295	\hat{y}
2901.265	192.65	12103.93053	61.2145046	\hat{x}
2973.23	243.315	12083.6575	81.6204656	\hat{y}
2901.265	192.65	12104.06347	61.2132013	\hat{x}
2973.23	243.315	12083.6562	81.6204784	\hat{y}
2901.265	192.65	12104.06348	61.2132012	\hat{x}
2973.23	243.315	12083.6562	81.6204784	\hat{y}
2901.265	192.65	12104.06348	61.2132012	\hat{x}

Por lo tanto $\hat{x} = 61.2132012$ e $\hat{y} = 81.6204784$.

$$\hat{x} - H7_{\text{ELAUR}} = 61.213 - 2.200 = 59.013$$

$$\hat{y} - H7_{\text{STADR}} = 81.621 - 17.733 = 79.287.$$

Estas estimaciones también se pueden hacer utilizando el enfoque de regresión, ya que corresponde al método exacto de estimación cuando las técnicas del análisis de varianza no son aplicables en presencia de diseños en bloques no balanceados. (Montgomery 1991).

Se hará solo para el caso de la variable Altura H7_H1, y se definen las variables indicadoras la que se presentan a continuación.

Variables indicadoras para Factor Localidad

$$X_1 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es AVELL} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad X_2 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es CASQUE} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_3 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es ELAUR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad X_4 = \begin{cases} 1 & \text{si localidad es LANAR} \\ -1 & \text{si localidad es STADR} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

VARIABLES INDICADORAS PARA FACTOR HERBICIDA

$$X_5 = \begin{cases} 1 & \text{Control} \\ -1 & \text{Roundup16} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_6 = \begin{cases} 1 & \text{Roundup11} \\ -1 & \text{Roundup16} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_7 = \begin{cases} 1 & \text{Roundup12} \\ -1 & \text{Roundup16} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_8 = \begin{cases} 1 & \text{Roundup13} \\ -1 & \text{Roundup16} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_9 = \begin{cases} 1 & \text{Roundup14} \\ -1 & \text{Roundup16} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_{10} = \begin{cases} 1 & \text{Roundup15} \\ -1 & \text{Roundup16} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

VARIABLES AUXILIARES PARA BLOQUES

$$X_{11} = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 1} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_{12} = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 2} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

$$X_{13} = \begin{cases} 1 & \text{Bloque 3} \\ -1 & \text{Bloque 4} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

Los resultados proporcionados por el enfoque de regresión se presentan a continuación

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
HERBICIDAS	7	Control ROUNDUP11 ROUNDUP12 ROUNDUP13 ROUNDUP14 ROUNDUP15 ROUNDUP16
LOCAL	5	AVELL CASQUE ELAUR LANAR STADR
BLOQ	4	1 2 3 4

Número de observaciones 138

Procedimiento REG
Variable dependiente: H7_H1
Analysis of Variance

Fuente	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Valor	Pr > F
Modelo	37	4435338	119874	11.95	<.0001
Error	100	1003106	10031		
Total corregido	137	5438443			

Root MSE	100.15516	R-cuadrado	0.8156
Media dependiente	636.47117	Adj R-Sq	0.7473
Coeff Var	15.73601		

Parámetros estimados						
Variable	DF	Parameter	Standard	Valor t	Pr > t	Type I SS
		Estimate	Error			
Término ind	1	475.51230	22.39537	21.23	<.0001	55903187
x1	1	249.28695	44.79075	5.57	<.0001	1173329
x2	1	-15.30655	44.79075	-0.34	0.7333	1279602
x3	1	-233.91905	44.79075	-5.22	<.0001	943258
x4	1	40.07170	44.79075	0.89	0.3731	35889
x5	1	-1115.42682	145.37327	-7.67	<.0001	9386.66671
x6	1	189.58950	31.67184	5.99	<.0001	16958
x7	1	223.64005	31.67184	7.06	<.0001	109483
x8	1	198.83920	31.67184	6.28	<.0001	90923
x9	1	177.25542	32.73038	5.42	<.0001	96944
X10	1	186.47720	31.67184	5.89	<.0001	347737
x11	1	-9.11158	14.90026	-0.61	0.5423	46113
x12	1	-28.60293	14.90026	-1.92	0.0578	48625
X13	1	-5.61273	14.70858	-0.38	0.7036	1639.80043
x15	1	-198.14593	290.39462	-0.68	0.4966	10260
x25	1	799.32232	290.39462	2.75	0.0070	6314.70644
x35	1	-449.40821	291.28811	-1.54	0.1260	339.98292
x45	1	53.75557	290.39462	0.19	0.8535	20482
x16	1	23.36550	63.34368	0.37	0.7130	1351.92685
x26	1	-88.15350	63.34368	-1.39	0.1671	1420.29594
x36	1	71.75975	63.34368	1.13	0.2600	232.77147
x46	1	-68.12450	63.34368	-1.08	0.2848	15096
x17	1	35.02245	63.34368	0.55	0.5816	898.88216
x27	1	-169.09855	63.34368	-2.67	0.0089	13086
x37	1	92.95745	63.34368	1.47	0.1454	4369.56327
x47	1	-21.95105	63.34368	-0.35	0.7297	1259.78878
x18	1	52.29655	63.34368	0.83	0.4110	26.19439
x28	1	-194.69420	63.34368	-3.07	0.0027	41352
x38	1	127.76655	63.34368	2.02	0.0464	28512
x48	1	-38.51045	63.34368	-0.61	0.5446	8046.55555
x19	1	17.53983	63.87953	0.27	0.7842	1609.68095
x29	1	-77.02217	63.87953	-1.21	0.2308	1499.17313
x39	1	62.04936	67.82568	0.91	0.3625	5289.72968
x49	1	6.01483	63.87953	0.09	0.9252	25.75682
x110	1	41.04530	63.34368	0.65	0.5185	927.61362
x210	1	-168.55120	63.34368	-2.66	0.0091	67395
x310	1	38.35205	63.34368	0.61	0.5462	4876.92060
x410	1	17.65180	63.34368	0.28	0.7811	778.96511

SC(Local)

SC(Herb)

SC(Bloq)

SC(Interac)

Estimación de los datos utilizando los parámetros estimados.

Dato 1	Loca. ELAUR	Herb. Roundup 14	Bloque 2	Interacción
Variables	X3=1	X9=1	X12=1	X39=1
Parámetro	-233.9105	177.25542	-28.60293	62.04936

$$\overline{H7_H1}_{ELAUR} = 475.51 - \underbrace{233.91(1)_3}_{LOCALIDAD} + \underbrace{177.26(1)_9}_{HERBICIDA} - \underbrace{28.60(1)_{12}}_{BLOQUES} + \underbrace{62.05(1)_{39}}_{INTERACCIÓN} = 452.304$$

Dato 2	Loca. STADR	Herb. Roundup 14	Bloque 1	Interacción
Variables	X1=X2=X3=X4=-1	X9=1	X11=1	X19=X29=X39=X49=-1
Parámetros	249.28695	177.25542	-9.11158	17.53983
Parámetros	-15.30655			-77.02217
Parámetros	-233.91905			63.04936
Parámetros	40.0717			6.01483

$$\begin{aligned} \overline{H7_H1}_{STADR} = & 475.51 - \underbrace{233.91(-1)_1 - 15.31(-1)_2 - 233.92(-1)_3 + 40.07(-1)_4}_{LOCALIDAD} + \underbrace{177.4509(1)_9}_{HERBICIDA} - \underbrace{9.17(1)_{11}}_{BLOQUES} \\ & + \underbrace{17.34(-1)_{19} - 77.22(-1)_{29} + 63.09(-1)_{39} + 5.82(-1)_{49}}_{INTERACCIÓN} = 594.624 . \end{aligned}$$

Resultados bastante similares a los obtenidos con el método de Yates.

Del mismo modo se procede para la estimación de los datos asociados a la variable Diámetro D7_D1.

Ubicando las estimaciones, se obtienen los vectores H7_H1 y D7_D1 y se recalcula el ANOVA restando 2 grados de libertad al error y por lo tanto 2 grados de libertad al total.

8.2. Análisis del modelo asociado a la variable H7_H1

Los resultados entregados por el programa SAS se presentan a continuación

The GLM Procedure
Class Level Information

Class	Levels	Values
HERBICIDAS	7	Control ROUNDUP11 ROUNDUP12 ROUNDUP13 ROUNDUP14 ROUNDUP15 ROUNDUP16
LOCAL	5	AVELL CASQUE ELAUR LANAR STADR
BLOQ	4	1 2 3 4

Number of observations 140

Dependent Variable: H7_H1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	37	4468903.034	120781.163	12.04050	<.0001
Error	102-2	1003124.074	10031.24074		
Corrected Total	139-2	5472027.107			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	H7_H1 Mean
0.816681	15.61999	99.16930	634.8869

El modelo es significativo y los factores considerados en éste explican el 81.66% de la variabilidad del crecimiento en altura de los árboles .

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	6	669040.770	111506.795	11.12	<.0001
LOCAL	4	3464651.548	866162.887	86.34	<.0001
BLOQ	3	98083.063	32694.354	3.25	0.0249
HERBICIDAS*LOCAL	24	237127.653	9880.319	0.98	0.4986

Dado que la interacción no es significativa se pueden analizar los efectos principales de ambos factores, pues estos resultaron ser importantes para explicar la variable altura.

A continuación se presentan los efectos principales y las comparaciones múltiples del Factor Herbicida.

8.2.1. Efectos principales Factor Herbicida

En la Figura 14 y en la tabla de medias se visualiza que los crecimientos promedios de los cultivos con herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12,..., ROUNDUP16 no presentan grandes diferencias en sus alturas medias; sin embargo, estos superan considerablemente a los cultivos que no recibieron tratamiento (Control). En la siguiente página se presentan las pruebas de comparaciones de medias.

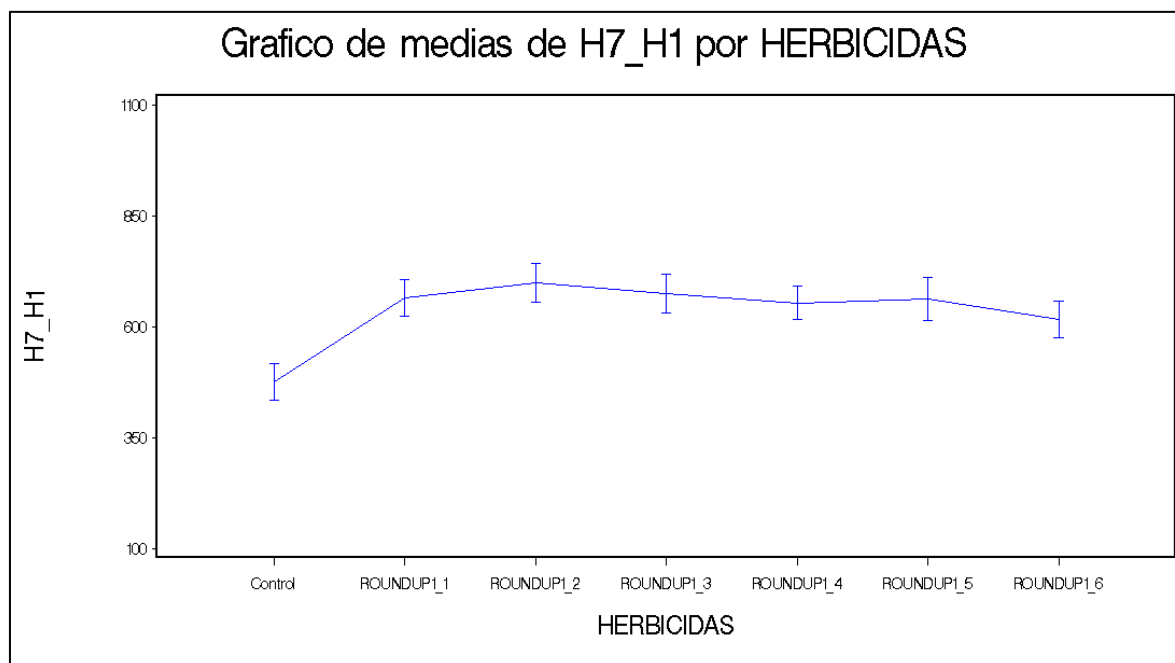


Figura 14. Medias de la variable altura por Herbicida para H7_H1.

Level of	-----H7_H1-----		
HERBICIDAS	N	Mean	Std Dev
Control	20	475.512300	187.988334
ROUNDUP11	20	665.101800	183.733974
ROUNDUP12	20	699.152350	196.377478
ROUNDUP13	20	674.351500	191.022315
ROUNDUP14	20	652.963200	170.536844
ROUNDUP15	20	661.989500	213.400044
ROUNDUP16	20	615.137750	184.431382

Se verifica que los crecimientos promedios de los cultivos tratados con los herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14 y ROUNDUP15, no presentan diferencias significativas en sus magnitudes; es decir, los efectos producidos son estadísticamente iguales maximizando la variable H7_H1. Sin embargo, existe evidencia estadística que ROUNDUP16 es inferior a ROUNDUP12.

Por otro lado, el Tratamiento Control es significativamente inferior a todos los demás herbicidas considerado en este grupo, tal como se muestra en la siguiente tabla de comparaciones.

Differences of Least Squares Means

Effect	HERBICIDA	HERBICIDA	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_1	-189.59	31.3601	102	-6.05	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_2	-223.64	31.3601	102	-7.13	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_3	-198.84	31.3601	102	-6.34	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_4	-177.45	31.3601	102	-5.66	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_5	-186.48	31.3601	102	-5.95	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_6	-139.63	31.3601	102	-4.45	<.0001
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_2	-34.0505	31.3601	102	-1.09	0.2801
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_3	-9.2497	31.3601	102	-0.29	0.7686
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_4	12.1386	31.3601	102	0.39	0.6995
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_5	3.1123	31.3601	102	0.10	0.9211
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_6	49.9640	31.3601	102	1.59	0.1142
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_3	24.8008	31.3601	102	0.79	0.4309
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_4	46.1891	31.3601	102	1.47	0.1439
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_5	37.1628	31.3601	102	1.19	0.2388
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_6	84.0146	31.3601	102	2.68	0.0086
HERBICIDA	ROUNDUP1_3	ROUNDUP1_4	21.3883	31.3601	102	0.68	0.4968
HERBICIDA	ROUNDUP1_3	ROUNDUP1_5	12.3620	31.3601	102	0.39	0.6943
HERBICIDA	ROUNDUP1_3	ROUNDUP1_6	59.2137	31.3601	102	1.89	0.0618
HERBICIDA	ROUNDUP1_4	ROUNDUP1_5	-9.0263	31.3601	102	-0.29	0.7741
HERBICIDA	ROUNDUP1_4	ROUNDUP1_6	37.8254	31.3601	102	1.21	0.2305
HERBICIDA	ROUNDUP1_5	ROUNDUP1_6	46.8517	31.3601	102	1.49	0.1383

8.2.2. Efectos principales Factor Localidad

Al analizar los resultados por localidad y como era de esperar, nuevamente AVELL es la localidad con los cultivos de Eucaliptus Globulus de mayor crecimiento, además de superar significativamente a las otras localidades. Esto se muestra en la Figura 15 presentada a continuación y se verifica en la tabla de comparaciones múltiples de más abajo.

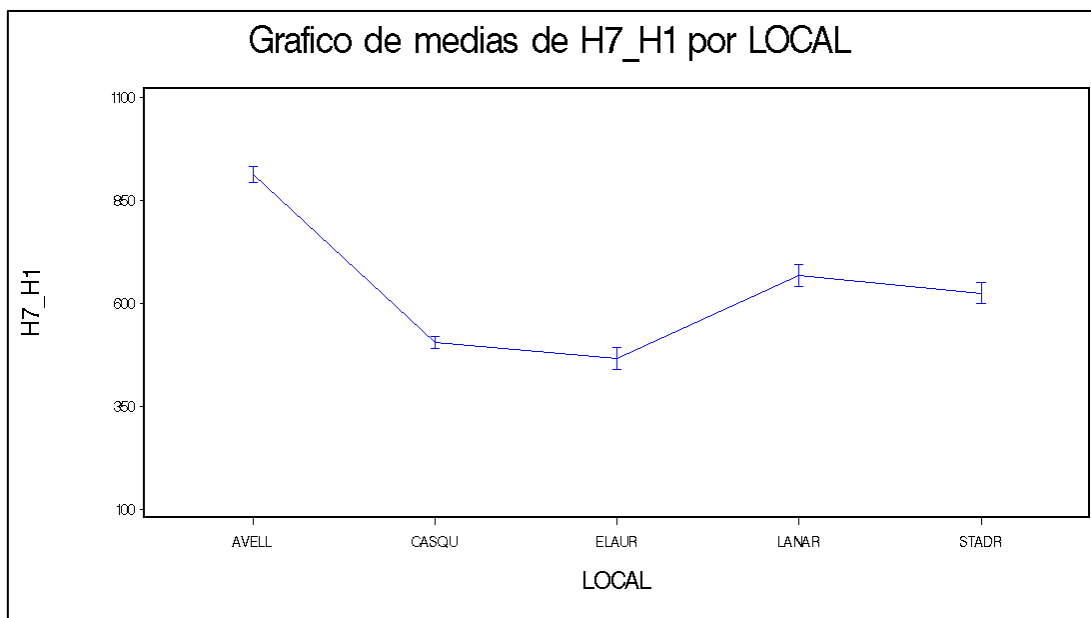


Figura 15. Medias de la variable altura por Localidad para H7_H1.

Level of LOCAL	N	Mean	Std Dev
AVELL	28	912.452500	102.088152
CASQUE	28	505.363536	77.387297
ELAUR	28	465.317786	136.648025
LANAR	28	667.251321	144.651969
STADR	28	624.049429	135.423718

Effect	Differences of Least Squares Means		Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
	LOCAL	LOCAL					
LOCAL	AVELL	CASQU	407.09	26.5041	102	15.36	<.0001
LOCAL	AVELL	ELAUR	447.13	26.5041	102	16.87	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	245.20	26.5041	102	9.25	<.0001
LOCAL	AVELL	STADR	288.40	26.5041	102	10.88	<.0001
LOCAL	CASQU	ELAUR	40.0458	26.5041	102	1.51	0.1339
LOCAL	CASQU	LANAR	-161.89	26.5041	102	-6.11	<.0001
LOCAL	CASQU	STADR	-118.69	26.5041	102	-4.48	<.0001
LOCAL	ELAUR	LANAR	-201.93	26.5041	102	-7.62	<.0001
LOCAL	ELAUR	STADR	-158.73	26.5041	102	-5.99	<.0001
LOCAL	LANAR	STADR	43.2019	26.5041	102	1.63	0.1062

Las localidades de CASQUE y ELAUR poseen efectos estadísticamente similares e inferiores a las demás localidades, como se visualizó en la Figura 15.

8.3. Análisis del modelo asociado a la variable D7_D1

A continuación se presentan los resultados entregados por el programa SAS

The GLM Procedure

Dependent Variable: D7_D1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	37	49800.33048	1345.95488	12.9584	<.0001
Error	102- 2	10386.69614	103.866961		
Corrected Total	139- 2	60187.02662			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	D7_D1 Mean
0.827426	11.97457	10.09110	84.27109

El modelo es significativo y los factores considerados en éste explican el 82.74% de la variabilidad del diámetro de los árboles.

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
HERBICIDAS	6	12184.91738	2030.81956	19.55	<.0001
LOCAL	4	34080.84214	8520.21054	82.03	<.0001
BLOQ	3	305.55264	101.85088	0.98	0.4054
HERBICIDAS*LOCAL	24	3229.01831	134.54243	1.29	0.1909

Dado que la interacción no es significativa se pueden analizar los efectos principales de ambos factores, observar que estos resultan ser estadísticamente importantes para explicar la variable altura.

En la siguiente página se presentan los efectos principales y las comparaciones múltiples del Factor Herbicida.

