

# Informe consultoría

## Caso I: Evaluación de la Torta de Sacha Inchi Como Ingrediente Para Dietas de Pollos de Engorde

### Grupo # 2

MANUELA OLAYA<sup>1,a</sup>, NICOLAS ROMERO<sup>1,b</sup>, JULIETA RUÍZ<sup>1,c</sup>,  
GERMÁN VÁSQUEZ<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA, FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA, BOGOTÁ, COLOMBIA

#### Abstract

Este informe presenta los resultados de la consultoría realizada para el proyecto de investigación titulado **Evaluación de la Torta de Sacha Inchi Como Ingrediente Para Dietas de Pollos de Engorde**, correspondiente a la [tesis de Maestría](#) de **Francis Alberto Francois Osorio Huertas**, bajo la dirección de la Profesora **Ruth Amanda Acero Camelo. Zoot. MSc. PhD.** del área curricular de **Zootecnia** de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Este estudio busca evaluar el efecto de la inclusión de torta de sachá inchi (TSI) como ingrediente en dietas para pollos de engorde. El experimento se llevó a cabo en la Granja I.T.A Valsalice, Fusagasugá (1769 m.s.n.m, temperatura promedio de 19°C, humedad relativa de 81%), utilizando 240 pollos en inicio y 237 en total tras la exclusión de 3 individuos fallecidos. Se implementó un diseño experimental con cinco tratamientos: una dieta basal (T1) y cuatro dietas experimentales con diferentes niveles de inclusión de TSI (7% y 14%) y contenido graso (5% y 10%) (T2-T5). Las unidades experimentales fueron las jaulas, con seis repeticiones y ocho réplicas por tratamiento. Se analizaron variables productivas como ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo de alimento, con el objetivo de determinar si la inclusión de TSI mejora los indicadores de crecimiento. Además, se ajustaron los datos para evaluar posibles efectos derivados del nivel de inclusión de TSI y su contenido graso. Este trabajo contribuirá a identificar el potencial de la torta de sachá inchi como un ingrediente funcional en la formulación de dietas para aves de engorde, maximizando el aprovechamiento de recursos alternativos en la nutrición animal.

**Key words:** sachá inchi, pollos de engorde, nutrición animal, crecimiento, conversión alimenticia, dietas experimentales, diseño experimental.

<sup>a</sup>Universidad Nacional de Colombia. E-mail: molayao@unal.edu.co

<sup>b</sup>Universidad Nacional de Colombia. E-mail: niromeros@unal.edu.co

<sup>c</sup>Universidad Nacional de Colombia. E-mail: druizca@unal.edu.co

<sup>d</sup>Universidad Nacional de Colombia. E-mail: gvasquez@unal.edu.co

## Contents

<b>1</b>	<b>Problema de investigación</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Problemas estadísticos por resolver</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Revisión Bibliográfica</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Metodología</b>	<b>8</b>
6.1	Características generales de los lugares que harán parte del estudio	8
6.2	Población objetivo . . . . .	9
6.3	Individuos que harán parte del estudio . . . . .	9
6.4	Variable respuesta a considerar en el estudio: . . . . .	10
6.5	Variables explicativas . . . . .	10
6.6	Instrumentos de medición a utilizar . . . . .	11
6.7	Restricciones estadísticas identificadas hasta el momento . . . . .	11
6.8	Propuesta metodológica pensada y discutida con profesores expertos	11
<b>7</b>	<b>Resultados</b>	<b>13</b>
7.1	Descripción Univariada de los datos . . . . .	13
7.2	Modelo de efectos mixtos . . . . .	17
7.2.1	Peso inicial . . . . .	18
7.2.2	Peso a los 22 días . . . . .	21
7.2.3	Peso a los 29 días . . . . .	23
7.2.4	Peso a los 36 días . . . . .	26
7.2.5	Peso a los 43 días . . . . .	29
7.3	Análisis de medidas repetidas . . . . .	33
7.3.1	Análisis de medidas repetidas estándar . . . . .	33
7.3.2	Análisis de medidas repetidas Constant Variance Function .	35
7.3.3	Análisis de medidas repetidas Power Variance Function . .	37
7.4	Análisis de resultados . . . . .	39
<b>8</b>	<b>Modelos pedidos por el consultante, los cuales NO recomendamos</b>	<b>43</b>
8.1	Modelo completamente al azar . . . . .	43
8.1.1	Peso a los 22 días . . . . .	43
8.1.2	Peso a los 29 días . . . . .	45

<i>Uso de torta de sachá inchi en dietas para pollos de engorde</i>	<b>3</b>
8.1.3 Peso a los 36 días . . . . .	46
8.1.4 Peso a los 43 días . . . . .	48
8.2 Modelo Bloques Completos Aleatorizados . . . . .	50
8.2.1 Peso a los 22 días . . . . .	50
8.2.2 Peso a los 29 días . . . . .	52
8.2.3 Peso a los 36 días . . . . .	54
8.2.4 Peso a los 43 días . . . . .	56
<b>9 Conclusiones</b>	<b>58</b>
<b>10 Bibliografía:</b>	<b>59</b>
<b>11 Bitacora</b>	<b>59</b>
<b>12 Anexos</b>	<b>61</b>
12.1 Código R: Descripción Univariada de los datos . . . . .	61
12.2 Código R: Modelo de efectos mixtos . . . . .	62
12.2.1 Librerías necesarias . . . . .	62
12.2.2 Preparación de datos . . . . .	62
12.2.3 Modelo de efectos mixtos - Peso inicial . . . . .	63
12.2.4 Modelo de efectos mixtos - 22 días . . . . .	63
12.2.5 Modelo de efectos mixtos - 29 días . . . . .	63
12.2.6 Modelo de efectos mixtos - 36 días . . . . .	63
12.2.7 Modelo de efectos mixtos - 43 días . . . . .	63
12.2.8 Análisis de medidas repetidas - Reuniendo Jaulas . . . . .	64
12.2.9 Verificación de supuestos . . . . .	65

## 1. Problema de investigación

La alimentación representa el 72% de los costos de producción en la avicultura, y Colombia depende significativamente de la importación de maíz y soya para formular las dietas de pollos de engorde. Esta dependencia externa genera altos costos, lo que afecta la sostenibilidad del sector avícola nacional. Ante esta situación, se buscan alternativas que permitan sustituir parcial o totalmente estas materias primas por recursos nacionales, como la torta de sachá inchi (TSI), un subproducto agroindustrial con potencial para mejorar la eficiencia productiva y reducir costos. Sin embargo, el efecto de la inclusión de TSI en las dietas sobre el desempeño productivo de los pollos, medido a través de variables como ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo, no ha sido evaluado en el contexto de trópico alto en Colombia.

El cultivo de sachá inchi en Colombia, iniciado en 2013 como una alternativa a los cultivos ilícitos, ha mostrado un crecimiento significativo. Este cultivo, originario de la Amazonía, produce aceite y torta de sachá inchi, ricos en ácidos grasos omega 3 y 6, con propiedades antioxidantes, antimicrobianas y beneficiosas contra el colesterol. No obstante, la composición de la torta varía considerablemente dependiendo del método de extracción del aceite y las condiciones geográficas, lo que puede afectar su rendimiento como suplemento en la alimentación animal.

Este estudio se centra en determinar si la inclusión de TSI, en diferentes niveles y contenidos grasos, puede mejorar el rendimiento productivo de pollos de engorde, específicamente en términos de ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo. Para ello, el diseño experimental se limitará a los factores de tratamiento, repetición, peso inicial y pesos a los 22, 29, 36 y 43 días de iniciado el estudio. Además, se busca evaluar la viabilidad de utilizar TSI como un insumo local sostenible para la industria avícola colombiana, con el fin de reducir la dependencia de importaciones y mejorar la rentabilidad del sector.

## 2. Objetivo general

Evaluar la torta de sachá inchi como ingrediente en dietas para pollos de engorde.

## 3. Objetivos específicos

A lo largo de la tesis se abordarán los siguientes objetivos:

- *Evaluar el desempeño productivo de pollos de engorde alimentados con diferentes niveles de torta de sachá inchi (TSI), en función del incremento en el peso de los pollos a los 22, 29, 36 y 43 días de iniciado el estudio, comparado con la dieta basal.*
- *Determinar si la inclusión de torta de sachá inchi (TSI) con diferentes porcentajes de grasa (5% y 10%) y niveles de inclusión (7% y 14%) tiene un*

*efecto significativo sobre la ganancia de peso de los pollos en comparación con la dieta basal.*

## 4. Problemas estadísticos por resolver

- Indagar con expertos en el área, qué tipo de diseño experimental sería el más adecuado para evaluar el impacto de los diferentes niveles de inclusión de torta de sachá inchi y contenido graso sobre el desempeño productivo de los pollos.
- Establecer propuestas metodológicas que la consultante pueda aplicar en su estudio a futuro, aclarando dudas en el camino.
- Ejemplificar el uso de la metodología aplicada y código en R para el análisis del impacto de los tratamientos sobre el peso de los pollos, utilizando el diseño experimental planteado.

## 5. Revisión Bibliográfica

### Fuente 1

**Tipo de documento:** Tesis de pregrado en Biología

**Título:** Correlación entre nivel de Testosterona, Morfometría y éxito reproductivo En La Babilla Caimán *Crocodylus Crocodylus*.

**País:** Colombia

**Autora:** Leidy Alejandra Barragán Contreras.

**Año:** 2016.

**Resumen:** Estudiaron el papel de la testosterona en machos de caimán *Crocodylus*. Aunque no hallaron una conexión directa entre la testosterona, las dimensiones corporales y el éxito reproductivo, las pruebas de paternidad asignaron pocas crías a los posibles padres.

**Metodología estadística empleada:** Incluyó varios análisis. Se aplicó un análisis de función discriminante (LDA) para resumir morfométricamente hembras y machos de la población, seguido de una prueba de Bartlett para evaluar las diferencias de varianza entre los sexos. Se realizó un ANCOVA para examinar la relación entre los niveles de testosterona, el sexo y las dimensiones corporales. Además, se empleó un modelo lineal generalizado (GLM) con función de vínculo de

Poisson para analizar la relación entre los niveles de testosterona, las dimensiones corporales y el número de crías asignadas a los machos de la población.

## **Fuente 2**

**Tipo de documento:** Artículo

**Título:** Serum Concentrations of Corticosterone and Sex Hormones and Their Relationship in Farmed Morelet's Crocodile (*Crocodylus Moreletii*)

**País:** México

**Autores:** Adrián Gutiérrez-Cervantes, Concepción Ahuja-Aguirre, Lorena López-DeBuen, Sergio Viveros-Peredo, Jorge E Morales-Mávil, Felipe Montiel-Palacios.

**Año:** 2019.

**Resumen:** El estudio evaluó las concentraciones séricas de corticosterona (CORT) y hormonas sexuales en cocodrilos de Morelet (*Crocodylus moreletii*) en la temporada de reproducción y no reproducción. Se recolectaron muestras de sangre de 59 cocodrilos adultos para analizar CORT, estradiol (E2), progesterona (P4) y testosterona (T). Se observó que en las hembras, la CORT fue más alta en la temporada no reproductiva, pero no mostró correlación con E2 o P4. En los machos, la CORT fue similar en ambas temporadas y no mostró correlación con T.

**Metodología estadística empleada:** Incluyó un análisis de la t de Student para comparar las concentraciones hormonales entre la temporada no reproductiva (NBS) y la temporada reproductiva (BS) en hembras y machos. Se consideró una diferencia significativa si  $p < 0.05$ . Además, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar la relación entre las concentraciones de CORT y E2, P4 y T. El análisis estadístico se realizó con el programa Statistica 10®.

## **Fuente 3**

**Tipo de documento:** Tesis de investigación

**Título:** Efecto de dos suplementos energéticos sobre el control del balance energético negativo en vacas de producción de leche

**País:** Colombia

**Autor:** Laura Lucia Gómez Ortiz

**Año:** 2015.

**Resumen:** El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de dos suplementos energéticos, uno basado en propionato y otro de alta densidad, sobre el balance energético negativo en vacas lecheras en el período de transición. Se usaron 21 vacas en el parto, distribuidas en tres grupos: uno con propilenglicol (PG), otro con propionato de calcio (CaP), y un grupo control sin suplementación. Se tomaron 8 muestras de sangre para medir varios indicadores metabólicos. Los resultados mostraron que el tratamiento con PG mejoró significativamente el control del balance energético negativo, con un aumento del 13.4% en la producción de leche. No hubo diferencias significativas en varios indicadores entre los tratamientos control y CaP, pero el PG tuvo efectos más notables.

**Metodología estadística empleada:** Los datos de recolectados fueron analizados bajo un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo utilizando el software InfoStat (2008). Un análisis descriptivo exploratorio de tipo unidimensional, incluyendo media y error estándar, también fue realizado. De esta forma se estableció como modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + S_j + GS_{ij} + GE_{ik} + GSE_{ijk} + a(GE_{ik}) + e_{ijkl}$$

Donde:

- $Y_{ijkl}$ : Variable independiente
- $\mu$ : media general
- $G_i$ : Efecto del tratamiento  $i$ -ésimo
- $S_j$ : Periodo de muestreo y lactancia
- $GS_{ij}$ : Interacción tratamiento por periodo
- $GE_{ik}$ : Interacción tratamiento, periodo y producción de leche ajustada anidada al animal
- $GSE_{ijk}$ : Efecto del tratamiento, periodo y producción de leche ajustada
- $a(GE_{ik})$ : Efecto aleatorio del  $i$ -ésimo animal anidado dentro de la interacción del  $i$ -ésimo tratamiento con el  $k$ -ésimo producción de leche ajustada

## 6. Metodología

### 6.1. Características generales de los lugares que harán parte del estudio

El estudio se realizará en una zona geográfica:

**Fusagasugá:** Se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, Colombia, se encuentra a una altitud aproximada de 1,800 metros sobre el nivel del mar, lo que influye en su clima templado y húmedo. Las temperaturas promedio anuales rondan los 20°C, con una temporada calurosa que suele durar de diciembre a marzo, con temperaturas máximas promedio diarias entre 22°C y 24°C. El mes más cálido es marzo, con temperaturas máximas promedio de 24°C y mínimas de 14°C. La temporada fresca se extiende de junio a agosto, con temperaturas máximas promedio diarias inferiores a 22°C. El mes más frío es julio, con temperaturas mínimas promedio de 13°C y máximas de 21°C. La temperatura promedio anual en Fusagasugá es de aproximadamente 20°C.

En el siguiente mapa se puede visualizar la ubicación geográfica del lugar mencionado donde se encuentran ubicados los pollos que harán parte del estudio:





FIGURE 1: Mapa de Fusagasugá (Cundinamarca) donde están los pollos que harán parte del estudio

## 6.2. Población objetivo

Pollos de engorde de la Granja I.T.A. Valsalice

## 6.3. Individuos que harán parte del estudio

- Granja I.T.A. Valsalice. Ubicación: Fusagasugá. Cantidad 237 (Censo).

## 6.4. Variable respuesta a considerar en el estudio:

$$Y_{ijk} \sim \text{Normal}(\mu + \alpha_i + \beta_j(i), \sigma_\epsilon^2)$$

Con  $k \in 1, \dots, 8$ . La variable respuesta corresponde al peso del pollo de engorde  $k$  en la jaula  $j$  bajo el tratamiento  $i$ . Recordemos que en algunas jaulas se murió un pollo (en total 3 en todo el estudio), por lo cual en 3 jaulas  $k \in 1, \dots, 7$ . La variable respuesta (peso de los pollos) se asume que sigue una distribución aproximadamente normal debido a su naturaleza continua y la gran cantidad de observaciones (237 pollos), lo que facilita la aplicación del Teorema Central del Límite. Aunque no se ha verificado aún la normalidad de los residuos, el peso de los pollos, como variable biológica, tiende a seguir una distribución simétrica alrededor de un valor central debido a la variabilidad genética y ambiental. Esta suposición de normalidad es común en el análisis de datos biológicos y permite aplicar un modelo de efectos mixtos para evaluar los efectos de los tratamientos, ya que los modelos lineales mixtos son robustos a pequeñas violaciones de la normalidad, especialmente con un tamaño de muestra grande.

## 6.5. Variables explicativas

### 1. Efectos fijos:

- **Tratamiento:** Es el efecto de los tratamientos sobre el peso de los pollos.
  - ◊ T1: Dieta basal.
  - ◊ T2: Dieta basal +7% TSI (5% grasa).
  - ◊ T3: Dieta basal +14% TSI (5% grasa).
  - ◊ T4: Dieta basal +7% TSI (10% grasa).
  - ◊ T5: Dieta basal +14% TSI (10% grasa).

### 2. Efectos mixtos:

- **Repetición:** Las repeticiones (jaulas) son una variable que representa las 6 jaulas por tratamiento en el estudio. Cada jaula se considera una unidad experimental dentro de un tratamiento específico, y se modelan como un efecto aleatorio para capturar la variabilidad en el peso de los pollos entre jaulas. La variabilidad entre jaulas dentro de un mismo tratamiento se espera que sea menor que la variabilidad entre tratamientos, ya que las jaulas están anidadas dentro de cada grupo de tratamiento.