8.3.1. Efectos principales Factor Herbicida

En la Figura 16 y en la tabla de medias nuevamente se visualiza que los crecimientos promedios de los cultivos con herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12,..., ROUNDUP16 no presentan grandes diferencias en sus alturas medias; sin embargo, estos superan considerablemente a los cultivos que no recibieron tratamiento (Control). En la siguiente página se presentan las pruebas de comparaciones de medias.

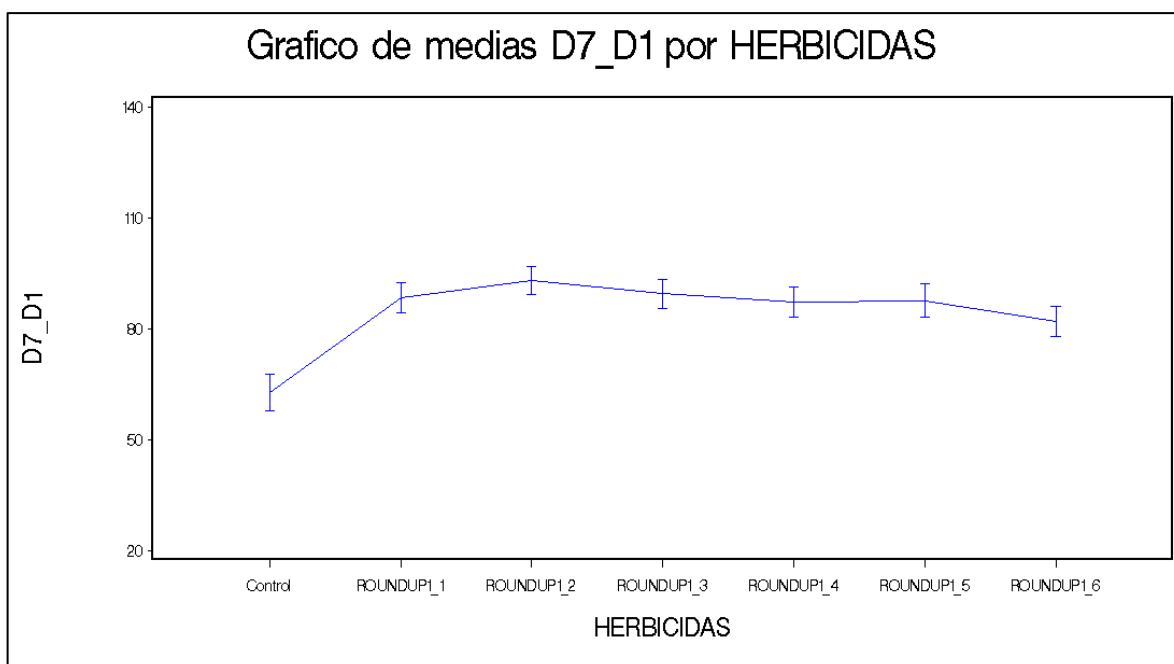


Figura 16. Medias de la variable altura por Herbicida para D7_D1.

Level of HERBICIDAS	N	-----D7_D1----- Mean	Std Dev
Control	20	62.6453000	21.7828870
ROUNDUP11	20	88.3750000	18.3016686
ROUNDUP12	20	92.8984500	17.2178516
ROUNDUP13	20	89.3348000	18.0940021
ROUNDUP14	20	87.1539500	18.6447579
ROUNDUP15	20	87.5643000	19.8621234
ROUNDUP16	20	81.9258000	18.7350819

Los diámetros promedios de los cultivos tratados con los herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14 y ROUNDUP15, no presentan diferencias significativas en sus magnitudes; es decir, los efectos producidos son estadísticamente iguales; Sin embargo, existe evidencia estadística que ROUNDUP16 es inferior a los herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13 no así de ROUNDUP14 y ROUNDUP15.

Como era de esperar, el Tratamiento Control es significativamente inferior a todos los demás herbicidas considerados en este grupo, tal como se muestra en la siguiente tabla de comparaciones.

Differences of Least Squares Means

Effect	HERBICIDA	HERBICIDA	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_1	-25.7297	3.1911	102	-8.06	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_2	-30.2531	3.1911	102	-9.48	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_3	-26.6895	3.1911	102	-8.36	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_4	-24.5087	3.1911	102	-7.68	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_5	-24.9190	3.1911	102	-7.81	<.0001
HERBICIDA	Control	ROUNDUP1_6	-19.2805	3.1911	102	-6.04	<.0001
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_2	-4.5234	3.1911	102	-1.42	0.1594
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_3	-0.9598	3.1911	102	-0.30	0.7642
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_4	1.2210	3.1911	102	0.38	0.7028
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_5	0.8107	3.1911	102	0.25	0.8000
HERBICIDA	ROUNDUP1_1	ROUNDUP1_6	6.4492	3.1911	102	2.02	0.0459
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_3	3.5636	3.1911	102	1.12	0.2667
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_4	5.7445	3.1911	102	1.80	0.0748
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_5	5.3341	3.1911	102	1.67	0.0977
HERBICIDA	ROUNDUP1_2	ROUNDUP1_6	10.9727	3.1911	102	3.44	0.0008
HERBICIDA	ROUNDUP1_3	ROUNDUP1_4	2.1808	3.1911	102	0.68	0.4959
HERBICIDA	ROUNDUP1_3	ROUNDUP1_5	1.7705	3.1911	102	0.55	0.5802
HERBICIDA	ROUNDUP1_3	ROUNDUP1_6	7.4090	3.1911	102	2.32	0.0222
HERBICIDA	ROUNDUP1_4	ROUNDUP1_5	-0.4103	3.1911	102	-0.13	0.8979
HERBICIDA	ROUNDUP1_4	ROUNDUP1_6	5.2282	3.1911	102	1.64	0.1044
HERBICIDA	ROUNDUP1_5	ROUNDUP1_6	5.6385	3.1911	102	1.77	0.0802

8.3.2. Efectos principales Factor Localidad

Si se analizan los resultados por localidad, LANAR es la que contiene los cultivos de Eucaliptus Globulus con mayor crecimiento en diámetro, seguido de AVELL. Esto se muestra en la Figura 17 presentada a continuación

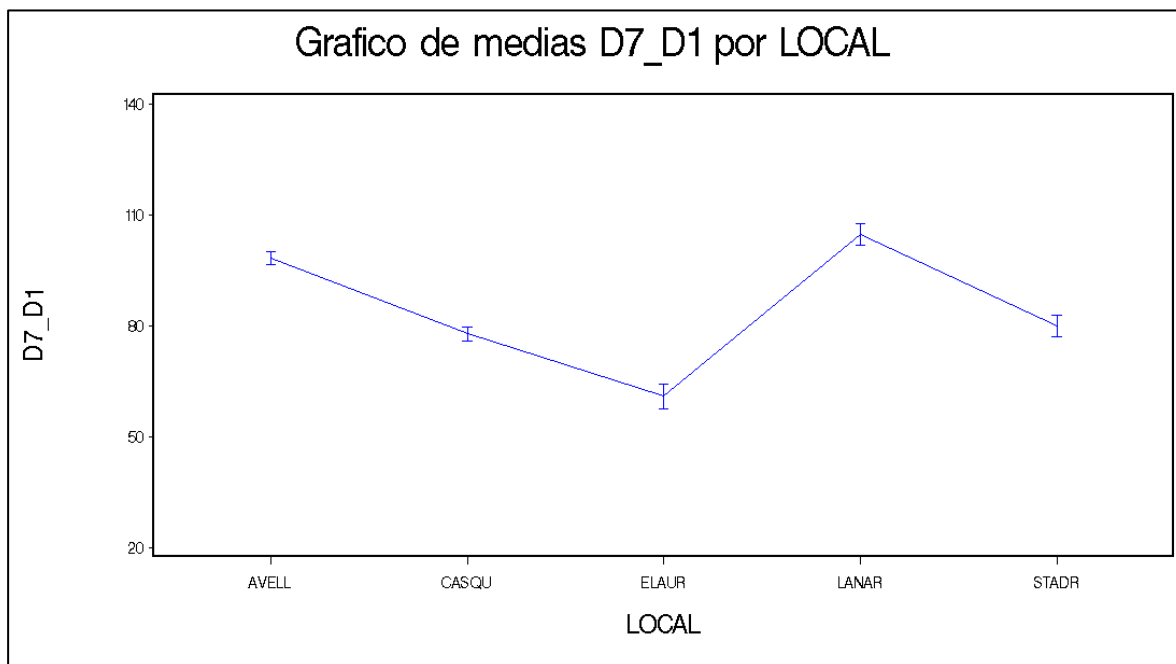


Figura 17. Medias de la variable altura por Localidad para D7_D1.

Level of LOCAL	N	-----D7_D1----- Mean	Std Dev
AVELL	28	98.176321	9.3510916
CASQUE	28	77.815107	10.0117632
ELAUR	28	60.925571	17.6827031
LANAR	28	104.684750	15.2550310
STADR	28	79.753679	15.2912865

La siguiente tabla de comparaciones múltiples señala que la localidad de LANAR es la que posee los diámetros promedios más alto y significativamente superior a todas las localidades, el segundo lugar le corresponde a AVELL, seguido por las localidades de CASQUE y STADR las cuales no presentan diferencias significativas en sus efectos medios sobre el diámetro, por último y en cuarto lugar se encuentra la localidad de ELAUR.

Differences of Least Squares Means

Effect	LOCAL	LOCAL	Estimador	Error estándar	DF	Valor t	Pr > t
LOCAL	AVELL	CASQU	20.3612	2.6970	102	7.55	<.0001
LOCAL	AVELL	ELAUR	37.2508	2.6970	102	13.81	<.0001
LOCAL	AVELL	LANAR	-6.5084	2.6970	102	-2.41	0.0176
LOCAL	AVELL	STADR	18.4226	2.6970	102	6.83	<.0001
LOCAL	CASQU	ELAUR	16.8895	2.6970	102	6.26	<.0001
LOCAL	CASQU	LANAR	-26.8696	2.6970	102	-9.96	<.0001
LOCAL	CASQU	STADR	-1.9386	2.6970	102	-0.72	0.4739
LOCAL	ELAUR	LANAR	-43.7592	2.6970	102	-16.23	<.0001
LOCAL	ELAUR	STADR	-18.8281	2.6970	102	-6.98	<.0001
LOCAL	LANAR	STADR	24.9311	2.6970	102	9.24	<.0001

8.4. Conclusión análisis grupo 5

8.4.1. Variable Altura H7_H1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en altura de los cultivos, sin embargo; su interacción no resultó significativa.
- Respecto a los efectos principales del Factor Herbicida; Los crecimientos promedios de los cultivos tratados con los herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14 y ROUNDUP15, no presentan diferencias significativas en sus magnitudes; pues, los efectos producidos son estadísticamente iguales, maximizando la variable H7_H1. El segundo grupo de herbicidas que no presentaron diferencias en sus efectos son; ROUNDUP11,

ROUNDUP13, ROUNDUP14, ROUNDUP15 y ROUNDUP16; Sin embargo, existe evidencia estadística que ROUNDUP16 es inferior a ROUNDUP12.

- Por otro lado, el Tratamiento Control es significativamente inferior a todos los demás herbicidas considerado en el grupo.
- Respecto a los efectos principales del Factor Localidad; LANAR (LA NARANJA, PUERTO MONTT) y STADR (SANTA ADRIANA, NACIMIENTO) no presentan diferencias significativas en sus efectos medios y se ubican en segundo lugar con los crecimientos promedios más altos después de AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) el cual contiene los mayores rendimientos promedios en altura. Además CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN) y ELAUR (EL LAUREL, CONTULMO) poseen efectos estadísticamente similares e inferiores a las demás localidades ubicándose en tercer lugar.

8.4.2. Variable Altura D7_D1

- Ambos factores Herbicida y Localidad resultaron ser relevantes para explicar el crecimiento en diámetro de los cultivos, sin embargo; su interacción no resultó significativa.
- En relación a los efectos principales del Factor Herbicida; Los diámetros promedios de los cultivos tratados con los herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14 y ROUNDUP15, no presentan diferencias significativas en sus magnitudes; es decir, los efectos producidos son estadísticamente iguales maximizando los diámetros; Sin embargo, existe evidencia significativa que ROUNDUP16 es inferior a los herbicidas ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13 e igual a ROUNDUP14 y ROUNDUP15. Por último el Tratamiento Control es significativamente inferior a todos los demás herbicidas considerados en este grupo.

- Respecto a los efectos principales del Factor Localidad; LANAR (LA NARANJA, PUERTO MONTT) es el que posee los diámetros promedios más altos y significativamente superiores a todas las localidades, el segundo lugar le corresponde a AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO), seguido por las localidades de CASQUE (CASAS QUEMADAS, MULCHÉN) y STADR (SANTA ADRIANA, NACIMIENTO) las cuales no presentan diferencias significativas en sus efectos medios sobre el diámetro, por último y en cuarto lugar se encuentra ELAUR (EL LAUREL, CONTULMO).

9. Conclusiones

Según lo expuesto en los capítulos anteriores, efectivamente los tratamientos de control de maleza que se aplicaron a las parcelas dentro de cada bloque*localidad ejercieron influencias, en su mayoría significativas en el incremento del crecimiento en diámetro y altura de los cultivos de Eucaliptus Globulus.

Los efectos producidos variaron para los distintos tipos de controles aplicados, observándose la no significatividad del efecto de los métodos manuales o físicos (Tratamiento Mecánico y Mulch) sobre las variables de interés; sin embargo, los métodos químicos analizados resultaron influir considerablemente. Ésta última afirmación se obtuvo en base a la comparación de los resultados con los rendimientos obtenidos de los cultivos de E. Globulus que no recibieron tratamiento; es decir, aquellos cultivos que revelaron las condiciones iniciales en las que se efectuó el experimento por medio del factor Control.

Respecto de los métodos de control por grupos, se tuvo lo siguiente:

- En el Grupo 1, el herbicida Simazina maximizó H7_H1, el cual superó significativamente a aquellos cultivos que no recibieron ningún tipo de control de maleza.

Respecto al diámetro y producto de la significatividad de la interacción Herbicida*Localidad, los efectos de los herbicidas se analizaron dentro de cada localidad, observándose la mayor diferencia significativa promedio en ELAUR, con 44 mm (Simazina sobre el Tratamiento Control). Además, en la Localidad de LANAR se alcanzó el mayor incremento en diámetro (109 mm), correspondiente a Simazina.

- En el Grupo 2, el Factor Herbicida no presentó importancia estadística para explicar el incremento de altura y diámetro de los arboles, los cultivos tratados con los métodos físicos Mulch y Mecánico no mostraron diferencias significativas con aquellos que no recibieron ningún tipo de tratamiento de maleza. En consecuencia, se concluye que estos métodos no son eficientes para combatir las malezas y sus perjuicios.

- En el Grupo 3, los cultivos con herbicida AJAX5, AJAX6, AJAX7 obtuvieron incrementos estadísticamente iguales y altamente influyentes, maximizando la variable altura. Las parcelas tratadas con AJAX6 superaron por 258.61cm de altura promedio a aquellos que no recibieron ningún tipo de control, siendo esta diferencia estadísticamente relevante.
Respecto al diámetro, los efectos de los herbicidas se analizaron por localidad producto de la presencia de interacción de los factores, observándose la mayor diferencia significativa promedio en la localidad de ELAUR, con 56.7mm (AJAX6 sobre el Tratamiento Control). Además, en la Localidad de LANAR se alcanzó el mayor incremento en diámetro de 119mm, correspondiente al herbicida AJAX7.
- En el Grupo 4, los cultivos con los herbicidas SPIDER8, SPIDER9 y SPIDER10, obtuvieron incrementos estadísticamente equivalentes y altamente significativos, maximizando la variable altura, los sometidos a SPIDER10 superaron por 228.71cm de altura promedio a aquellos que no recibieron ningún tratamiento de maleza.
Respecto al diámetro, también los efectos de los herbicidas se analizaron por localidad, observándose la mayor diferencia significativa promedio en la localidad de ELAUR, con 51.96mm (SPIDER9 sobre el Tratamiento Control). Además, en la Localidad de LANAR se alcanzó el mayor incremento en diámetro de 114.19mm, correspondiente al herbicida SPIDER10.
- En el Grupo 5, los cultivos con herbicida ROUNDUP11, ROUNDUP12, ROUNDUP13, ROUNDUP14 y ROUNDUP15, resultaron tener efectos estadísticamente similares y altamente influyentes, maximizando las variables Altura y Diámetro, los sometidos a ROUNDUP12 superaron por 223.64cm y 30.26mm de altura y diámetro promedio respectivamente, a aquellos que no recibieron ningún tipo de control de maleza, siendo estas diferencias altamente significativas.

Tabla de Herbicidas y Localidades que maximizaron la variable Altura por grupo

Grupos	Interacción Herbicida*Localidad	Localidad con mayor crecimiento promedio	Herbicida con mayor crecimiento promedio	Media (cm)	Media factor Control (cm)	Diferencia respecto del Control (cm)
Grupo1	No Significativa	AVELL	Simazina	645.07	475.51	169.56 **
Grupo2	No Significativa	AVELL	Trat. Mecánico	524.71	475.51	49.20 ns
Grupo3	No Significativa	AVELL	AJAX6	734.12	475.51	258.61 **
Grupo4	No Significativa	AVELL	SPIDER10	704.22	475.51	228.71 **
Grupo5	No Significativa	AVELL	ROUNDUP12	699.15	475.51	223.64 **

- Al estudiar el efecto principal del Factor Localidad, AVELL (AVELLANAL HUACHO, ARAUCO) resultó tener los mayores crecimientos en Altura de los cultivos, esto se evidenció en los cinco grupos de análisis en los cuales superó significativamente a todas las demás localidades.

Tabla de Herbicidas y Localidades que maximizaron la variable Diámetro por grupos

Dado que la interacción Herbicida*Localidad resultó ser significativa para explicar la variable Diámetro (en los grupos 1, 3 y 4 específicamente), la siguiente tabla incluye la localidad donde se observó el mayor crecimiento en diámetro, y el herbicida asociado a ese resultado.

Grupos	Interacción Herbicida*Localidad	Localidad con mayor crecimiento promedio	Herbicida con mayor crecimiento promedio	Media (mm)	Media factor Control (mm)	Diferencia respecto del Control (mm)
Grupo1	Significativa	LANAR	Simazina	109.68	76.83	32.85 **
Grupo2	No Significativa	AVELL	Trat. Mecánico	72.24	62.6453	9.6 ns
Grupo3	Significativa	LANAR	AJAX7	119.33	76.83	42.5 **
Grupo4	Significativa	LANAR	SPIDER10	114.29	76.83	37.47 **
Grupo5	No Significativa	LANAR	ROUNDUP12	92.9	62.65	30.25 **

En efecto, la acción de los métodos químicos (herbicidas) resultaron ser más eficiente que los métodos físicos experimentados, logrando optimizar el desarrollo de los cultivos de Eucaliptus Globulus en cuanto al crecimiento en altura y diámetro. No obstante, entre los herbicidas no se hallaron grandes diferencias, concluyéndose de este

modo que la elección, además de su efectividad, deben hacerse considerando también los costos de adquisición, aplicación y repercusiones ambientales.

Respecto de los resultados provistos por el enfoque de regresión, estos fueron idénticos al enfoque clásico en las pruebas F correspondientes al modelo, y las pruebas de significancia de los factores e interacciones, aun cuando las formulas de cálculo difieren entre si. Las dificultades que presenta la reparametrización, derivan de la definición de las variables indicadoras, tal como se indico en el Proyecto de Título I y como se apreció en el grupo 5, el cual incluía un mayor número de niveles del Factor Herbicida, haciendo más trabajosa y tediosa la reparametrización.