## **6.6. Instrumentos de medición a utilizar**

- Para evaluar el desempeño productivo de los pollos, se utilizó una balanza estándar para medir el peso de los pollos en 5 días distintos durante el transcurso del estudio. Los pesos fueron registrados en los siguientes momentos: al inicio del estudio, y a los 22, 29, 36 y 43 días. Estas mediciones permitieron monitorear el crecimiento y el efecto de los tratamientos alimenticios en el peso corporal de los pollos.

## **6.7. Restricciones estadísticas identificadas hasta el momento**

## **6.8. Propuesta metodológica pensada y discutida con profesores expertos**

Análisis descriptivo univariado de las variables involucradas en el estudio (perfil hormonal, variables climáticas, variables etológicas):

- Boxplot de los diferentes pesos (medidos en tiempos distintos) asociadas a las variables respuesta. Histograma para ver la distribución de los pesos de los pollos.
- Tabla resumen con medidas de tendencia central de las variables cuantitativas.

Modelado de la variable respuesta (peso de los pollos en gramos) a partir de las covariables mencionadas previamente:

Análisis de medidas repetidas:

### **1. Dependencia temporal en los datos:**

- El experimento involucra mediciones repetidas del peso de los pollos a lo largo de varios días (días 22, 29, 36 y 43). Dado que las mediciones de peso tomadas en diferentes momentos no son independientes, es necesario utilizar un enfoque estadístico que capture esta dependencia temporal entre las mediciones.

### **2. Reducción de sesgo en la estimación de efectos:**

- El análisis de medidas repetidas permite modelar la correlación de las mediciones dentro de una misma jaula, lo que mejora la estimación de los efectos de los tratamientos, al considerar la variabilidad de las mediciones dentro de los mismos sujetos (jaulas). De no considerar esta correlación, los resultados podrían estar sesgados.

### **3. Eficiencia en el uso de los datos:**

- Al ser un diseño en el que se recolectan varias mediciones de un mismo sujeto, se aprovecha la estructura repetida de los datos, lo que mejora la precisión de las estimaciones y permite obtener resultados más robustos, ya que se aprovecha la variabilidad intra-sujeto.

#### 4. Modelado de efectos fijos y aleatorios:

- El análisis de medidas repetidas permite evaluar tanto los efectos fijos (tratamientos) como los efectos aleatorios (variabilidad entre jaulas). Esto es importante en un diseño en el que se espera que el efecto del tratamiento pueda variar entre las diferentes jaulas, y que al mismo tiempo se quiera evaluar el impacto global del tratamiento.

#### 5. Captura de la evolución temporal:

- Este análisis es fundamental para evaluar cómo los tratamientos afectan a los pollos a lo largo del tiempo. Las mediciones repetidas reflejan el cambio progresivo en el peso de los pollos, y el modelo permite analizar la interacción entre el tratamiento y el tiempo, proporcionando una evaluación más precisa del impacto de los tratamientos a medida que avanza el experimento.

Los siguientes modelos se presentan a solicitud del consultante; sin embargo, no se recomienda su uso, ya que no consideran la correlación temporal inherente al diseño del experimento.

- Modelo completamente al azar.

##### 1. Simplicidad en la especificación del modelo:

- ◊ Este modelo es fácil de implementar e interpretar, ya que asume que las observaciones son independientes entre sí y que cualquier variabilidad se debe únicamente a los efectos del tratamiento y al error aleatorio.

##### 2. Evaluación directa de los efectos del tratamiento:

- ◊ Permite comparar los efectos de los tratamientos sobre la variable de respuesta (por ejemplo, el peso de los pollos) sin considerar factores adicionales, lo que facilita la identificación de diferencias globales entre tratamientos.

##### 3. Adecuado para diseños balanceados:

- ◊ Si el experimento está balanceado (mismo número de observaciones por tratamiento), este modelo proporciona estimaciones no sesgadas y pruebas estadísticamente eficientes.

##### 4. Base para comparaciones iniciales:

- ◊ Sirve como punto de partida para identificar si existen diferencias generales entre los tratamientos antes de ajustar modelos más complejos que consideren otras fuentes de variabilidad.

**5. Aplicación en situaciones con baja correlación:**

- ◊ Puede ser adecuado si no se detecta una fuerte correlación entre las mediciones realizadas en diferentes momentos o si el interés principal es comparar los tratamientos en puntos de tiempo específicos de manera independiente.

- Modelo Bloques completamente al azar

**1. Control de la variabilidad entre bloques:**

- ◊ Este modelo tiene en cuenta la variabilidad entre los bloques (en este caso, las jaulas o grupos de medición), lo que mejora la precisión de las estimaciones al aislar el efecto del tratamiento de las diferencias sistemáticas entre los bloques.

**2. Reducción del error experimental:**

- ◊ Al considerar la variabilidad entre bloques, se reduce el error residual, lo que aumenta la potencia estadística y permite detectar diferencias más sutiles entre los tratamientos.

**3. Ajuste para diferencias no controladas:**

- ◊ Permite ajustar el análisis para posibles diferencias no controladas entre los bloques (como variaciones ambientales o de manejo entre jaulas), evitando que estas influencias sesguen las estimaciones del tratamiento.

**4. Comparación más precisa de los tratamientos:**

- ◊ Este enfoque proporciona una evaluación más exacta de los efectos de los tratamientos al considerar la estructura del experimento, lo que es especialmente útil si hay heterogeneidad entre los bloques.

**5. Flexibilidad para análisis adicionales:**

- ◊ Puede extenderse para incluir interacciones entre los tratamientos y los bloques si se sospecha que el efecto del tratamiento varía según el bloque, lo que proporciona una visión más detallada del comportamiento de los tratamientos en diferentes condiciones.

## 7. Resultados

### 7.1. Descripción Univariada de los datos

Inicialmente, se realiza una descripción univariada de los datos para conocer el comportamiento de estos a nivel general.

A continuación se mostraran algunos gráficos de boxplots e histogramas con información del peso de los pollos al inicio del estudio, a los 22, 29, 36 y 42 días del estudio.

Los gráficos presentados a continuación parecen indicar que no existen diferencias estadísticamente significativas en los pesos de los pollos entre los tratamientos

que incorporan diferentes niveles de torta de sachá inchi (TSI) y grasa en su alimentación. Sin embargo, se observa una tendencia clara: a medida que aumenta el porcentaje de grasa en la dieta, el peso promedio de los pollos disminuye considerablemente en comparación con el tratamiento base, que no incluye ni grasa ni TSI. Este hallazgo podría sugerir que la inclusión de mayores niveles de grasa tiene un efecto adverso en el desempeño productivo de los pollos, posiblemente relacionado con la composición energética o digestibilidad de las dietas.

Adicionalmente, las diferencias de peso entre los tratamientos se hacen cada vez más evidentes con el paso de los días, siendo los tratamientos 4 y 5 los que muestran una mayor reducción en el peso de los pollos en comparación con el tratamiento base. En contraste, los tratamientos 2 y 3, que presentan formulaciones más cercanas a la dieta basal, muestran un descenso más paulatino en el peso de los pollos. No obstante, es importante destacar que estos últimos también evidencian un aumento progresivo en la variabilidad de los pesos dentro de cada tratamiento, lo que podría indicar una respuesta menos uniforme entre los individuos. Este fenómeno sugiere que, aunque los tratamientos 2 y 3 se comportan de manera más similar al tratamiento base, podrían estar influyendo de forma heterogénea en el crecimiento de los pollos.

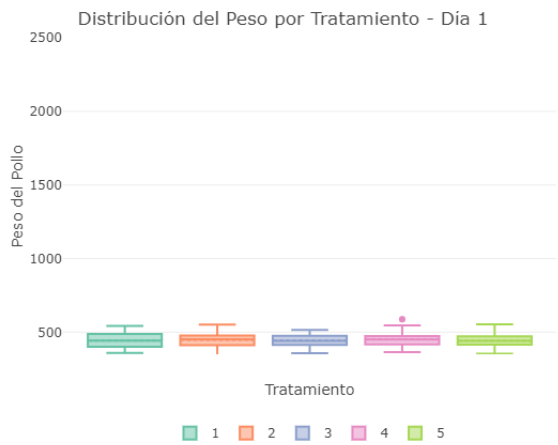


FIGURE 2: Peso inicial

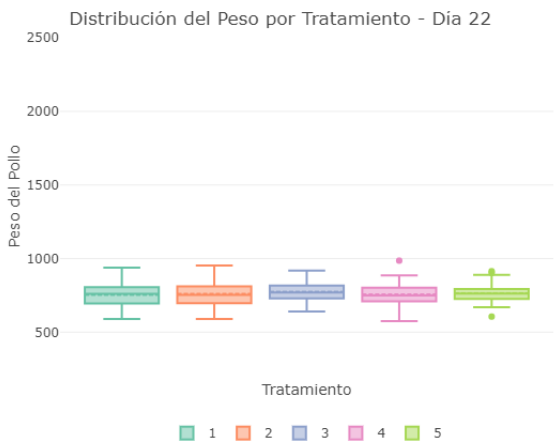


FIGURE 3: Peso día 22

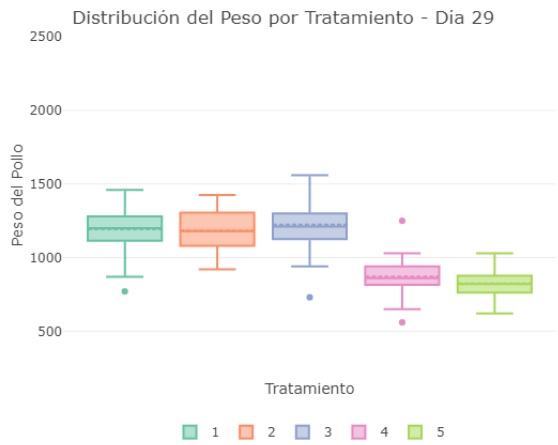


FIGURE 4: Peso día 29

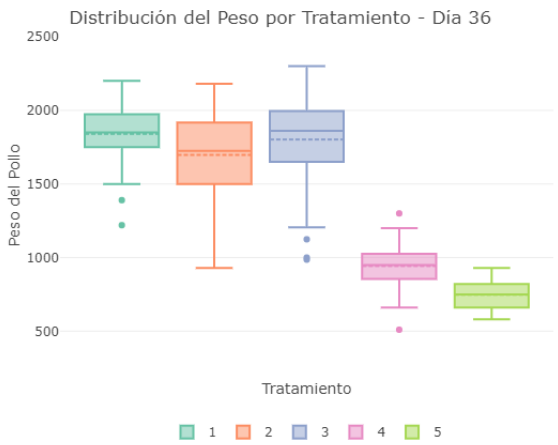


FIGURE 5: Peso día 36

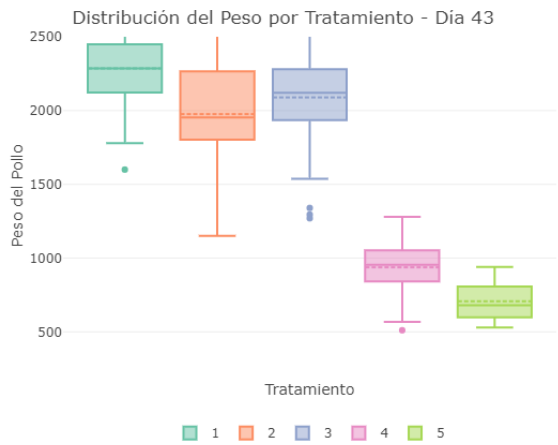


FIGURE 6: Peso día 43

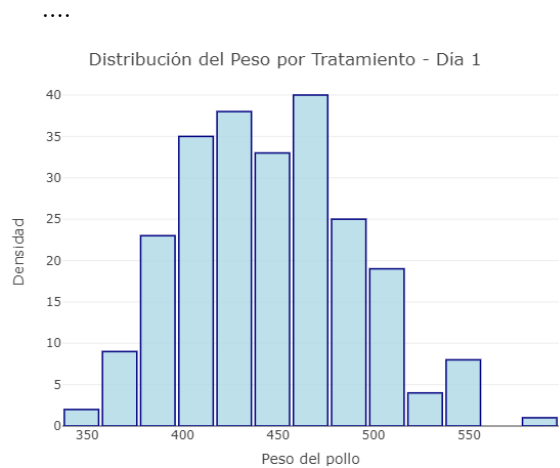


FIGURE 7: Peso inicial

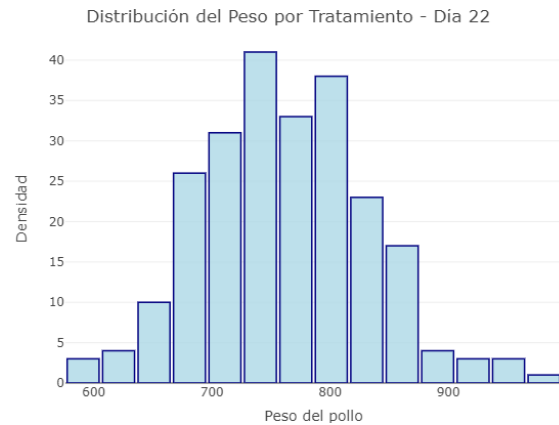


FIGURE 8: Peso día 22

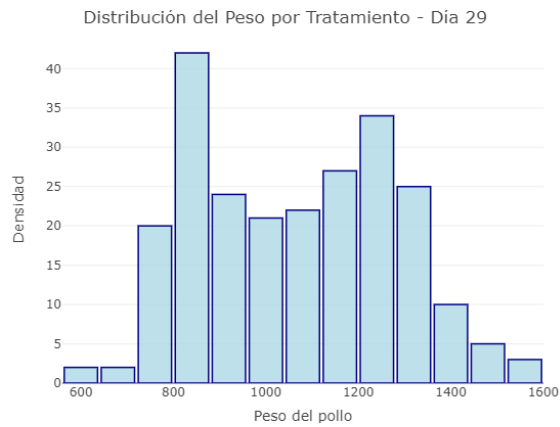


FIGURE 9: Peso día 29

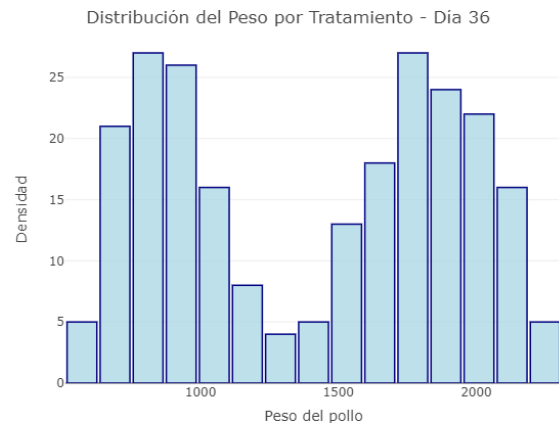


FIGURE 10: Peso día 36

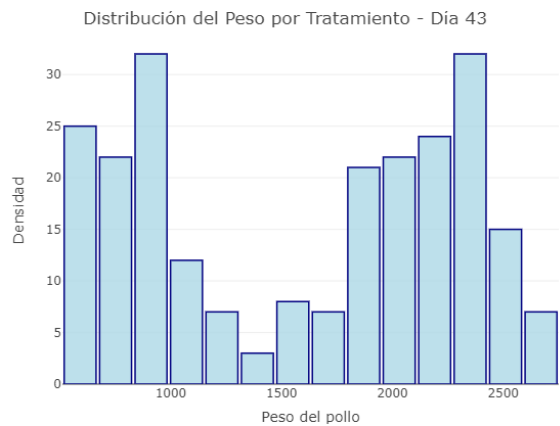


FIGURE 11: Peso día 43



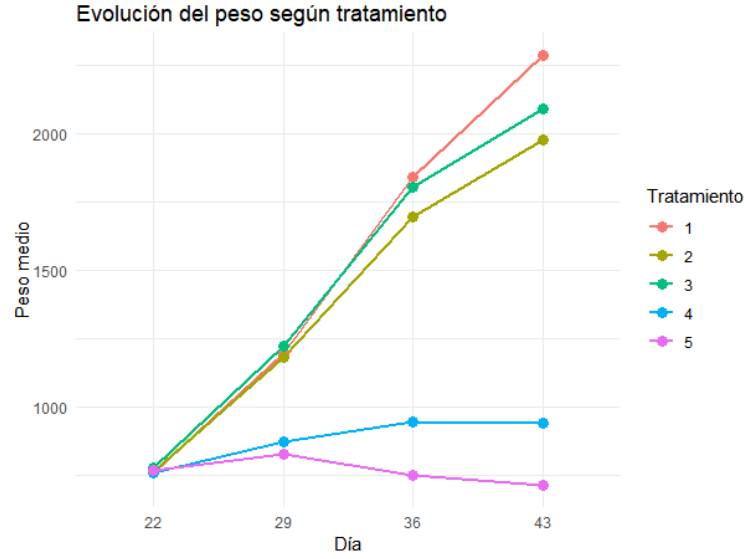


FIGURE 12: Evolución del peso según tratamiento

En la figura 12 nos indica como cambia el peso a través del tiempo, de acuerdo al tratamiento, desde este punto podemos decir rapidamente que los tratamientos 4 y 5 afectan en el peso de los pollos de manera negativa, casi que sin hacerlos aumentar su peso.