En definitiva, todo modelo asociado a cualquier tipo de diseño experimental, puede ser reparametrizado y analizado como un modelo de regresión, aun cuando las dificultades de realizar el análisis son directamente proporcionales al aumento de los factores y tratamientos involucrados en el estudio. Por último, este enfoque no presenta resultados adicionales al enfoque clásico del ANOVA; sin embargo, su utilidad se extiende más allá, debido a que los diseños no balanceados, en bloques o con arreglo factorial, no permiten el uso de las técnicas convencionales del análisis de varianza, y por lo tanto, la mejor alternativa corresponde al enfoque de regresión que proporciona las estimaciones exactas de los datos ausentes. De todos modos, es un tema en estudio que puede ser desarrollado con mayor profundidad en un trabajo de monografía.

10.

Anexos

10.1. Grupo1

10.1.1. Datos y variables auxiliares

Obs	LOCAL	BLOQ	H7_H1	D7_D1	HERBICIDAS	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x15	x25	x35	x45
1	AVELL	1	696.00	71.933	Control	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
2	AVELL	1	1073.47	110.200	Simazina	1	0	0	0	-1	1	0	0	-1	0	0	0
3	AVELL	2	687.33	79.300	Control	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
4	AVELL	2	783.56	91.717	Simazina	1	0	0	0	-1	0	1	0	-1	0	0	0
5	AVELL	3	661.60	75.467	Control	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
6	AVELL	3	913.50	107.450	Simazina	1	0	0	0	-1	0	0	1	-1	0	0	0
7	AVELL	4	854.27	92.533	Control	1	0	0	0	1	-1	-1	-1	1	0	0	0
8	AVELL	4	941.93	106.529	Simazina	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
9	CASQUE	1	424.73	63.733	Control	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
10	CASQUE	1	499.93	82.100	Simazina	0	1	0	0	-1	1	0	0	0	-1	0	0
11	CASQUE	2	478.63	71.324	Control	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
12	CASQUE	2	529.93	87.900	Simazina	0	1	0	0	-1	0	1	0	0	-1	0	0
13	CASQUE	3	469.26	65.067	Control	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
14	CASQUE	3	356.36	54.876	Simazina	0	1	0	0	-1	0	0	1	0	-1	0	0
15	CASQUE	4	468.20	72.134	Control	0	1	0	0	1	-1	-1	-1	0	1	0	0
16	CASQUE	4	567.33	76.600	Simazina	0	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0
17	ELAUR	1	309.07	41.600	Control	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
18	ELAUR	1	485.66	66.733	Simazina	0	0	1	0	-1	1	0	0	0	0	-1	0
19	ELAUR	2	161.04	20.267	Control	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
20	ELAUR	2	460.73	67.964	Simazina	0	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0
21	ELAUR	3	194.53	25.467	Control	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
22	ELAUR	3	717.43	84.300	Simazina	0	0	1	0	-1	0	0	1	0	0	-1	0
23	ELAUR	4	301.73	34.667	Control	0	0	1	0	1	-1	-1	-1	0	0	1	0
24	ELAUR	4	641.58	78.967	Simazina	0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	0
25	LANAR	1	417.13	55.167	Control	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
26	LANAR	1	679.52	109.518	Simazina	0	0	0	1	-1	1	0	0	0	0	0	-1
27	LANAR	2	456.27	77.476	Control	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
28	LANAR	2	598.80	102.967	Simazina	0	0	0	1	-1	0	1	0	0	0	0	-1
29	LANAR	3	439.13	75.433	Control	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
30	LANAR	3	615.70	111.734	Simazina	0	0	0	1	-1	0	0	1	0	0	0	-1
31	LANAR	4	749.80	99.233	Control	0	0	0	1	1	-1	-1	-1	0	0	0	1
32	LANAR	4	857.65	114.492	Simazina	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1
33	STADR	1	369.74	50.800	Control	-1	-1	-1	-1	1	1	0	0	-1	-1	-1	-1
34	STADR	1	627.33	81.333	Simazina	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	0	1	1	1	1
35	STADR	2	581.74	80.438	Control	-1	-1	-1	-1	1	0	1	0	-1	-1	-1	-1
36	STADR	2	444.53	54.556	Simazina	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0	1	1	1	1
37	STADR	3	546.17	66.000	Control	-1	-1	-1	-1	1	0	0	1	-1	-1	-1	-1
38	STADR	3	582.07	81.300	Simazina	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1
39	STADR	4	243.87	34.867	Control	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
40	STADR	4	524.47	72.233	Simazina	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1

10.1.2. Verificación de supuestos del modelo para H7_H1

Normalidad de los residuos

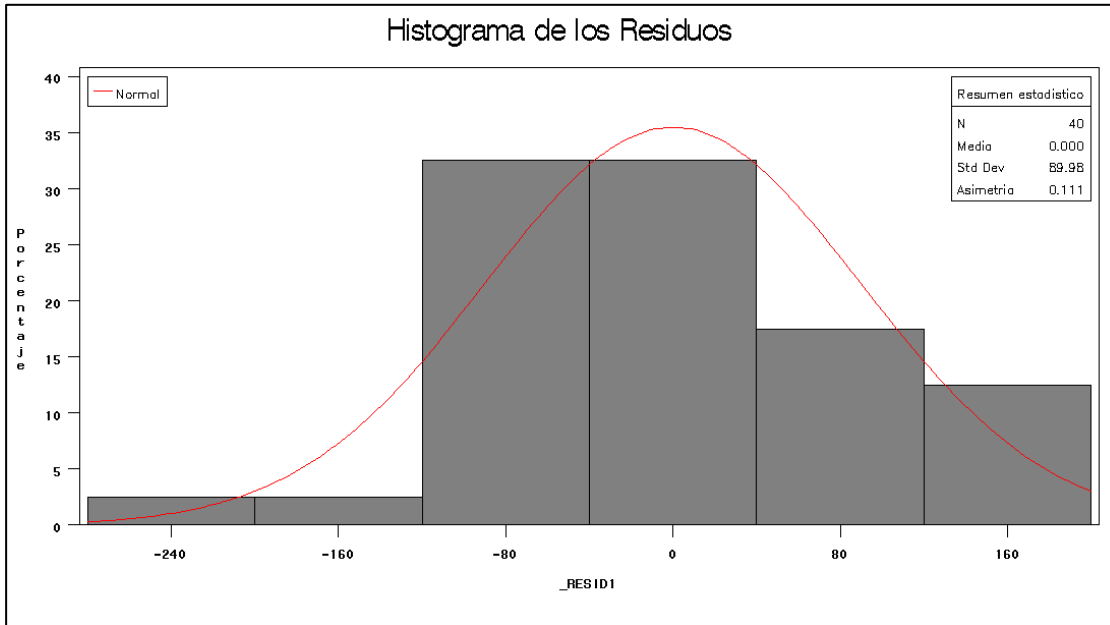


Figura 18. Histograma de Residuos H7_H1.

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución ajustada para _RESID1

Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	89.97523

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.09491813	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.08918405	Pr > W-Sq 0.154
Anderson-Darling	A-Sq 0.55288911	Pr > A-Sq 0.148

Las pruebas indican el no rechazo de la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

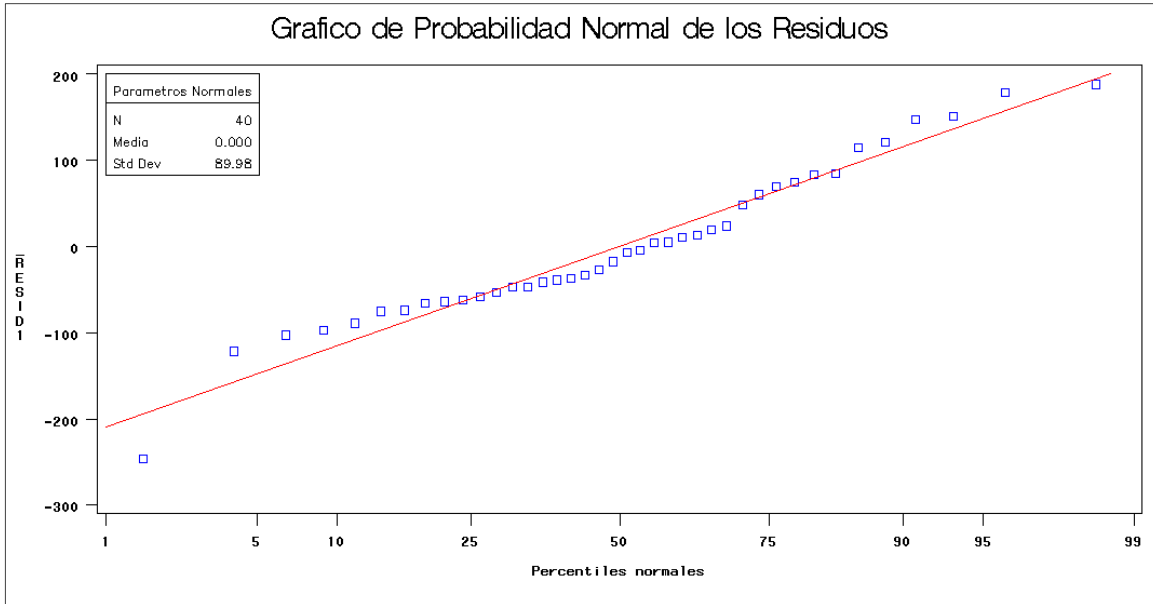


Figura 19. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1.

Homogeneidad de Varianza

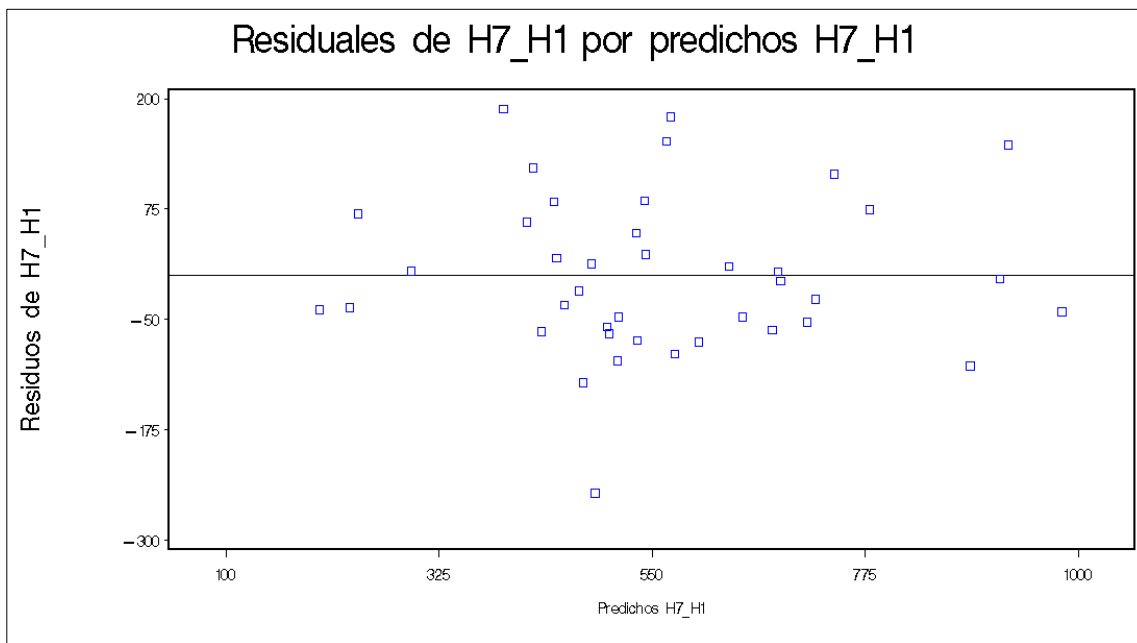


Figura 20. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.

En el gráfico de los residuos de la variable H7_H1 versus los predichos de H7_H1, no se observa ningún patrón en la nube de puntos; por lo tanto, se asume que las varianzas son homogéneas.

Independencia de los residuos (Estadístico Durbin-Watson)

El estadístico d (Durbin-Watson) es aproximadamente igual a $2(1 - r)$, donde r es la autocorrelación de la muestra de los residuos. El valor de d siempre está entre 0 y 4, $d=2$ indica que no hay autocorrelación. Si la estadística de Durbin-Watson es sustancialmente menor que 2, hay evidencia de correlación serial positiva. Los valores pequeños de d indican que los términos de error sucesivos son, en promedio, cerca del valor de los otros, o correlacionados positivamente. Si $d > 2$, los términos de error sucesivos son, en promedio, muy diferente en valor el uno del otro, es decir, correlacionada negativamente (Gujarati 2003).

Procedimiento REG	
Modelo: MODEL1	
Variable dependiente: H7_H1	
Durbin-Watson D	1.829
Número de observaciones	40
1st Autocorrelación de orden	0.076 (correlación)

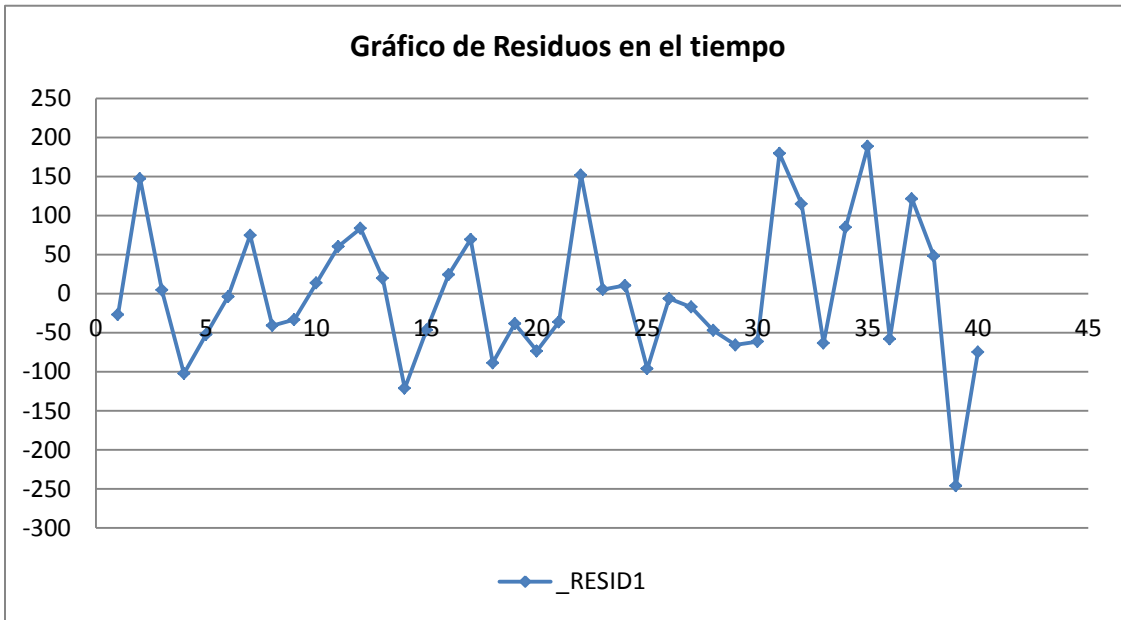


Figura 21. Residuos en el tiempo H7_H1.

La correlación serial positiva es casi nula, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda, y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r=0.076$. Por lo tanto, se asume que los errores son no correlacionados.

10.1.3. Verificación de supuestos del modelo D7_D1

Supuesto de normalidad

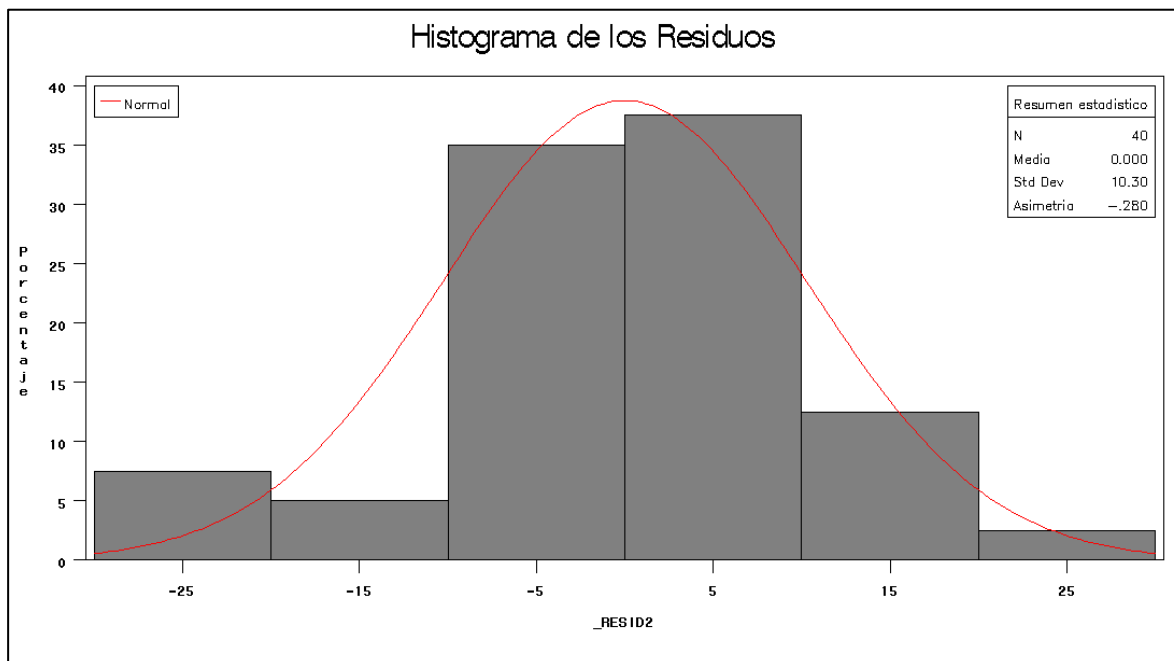


Figura 22. Histograma de Residuos D7_D1.

Procedimiento UNIVARIATE
 Distribución ajustada para _RESID2

Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	10.3006

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.12111709	Pr > D 0.143
Cramer-von Mises	W-Sq 0.07174215	Pr > W-Sq >0.250
Anderson-Darling	A-Sq 0.45176625	Pr > A-Sq >0.250

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

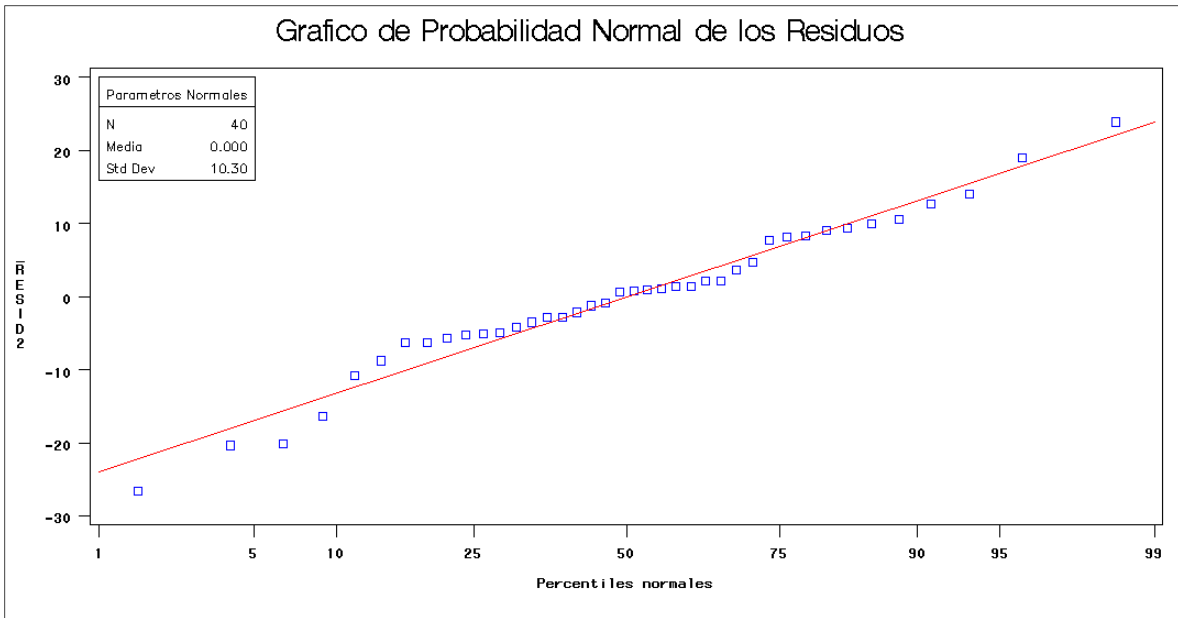


Figura 23. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1.

Homogeneidad de Varianza

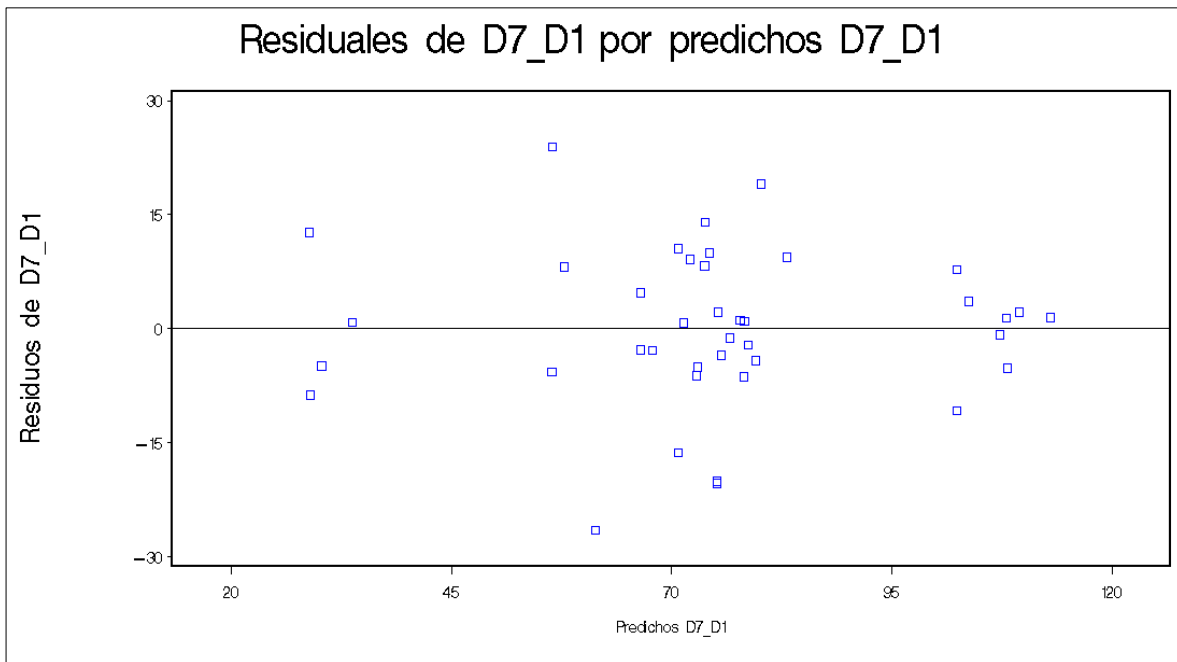


Figura 24. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1.

En el gráfico de los residuos de la variable D7_D1 versus los predichos de D7_D1, se observan tres grupos aparentemente con varianzas heterogéneas, esto indicaría el no cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianza.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: D7_D1

Durbin-Watson D	2.147
Número de observaciones	40
1st Autocorrelación de orden	-0.080

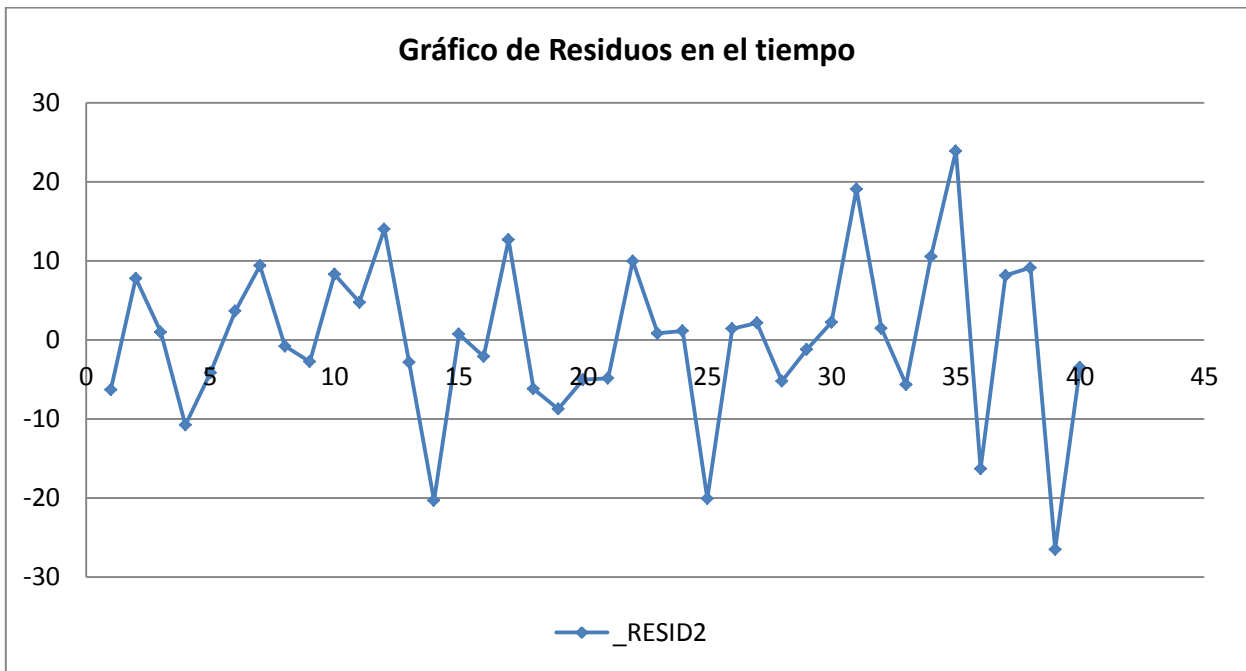


Figura 25. Residuos en el tiempo D7_D1.

La correlación serial negativa es casi nula, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la derecha y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = -0.080$. Por lo tanto, se asume que los errores son no correlacionados.

10.2. Grupo2

10.2.1. Datos y variables auxiliares

		H E R B I C I D A S		H 7 — H 1	D 7 — D 1																		
		L O C A L Q	B I D A S	H 7 — H 1	D 7 — D 1	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X 5	X 5	X 5	X 5	X 6	X 6	X 6	X 6	
1	AVELL	1	control	696.000	71.933	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	AVELL	1	trat_mec	900.330	101.533	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	AVELL	1	Mulch	816.870	92.067	1	0	0	0	-1	-1	1	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0
4	AVELL	2	control	687.333	79.300	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	AVELL	2	trat_mec	705.733	82.800	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	AVELL	2	Mulch	719.097	80.319	1	0	0	0	-1	-1	0	1	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0
7	AVELL	3	control	661.597	75.467	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	AVELL	3	trat_mec	950.927	99.386	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	AVELL	3	Mulch	943.463	92.467	1	0	0	0	-1	-1	0	0	1	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0
10	AVELL	4	control	854.267	92.533	1	0	0	0	1	0	-1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	AVELL	4	trat_mec	708.667	80.667	1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	AVELL	4	Mulch	811.067	85.533	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0
13	CASQUE	1	control	424.733	63.733	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	CASQUE	1	trat_mec	497.820	81.082	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	CASQUE	1	Mulch	474.553	80.089	0	1	0	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0
16	CASQUE	2	control	478.630	71.324	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	CASQUE	2	trat_mec	567.730	87.066	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	CASQUE	2	Mulch	527.643	77.314	0	1	0	0	-1	-1	0	1	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0
19	CASQUE	3	control	469.263	65.067	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	CASQUE	3	trat_mec	492.860	76.369	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	CASQUE	3	Mulch	498.623	72.852	0	1	0	0	-1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0
22	CASQUE	4	control	468.197	72.134	0	1	0	0	1	0	-1	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
23	CASQUE	4	trat_mec	599.713	91.877	0	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	CASQUE	4	Mulch	547.980	77.708	0	1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0
25	ELAUR	1	control	309.070	41.600	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
26	ELAUR	1	trat_mec	136.633	21.167	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	ELAUR	1	Mulch	130.433	18.200	0	0	1	0	-1	-1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
28	ELAUR	2	control	161.037	20.267	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
29	ELAUR	2	trat_mec	124.207	20.181	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	ELAUR	2	Mulch	235.270	33.689	0	0	1	0	-1	-1	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
31	ELAUR	3	control	194.533	25.467	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
32	ELAUR	3	trat_mec	351.200	43.217	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	ELAUR	3	Mulch	361.767	40.600	0	0	1	0	-1	-1	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
34	ELAUR	4	control	301.733	34.667	0	0	1	0	1	0	-1	-1	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
35	ELAUR	4	trat_mec	546.333	86.467	0	0	1	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	ELAUR	4	Mulch	361.733	49.142	0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
37	LANAR	1	control	417.130	55.167	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
38	LANAR	1	trat_mec	358.263	73.667	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	LANAR	1	Mulch	246.137	49.933	0	0	0	1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1
40	LANAR	2	control	456.273	77.476	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
41	LANAR	2	trat_mec	477.867	82.667	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	LANAR	2	Mulch	418.400	71.900	0	0	0	1	-1	-1	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1

43	LANAR	3	control	439.133	75.433	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
44	LANAR	3	trat_mec	515.083	91.200	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
45	LANAR	3	Mulch	469.380	79.422	0	0	0	1	-1	-1	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	-1
46	LANAR	4	control	749.800	99.233	0	0	0	1	1	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0	0
47	LANAR	4	trat_mec	582.737	78.833	0	0	0	1	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
48	LANAR	4	Mulch	744.823	100.425	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	-1
49	STADR	1	control	369.740	50.800	-1	-1	-1	-1	1	0	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0
50	STADR	1	trat_mec	358.883	45.167	-1	-1	-1	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	STADR	1	Mulch	503.333	60.567	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
52	STADR	2	control	581.740	80.438	-1	-1	-1	-1	1	0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0
53	STADR	2	trat_mec	549.817	67.818	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
54	STADR	2	Mulch	112.400	13.667	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
55	STADR	3	control	546.170	66.000	-1	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
56	STADR	3	trat_mec	624.203	75.867	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
57	STADR	3	Mulch	407.800	49.100	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
58	STADR	4	control	243.867	34.867	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
59	STADR	4	trat_mec	445.250	57.842	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
60	STADR	4	Mulch	309.133	49.667	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1

10.2.2. Verificación de supuestos del modelo H7_H1

Normalidad de los residuos

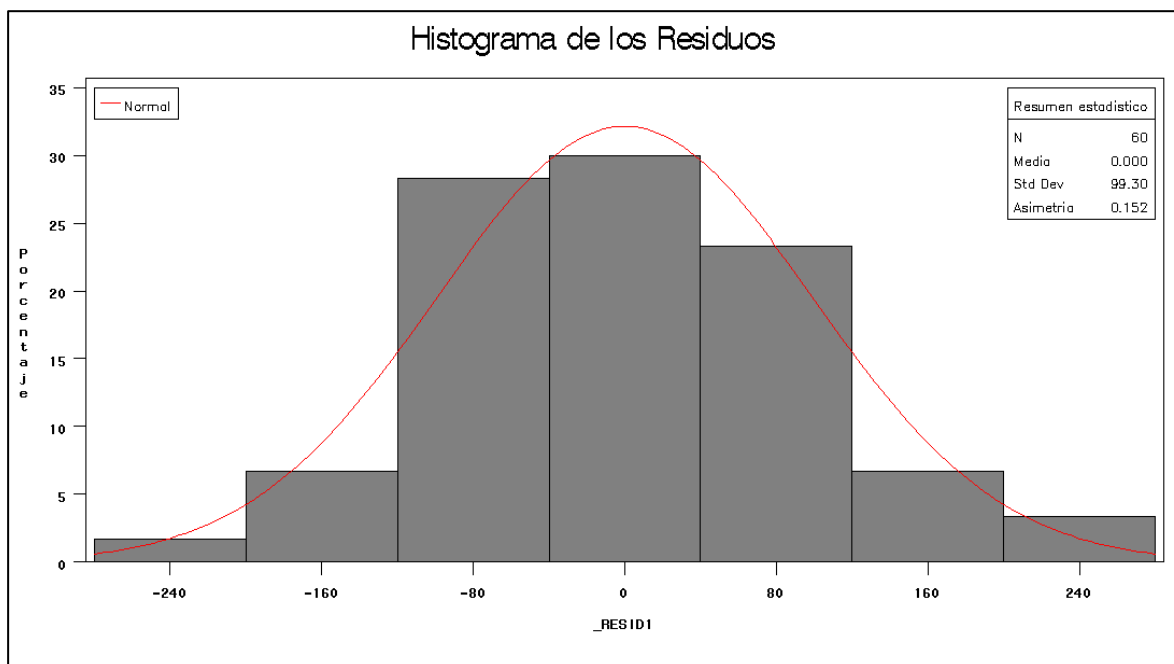


Figura 26. Histograma de Residuos H7_H1.

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución ajustada para _RESID1

Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	99.29911

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.04896423	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.02683282	Pr > W-Sq >0.250
Anderson-Darling	A-Sq 0.23684513	Pr > A-Sq >0.250

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

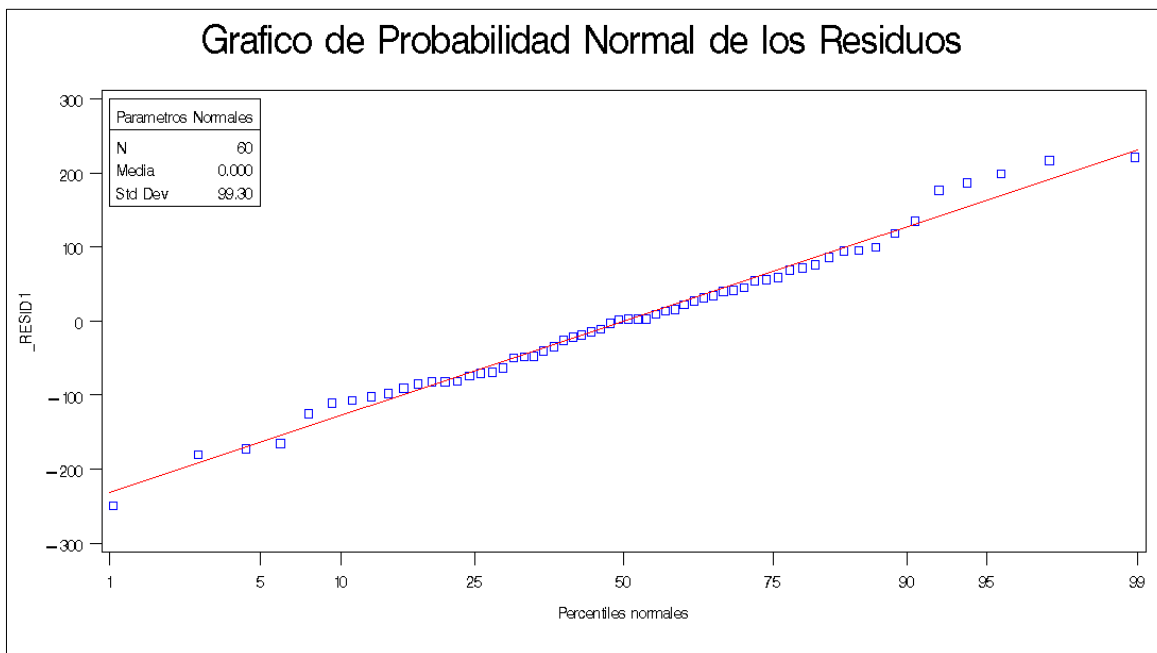


Figura 27. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1.

Homogeneidad de Varianza

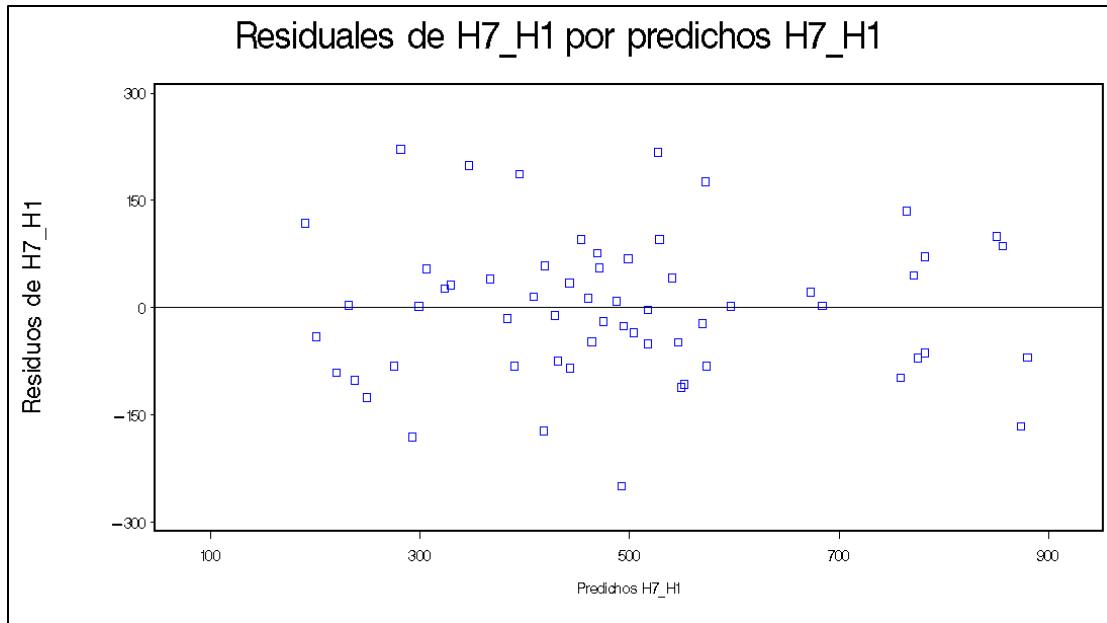


Figura 28. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.

En la figura 28 de los residuos de la variable H7_H1 versus los predichos de H7_H1, no se observa ningún patrón en la nube de puntos; por lo tanto, se asume que las varianzas son homogéneas.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _RESID1ie

Durbin-Watson D	1.573
Número de observaciones	60
1st Autocorrelación de orden	0.207

La correlación serial positiva es muy débil, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = 0.207$. Además, estas afirmaciones se visualizan en el siguiente gráfico de los residuos de H7_H1 en el tiempo.