## 7.2. Modelo de efectos mixtos

Como se mencionó anteriormente, se aplicará un modelo de efectos mixtos en cinco escenarios diferentes, esto para poder pasar a nuestra unidad de **jaulas**, es decir verificar principalmente que los pesos de los pollos en el día 1 y el día 22 son iguales entre sus jaulas. En cada uno de estos casos, la variable respuesta será el peso registrado en el día específico del experimento correspondiente, además se verifican sus supuestos. A continuación, se presenta una explicación detallada del modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_j(i) + \epsilon_{ijk}$$

- $Y_{ijk}$ : Peso del pollo  $k$  en la jaula  $j$  bajo el tratamiento  $i$ .
- $\mu$ : Media general del peso de los pollos.
- $\alpha_i$ : Efecto fijo del tratamiento  $i$ , es decir, el efecto del tratamiento sobre el peso de los pollos.
- $b_j(i) \sim N(0, \sigma_b^2)$ : Efecto aleatorio de la jaula  $j$  dentro del tratamiento  $i$ , que captura la variabilidad entre jaulas dentro de un mismo tratamiento.

- $\epsilon_{ijk}$ : Error residual asociado al pollo  $k$  dentro de la jaula  $j$  bajo el tratamiento  $i$ , capturando cualquier variabilidad no explicada por el tratamiento o las jaulas.

### 7.2.1. Peso inicial

#### Modelo de efectos mixtos

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	442.8085	6.693028	66.15967	0.0000
Tratamiento 2	4.7540	9.415943	0.50489	0.6192
Tratamiento 3	1.1277	9.465371	0.11914	0.9064
Tratamiento 4	9.1498	9.415943	0.97174	0.3428
Tratamiento 5	-1.1489	9.465371	-0.12138	0.9046

TABLE 1: Modelo 1: Peso inicial

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que ninguno de los tratamientos que incluyen torta de sachu inchi presenta un efecto estadísticamente significativo. Este resultado no genera preocupación en esta etapa del experimento, ya que corresponde a los pesos iniciales (día 1), momento en el cual los tratamientos aún no han tenido tiempo de influir en los resultados.

Efecto aleatorio (Intercept): La desviación estándar asociada al efecto aleatorio de Repetición es muy pequeña (0.002236609). Esto sugiere que la variabilidad entre repeticiones dentro de cada tratamiento es casi nula. Esto implica que la mayor parte de la variabilidad en los datos no está explicada por las repeticiones, sino por los efectos fijos o la variabilidad residual.

Correlación	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Tratamiento 2	-0.711			
Tratamiento 3	-0.707	0.503		
Tratamiento 4	-0.711	0.505	0.503	
Tratamiento 5	-0.707	0.503	0.500	0.503

TABLE 2: Modelo 1: Peso inicial - Correlaciones

En la correlación entre los efectos fijos, se observa que los tratamientos están fuertemente correlacionados entre sí, lo que en este caso sugiere que a mayor valor del intercepto, menor será el valor de los otros 4 tratamientos. Mientras que esos 4 tratamientos entre sí, están fuertemente correlacionados, lo que sugiere que son relativamente similares en su efecto.

#### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.1262) se tiene que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

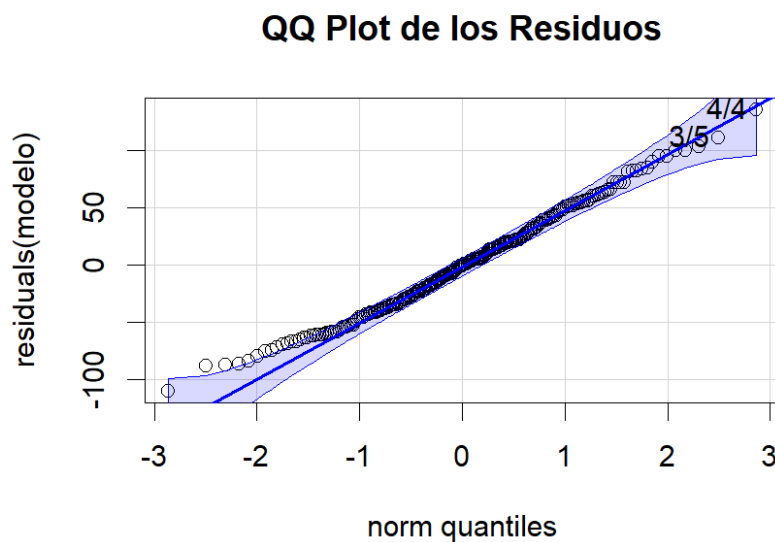


FIGURE 13: Peso día inicial

- **Independencia:** Mediante acf y el grafico de los residuales no muestra que haya una dependencia, por lo tanto se cumple la independencia.

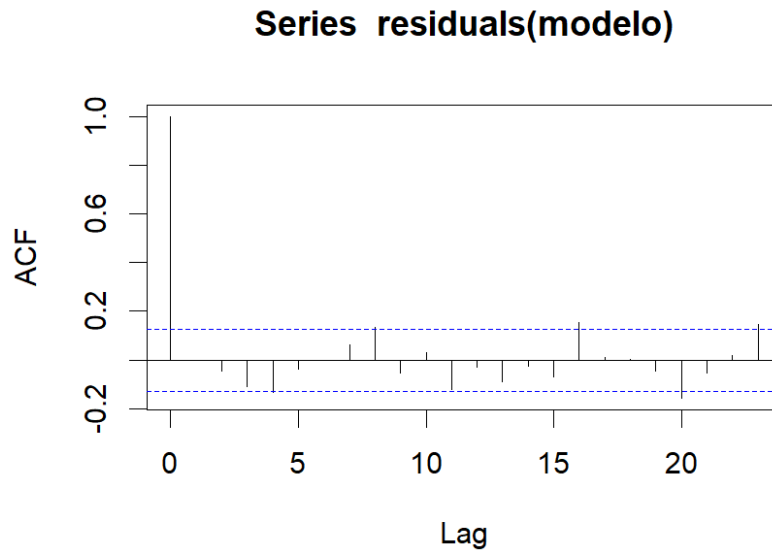


FIGURE 14: Peso día inicial

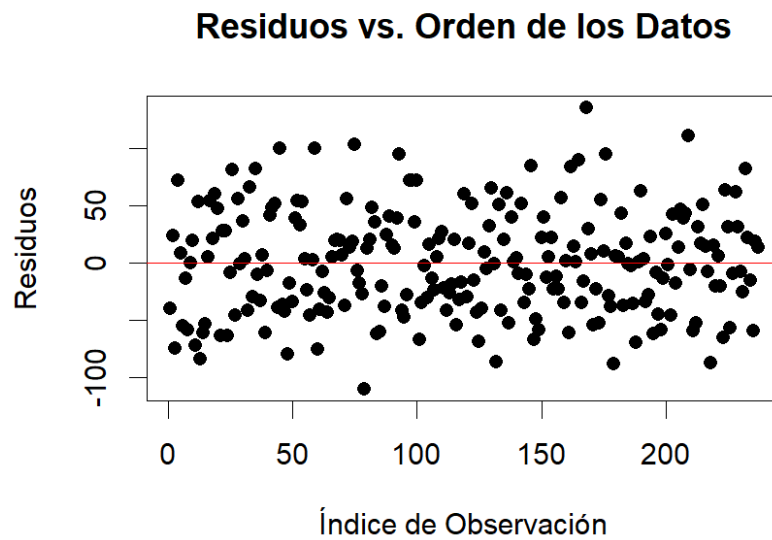


FIGURE 15: Peso día inicial

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que se cumple normalidad e independencia, se puede aplicar la prueba de Bartlett ( $p\text{-valor} = 0.689$ ). La prueba

de Bartlett muestra que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son similares.

### 7.2.2. Peso a los 22 días

#### Modelo de efectos mixtos

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	753.7872	10.30057	73.17918	0.0000
Tratamiento 2	6.1711	14.49113	0.42585	0.6748
Tratamiento 3	20.3191	14.56720	1.39486	0.1784
Tratamiento 4	2.7336	14.49113	0.18864	0.8523
Tratamiento 5	10.7021	14.56720	0.73467	0.4711

TABLE 3: Modelo 2: Peso a los 22 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que ninguno de los tratamientos que incluyen torta de sachá inchi presenta un efecto estadísticamente significativo. Hasta el momento los tratamientos aún no parecen influir en el peso de los pollos.

Efecto aleatorio (Intercept): La desviación estándar asociada al efecto aleatorio de Repetición es muy pequeña (0.02889463). Esto sugiere que la variabilidad entre repeticiones dentro de cada tratamiento es casi nula. Esto implica que la mayor parte de la variabilidad en los datos no está explicada por las repeticiones, sino por los efectos fijos o la variabilidad residual.

Correlación	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Tratamiento 2	-0.711			
Tratamiento 3	-0.707	0.503		
Tratamiento 4	-0.711	0.505	0.503	
Tratamiento 5	-0.707	0.503	0.500	0.503

TABLE 4: Modelo 2: Peso a los 22 días - Correlaciones

En la correlación entre los efectos fijos, se observa que los tratamientos están fuertemente correlacionados entre sí, lo que en este caso sugiere que a mayor valor del intercepto, menor será el valor de los otros 4 tratamientos. Mientras que esos 4 tratamientos entre sí, están fuertemente correlacionados, lo que sugiere que son relativamente similares en su efecto.

#### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.6033) se tiene que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

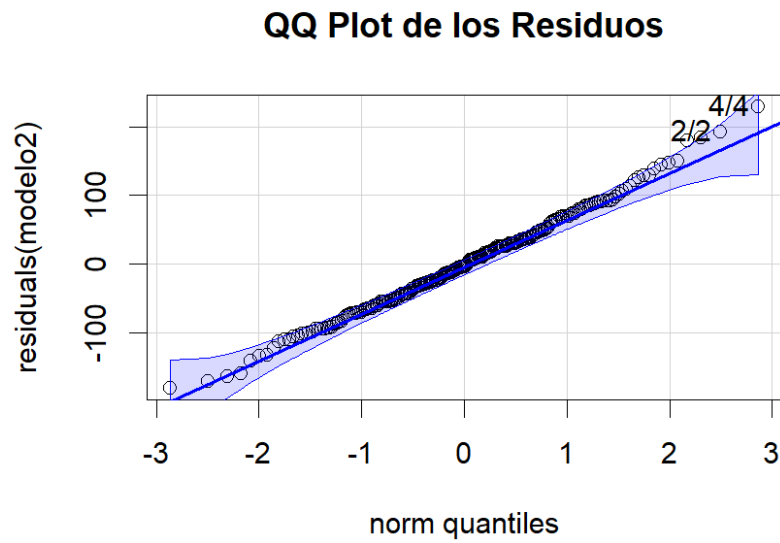


FIGURE 16: Peso a los 22 días

- **Independencia:** Mediante acf y el grafico de los residuales no muestra que haya una dependencia, por lo tanto se cumple la independencia.

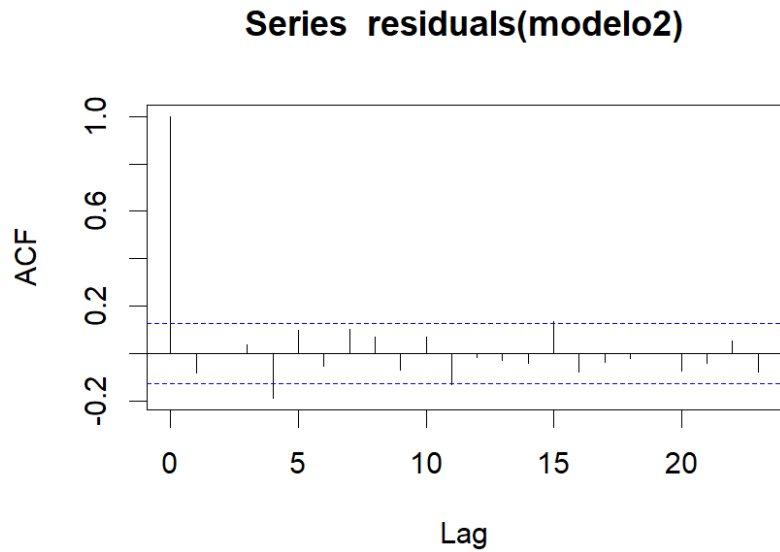


FIGURE 17: Peso a los 22 días

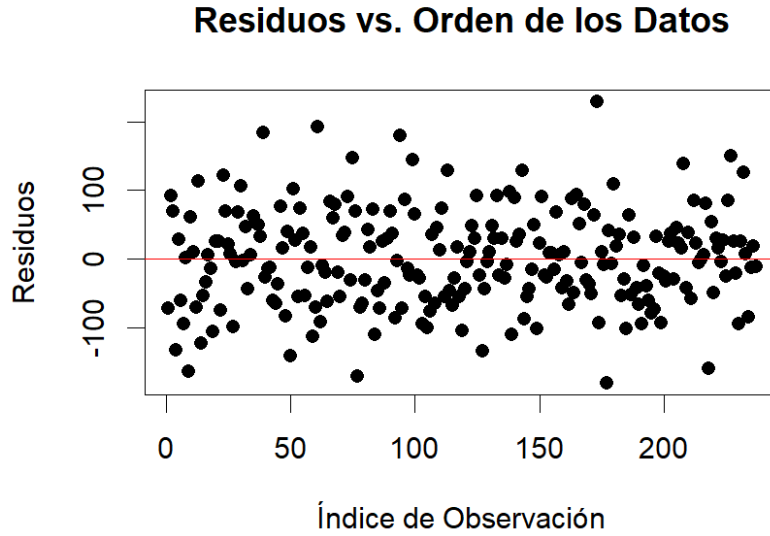


FIGURE 18: Peso a los 22 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que se cumple normalidad e independencia, se puede aplicar la prueba de Bartlett ( $p\text{-valor} = 0.5092$ ). La prueba de Bartlett muestra que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son similares.

### 7.2.3. Peso a los 29 días

#### Modelo de efectos mixtos

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	$\Pr(> t )$
Intercepto	1193.2340	18.72981	63.70773	0.0000
Tratamiento 2	-10.5882	26.34964	-0.40184	0.6921
Tratamiento 3	30.2553	26.48796	1.14223	0.2668
Tratamiento 4	-322.3590	26.34964	-12.23391	0.0000
Tratamiento 5	-369.3191	26.48796	-13.94291	0.0000

TABLE 5: Modelo 3: Peso a los 29 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos 4 y 5 que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -322.359 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al

tratamiento 1 es -369.3191 veces menor. Por lo tanto el tratamiento 4 y 5 están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

Efecto aleatorio (Intercept): La desviación estándar asociada al efecto aleatorio de Repetición es muy pequeña (0.009988904). Esto sugiere que la variabilidad entre repeticiones dentro de cada tratamiento es casi nula. Esto implica que la mayor parte de la variabilidad en los datos no está explicada por las repeticiones, sino por los efectos fijos o la variabilidad residual.

Correlación	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Tratamiento 2	-0.711			
Tratamiento 3	-0.707	0.503		
Tratamiento 4	-0.711	0.505	0.503	
Tratamiento 5	-0.707	0.503	0.500	0.503

TABLE 6: Modelo 3: Peso a los 29 días - Correlaciones

En la correlación entre los efectos fijos, se observa que los tratamientos están fuertemente correlacionados entre sí, lo que en este caso sugiere que a mayor valor del intercepto, menor será el valor de los otros 4 tratamientos. Mientras que esos 4 tratamientos entre si, están fuertemente correlacionados, lo que sugiere que son relativamente similares en su efecto.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.009281) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.