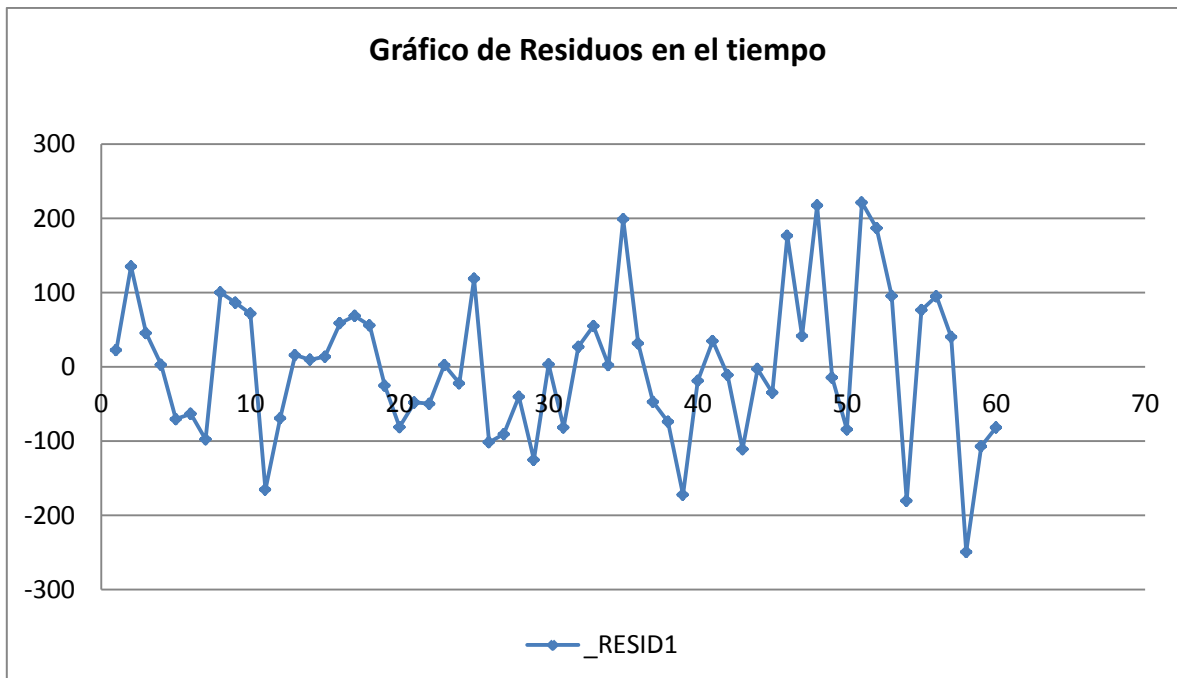


Figura 29. Residuos en el tiempo H7_H1.

10.2.3. Verificación de supuestos del modelo D7_D1

Normalidad de los residuos

Procedimiento UNIVARIATE
 Distribución ajustada para _RESID2
 Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	12.06744

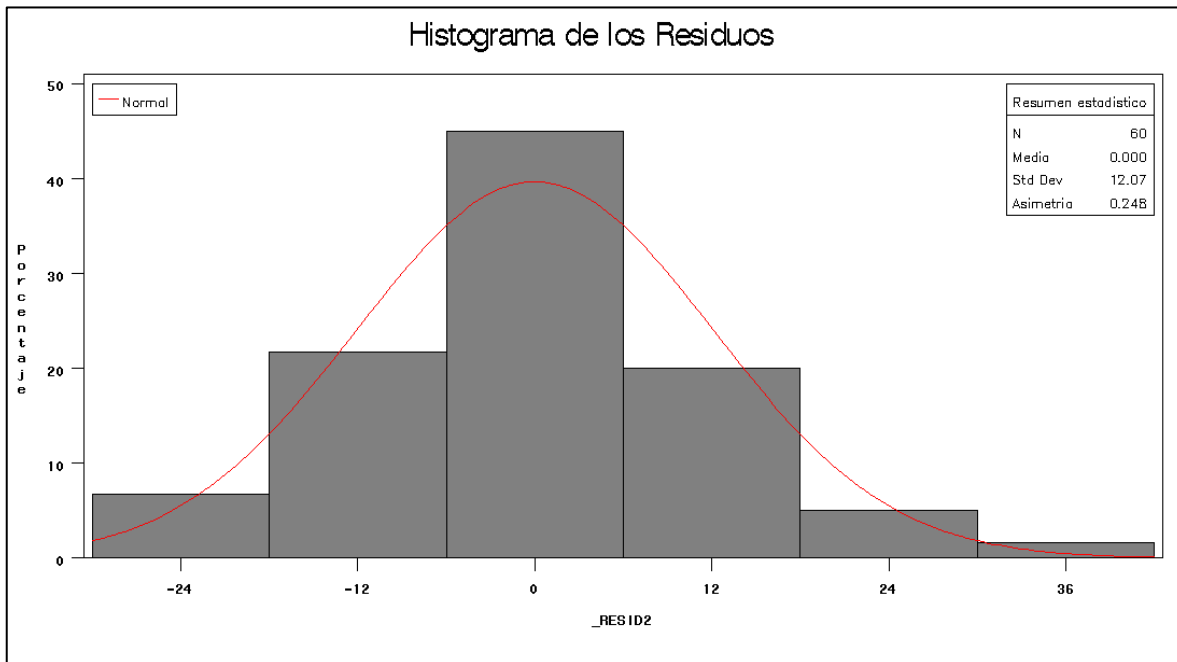


Figura 30. Histograma de Residuos H7_H1.

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	----P-valor----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.08960918	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.06878229	Pr > W-Sq >0.250
Anderson-Darling	A-Sq 0.41844960	Pr > A-Sq >0.250

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

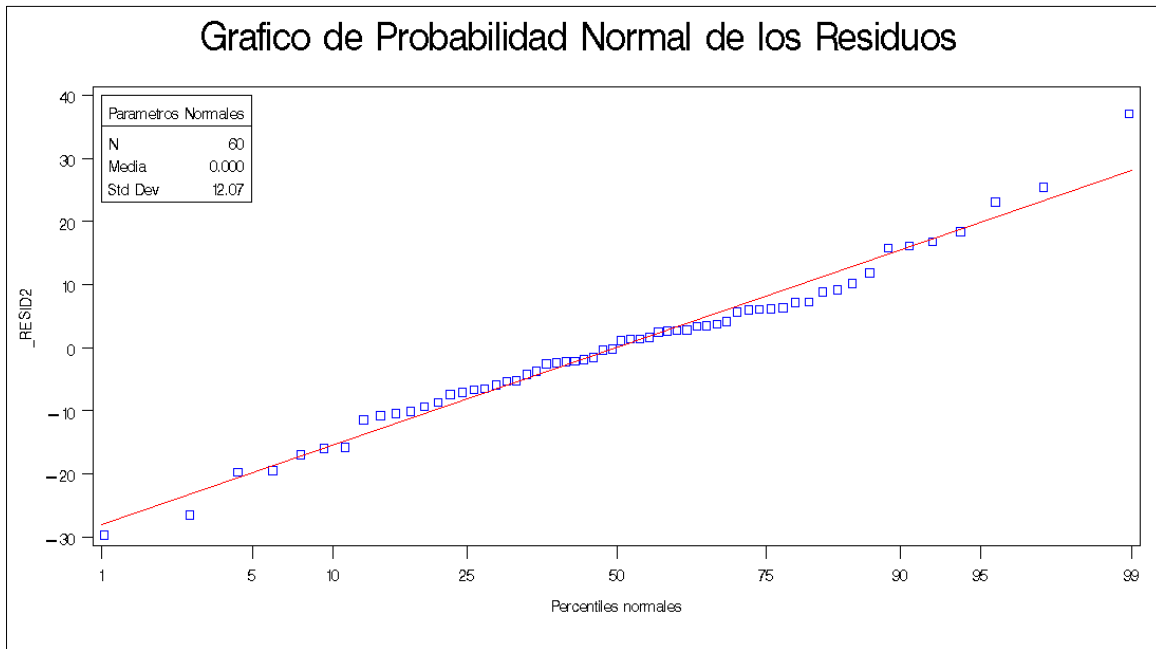


Figura 31. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1.

Homogeneidad de Varianza

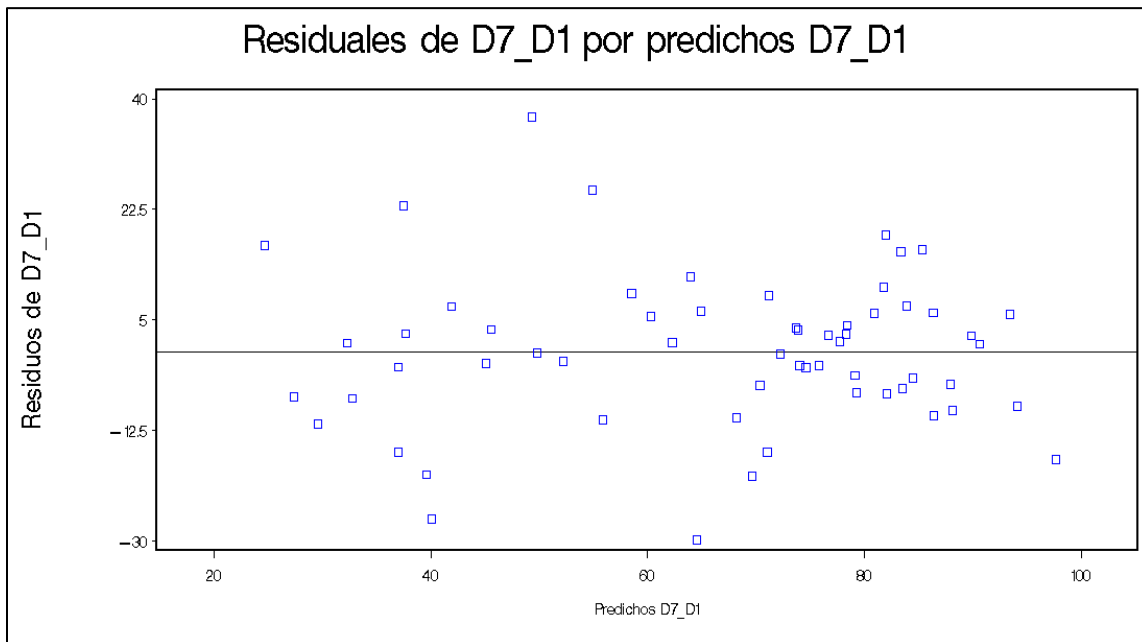


Figura 32. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1.

En el gráfico de los residuos de la variable D7_D1 versus los predichos de D7_D1, se aprecia una dispersión no uniforme o heterogénea a lo largo de los predichos de la variable diámetro.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _RESID2

Durbin-Watson D 1.831
 Número de observaciones 60
 1st Autocorrelación de orden 0.084

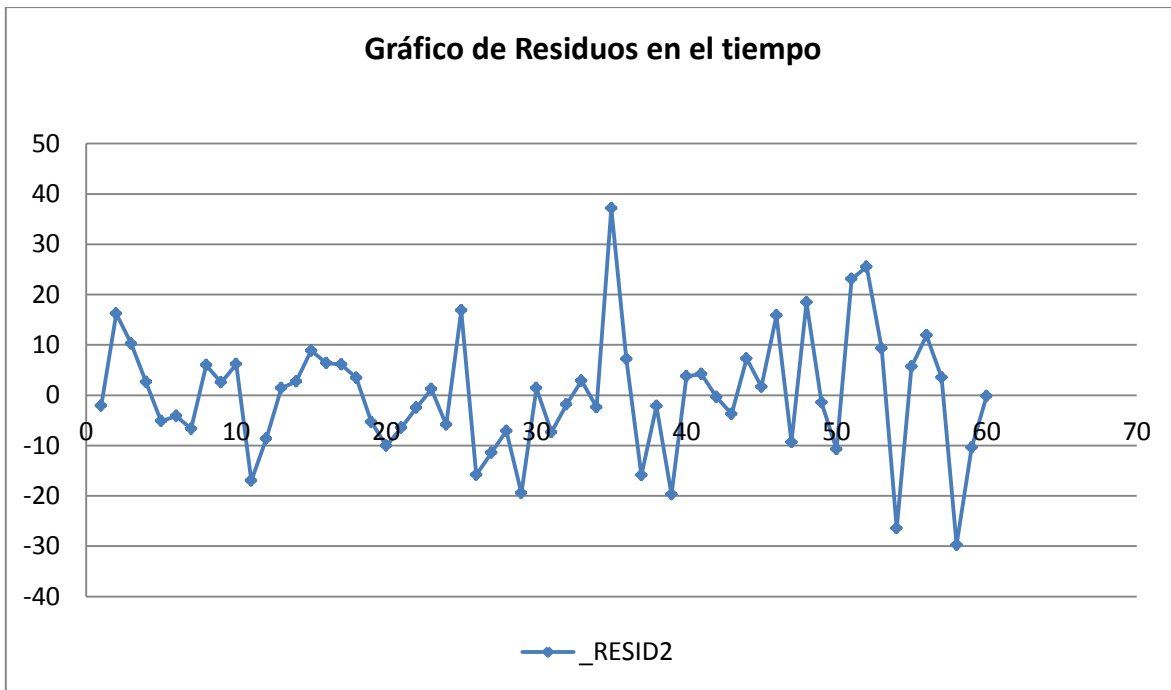


Figura 33. Residuos en el tiempo D7_D1.

La correlación serial positiva es casi nula, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = 0.084$. Por lo tanto, se asume que los errores son no correlacionados.

10.3. Grupo3

10.3.1. Verificación de supuestos del modelo H7_H1

Normalidad de los residuos

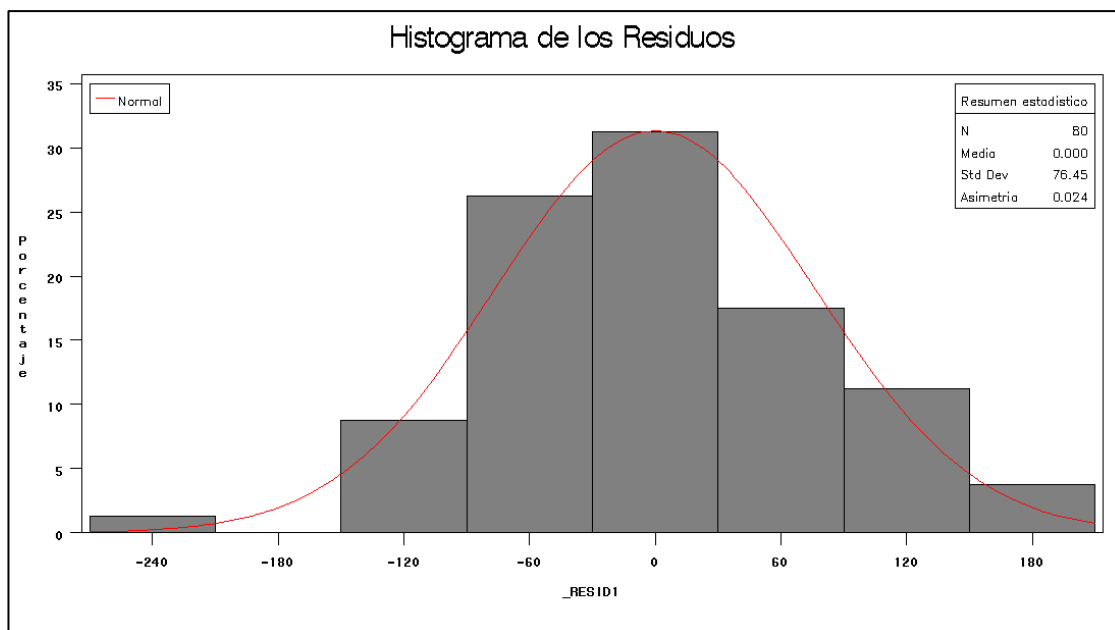


Figura 34. Histograma de Residuos H7_H1.

Procedimiento UNIVARIATE
 Distribución ajustada para _RESID1
 Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	76.45242

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.04772364	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.03674060	Pr > W-Sq >0.250
Anderson-Darling	A-Sq 0.23638578	Pr > A-Sq >0.250

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

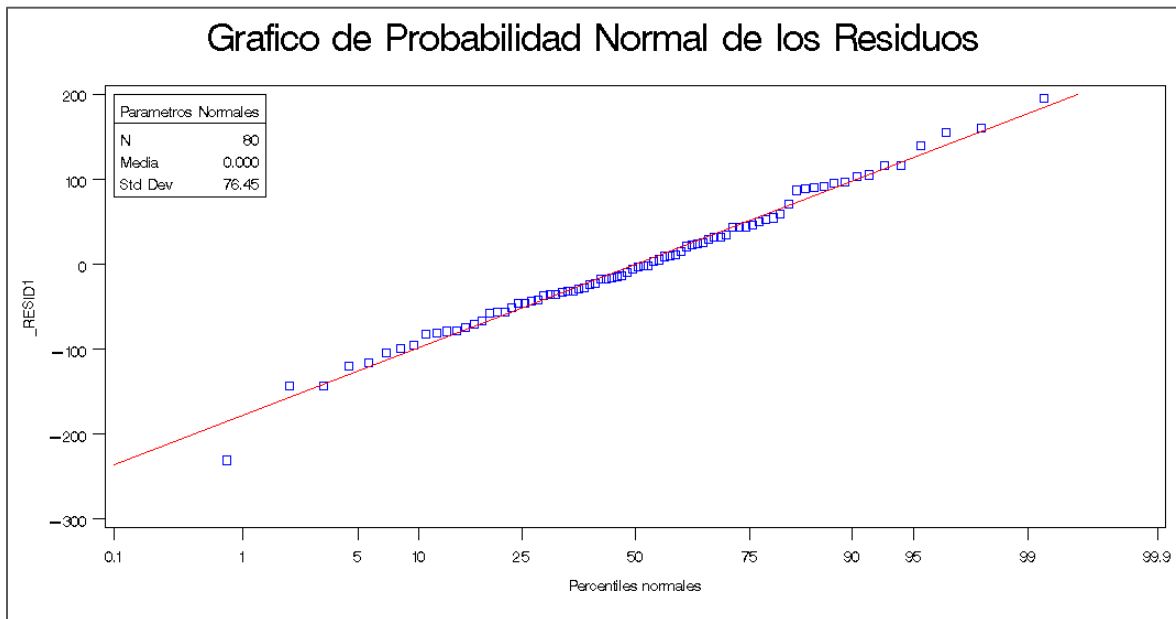


Figura 35. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1.

Homogeneidad de Varianza

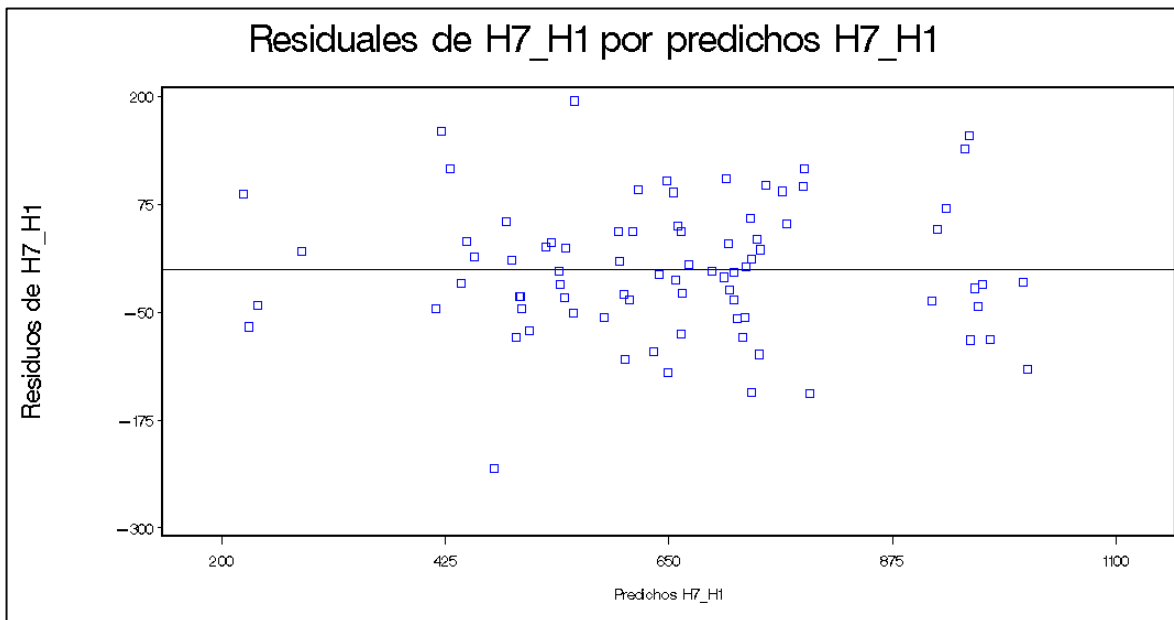


Figura 36. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.

En la figura 36 de los residuos de la variable H7_H1 versus los predichos de H7_H1, no se aprecia ningún patrón en la dispersión de la nube de puntos; por lo tanto, se asume que las varianzas son homogéneas.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _RESID1ie

Durbin-Watson D	1.755
Número de observaciones	80
1st Autocorrelación de orden	0.121

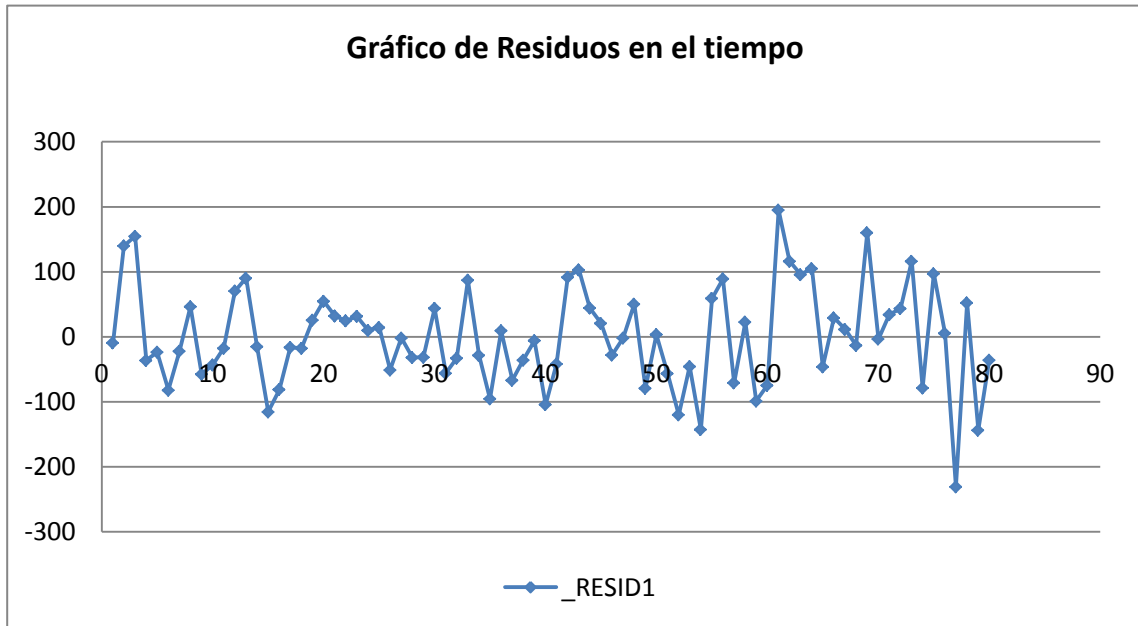


Figura 37. Residuos en el tiempo H7_H1.

La correlación serial positiva es muy pequeña, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = 0.121$. Por lo tanto, se asume que los errores son no correlacionados.

10.3.2. Verificación de supuestos del modelo D7_D1

Normalidad de los residuos

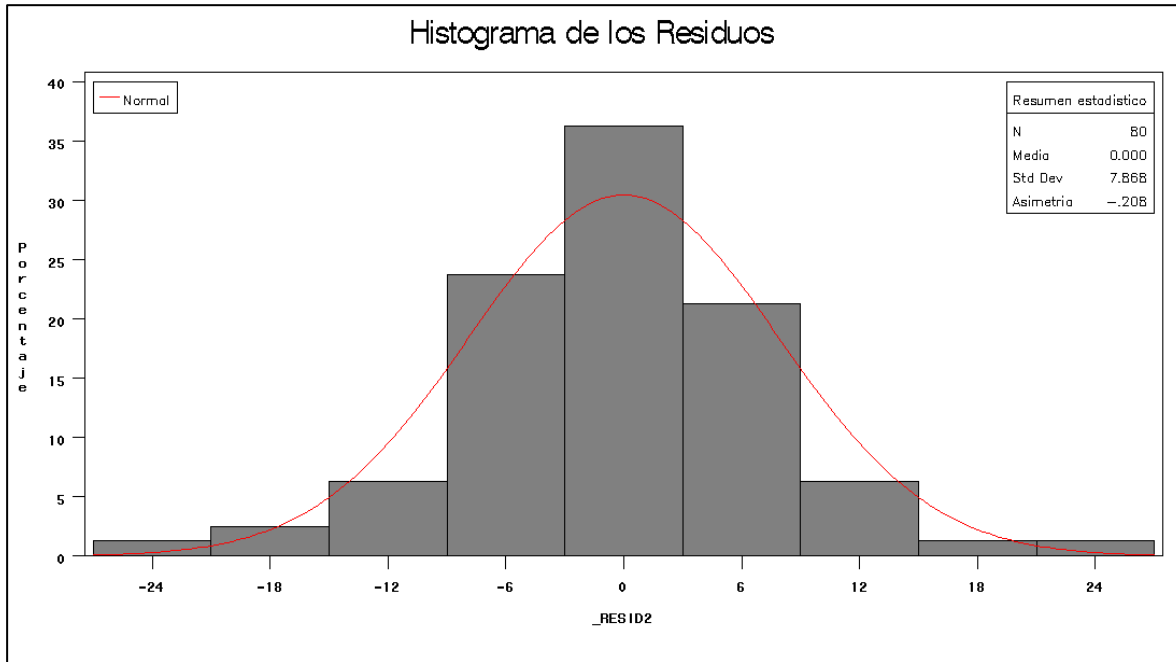


Figura 38. Histograma de Residuos D7_D1.

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución ajustada para _RESID2

Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	7.868102

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.08156783	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.09988252	Pr > W-Sq 0.113
Anderson-Darling	A-Sq 0.69448620	Pr > A-Sq 0.071

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

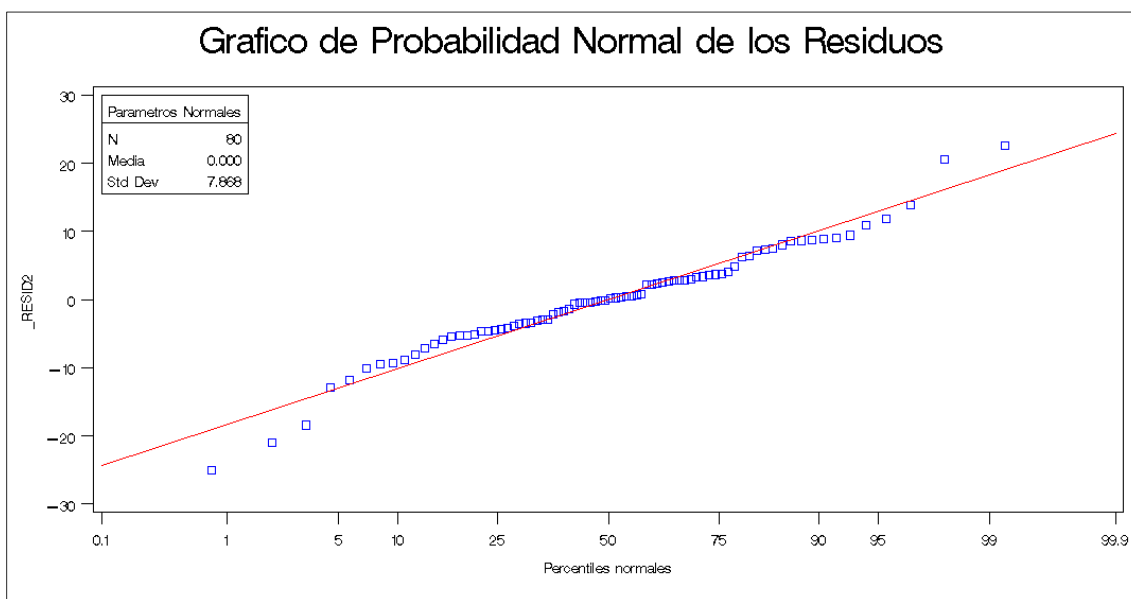


Figura 39. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1.

Homogeneidad de Varianza

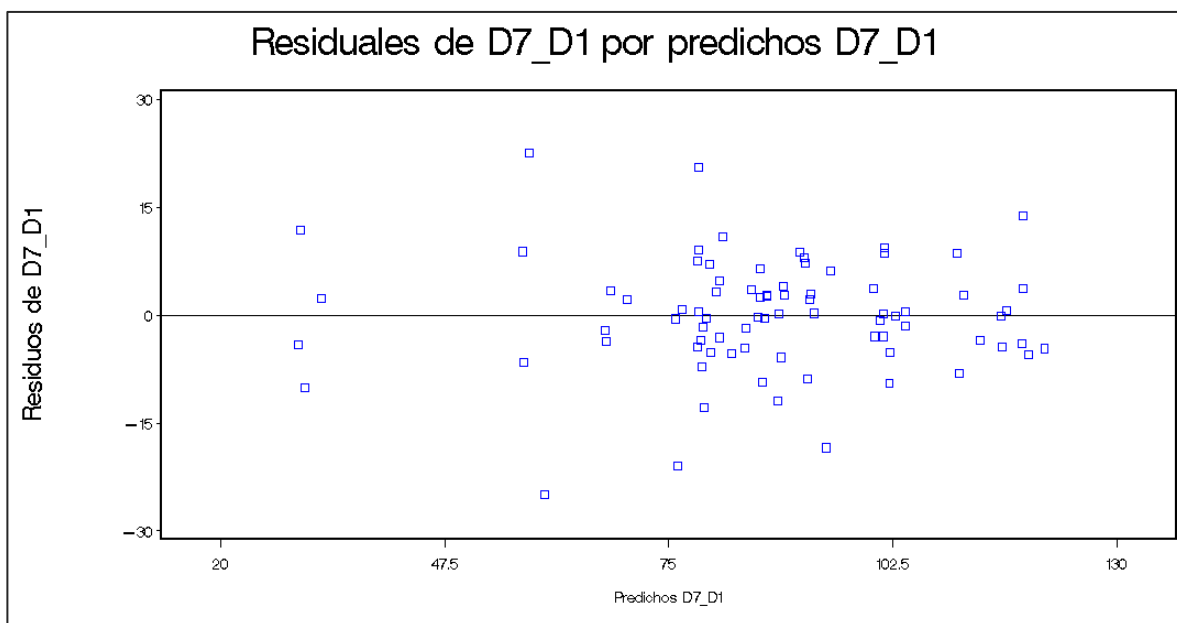


Figura 40. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1.

En la figura 40 de los residuos de la variable D7_D1 versus los predichos de D7_D1, no se observa patrón alguno en la dispersión de la nube de puntos; por lo tanto, se asume que las varianzas son homogéneas.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _RESID2

Durbin-Watson D	2.134
Número de observaciones	80
1st Autocorrelación de orden	-0.073

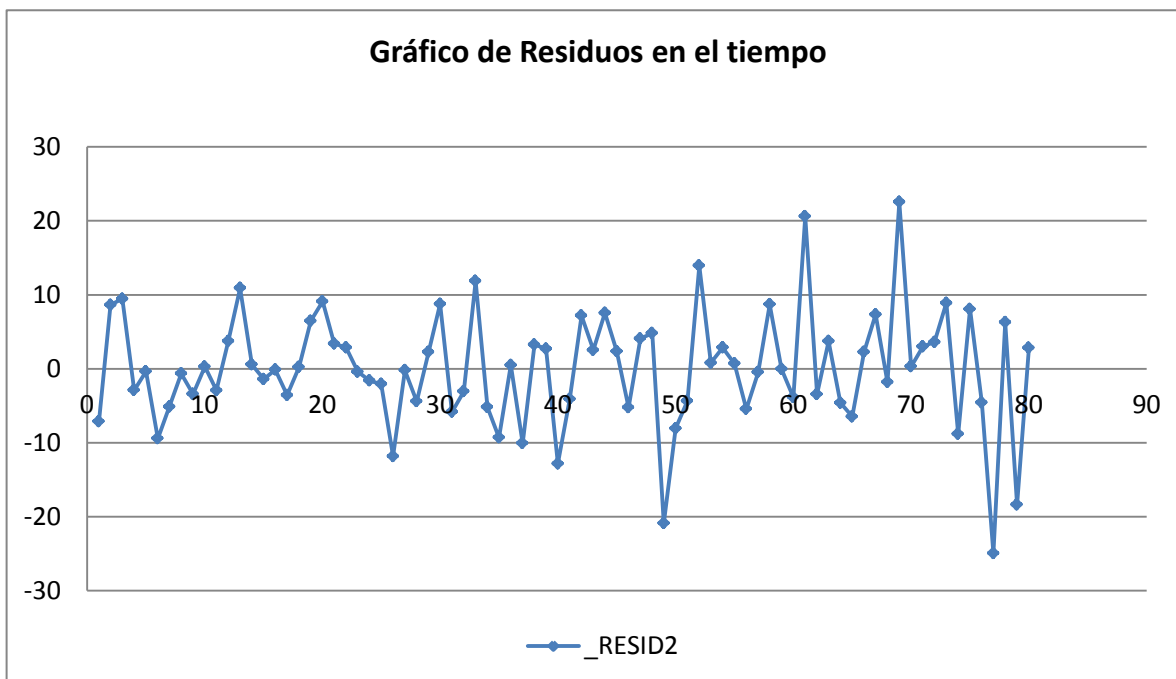


Figura 41. Residuos en el tiempo D7_D1.

La correlación serial negativa es casi nula, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la derecha y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = -0.073$. Por lo tanto, se asume que los errores son no correlacionados.

10.4. Grupo4

10.4.1. Verificación de supuestos del modelo H7_H1

Normalidad de los residuos

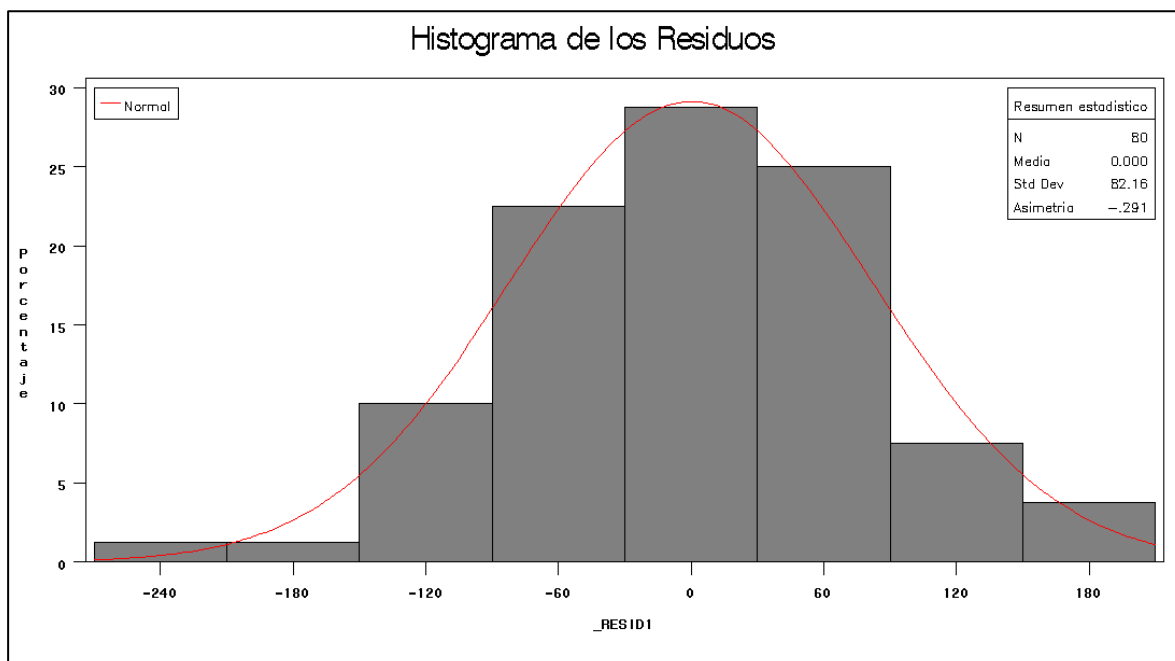


Figura 42. Histograma de Residuos H7_H1.

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución ajustada para _RESID1
Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	82.1622

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	----P-valor----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.05921177	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.03983012	Pr > W-Sq >0.250
Anderson-Darling	A-Sq 0.28334870	Pr > A-Sq >0.250

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

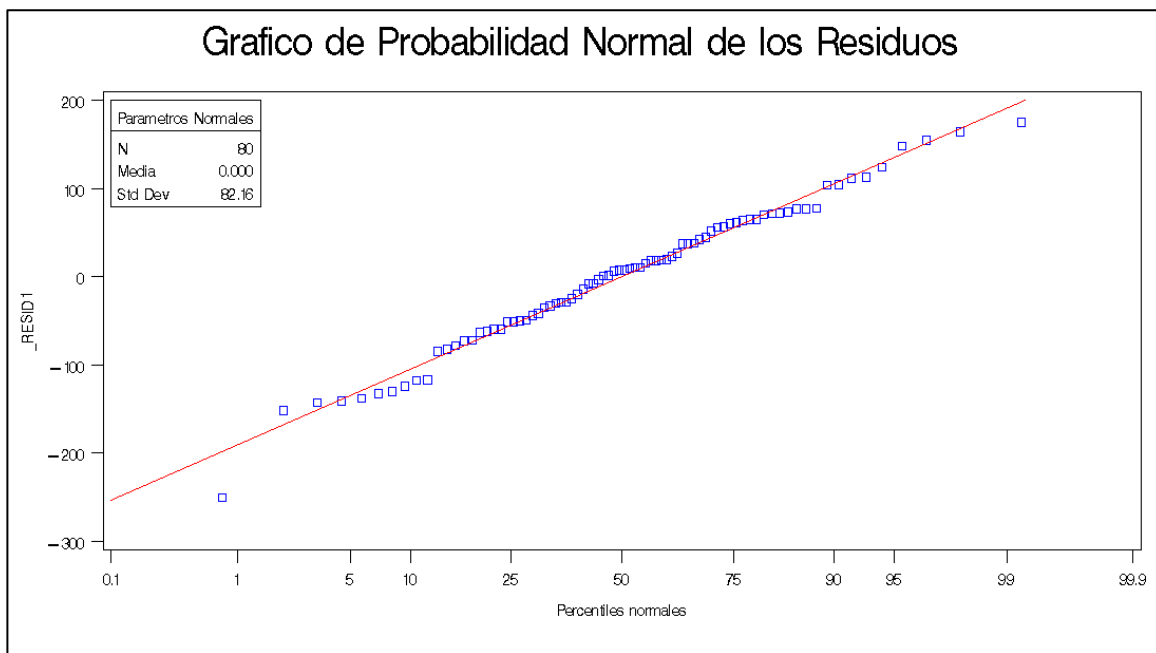


Figura 43. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1.

Homogeneidad de Varianza

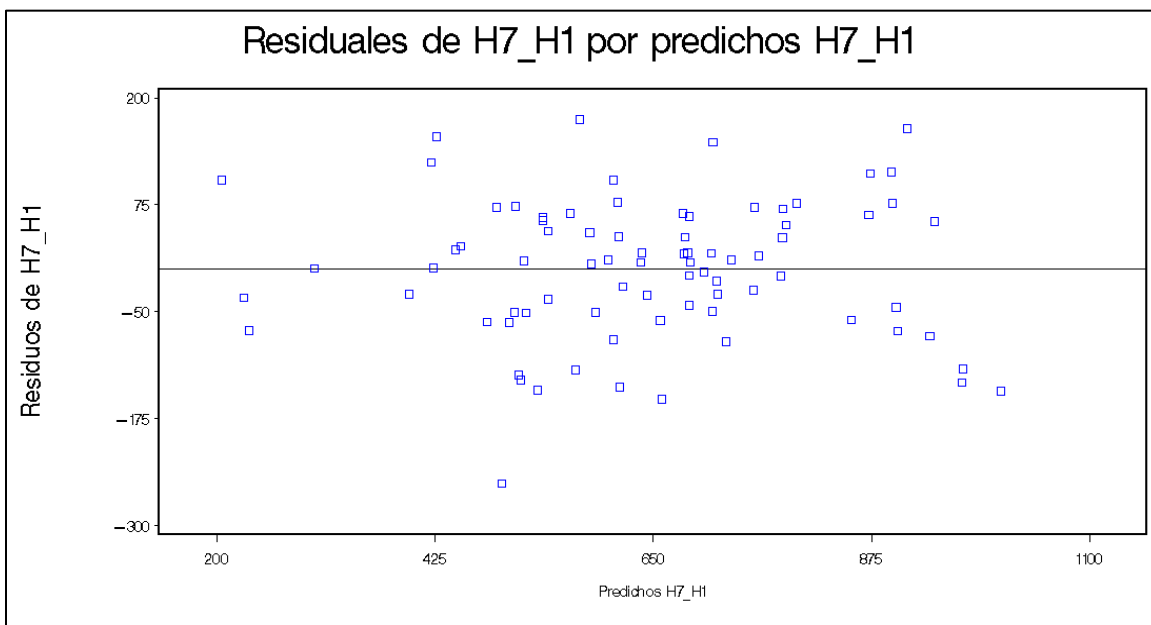


Figura 44. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.