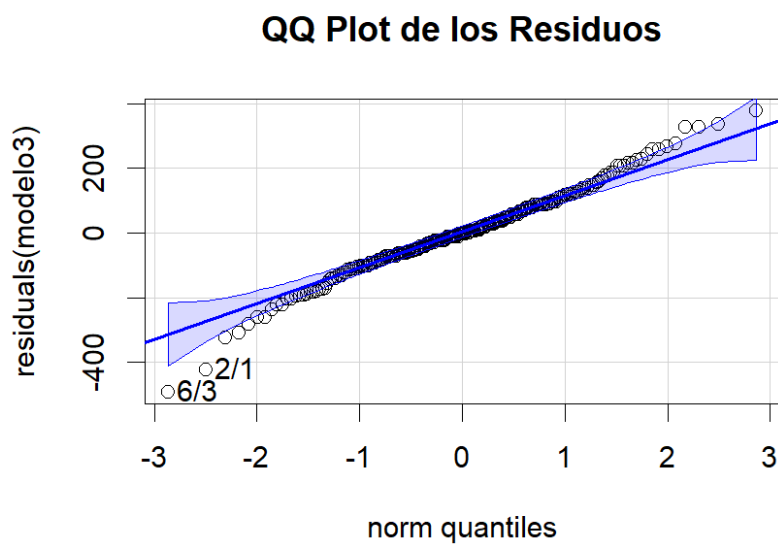


FIGURE 19: Peso a los 29 días

- **Independencia:** Mediante acf y el grafico de los residuales no muestra que haya una dependencia, por lo tanto se cumple la independencia.

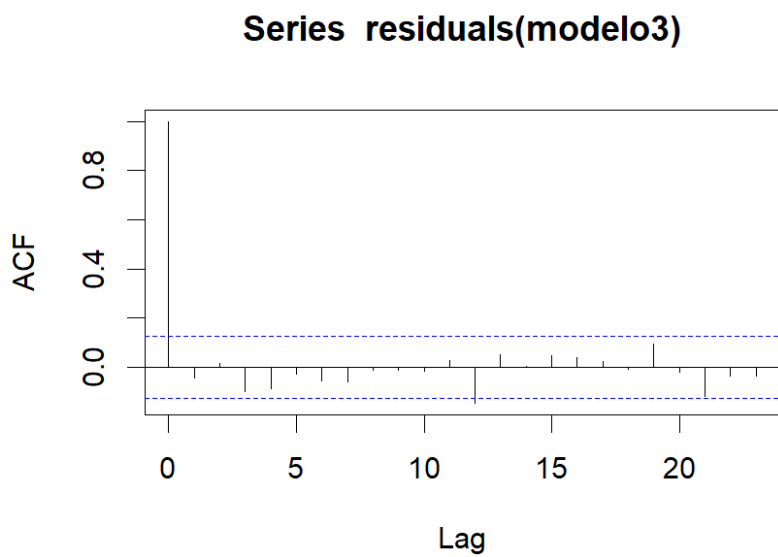


FIGURE 20: Peso a los 29 días

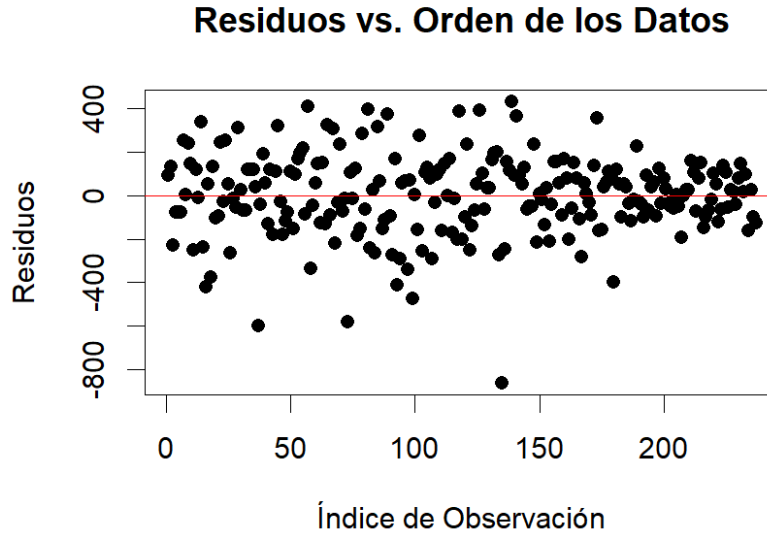


FIGURE 21: Peso a los 29 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene (0.005132) y Fligner-Killeen (0.003556). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

#### 7.2.4. Peso a los 36 días

##### Modelo de efectos mixtos

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	1839.6179	59.19167	31.078998	0.0000
Tratamiento 2	-142.4512	83.59877	-1.703987	0.1039
Tratamiento 3	-34.8610	83.70967	-0.416451	0.6815
Tratamiento 4	-896.8679	83.59877	-10.728243	0.0000
Tratamiento 5	-1091.5998	83.70967	-13.040307	0.0000

TABLE 7: Modelo 4: Peso a los 36 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos 4 y 5 que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -896.8679 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto

al tratamiento 1 es -1091.5998 veces menor. Por lo tanto el tratamiento 4 y 5 están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

Efecto aleatorio (Intercept): La desviación estándar asociada al efecto aleatorio de Repetición es muy pequeña (0.0259935). Esto sugiere que la variabilidad entre repeticiones dentro de cada tratamiento es casi nula. Esto implica que la mayor parte de la variabilidad en los datos no está explicada por las repeticiones, sino por los efectos fijos o la variabilidad residual.

Correlación	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Tratamiento 2	-0.708			
Tratamiento 3	-0.707	0.501		
Tratamiento 4	-0.708	0.501	0.501	
Tratamiento 5	-0.707	0.501	0.500	0.501

TABLE 8: Modelo 4: Peso a los 36 días - Correlaciones

En la correlación entre los efectos fijos, se observa que los tratamientos están fuertemente correlacionados entre sí, lo que en este caso sugiere que a mayor valor del intercepto, menor será el valor de los otros 4 tratamientos. Mientras que esos 4 tratamientos entre sí, están fuertemente correlacionados, lo que sugiere que son relativamente similares en su efecto.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.0001145) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

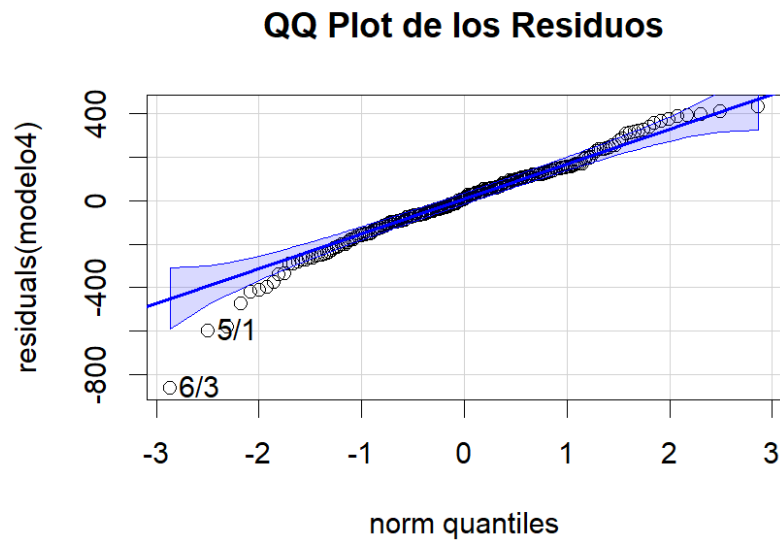


FIGURE 22: Peso a los 36 días

- **Independencia:** Mediante acf y el grafico de los residuales no muestra que haya una dependencia, por lo tanto se cumple la independencia.

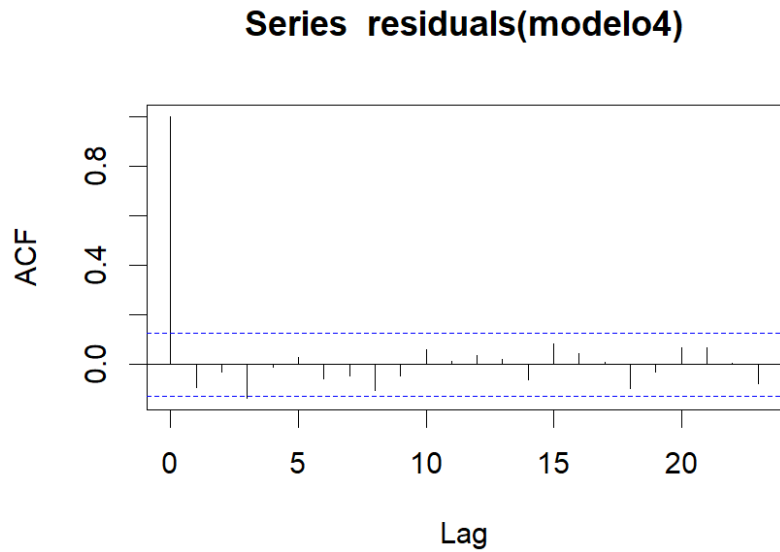


FIGURE 23: Peso a los 36 días

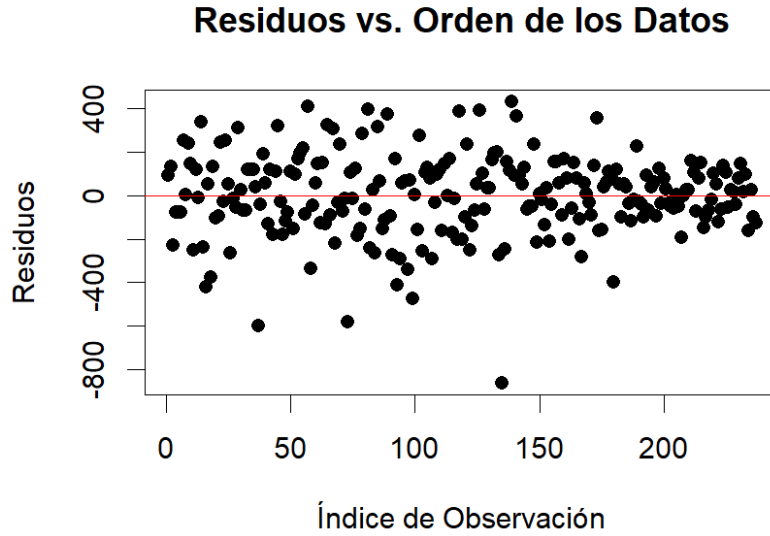


FIGURE 24: Peso a los 36 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene ( $2.785\text{e-}08$ ) y Fligner-Killeen ( $1.039\text{e-}07$ ). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

#### 7.2.5. Peso a los 43 días

##### Modelo de efectos mixtos

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	$\Pr(> t )$
Intercepto	2287.6694	62.83695	36.40644	0.0000
Tratamiento 2	-311.5028	88.73550	-3.51046	0.0022
Tratamiento 3	-197.9636	88.86486	-2.22769	0.0375
Tratamiento 4	-1349.9819	88.73550	-15.21355	0.0000
Tratamiento 5	-1578.6639	88.86486	-17.76477	0.0000

TABLE 9: Modelo 5: Peso a los 43 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 es -311.5028 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 3 con respecto al

tratamiento 1 es -197.9636 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -1349.9819 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -1578.6639 veces menor. Por lo tanto el tratamientos están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

Efecto aleatorio (Intercept): La desviación estándar asociada al efecto aleatorio de Repetición es muy pequeña (0.03440345). Esto sugiere que la variabilidad entre repeticiones dentro de cada tratamiento es casi nula. Esto implica que la mayor parte de la variabilidad en los datos no está explicada por las repeticiones, sino por los efectos fijos o la variabilidad residual.

Correlación	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Tratamiento 2	-0.708			
Tratamiento 3	-0.707	0.501		
Tratamiento 4	-0.708	0.501	0.501	
Tratamiento 5	-0.707	0.501	0.500	0.501

TABLE 10: Modelo 5: Peso a los 43 días - Correlaciones

En la correlación entre los efectos fijos, se observa que los tratamientos están fuertemente correlacionados entre sí, lo que en este caso sugiere que a mayor valor del intercepto, menor será el valor de los otros 4 tratamientos. Mientras que esos 4 tratamientos entre si, están fuertemente correlacionados, lo que sugiere que son relativamente similares en su efecto.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.001289) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

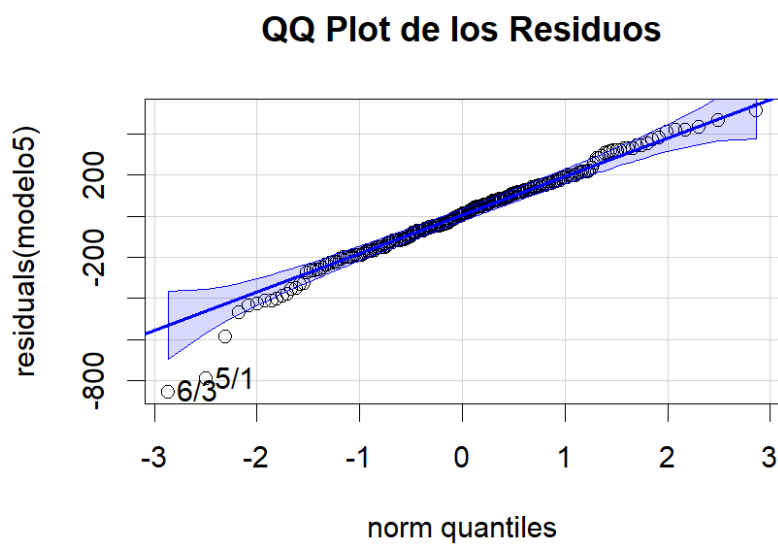


FIGURE 25: Peso a los 43 días

- **Independencia:** Mediante acf y el grafico de los residuales no muestra que haya una dependencia, por lo tanto se cumple la independencia.

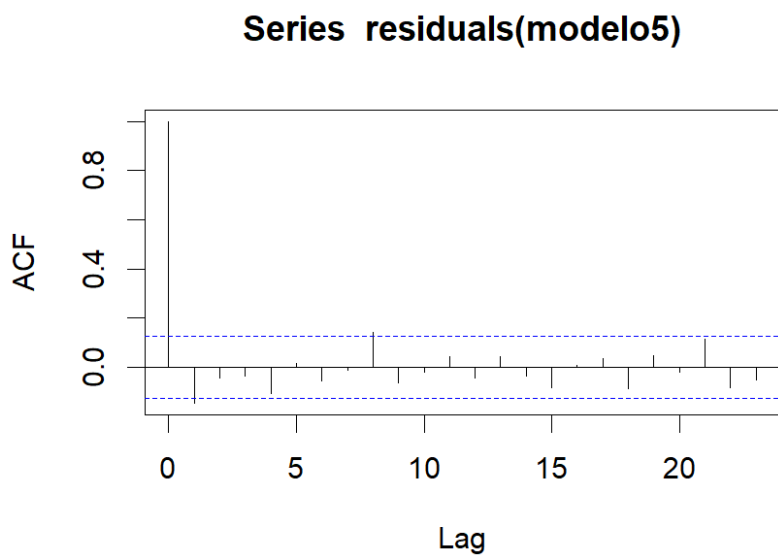


FIGURE 26: Peso a los 43 días

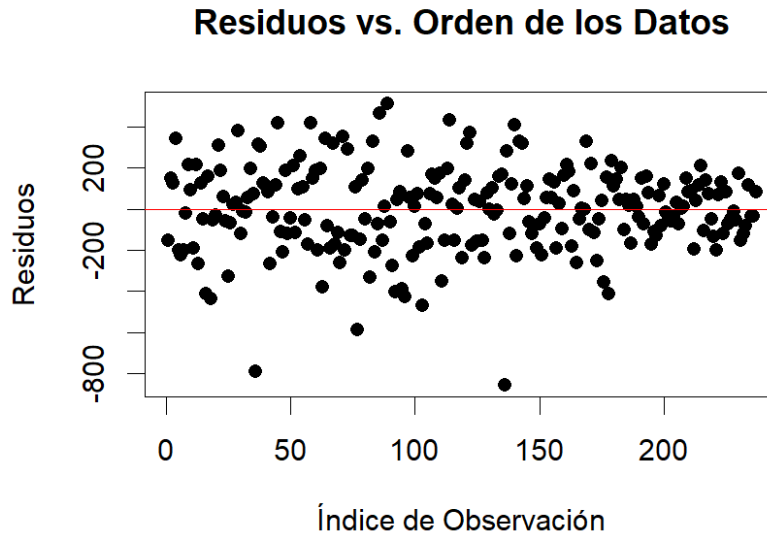


FIGURE 27: Peso a los 43 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene ( $5.925e-07$ ) y Fligner-Killeen ( $2.154e-06$ ). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

Recordemos que, se realizó un análisis unitario para cada día en que se registró el peso de los pollos, con el objetivo de verificar que **la varianza entre los pesos de las diferentes jaulas fuera homogénea**. Este paso fue fundamental para asegurar que las unidades de jaula cumplieran con los supuestos necesarios. Al confirmarse la homogeneidad de la varianza, procedimos a aplicar el modelo de análisis de medidas repetidas, que es el enfoque central de nuestro estudio.