En la figura 44 de los residuos de la variable H7_H1 versus los predichos de H7_H1, no se observa ningún patrón en la nube de puntos; por lo tanto, se asume que las varianzas son homogéneas.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _RESID1ie

Durbin-Watson D	1.406
Número de observaciones	80
1st Autocorrelación de orden	0.293

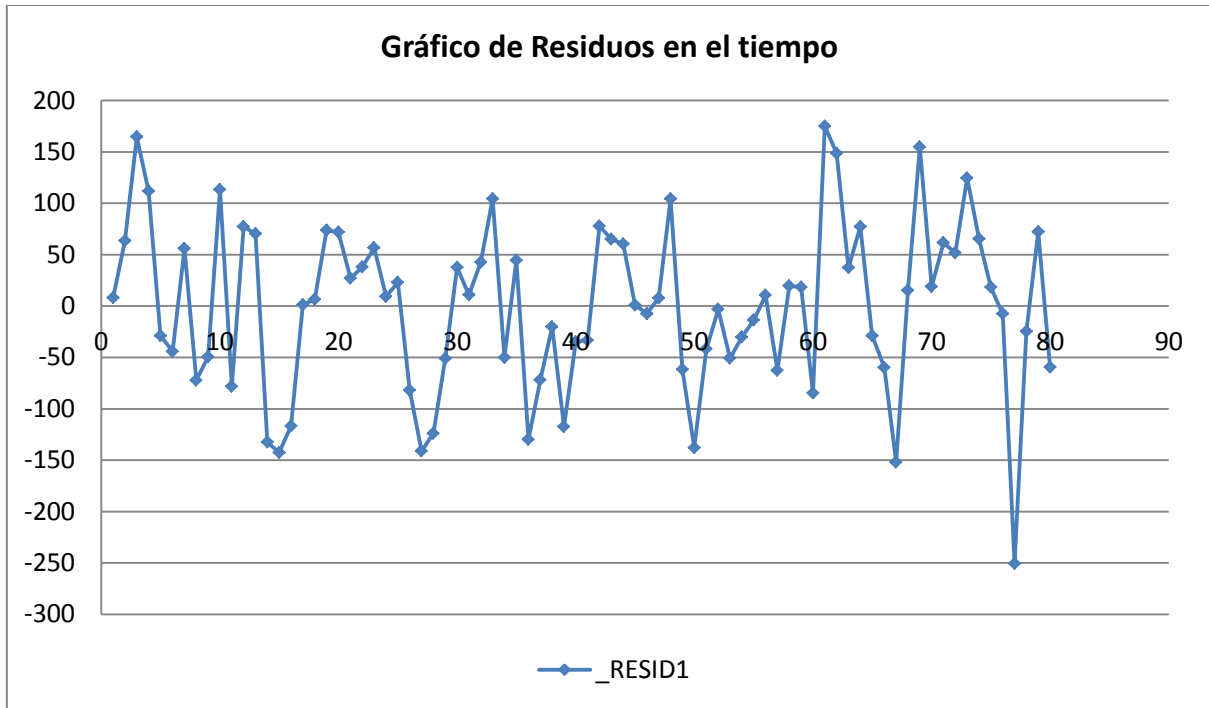


Figura 45. Residuos en el tiempo H7_H1.

La correlación serial positiva es débil, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = 0.293$. Lo anterior se visualiza en la figura 45 de los residuos de H7_H1 graficados en el tiempo.

10.4.2. Verificación de supuestos del modelo D7_D1

Normalidad de los residuos

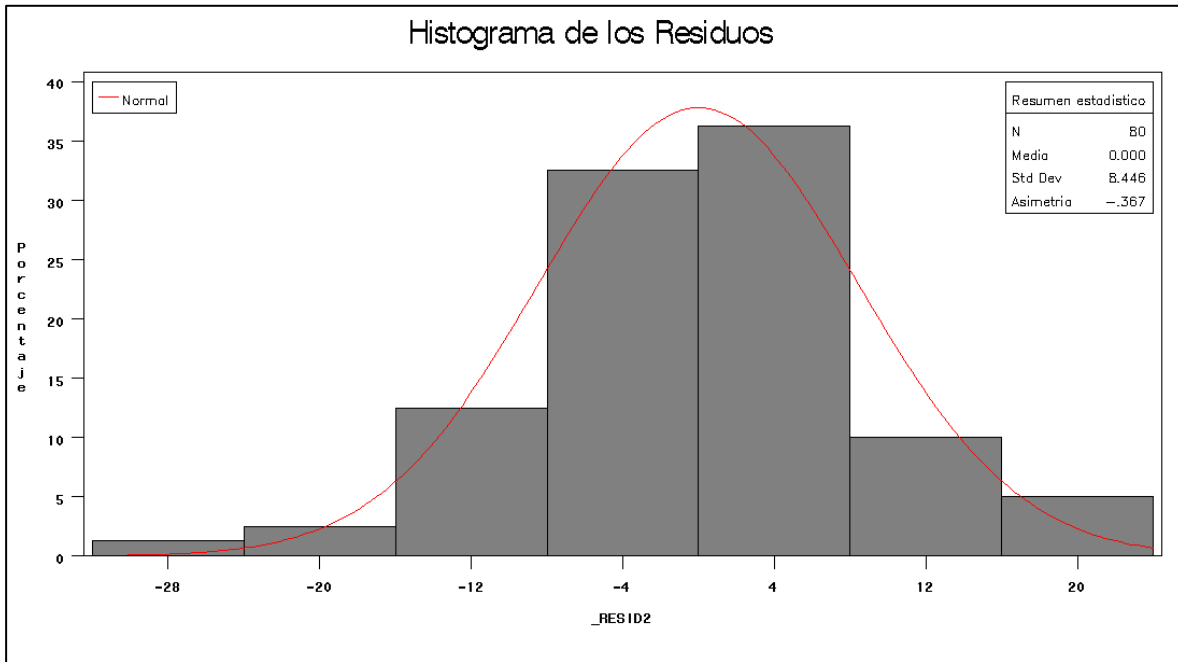


Figura 46. Histograma de Residuos D7_D1.

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución ajustada para _RESID2

Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	8.446153

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.08844149	Pr > D 0.123
Cramer-von Mises	W-Sq 0.09904959	Pr > W-Sq 0.117
Anderson-Darling	A-Sq 0.56503842	Pr > A-Sq 0.143

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

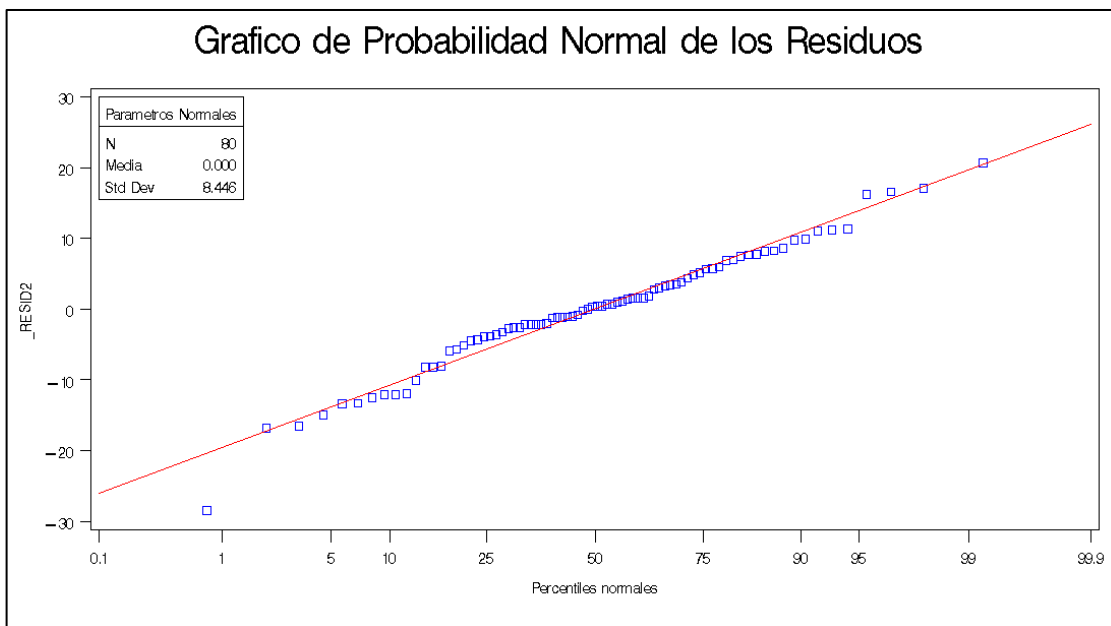


Figura 47. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1.

Homogeneidad de Varianza

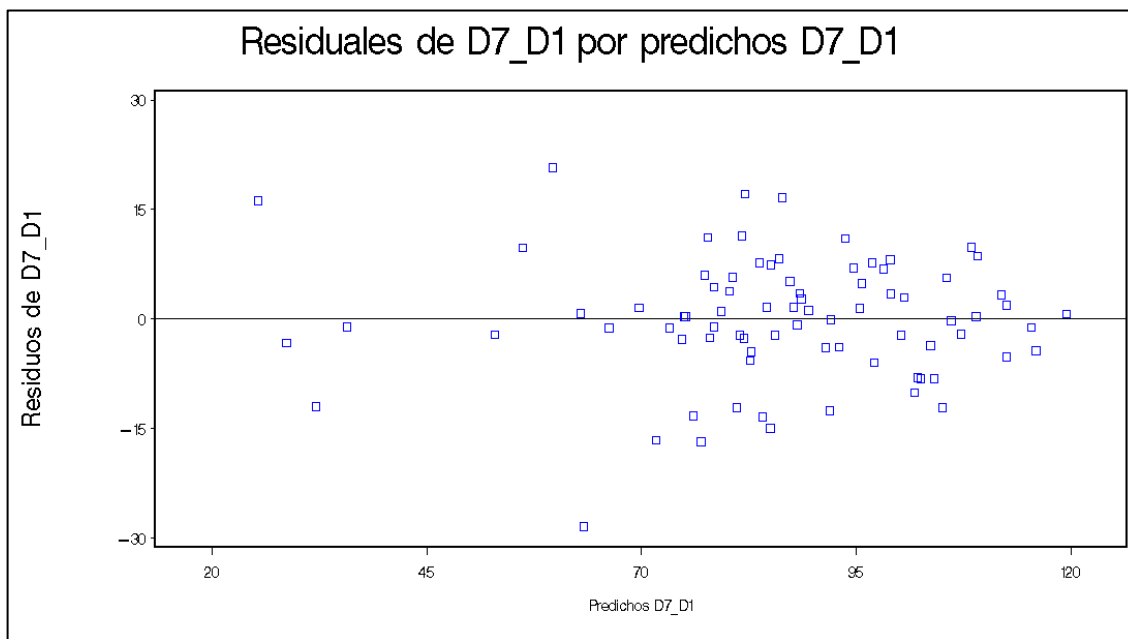


Figura 48. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.

En la figura 48 de los residuos de la variable H7_H1 versus los predichos de H7_H1, se aprecia una dispersión heterogénea, la variabilidad disminuye a medida que aumentan los predichos de la variable altura.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _RESID2

Durbin-Watson D 1.657
 Número de observaciones 80
 1st Autocorrelación de orden 0.162

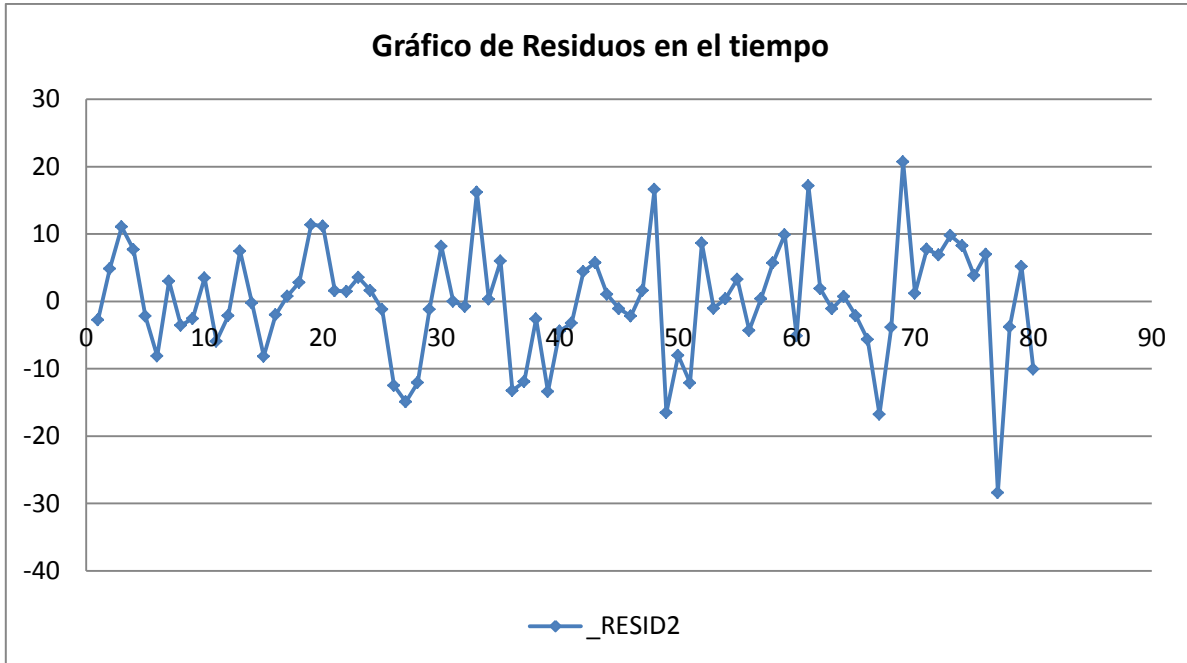


Figura 49. Residuos en el tiempo D7_D1.

La correlación serial positiva es débil, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = 0.162$. Esta afirmación se visualiza en la figura 49 de los residuos de H7_H1 graficados en el tiempo.

10.5. Grupo5

10.5.1. Verificación de supuestos del modelo H7_H1

Normalidad de los residuos

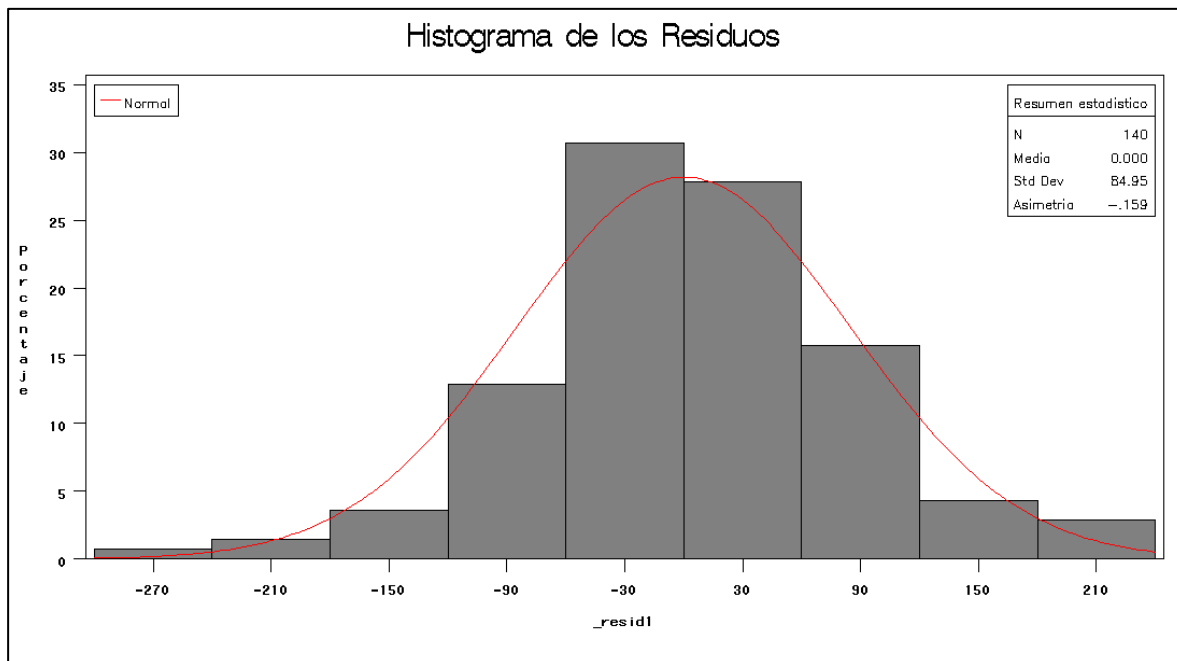


Figura 50. Histograma de Residuos H7_H1.

Procedimiento UNIVARIATE
Distribución ajustada para _resid1
Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	84.95128

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	----P-valor----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.05530968	Pr > D >0.150
Cramer-von Mises	W-Sq 0.06075942	Pr > W-Sq >0.250
Anderson-Darling	A-Sq 0.39520048	Pr > A-Sq >0.250

No se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos cumplen con el supuesto de distribución normal.

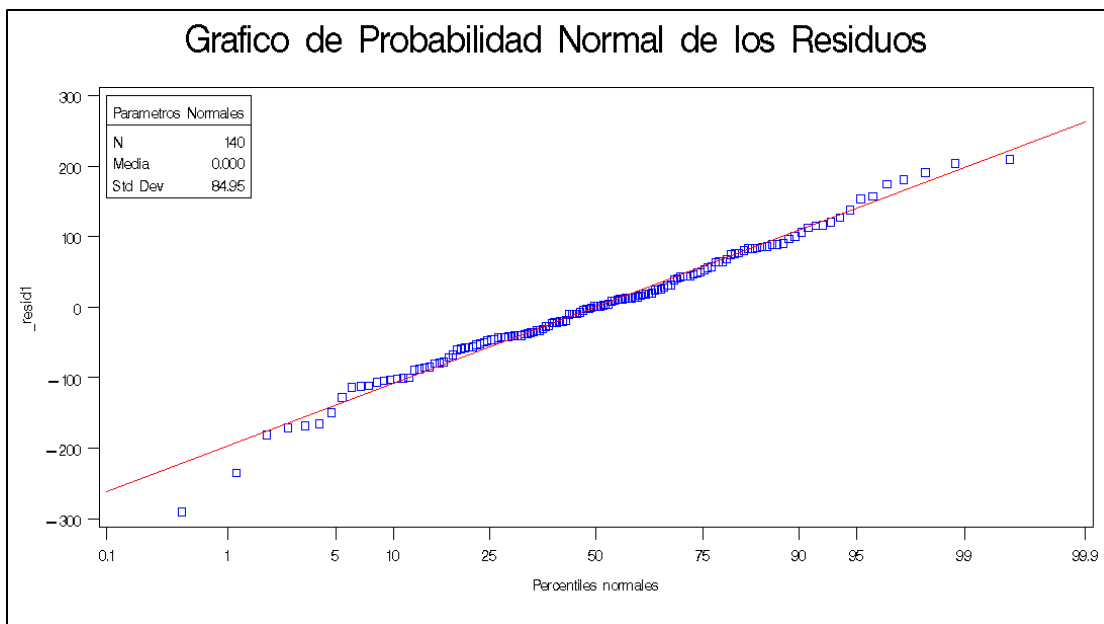


Figura 51. Probabilidad normal de los residuos para H7_H1.