### 7.3. Análisis de medidas repetidas

#### 7.3.1. Análisis de medidas repetidas estándar

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	754.8125	43.71808	17.265453	0.0000
Tratamiento 2	5.1458	61.60973	0.083523	0.9336
Tratamiento 3	19.6220	61.60973	0.318489	0.7508
Tratamiento 4	1.7083	61.60973	0.027728	0.9779
Tratamiento 5	10.2798	61.60973	0.166853	0.8678
Día 29	437.9970	61.60973	7.109218	0.0000
Día 36	1084.6637	61.60973	17.605396	0.0000
Día 43	1533.7083	61.60973	24.893930	0.0000
Tratamiento 2: Día 29	-15.3095	87.12932	-0.175710	0.8609
Tratamiento 3: Día 29	11.1369	87.12932	0.127820	0.8986
Tratamiento 4: Día 29	-323.6429	87.12932	-3.714512	0.0003
Tratamiento 5: Día 29	-378.4315	87.12932	-4.343332	0.0000
Tratamiento 2: Día 36	-147.4554	87.12932	-1.692374	0.0939
Tratamiento 3: Día 36	-53.4851	87.12932	-0.613859	0.5408
Tratamiento 4: Día 36	-898.4345	87.12932	-10.311507	0.0000
Tratamiento 5: Día 36	-1101.5685	87.12932	-12.642914	0.0000
Tratamiento 2: Día 43	-317.5000	87.12932	-3.644009	0.0004
Tratamiento 3: Día 43	-218.1935	87.12932	-2.504248	0.0140
Tratamiento 4: Día 43	-1352.5417	87.12932	-15.523382	0.0000
Tratamiento 5: Día 43	-1589.2440	87.12932	-18.240061	0.0000

TABLE 11: Modelo 6: Análisis medidas repetidas

#### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 1.043e-12) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

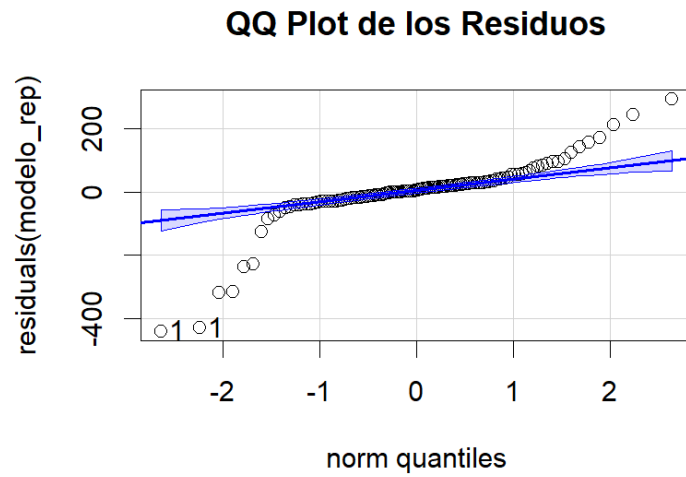


FIGURE 28: Análisis medidas repetidas estandar

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene (0.0008178) y Fligner-Killeen (0.0005758). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son distintas.

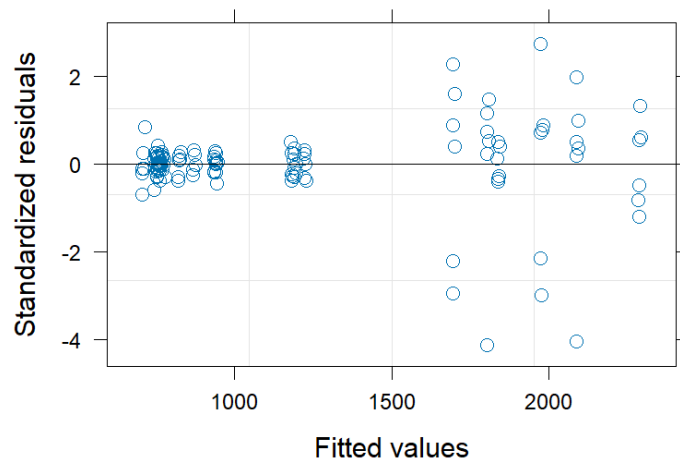


FIGURE 29: Análisis medidas repetidas estandar

Por lo que, se ajusta mejor un modelo heterocedastico, donde la varianza de los residuos se modela como:

### 7.3.2. Análisis de medidas repetidas Constant Variance Function

Define una estructura de varianza constante, utilizada en modelos de efectos mixtos. Si no hay un factor de agrupamiento, la varianza es uniforme y no requiere coeficientes. Cuando existe un factor con  $M > 1$  niveles, la función permite  $M$  varianzas distintas, representadas como razones con respecto a una varianza de referencia, lo que implica que solo se necesitan  $M - 1$  coeficientes. Por defecto, si no se especifican nombres en `value`, el primer nivel del grupo es tomado como referencia.

Este modelo lo usamos como referencia para poder usar e interpretar el modelo con `varpower`

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	754.8125	24.0969	31.3240	0.0000
Tratamiento 2	5.1458	71.1008	0.0724	0.9425
Tratamiento 3	19.6220	67.3250	0.2915	0.7713
Tratamiento 4	1.7083	24.9636	0.0684	0.9456
Tratamiento 5	10.2798	26.0265	0.3950	0.6937
Día 29	437.9970	32.7121	13.3895	0.0000
Día 36	1084.6637	32.7121	33.1579	0.0000
Día 43	1533.7083	32.7121	46.8851	0.0000
Tratamiento 2: Día 29	-15.3095	100.5517	-0.1523	0.8793
Tratamiento 3: Día 29	11.1369	95.2119	0.1170	0.9071
Tratamiento 4: Día 29	-323.6429	35.3039	-9.1673	0.0000
Tratamiento 5: Día 29	-378.4315	36.8070	-10.2815	0.0000
Tratamiento 2: Día 36	-147.4554	100.5517	-1.4665	0.1458
Tratamiento 3: Día 36	-53.4851	95.2119	-0.5617	0.5756
Tratamiento 4: Día 36	-898.4345	35.3039	-25.4486	0.0000
Tratamiento 5: Día 36	-1101.5685	36.8070	-29.9282	0.0000
Tratamiento 2: Día 43	-317.5000	100.5517	-3.1576	0.0021
Tratamiento 3: Día 43	-218.1935	95.2119	-2.2917	0.0241
Tratamiento 4: Día 43	-1352.5417	35.3039	-38.3114	0.0000
Tratamiento 5: Día 43	-1589.2440	36.8070	-43.1778	0.0000

TABLE 12: Modelo 6: Análisis medidas repetidas

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el `qqplot` y la prueba de Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 4.059\text{e-}13$ ) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

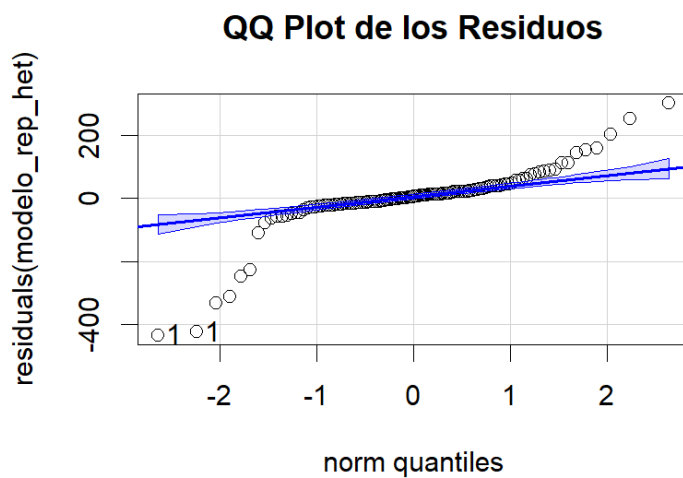


FIGURE 30: Análisis medidas repetidas heterocedástico

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene (0.0002315) y Fligner-Killeen (9.332e-05). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son distintas.

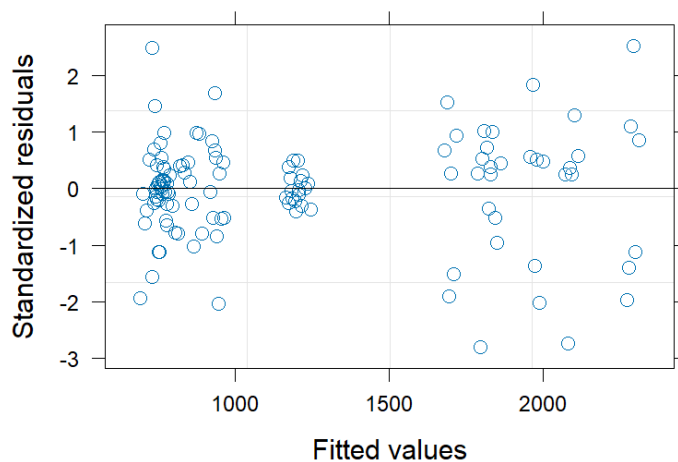


FIGURE 31: Análisis medidas repetidas heterocedástico

Por lo que, se ajusta mejor un modelo power, donde la varianza de los residuos se modela como:

### 7.3.3. Análisis de medidas repetidas Power Variance Function

$$\sigma^2(\nu) = |\nu|^{2\theta}$$

donde:

- $\nu$  es la covariable de la varianza (en este caso, los valores ajustados fitted(.)).
- $\theta$  es el parámetro de la función de varianza, estimado a partir de los datos.
- Cuando  $\theta > 0$  la varianza aumenta con  $\nu$ .
- Cuando  $\theta < 0$  la varianza disminuye con  $\nu$ .
- Cuando  $\theta = 0$  la varianza es constante (homocedasticidad).

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	754.8125	11.7825	64.0622	0.0000
Tratamiento 2	5.1458	16.7710	0.3068	0.7596
Tratamiento 3	19.6220	17.0822	1.1487	0.2536
Tratamiento 4	1.7083	16.6987	0.1023	0.9187
Tratamiento 5	10.2798	16.8802	0.6090	0.5440
Día 29	437.9970	30.3655	14.4241	0.0000
Día 36	1084.6637	64.5590	16.8011	0.0000
Día 43	1533.7083	96.6474	15.8691	0.0000
Tratamiento 2: Día 29	-15.3095	42.6944	-0.3586	0.7207
Tratamiento 3: Día 29	11.1369	44.0162	0.2530	0.8008
Tratamiento 4: Día 29	-323.6429	36.0625	-8.9745	0.0000
Tratamiento 5: Día 29	-378.4315	35.5271	-10.6519	0.0000
Tratamiento 2: Día 36	-147.4554	85.3336	-1.7280	0.0872
Tratamiento 3: Día 36	-53.4851	89.8696	-0.5951	0.5532
Tratamiento 4: Día 36	-898.4345	68.0417	-13.2042	0.0000
Tratamiento 5: Día 36	-1101.5685	66.6952	-16.5164	0.0000
Tratamiento 2: Día 43	-317.5000	121.5172	-2.6128	0.0104
Tratamiento 3: Día 43	-218.1935	126.5798	-1.7238	0.0880
Tratamiento 4: Día 43	-1352.5417	98.9749	-13.6655	0.0000
Tratamiento 5: Día 43	-1589.2440	97.9628	-16.2229	0.0000

TABLE 13: Modelo 6: Análisis medidas repetidas

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 1.365e-12$ ) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

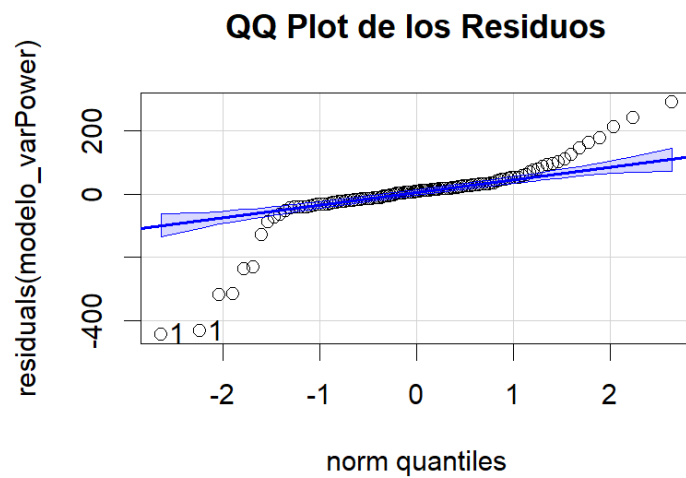


FIGURE 32: Análisis medidas repetidas heterocedástico

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene (0.001072) y Fligner-Killeen (0.000782). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son distintos.

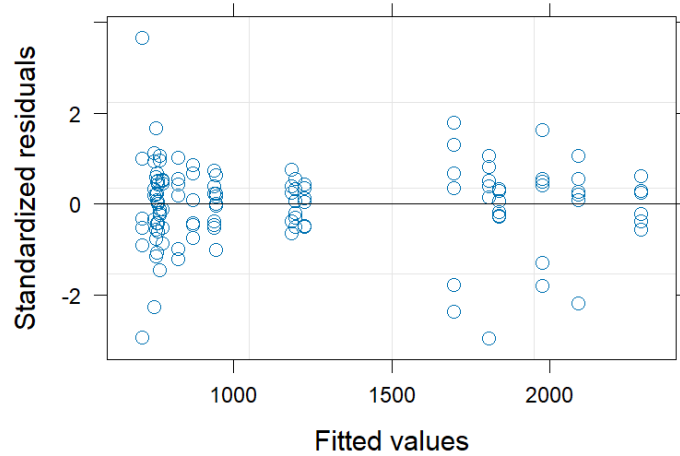


FIGURE 33: Análisis medidas repetidas heterocedástico

## 7.4. Análisis de resultados

**Efectos aleatorios** Los efectos aleatorios se modelaron con la siguiente estructura:

- Fórmula: 1 | Repeticion
- Desviación estándar del intercepto:  $1.2399 \times 10^{-5}$
- Desviación estándar del residuo:  $1.0463 \times 10^{-4}$

**Efectos fijos** El modelo ajustado incluyó los efectos del tratamiento, el día de medición y su interacción.

### 1. Intercepto

El intercepto representa el peso promedio inicial cuando el tratamiento de referencia (`tratamiento1`) y el día inicial (`Día22`) están presentes:

$$\hat{\beta}_0 = 754.81, \quad p < 0.0001$$

### 2. Efecto de los tratamientos

Los coeficientes de `Tratamiento 2`, `Tratamiento 3`, `Tratamiento 4` y `Tratamiento 5` indican cambios en el peso en comparación con el tratamiento de referencia (`tratamiento1`). Sin embargo, los valores p asociados no son significativos ( $p >$

0.05), lo que sugiere que estos tratamientos no afectan significativamente el peso por sí solos.

### 3. Efecto del tiempo

El peso aumenta significativamente con el paso de los días:

$$\begin{aligned}\text{Día29} : & + 437.99, \quad p < 0.0001 \\ \text{Día36} : & + 1084.66, \quad p < 0.0001 \\ \text{Día43} : & + 1533.71, \quad p < 0.0001\end{aligned}$$

Esto indica un crecimiento progresivo del peso a lo largo del tiempo.

### 4. Interacción tratamiento $\times$ día

La interacción entre tratamiento y día revela que ciertos tratamientos afectan la evolución del peso:

$$\begin{aligned}\text{Tratamiento 4:Día29} : & - 323.64, \quad p < 0.0001 \\ \text{Tratamiento 5:Día29} : & - 378.43, \quad p < 0.0001 \\ \text{Tratamiento 4:Día36} : & - 898.43, \quad p < 0.0001 \\ \text{Tratamiento 5:Día36} : & - 1101.57, \quad p < 0.0001 \\ \text{Tratamiento 4:Día43} : & - 1352.54, \quad p < 0.0001 \\ \text{Tratamiento 5:Día43} : & - 1589.24, \quad p < 0.0001\end{aligned}$$

Estos resultados sugieren que los tratamientos 4 y 5 tienen un impacto negativo significativo en el peso a medida que avanza el tiempo.

## Análisis de los Tratamientos 2 y 3

### Efecto Principal de los Tratamientos 2 y 3

- **Tratamiento 2:**  $\beta = 5.15, p = 0.76$
- **Tratamiento 3:**  $\beta = 19.62, p = 0.25$

Ambos tratamientos no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento de referencia (tratamiento 1), ya que sus valores p son mayores a 0.05. Esto sugiere que, en general, estos tratamientos no tienen un efecto claro sobre el peso inicial.



### Interacción Tratamiento $\times$ Día

Los efectos de los tratamientos 2 y 3 en diferentes días tampoco son significativos en la mayoría de los casos:

- **Día 29:**

- ◊ Tratamiento 2:  $\beta = -15.31$ ,  $p = 0.72$  (no significativo)
- ◊ Tratamiento 3:  $\beta = 11.14$ ,  $p = 0.80$  (no significativo)

- **Día 36:**

- ◊ Tratamiento 2:  $\beta = -147.46$ ,  $p = 0.087$  (cercano a significancia)
- ◊ Tratamiento 3:  $\beta = -53.49$ ,  $p = 0.55$  (no significativo)

- **Día 43:**

- ◊ Tratamiento 2:  $\beta = -317.50$ ,  $p = 0.0104$  (significativo)
- ◊ Tratamiento 3:  $\beta = -218.19$ ,  $p = 0.088$  (cercano a significancia)

### Conclusión

- El peso aumenta de manera significativa con el tiempo.
- Los tratamientos 4 y 5 disminuyen el peso significativamente en los días posteriores.
- La interacción **tratamiento**  $\times$  **día** es relevante para evaluar el efecto diferencial de los tratamientos en distintos momentos.
- Los tratamientos 2 y 3 no muestran efectos significativos en el peso inicial comparados con el tratamiento 1.
- En días avanzados (**Día 43**), el tratamiento 2 muestra una reducción significativa en el peso en comparación con el tratamiento 1 ( $p = 0.0104$ ).
- El tratamiento 3 muestra una posible tendencia a reducir el peso en el tiempo, aunque no es estadísticamente significativo en la mayoría de los casos.

### Análisis de Correlación

La matriz de correlación muestra la relación entre los coeficientes del modelo. Algunos puntos clave sobre los tratamientos 2 y 3:

Correlation:	(Intr)	trtmn2	trtmn3	trtmn4	trtmn5	Día29	Día36	Día43	t2:D29	t3:D29	t4:D29	t5:D29	t2:D36	t3:D36	t4:D36	t5:D36	t2:D43	t3:D43	t4:D43
tratamiento2																			
	-0.703																		
tratamiento3	-0.690	0.485																	
tratamiento4	-0.706	0.496	0.487																
tratamiento5	-0.698	0.490	0.481	0.493															
Día29	-0.388	0.273	0.268	0.274	0.271														
Día36	-0.183	0.128	0.126	0.129	0.127	0.071													
Día43	-0.122	0.086	0.084	0.086	0.085	0.047	0.022												
tratamiento2:Día29	0.276	-0.393	-0.190	-0.195	-0.193	-0.711	-0.050	-0.034											
tratamiento3:Día29	0.268	-0.188	-0.388	-0.189	-0.187	-0.690	-0.049	-0.033	0.491										
tratamiento4:Día29	0.327	-0.230	-0.225	-0.463	-0.228	-0.842	-0.060	-0.040	0.599	0.581									
tratamiento5:Día29	0.332	-0.233	-0.229	-0.234	-0.475	-0.855	-0.061	-0.040	0.608	0.590	0.720								
tratamiento2:Día36	0.139	-0.107	-0.095	-0.097	-0.096	-0.054	-0.767	-0.017	0.077	0.037	0.045	0.046							
tratamiento3:Día36	0.131	-0.092	-0.190	-0.093	-0.092	-0.051	-0.718	-0.016	0.036	0.074	0.043	0.043	0.543						
tratamiento4:Día36	0.173	-0.122	-0.119	-0.245	-0.121	-0.067	-0.949	-0.021	0.048	0.046	0.114	0.057	0.718	0.682					
tratamiento5:Día36	0.177	-0.124	-0.122	-0.125	-0.253	-0.069	-0.968	-0.022	0.049	0.047	0.058	0.120	0.732	0.695	0.918				
tratamiento2:Día43	0.097	-0.138	-0.067	-0.068	-0.068	-0.038	-0.018	-0.795	0.054	0.026	0.032	0.032	0.027	0.013	0.017	0.017			
tratamiento3:Día43	0.093	-0.065	-0.135	-0.066	-0.065	-0.036	-0.017	-0.764	0.026	0.052	0.030	0.031	0.013	0.026	0.016	0.016	0.607		
tratamiento4:Día43	0.119	-0.084	-0.082	-0.169	-0.083	-0.046	-0.022	-0.976	0.033	0.032	0.078	0.039	0.016	0.016	0.041	0.021	0.777	0.746	
tratamiento5:Día43	0.120	-0.084	-0.083	-0.085	-0.172	-0.047	-0.022	-0.987	0.033	0.032	0.039	0.082	0.017	0.016	0.021	0.044	0.785	0.753	0.963

FIGURE 34: Correlaciones para varpower

### Correlación entre Tratamientos

- Existe una **correlación moderada y positiva** entre los tratamientos 2 y 3 ( $\rho = 0.485$ ). Esto sugiere que estos tratamientos pueden compartir características similares en sus efectos sobre el peso.
- Los tratamientos 2, 3, 4 y 5 tienen **correlaciones moderadas negativas** con el intercepto (entre -0.69 y -0.71), lo que indica que estos tratamientos pueden estar desviándose del tratamiento de referencia.

### Correlación con el Tiempo (Días)

- En general, la correlación de los días con los tratamientos es baja (valores menores a 0.3), lo que sugiere que el efecto del tiempo no está altamente correlacionado con el tratamiento base.
- En particular, la correlación entre Día 29 y los tratamientos 2 y 3 es baja ( $\rho = 0.273$  y  $\rho = 0.268$ , respectivamente), lo que sugiere que estos tratamientos no tienen un cambio drástico en el peso en este día.

### Interacciones Tratamiento $\times$ Día

- La interacción **tratamiento 2  $\times$  Día 29** tiene una correlación de  $-0.393$  con tratamiento 2, indicando una leve relación negativa.
- La interacción **tratamiento 3  $\times$  Día 29** tiene una correlación de  $-0.388$  con tratamiento 3, con un patrón similar.
- Para el Día 43, la interacción **tratamiento 2  $\times$  Día 43** tiene una correlación de  $-0.138$  con tratamiento 2, y **tratamiento 3  $\times$  Día 43** de  $-0.135$  con tratamiento 3. Esto sugiere que el efecto de estos tratamientos sobre el peso no cambia de manera drástica a medida que avanza el tiempo.

## Conclusión

- Los tratamientos 2 y 3 tienen una correlación positiva entre ellos, indicando similitud en sus efectos.
- La correlación con el tiempo es baja, lo que sugiere que el peso cambia con el tiempo de manera independiente del tratamiento.
- Las interacciones de los tratamientos con el tiempo muestran algunas correlaciones negativas, especialmente en días avanzados, lo que podría indicar que estos tratamientos tienen un efecto reductor en el peso con el tiempo.

## 8. Modelos pedidos por el consultante, los cuales NO recomendamos

### 8.1. Modelo completamente al azar

#### 8.1.1. Peso a los 22 días

##### Modelo completamente al azar

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	$\Pr(> t )$
Intercepto	753.7872	10.3006	73.1792	0.0000
Tratamiento 2	6.1711	14.4911	0.4259	0.6706
Tratamiento 3	20.3191	14.5672	1.3949	0.1644
Tratamiento 4	2.7336	14.4911	0.1886	0.8505
Tratamiento 5	10.7021	14.5672	0.7347	0.4633

TABLE 14: Modelo DCA: Peso a los 22 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que ninguno de los tratamientos que incluyen torta de sachá inchi presenta un efecto estadísticamente significativo. Hasta el momento los tratamientos aún no parecen influir en el peso de los pollos.

##### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.6033) se tiene que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

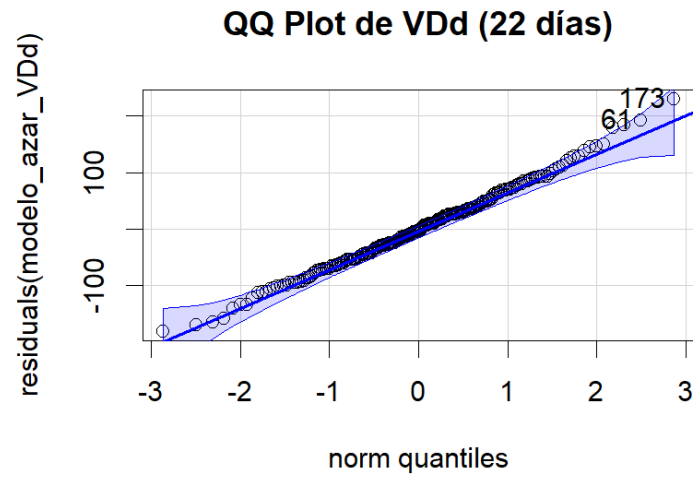


FIGURE 35: Peso a los 22 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Se aplica la prueba Levene (0.3529) y Fligner-Killeen (0.2933). Ambas pruebas muestran que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son similares.

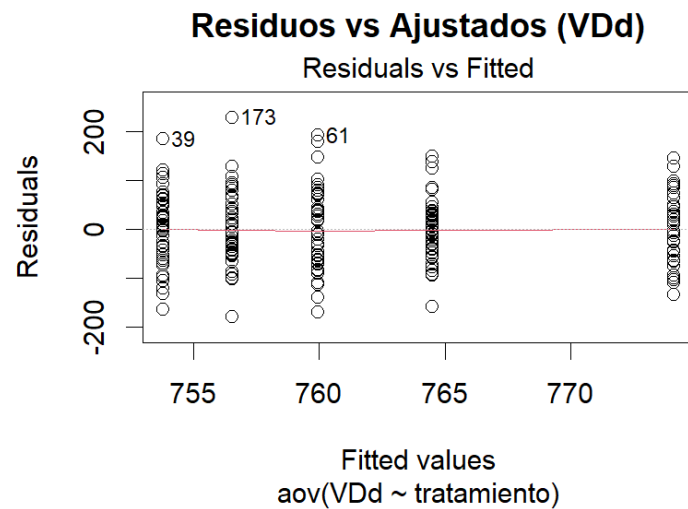


FIGURE 36: Peso a los 22 días

### 8.1.2. Peso a los 29 días

#### Modelo completamente al azar

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	1193.2340	18.7298	63.7077	0.0000
Tratamiento 2	-10.5882	26.3496	-0.4018	0.6882
Tratamiento 3	30.2553	26.4880	1.1422	0.2545
Tratamiento 4	-322.3590	26.3496	-12.2339	0.0000
Tratamiento 5	-369.3191	26.4880	-13.9429	0.0000

TABLE 15: Modelo DCA: Peso a los 29 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos 4 y 5 que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -322.359 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -369.3191 veces menor. Por lo tanto el tratamiento 4 y 5 están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

#### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.009281) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

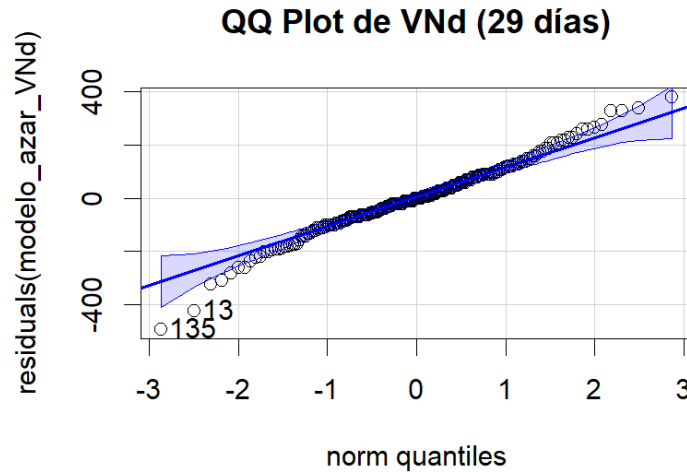


FIGURE 37: Peso a los 29 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene (0.005132) y Fligner-Killeen (0.001736). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

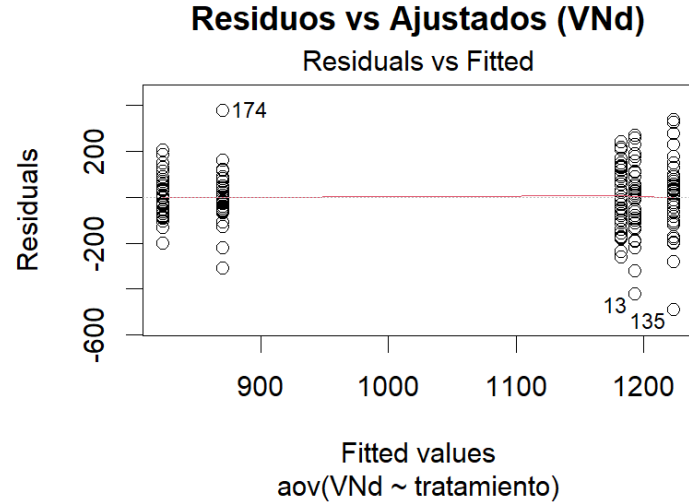


FIGURE 38: Peso a los 29 días

### 8.1.3. Peso a los 36 días

#### Modelo completamente al azar

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	1840.0426	33.3267	55.2123	0.0000
Tratamiento 2	-142.8759	46.8849	-3.0474	0.0026
Tratamiento 3	-37.8511	47.1310	-0.8031	0.4227
Tratamiento 4	-897.2926	46.8849	-19.1382	0.0000
Tratamiento 5	-1092.5319	47.1310	-23.1807	0.0000

TABLE 16: Modelo DCA: Peso a los 36 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos 2, 4 y 5 que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 es -142.8759 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -897.2926 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -1092.5319 veces menor. Por lo

tanto el tratamiento 2, 4 y 5 están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 6.99\text{e-}07$ ) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

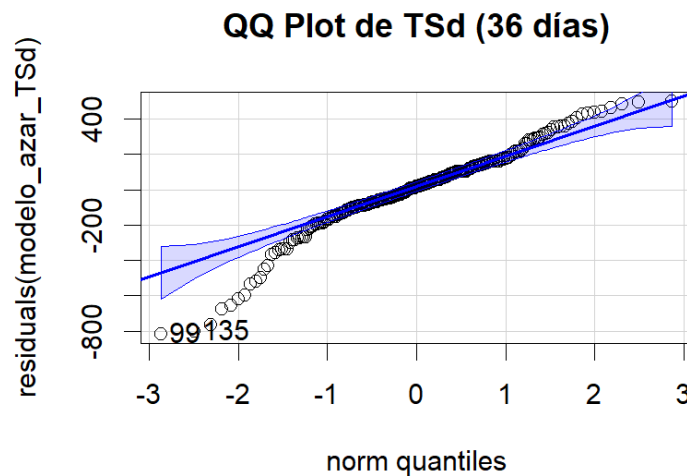


FIGURE 39: Peso a los 36 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene ( $2.785\text{e-}08$ ) y Fligner-Killeen ( $1.091\text{e-}07$ ). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

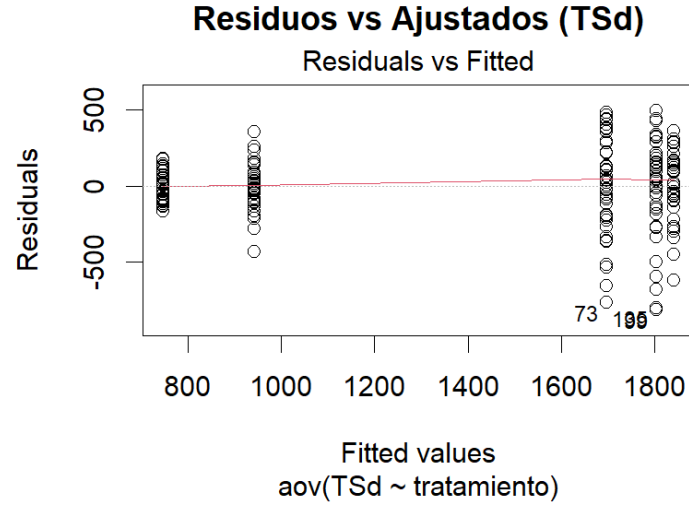


FIGURE 40: Peso a los 36 días

#### 8.1.4. Peso a los 43 días

##### Modelo completamente al azar

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	2285.4255	36.5381	62.5491	0.0000
Tratamiento 2	-309.2589	51.4029	-6.0164	0.0000
Tratamiento 3	-196.3617	51.6727	-3.8001	0.0002
Tratamiento 4	-1347.7380	51.4029	-26.2191	0.0000
Tratamiento 5	-1577.8723	51.6727	-30.5359	0.0000

TABLE 17: Modelo DCA: Peso a los 43 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 es -309.2589 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 3 con respecto al tratamiento 1 es -196.3617 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -1347.7380 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -1577.8723 veces menor. Por lo tanto los tratamientos están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

##### Verificación de supuestos



- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk ( $p$ -valor = 0.0002777) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

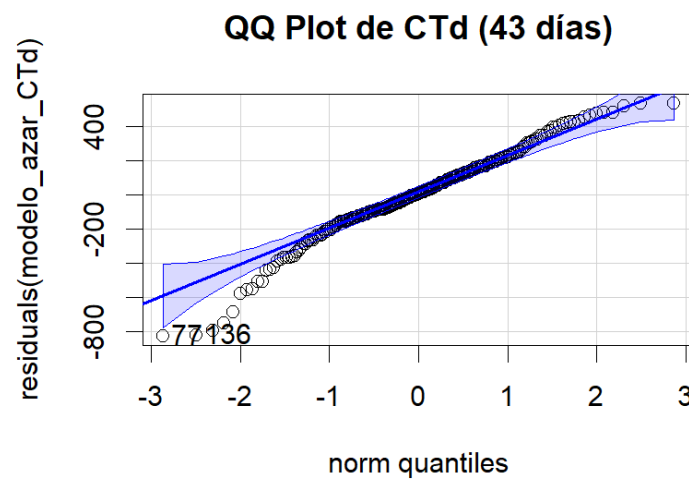


FIGURE 41: Peso a los 43 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene ( $5.925e-07$ ) y Fligner-Killeen ( $2.092e-06$ ). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