Homogeneidad de Varianza

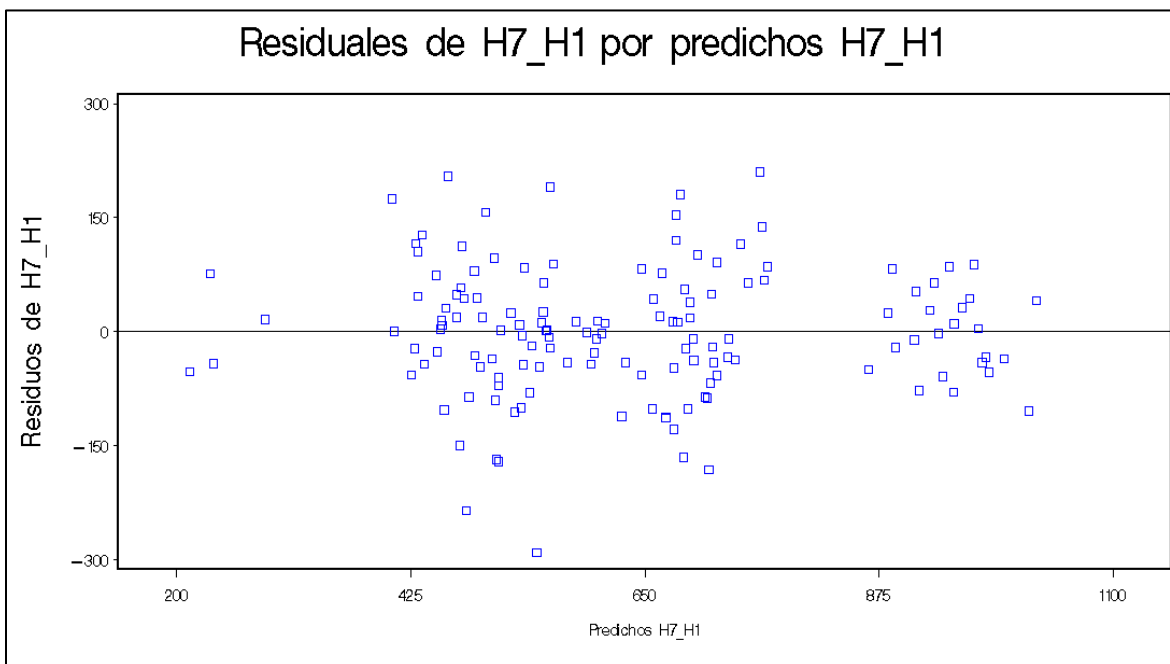


Figura 52. Residuos de H7_H1 por predichos de H7_H1.

En la figura 52 de los residuos de la variable H7_H1 versus los predichos de H7_H1, se observan tres grupos aparentemente con varianzas heterogéneas, no cumpliéndose el supuesto de varianzas homogéneas.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _resid1ie

Durbin-Watson D	1.566
Número de observaciones	140
1st Autocorrelación de orden	0.217

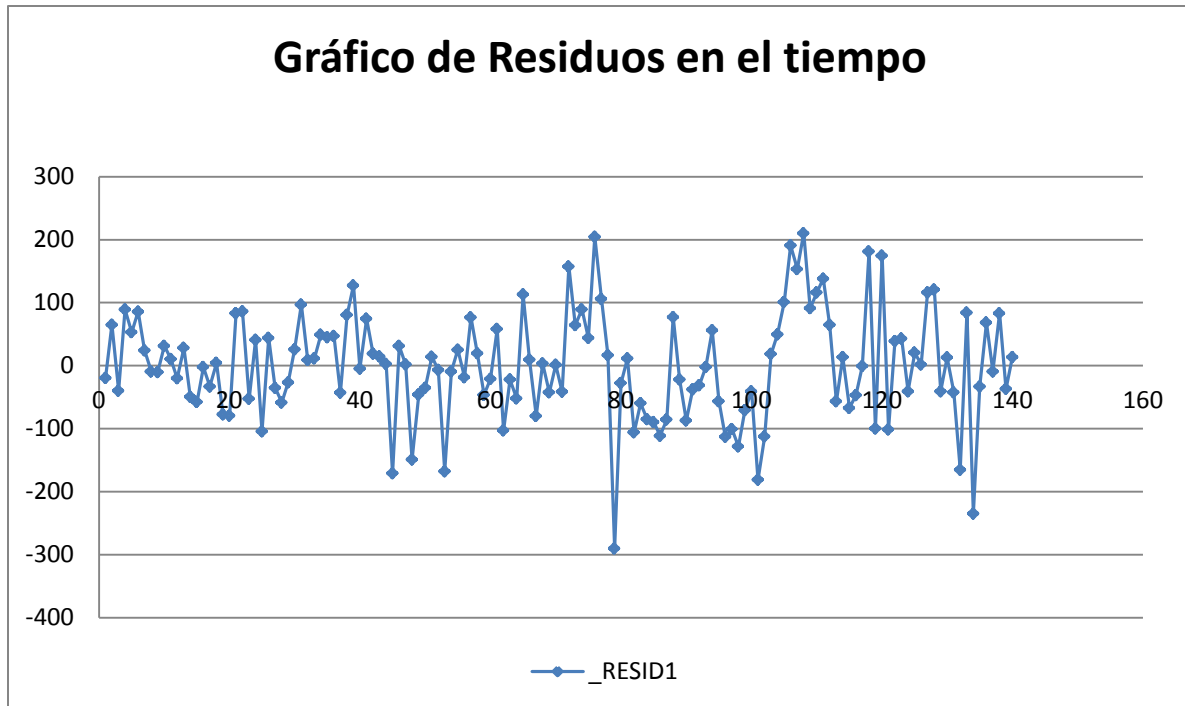


Figura 53. Residuos en el tiempo H7_H1.

La correlación serial positiva es débil, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la izquierda y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = 0.217$. Además, estas afirmaciones se visualizan en la figura 53 de los residuos de H7_H1 graficados en el tiempo.

10.5.2. Verificación de supuestos del modelo D7_D1

Normalidad de los residuos

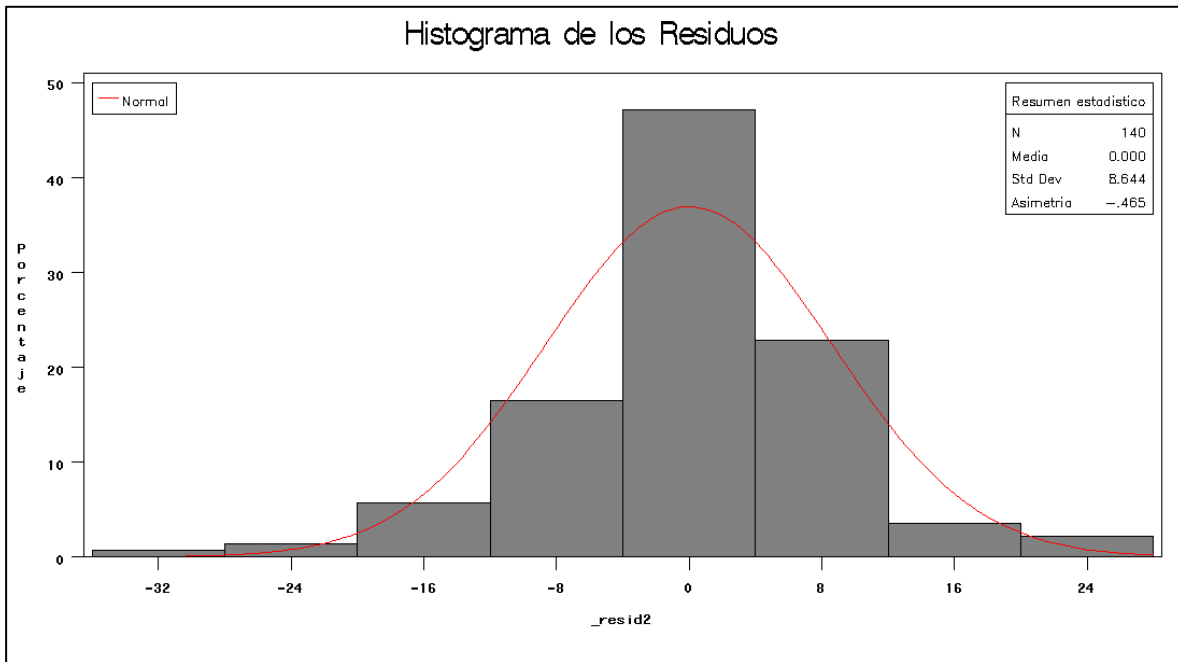


Figura 54. Histograma de Residuos D7_D1.

Procedimiento UNIVARIATE
 Distribución ajustada para _resid2
 Parámetros para distribución Normal

Parámetro	Símbolo	Estimador
Media	Mu	0
Dev est	Sigma	8.64433

Tests de bondad de ajuste para la distribución Normal

Test	--Estadístico--	----P-valor----
Kolmogorov-Smirnov	D 0.09381106	Pr > D <0.010
Cramer-von Mises	W-Sq 0.28862981	Pr > W-Sq <0.005
Anderson-Darling	A-Sq 1.68380906	Pr > A-Sq <0.005

Se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se concluye que los residuos NO cumplen con el supuesto de distribución normal.

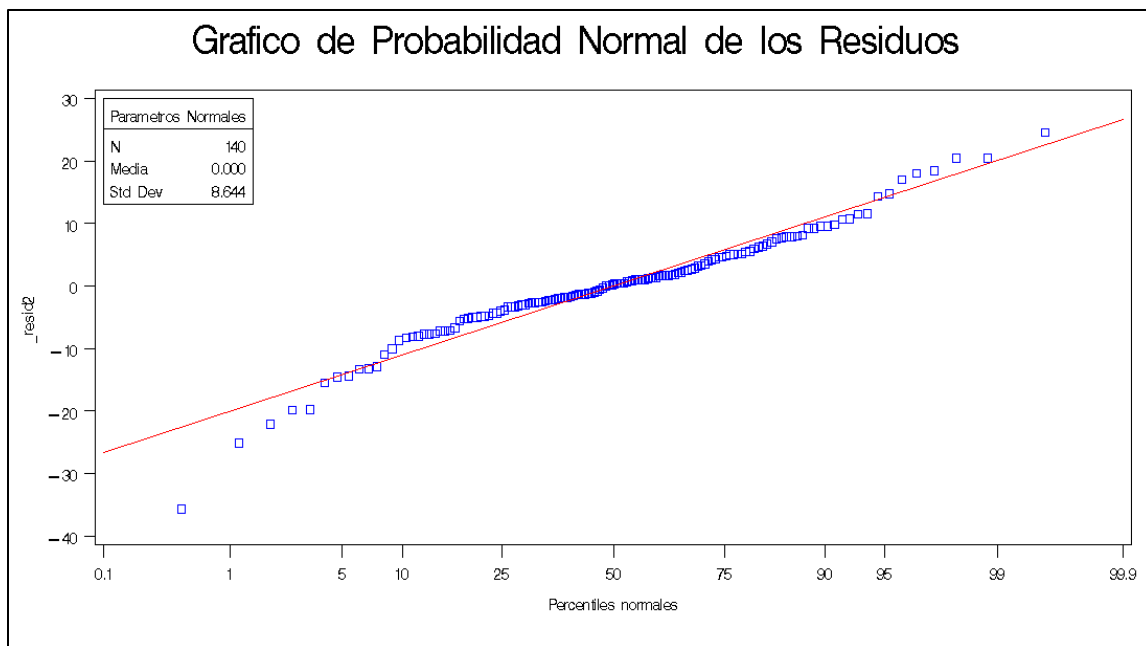


Figura 55. Probabilidad normal de los residuos para D7_D1.

La figura 55 refleja que los residuos no siguen una distribución normal, esto se debe a que las colas son muy livianas respecto de la dist. Normal.

Homogeneidad de Varianza

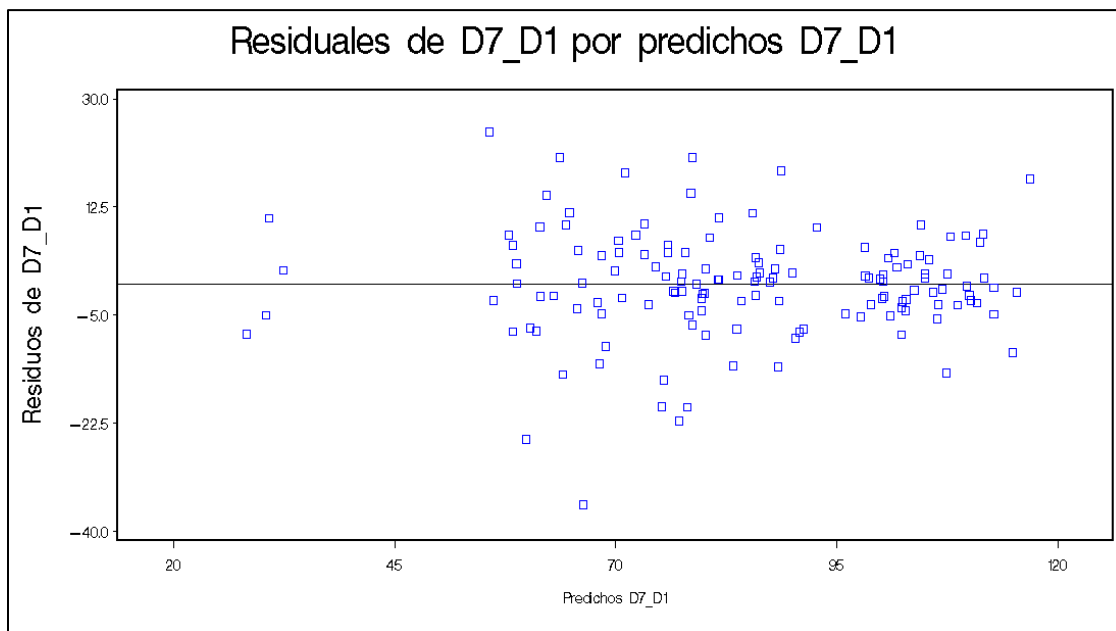


Figura 56. Residuos de D7_D1 por predichos de D7_D1.

En el gráfico de los residuos de la variable D7_D1 versus los predichos de D7_D1, se aprecia una dispersión heterogénea, la variabilidad disminuye a medida que aumentan los predichos de la variable diámetro.

Independencia de los residuos

Procedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: _resid2

Durbin-Watson D	2.055
Número de observaciones	140
1st Autocorrelación de orden	-0.032

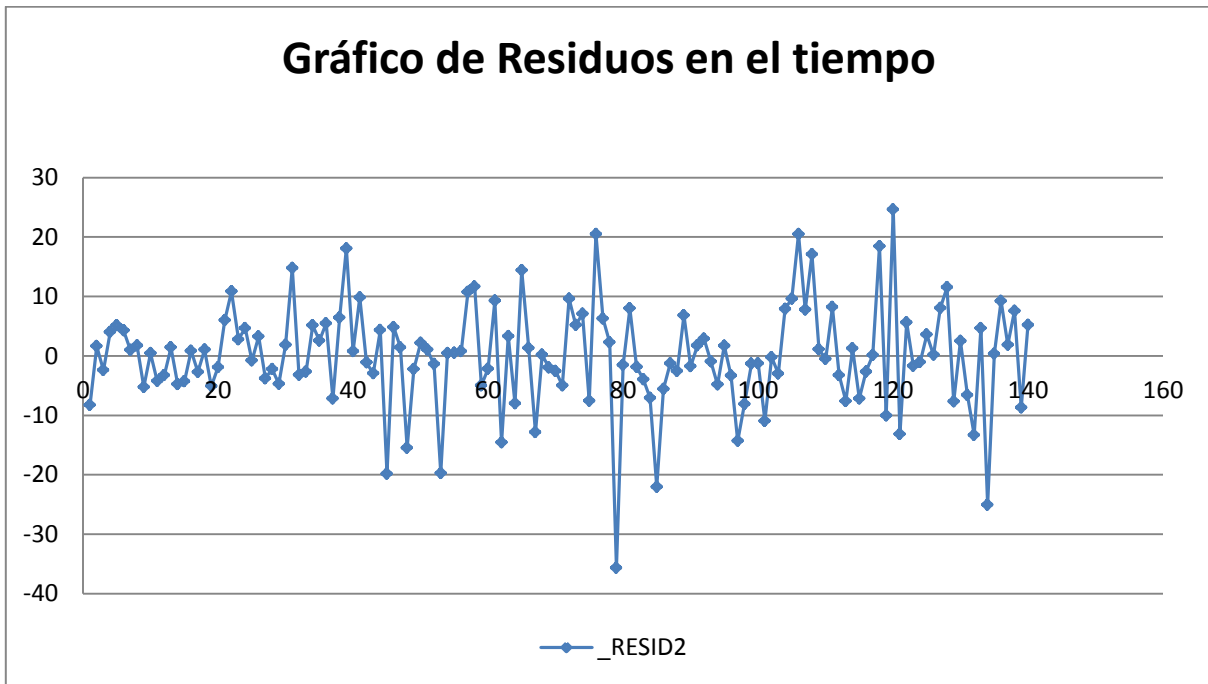


Figura 57. Residuos en el tiempo D7_D1.

La correlación serial positiva es muy débil, esto lo indica el valor de d muy cercano a 2 por la derecha y el coeficiente de autocorrelación de primer orden $r = -0.032$. Además, estas afirmaciones se visualizan en la figura 57 de los residuos de H7_H1 graficados en el tiempo.

11. Referencias

- Cid L. 2013, *Diseño de Experimentos*. Departamento de Estadística, Universidad del Bio-Bio. Concepción, Chile.
- Bravo T., F Muños., O. M. Sanches. Junio de 2009. *Efecto de la aplicación de herbicidas Metsulfuron Metil en mezcla con Glifosato, en el establecimientos de plantaciones de Eucalyptus globulus labill*. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales.
- Burgos E., 2013. Proyecto de Titulo I: *Estudio experimental de métodos de control de malezas utilizados en plantaciones de E. globulus y propuesta de análisis alternativo de los MDE mediante el enfoque de regresión*.
- Documento “Uso De Herbicidas”. Redacción: IMA, Ingeniería y Medio Ambiente. Edición: Diputación Provincial de Jaén. Impresión: Soproagra S.A. disponible en http://www.agenda21jaen.com/export/sites/default/galerias/galeriaDescargas/agenda21/Aplicaciones/olivarsostenible/cuaderno_uso_herbicidas_Rr.pdf [Consultado el año 2013].
- Gujarati DN., (2003). *Basic Econometrics*. McGraw Hill, Boston etc. Fourth Edition.
- Kogan M., 1993. Manejo de malezas en plantaciones frutales. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 277 p.
- Kuelhl R O., 2001. *Diseño de Experimentos; Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Segunda edición. The University of Arizona. THOMSON-LEARNING.
- Montgomery D.C., 1991. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Universidad Estatal De Arizona. LIMUSA WILEY.

- Neter J., M. h. Kutner, C. J. Nachtsheim, W. Wasserman. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. Ed. McGraw Hill.
- Prado D.,1991. Establecimiento de plantaciones. En: Eucalytus, principios de silvicultura y manejo. CORFO-INFOR. Santiago, Chile.
- Thurn-Valsassina F., 2001. Persistencia del Metsulfuron-metil y Triasulfuron en tres suelos de la décima región. Tesis de grado, Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63033/HTML/default/viewer.htm#glm_toc.htm