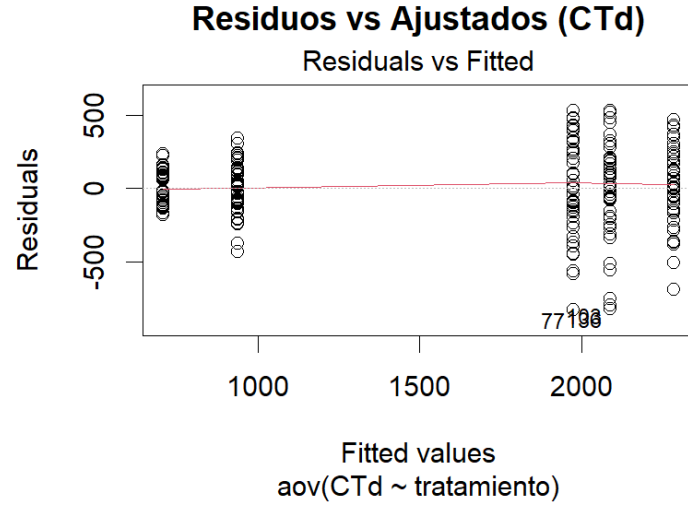


FIGURE 42: Peso a los 43 días

## 8.2. Modelo Bloques Completos Aleatorizados

### 8.2.1. Peso a los 22 días

#### Modelo Bloques Completos Aleatorizados

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	741.6526	14.4712	51.2504	0.0000
Tratamiento 2	5.8216	14.4935	0.4017	0.6883
Tratamiento 3	20.3191	14.5678	1.3948	0.1644
Tratamiento 4	2.3841	14.4935	0.1645	0.8695
Tratamiento 5	10.4624	14.5719	0.7180	0.4735
Repetición 2	0.9250	15.7912	0.0586	0.9533
Repetición 3	17.6440	15.8938	1.1101	0.2681
Repetición 4	18.5250	15.7912	1.1731	0.2420
Repetición 5	28.9112	16.0003	1.8069	0.0721
Repetición 6	8.9000	15.7912	0.5636	0.5736

TABLE 18: Modelo DBCA: Peso a los 22 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que ninguno de los tratamientos que incluyen torta de sachá inchi ni de las repeticiones presenta un efecto estadísticamente significativo. Hasta el momento los tratamientos y las repeticiones aún no parecen influir en el peso de los pollos.

#### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.4862) se tiene que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

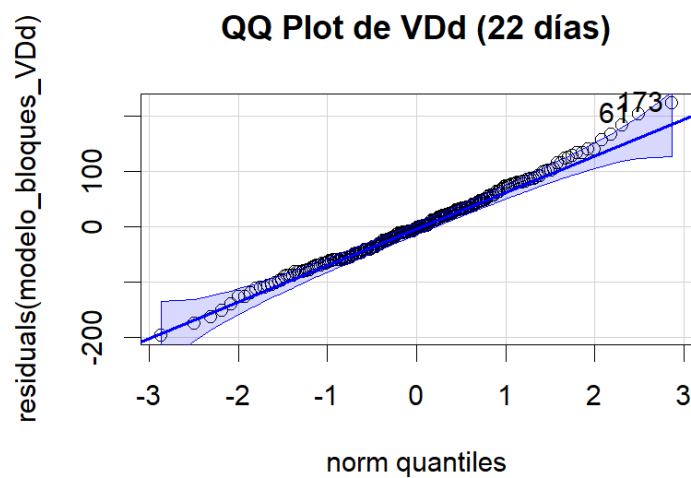


FIGURE 43: Peso a los 22 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Se aplica la prueba Levene (0.2681) y Fligner-Killeen (0.2634). Ambas pruebas muestran que no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son similares.

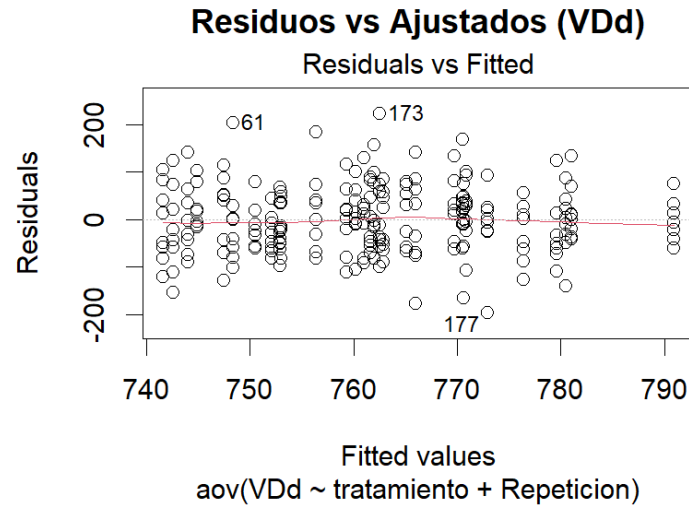


FIGURE 44: Peso a los 22 días

### 8.2.2. Peso a los 29 días

#### Modelo Bloques Completos Aleatorizados

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	1192.7374	26.3712	45.2289	0.0000
Tratamiento 2	-10.5931	26.4118	-0.4011	0.6887
Tratamiento 3	30.2553	26.5473	1.1397	0.2556
Tratamiento 4	-322.3639	26.4118	-12.2053	0.0000
Tratamiento 5	-369.2351	26.5547	-13.9047	0.0000
Repetición 2	-33.4500	28.7766	-1.1624	0.2463
Repetición 3	4.6795	28.9637	0.1616	0.8718
Repetición 4	18.6500	28.7766	0.6481	0.5176
Repetición 5	0.7297	29.1578	0.0250	0.9801
Repetición 6	12.4000	28.7766	0.4309	0.6669

TABLE 19: Modelo DBCA: Peso a los 29 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos 4 y 5 que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo.

Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -322.359 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -369.3191 veces menor. Por lo tanto el tratamiento 4 y 5 están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk (p-valor = 0.01079) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

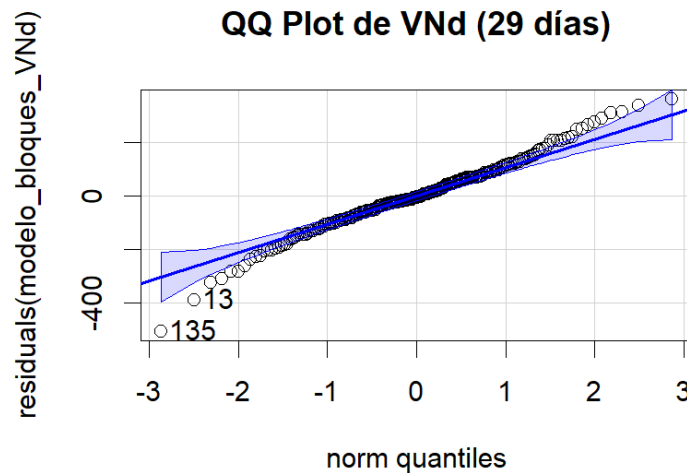


FIGURE 45: Peso a los 29 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene (0.001791) y Fligner-Killeen (0.001122). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

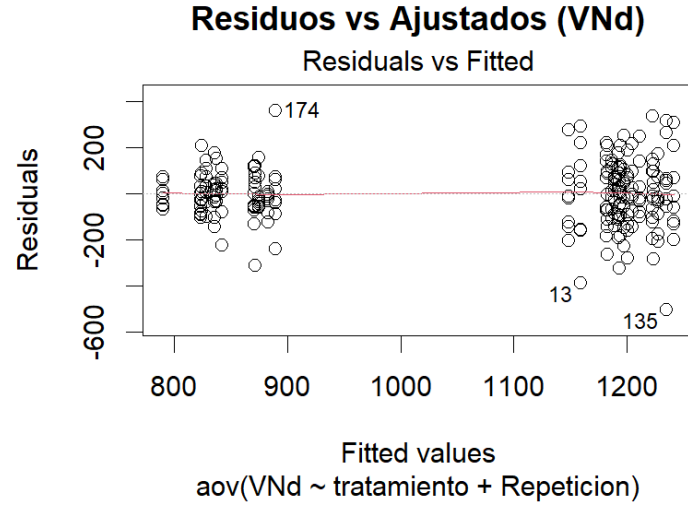


FIGURE 46: Peso a los 29 días

### 8.2.3. Peso a los 36 días

#### Modelo Bloques Completos Aleatorizados

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	1809.6943	46.7035	38.7486	0.0000
Tratamiento 2	-143.4418	46.7755	-3.0666	0.0024
Tratamiento 3	-37.8511	47.0155	-0.8051	0.4216
Tratamiento 4	-897.8585	46.7755	-19.1951	0.0000
Tratamiento 5	-1091.6951	47.0285	-23.2135	0.0000
Repetición 2	33.2000	50.9636	0.6514	0.5154
Repetición 3	96.8461	51.2949	1.8880	0.0603
Repetición 4	4.6750	50.9636	0.0917	0.9270
Repetición 5	57.5141	51.6387	1.1138	0.2666
Repetición 6	-6.7500	50.9636	-0.1324	0.8947

TABLE 20: Modelo DBCA: Peso a los 36 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos 2, 4 y 5 que incluyen torta de sachu inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 es -143.4418 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -897.8585 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -1091.6951 veces menor. Por lo

tanto el tratamiento 2, 4 y 5 están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 6.034e-06$ ) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

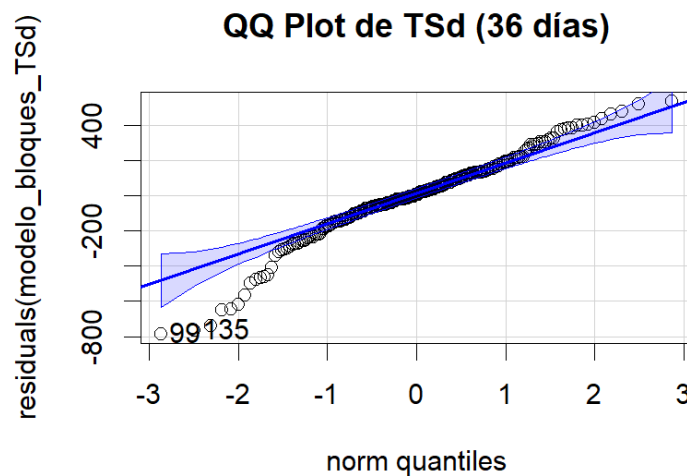


FIGURE 47: Peso a los 36 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene ( $4.274e-08$ ) y Fligner-Killeen ( $9.012e-08$ ). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

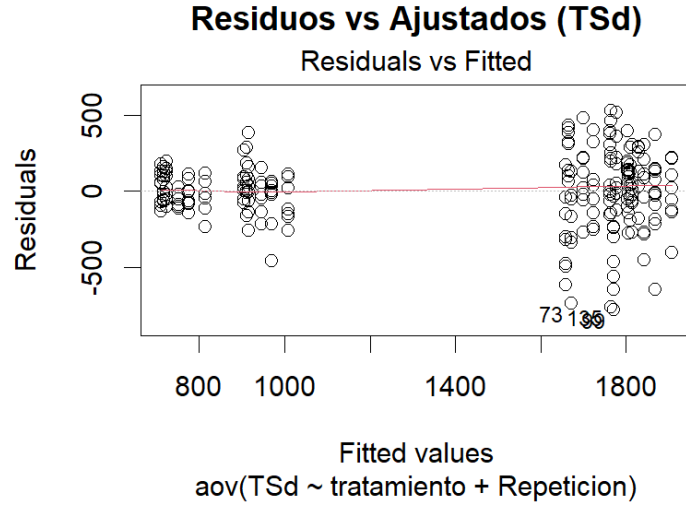


FIGURE 48: Peso a los 36 días

#### 8.2.4. Peso a los 43 días

##### Modelo Bloques Completos Aleatorizados

Tratamiento	Estimación	Error estándar	t-valor	Pr(> t )
Intercepto	2232.8887	50.9289	43.8433	0.0000
Tratamiento 2	-310.2803	51.0074	-6.0830	0.0000
Tratamiento 3	-196.3617	51.2691	-3.8300	0.0002
Tratamiento 4	-1348.7594	51.0074	-26.4424	0.0000
Tratamiento 5	-1577.1671	51.2833	-30.7540	0.0000
Repetición 2	27.4750	55.5744	0.4944	0.6215
Repetición 3	134.7108	55.9357	2.4083	0.0168
Repetición 4	30.2750	55.5744	0.5448	0.5864
Repetición 5	101.5636	56.3106	1.8036	0.0726
Repetición 6	27.3250	55.5744	0.4917	0.6234

TABLE 21: Modelo DBCA: Peso a los 43 días

Bajo un nivel de significancia del 5%, se observa que los tratamientos que incluyen torta de sachá inchi presentan un efecto estadísticamente significativo. Esto nos dice que la diferencia del tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 es -311.5028 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 3 con respecto al tratamiento 1 es -197.9636 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 4 con respecto al tratamiento 1 es -1349.9819 veces menor, mientras que la diferencia del tratamiento 5 con respecto al tratamiento 1 es -1578.6639 veces menor. Por



lo tanto el tratamientos están generando resultados opuestos a los que se quiere de la torta sachá inchi y la grasa. También es la primera vez donde una Repetición (Jaula) es significativa, en este caso la repetición 3, esto nos dice que la diferencia de la repetición 3 con respecto a la repetición 1 es de 134.7108 veces mayor.

### Verificación de supuestos

- **Normalidad:** Mediante el qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk ( $p\text{-valor} = 0.0005651$ ) se tiene que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que los residuales siguen una distribución normal.

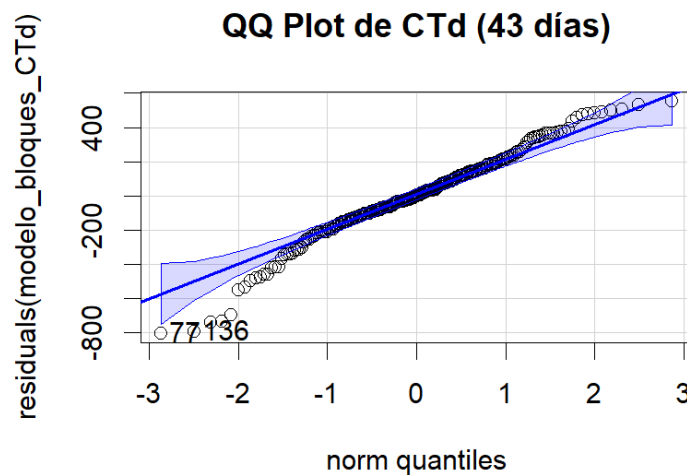


FIGURE 49: Peso a los 43 días

- **Homogeneidad de varianzas:** Dado que no se cumple normalidad, se aplica la prueba Levene ( $2.219e-07$ ) y Fligner-Killeen ( $9.71e-07$ ). Ambas pruebas muestran que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar que las varianzas son homogéneas y por lo tanto podemos decir que las varianzas en los distintos grupos de tratamiento son diferentes.

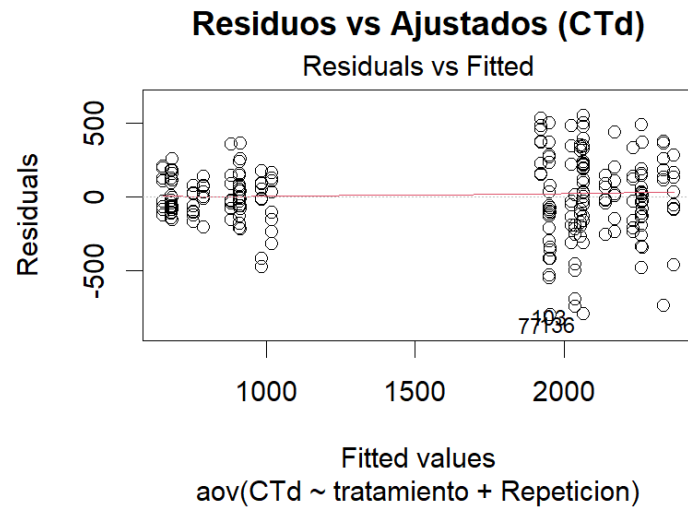


FIGURE 50: Peso a los 43 días

Como se puede observar, las estimaciones de los efectos de los tratamientos con respecto a los otros modelos propuestos no varía mucho, mientras que los bloques (Jaulas) no parecen influir significativamente en el peso de los pollos.

## 9. Conclusiones

- A lo largo del experimento, se observó que la diferencia entre los tratamientos con respecto a la dieta base aumentó, especialmente en los tratamientos 4 y 5. Esto sugiere que, a mayor porcentaje de grasa, mayor es la diferencia en el peso de los pollos con respecto al tratamiento de la dieta base
- Tras evaluar los modelos propuestos, se determinó que ninguno de ellos cumplía adecuadamente con los supuestos estadísticos requeridos. Por esta razón, se escogió un modelo de medidas repetidas Power, ya que este enfoque no solo maneja de manera más efectiva la heterocedasticidad, sino que también incorpora de forma explícita la correlación temporal entre las mediciones. Esto lo convierte en la opción más robusta y adecuada para modelar la estructura de los datos en este estudio.
- Con base en el análisis de medidas repetidas, se puede concluir que la inclusión de sachá inchi, tanto en tratamientos con mayor como menor porcentaje de grasa, tiene un efecto adverso sobre el peso de los pollos. Este efecto es más pronunciado en los tratamientos con mayor porcentaje de grasa, pero en general, todos los tratamientos con torta de sachá inchi disminuyen el peso de los pollos respecto a la dieta base.

- Con base en los resultados obtenidos, podemos concluir que el objetivo de aumentar el peso de los pollos mediante la inclusión de torta de sachá inchi no se alcanzó. De hecho, el estudio muestra que la torta de sachá inchi produce un efecto contrario al deseado. Se recomienda evaluar alternativas a la torta de sachá inchi para mejorar el rendimiento de los pollos o reconsiderar la dieta base como una opción más efectiva.

## 10. Bibliografía:

Gutiérrez-Cervantes, A., Ahuja-Aguirre, C., López-DeBuen, L., Viveros-Peredo, S., Morales-Mávil, J. E., & Montiel-Palacios, F. (2024). Serum concentrations of corticosterone and sex hormones and their relationship in farmed Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*). *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 36(3), 152–160. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v36n3a4>

Correa Londoño, G. A. (2008). Análisis de medidas repetidas. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de [repositorio.unal.edu.co](https://repositorio.unal.edu.co).

Gómez Ortiz, L. L. (2015). Efecto de dos suplementos energéticos sobre el control del balance energético negativo en vacas de producción de leche. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de [repositorio.unal.edu.co](https://repositorio.unal.edu.co).

Barragán Contreras, L. A. (2016). Correlación entre nivel de testosterona, morfometría y éxito reproductivo en la "Babilla" *Caiman crocodilus crocodilus*. Universidad de los Andes. Recuperado de [repositorio.uniandes.edu.co](https://repositorio.uniandes.edu.co).

## 11. Bitacora

1. **31 Octubre:** Reunión virtual para definir el plan de acción; se acordó que, cuando Francois enviara los documentos, cada miembro los leería, resolvería dudas y luego se reunirían para socializar. (Manuela y Julieta)
2. **31 Octubre:** Francois envió los documentos a Julieta, quien creó una carpeta en Drive y los compartió con el grupo.
3. **8 Noviembre:** Reunión con Francois para explicar las bases de datos y recordar que solo era necesario enfocarse en el bioensayo 2. (Germán, Nicolás, Francois, Manuela y Julieta)
4. **14 Noviembre:** Reunión interna para definir tareas y organizar la presentación. (Germán, Nicolás y Julieta)
5. **18 Noviembre:** Reunión para revisar avances y definir nuevas tareas. (Todos)
6. **19 Noviembre:** Reunión para hacer exposiciones entre los miembros del grupo. (Todos)

7. **20 Noviembre:** Reunión con Francois para aclarar dudas.

## 12. Anexos

### 12.1. Código R: Descripción Univariada de los datos

```
# Descriptivo ####
## Boxplot ####

fboxplot <- function(base,varinde,vardepe,dia){
  plot_ly(base, x = as.formula(paste0("~as.factor('",varinde,"'")),
    y = as.formula(paste0("~'",vardepe,"'")), type = "box",
      color = as.formula(paste0("~as.factor('",varinde,"'")), boxmean = TRUE) %>%
    layout(
      title = paste0("Distribución del Peso por Tratamiento - ",dia),
      xaxis = list(title = "Tratamiento", showticklabels = FALSE),
      yaxis = list(title = "Peso del Pollo", range = c(350, 2500)),
      boxmode = "group",
      legend = list(
        orientation = "h",
        x = 0.5,
        xanchor = 'center',
        y = -0.2,
        yanchor = 'top'
      ))%>%
    style(
      width = 0.8
    )
  }

fboxplot(DatosTot,"tratamiento","PesoInicial","Día 1")
fboxplot(DatosTot,"tratamiento","VDd","Día 22")
fboxplot(DatosTot,"tratamiento","VNd","Día 29")
fboxplot(DatosTot,"tratamiento","TSd","Día 36")
fboxplot(DatosTot,"tratamiento","CTd","Día 43")

## Histograma ####
fhisto <- function(base,var,dia,intervalo) {
  plot_ly(base,
    x = as.formula(paste0("~'", var, "'")),
    # No se necesita convertir a factor si es numérico
    type = "histogram",
    marker = list(color = 'rgba(173, 216, 230, 0.8)',
      # Color pastel azul con transparencia
      line = list(color = 'rgba(0, 0, 128, 1)', width = 1.5)),
    # Bordes más oscuros
    xbins = list(start = min(base[[var]]), na.rm = TRUE),
```

```

        # Inicio de los bins
        end = max(base[[var]], na.rm = TRUE),
        # Fin de los bins
        size = intervalo)      # Tamaño de cada bin
    ) %>%
    layout(
      title = paste0("Distribución del Peso por Tratamiento - ", dia),
      xaxis = list(title = "Peso del pollo"),
      yaxis = list(title = "Densidad"),
      bargap = 0.1, # Espaciado entre barras
      histogramnorm = "density" # Normaliza a densidad
    )
}

fhisto(DatosTot, "PesoInicial", "Día 1", 20)
fhisto(DatosTot, "VDd", "Día 22", 30)
fhisto(DatosTot, "VNd", "Día 29", 80)
fhisto(DatosTot, "TSd", "Día 36", 120)
fhisto(DatosTot, "CTd", "Día 43", 160)

```

## 12.2. Código R: Modelo de efectos mixtos

### 12.2.1. Librerías necesarias

```

# CARGA LIBRERIAS ####
lista_librerías <- c("readxl", "nlme", "car", "lmtest", "sqldf", "plotly", "dplyr", "rlang")

no_installs <- lista_librerías[!lista_librerías %in% installed.packages()]

if(length(no_installs) > 0) {
  install.packages(no_installs)
}

sapply(lista_librerías, require, character = TRUE)

```

### 12.2.2. Preparación de datos

```

setwd(dirname(rstudioapi::getActiveDocumentContext())$path)
directorio <- getwd()
DatosTot <- read_excel("Datos organizados Bioensayo 2.xlsx", sheet = "totalvivos")
# Convertir tratamiento y Repeticion a factores
DatosTot$tratamiento <- as.factor(DatosTot$tratamiento)
DatosTot$Repeticion <- as.factor(DatosTot$Repeticion)

```

### 12.2.3. Modelo de efectos mixtos - Peso inicial

```
##### Peso Inicial #####
modelo <- lme(fixed = PesoInicial ~ tratamiento,
             random = ~ 1 | Repeticion/tratamiento,
             data = DatosTot)
# Resumen del modelo
summary(modelo)
```

### 12.2.4. Modelo de efectos mixtos - 22 días

```
##### 22 dias #####
# ANOVA para diseño completamente aleatorizado con submuestreo
modelo2 <- lme(fixed = VDd ~ tratamiento,
              random = ~1 | Repeticion/tratamiento,
              data = DatosTot)

# Resumen del modelo
summary(modelo2)
```

### 12.2.5. Modelo de efectos mixtos - 29 días

```
##### 29 dias #####
# ANOVA para diseño completamente aleatorizado con submuestreo
modelo3 <- lme(fixed = VND ~ tratamiento,
              random = ~1 | Repeticion/tratamiento,
              data = DatosTot)

# Resumen del modelo
summary(modelo3)
```

### 12.2.6. Modelo de efectos mixtos - 36 días

```
##### 36 dias #####
# ANOVA para diseño completamente aleatorizado con submuestreo
modelo4 <- lme(fixed = TSd ~ tratamiento,
              random = ~1 | Repeticion/tratamiento,
              data = DatosTot)

# Resumen del modelo
summary(modelo4)
```

### 12.2.7. Modelo de efectos mixtos - 43 días

```
##### 43 dias #####
# ANOVA para diseño completamente aleatorizado con submuestreo
```

```

modelo5 <- lme(fixed = CTd ~ tratamiento,
               random = ~1 | Repeticion/tratamiento,
               data = DatosTot)

# Resumen del modelo
summary(modelo5)

```

### 12.2.8. Análisis de medidas repetidas - Reuniendo Jaulas

```

##### Reuniendo las jaulas #####
Jaulas <- sqldf("
  SELECT
    tratamiento,
    Repeticion,
    AVG(PesoInicial) AS PesoInicial_Medio,
    AVG(VDd) AS VDd_Medio,
    AVG(VNd) AS VNd_Medio,
    AVG(TSd) AS TSd_Medio,
    AVG(CTd) AS CTd_Medio,
    COUNT(*) AS N
  FROM DatosTot
  GROUP BY tratamiento, Repeticion
")

MedRepJaulas <- sqldf("SELECT tratamiento, Repeticion, VDd_Medio, VNd_Medio, TSd_Medio, CTd_Medio
  FROM Jaulas")

##### Medidas Repetidas #####
# Convertir los datos a formato largo
MedRepJaulas_largo <- MedRepJaulas %>%
  pivot_longer(cols = c(VDd_Medio, VNd_Medio, TSd_Medio, CTd_Medio),
               names_to = "Dia", values_to = "Peso")

# Mapear los nombres a valores numericos de los Diaas
MedRepJaulas_largo$Dia <- factor(MedRepJaulas_largo$Dia,
                                levels = c("VDd_Medio", "VNd_Medio", "TSd_Medio", "CTd_Medio"),
                                labels = c(22, 29, 36, 43))

# Ajustar modelo de medidas repetidas
modelo_rep <- lme(Peso ~ tratamiento * Dia,
                  random = ~1 | Repeticion, # Efecto aleatorio por sujeto (Repeticion)
                  data = MedRepJaulas_largo)
xtable(summary(modelo_rep)$tTable, digits = 4)
xtable(summary(modelo_rep)$corFixed, digits = 3)

# Ajustar modelo medidas repetidas heterocedastico

```



```

modelo_rep_het <- lme(Peso ~ tratamiento * Dia,
                      random = ~1 | Repeticion,
                      weights = varIdent(form = ~ 1 | tratamiento),
                      data = MedRepJaulas_largo)
xtable(summary(modelo_rep_het)$tTable, digits = 4)
xtable(summary(modelo_rep_het)$corFixed, digits = 3)
anova(modelo_rep, modelo_rep_het)

# Ajustar modelo medidas repetidas power
modelo_varPower <- lme(Peso ~ tratamiento * Dia,
                      random = ~1 | Repeticion,
                      weights = varPower(form = ~ fitted(.)),
                      data = MedRepJaulas_largo)

xtable(summary(modelo_varPower)$tTable, digits = 4)
xtable(summary(modelo_varPower)$corFixed, digits = 3)
anova(modelo_rep_het, modelo_varPower)

```

#### 12.2.9. Verificación de supuestos

```

##### Peso inicial #####
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo))

# independencia
# Gráfico de residuos vs. orden de los datos
plot(residuals(modelo),
     main = "Residuos vs. Orden de los Datos",
     xlab = "Índice de Observación",
     ylab = "Residuos",
     pch = 16)
abline(h = 0, col = "red")

acf(residuals(modelo))

# Homogeneidad de varianzas
bartlett.test(PesoInicial ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)

##### 22 días #####
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo2), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)

```

```
shapiro.test(residuals(modelo2))

# independencia
# Gráfico de residuos vs. orden de los datos
plot(residuals(modelo2),
      main = "Residuos vs. Orden de los Datos",
      xlab = "Índice de Observación",
      ylab = "Residuos",
      pch = 16)
abline(h = 0, col = "red")

acf(residuals(modelo2))

# Homogeneidad de varianzas
bartlett.test(VDd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)

##### 29 dias #####
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo3), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo3))

# independencia
# Gráfico de residuos vs. orden de los datos
plot(residuals(modelo3),
      main = "Residuos vs. Orden de los Datos",
      xlab = "Índice de Observación",
      ylab = "Residuos",
      pch = 16)
abline(h = 0, col = "red")

acf(residuals(modelo3))

# Homogeneidad de varianzas
leveneTest(VNd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)
fligner.test(VNd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)

##### 36 dias #####
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo4), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo4))

# independencia
```

```

# Gráfico de residuos vs. orden de los datos
plot(residuals(modelo4),
     main = "Residuos vs. Orden de los Datos",
     xlab = "Índice de Observación",
     ylab = "Residuos",
     pch = 16)
abline(h = 0, col = "red")

acf(residuals(modelo4))

# Homogeneidad de varianzas
leveneTest(TSd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)
fligner.test(TSd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)

##### 43 dias #####
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo5), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo5))

# independencia
# Gráfico de residuos vs. orden de los datos
plot(residuals(modelo5),
     main = "Residuos vs. Orden de los Datos",
     xlab = "Índice de Observación",
     ylab = "Residuos",
     pch = 16)
abline(h = 0, col = "red")

acf(residuals(modelo5))

# Homogeneidad de varianzas
leveneTest(CTd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)
fligner.test(CTd ~ factor(tratamiento), data = DatosTot)

##### Análisis de medidas repetidas #####
# ESTANDAR
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo_rep), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo_rep))

# Homogeneidad de varianzas
plot(modelo_rep, resid(., type = "pearson") ~ fitted(.), abline = 0)

```

```

leveneTest(residuals(modelo_rep) ~ MedRepJaulas_largo$tratamiento)
fligner.test(residuals(modelo_rep) ~ MedRepJaulas_largo$tratamiento)

# HETEROCEDASTICO
#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo_rep_het), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo_rep_het))

# Homogeneidad de varianzas
plot(modelo_rep_het, resid(., type = "pearson") ~ fitted(.), abline = 0)

leveneTest(residuals(modelo_rep_het) ~ MedRepJaulas_largo$tratamiento)
fligner.test(residuals(modelo_rep_het) ~ MedRepJaulas_largo$tratamiento)

# POWER

#### Verificación de supuestos
# Normalidad de los residuos
qqPlot(residuals(modelo_varPower), main = "QQ Plot de los Residuos")
# Test de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(residuals(modelo_varPower))

# Homogeneidad de varianzas
plot(modelo_varPower, resid(., type = "pearson") ~ fitted(.), abline = 0)

leveneTest(residuals(modelo_varPower) ~ MedRepJaulas_largo$tratamiento)
fligner.test(residuals(modelo_varPower) ~ MedRepJaulas_largo$tratamiento)

```

## References

- Arukwe, A., Myburgh, J., Langberg, H. A., Adeogun, A. O., Braa, I. G., Moeder, M., ... & Botha, C. (2016). Developmental alterations and endocrine-disruptive responses in farmed Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*) exposed to contaminants from the Crocodile River, South Africa. *Aquatic Toxicology*, 173, 83-93.
- Balaguera-Reina, S. A., Venegas-Anaya, M., Sanjur, O. I., Lessios, H. A., & Densmore III, L. D. (2015). Reproductive Ecology and Hatchling Growth Rates of the American Crocodile (*Crocodylus acutus*) on Coiba Island, Panama. *South American Journal of Herpetology*, 10(1), 10-22.
- Bonilla Anariba, D. J. (2002). Análisis comparativo de dos temporadas reproductivas de *Crocodylus acutus* en la Finca La Sierra, Cocodrilos Clal

Continental (Trabajo de graduación). Zamorano, Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente.

- Briggs-Gonzalez, V., Bonenfant, C., Basille, M., Cherkiss, M., Beauchamp, J., & Mazzotti, F. (2017). Life histories and conservation of long-lived reptiles, an illustration with the American crocodile (*Crocodylus acutus*). *Journal of Animal Ecology*, 86(5), 1102-1113.
- Brown, M. A., Cree, A., Chambers, G. K., Newton, J. D., & Cockrem, J. F. (1991). Variation in plasma constituents during the natural vitellogenic cycle of tuatara, *Sphenodon punctatus*. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 100, 705-710.
- Campos Z, Mourão G, Coutinho M, Magnusson WE, & Soriano BMA (2015) Spatial and Temporal Variation in Reproduction of a Generalist Crocodilian, *Caiman crocodilus yacare*, in a Seasonally Flooded Wetland. *PLoS ONE*, 10(6), e0129368.
- Calderón, M. L., De Pérez, G. R., & Ramírez, P. M. P. (2004). Morphology of the ovary of *Caiman crocodilus* (Crocodylia: Alligatoridae). *Ann Anat*, 186(1), 13-24.
- Hernández, O., et al. (2008). Biología del cocodrilo o caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*) en la Estación Biológica El Frío, Estado Apure (Venezuela). Asociación Amigos de Doñana.