**Ejercicio Propuesto 7 (Resuelto)**

**En un invernadero se está estudiando el crecimiento de determinadas plantas, para ello se quiere controlar los efectos del terreno, abono, insecticida y semilla. El estudio se realiza con cuatro tipos de semillas diferentes que se plantan en cuatro tipos de terreno, se les aplican cuatro tipos de abonos y cuatro tipos de insecticidas. La asignación de los tratamientos a las plantas se realiza de forma aleatoria. Para controlar estas posibles fuentes de variabilidad se decide plantear un diseño por cuadrados greco-latinos como el que se muestra en la siguiente tabla, donde las letras griegas corresponden a los cuatro tipos de semilla y las latinas a los abonos.**

|  |
| --- |
| **Crecimiento** |
|  | **Tipo de insecticida** |
| **Tipo de terreno** | **Insecticida 1** | **Insecticida 2** | **Insecticida 3** | **Insecticida 4** |
| **Terreno 1** | **6****C β** | **12****B α** | **13****A δ** | **13****D γ** |
| **Terreno 2** | **6****B γ** | **10****C δ** | **16****D α** | **11****A β** |
| **Terreno 3** | **7****D δ** | **5****A γ** | **5****B β** | **7****C α** |
| **Terreno 4** | **11****A α** | **11****D β** | **8****C γ** | **9****B δ** |

**Responder a las siguientes cuestiones:**

1. **Estudiar cuál es el tipo de diseño adecuado a este experimento y escribir el modelo matemático asociado.**
2. **¿Se puede afirmar que el crecimiento de las plantas es el mismo para los cuatro tipos de abonos? ¿Y con los distintos insecticidas?**
3. **¿Existen diferencias significativas en el crecimiento de las plantas con las distintas semillas? ¿Y el tipo de tierra influye en dicho crecimiento?**
4. **¿Con qué tipo de semilla se produce el mayor crecimiento de las plantas?**
5. **¿El crecimiento de las plantas es el mismo utilizando al mismo tiempo los abonos A y B que utilizando los abonos C y D?**

**Solución:**

**1. Estudiar cuál es el tipo de diseño adecuado a este experimento y escribir el modelo matemático asociado.**

Es un diseño en cuadrado greco-latino, la variable respuesta $y\_{ij(hp)}$ viene descrita por la siguiente ecuación

$$y\_{ij(hp)}=µ+τ\_{i}+β\_{j}+γ\_{k}+δ\_{p}+ε\_{ij\left(hp\right); }i, j, k. h. p=1,2,3,4$$

La variable respuesta que vamos a estudiar es el crecimiento de determinadas plantas. El factor principal es tipo de abono que se presenta con cuatro niveles.

* **Variable respuesta: *Crecimiento***
* **Factor**: ***Tipo\_abonos*** que tiene cuatro niveles. Es un factor de **efectos fijos** ya que viene decidido que niveles concretos se van a utilizar.
* **Bloques**: ***Insecticidas, Terrenos y Semillas,*** cada uno con cuatro niveles y de **efectos fijos**.
* **Tamaño del experimento:** Número total de observaciones (16).

Para realizar este supuesto en *R* debemos introducir primero los datos de forma correcta. Podemos introducir los datos directamente en *R* de forma manual o introducirlos previamente en un archivo de texto o Excel y leerlos en *R*.

En este caso lo hacemos en un archivo de texto.

Crecimiento Tipo\_abono Tipo\_semilla Tipo\_insecticida Tipo\_terreno

6 C beta Insecticida1 Terreno1

12 B alfa Insecticida2 Terreno1

13 A delta Insecticida3 Terreno1

13 D gamma Insecticida4 Terreno1

6 B gamma Insecticida1 Terreno2

10 C delta Insecticida2 Terreno2

16 D alfa Insecticida3 Terreno2

11 A beta Insecticida4 Terreno2

7 D delta Insecticida1 Terreno3

5 A gamma Insecticida2 Terreno3

5 B beta Insecticida3 Terreno3

7 C alfa Insecticida4 Terreno3

11 A alfa Insecticida1 Terreno4

11 D beta Insecticida2 Terreno4

8 C gamma Insecticida3 Terreno4

9 B delta Insecticida4 Terreno4

> setwd("C:/Users/Usuario/Desktop/Datos") \*directorio de trabajo donde estén los datos

> propuesto7<-read.table("propuesto7.txt", header = TRUE)

> propuesto7

 Crecimiento Tipo\_abono Tipo\_semilla Tipo\_insecticida Tipo\_terreno

1 6 C beta Insecticida1 Terreno1

2 12 B alfa Insecticida2 Terreno1

3 13 A delta Insecticida3 Terreno1

4 13 D gamma Insecticida4 Terreno1

5 6 B gamma Insecticida1 Terreno2

6 10 C delta Insecticida2 Terreno2

7 16 D alfa Insecticida3 Terreno2

8 11 A beta Insecticida4 Terreno2

9 7 D delta Insecticida1 Terreno3

10 5 A gamma Insecticida2 Terreno3

11 5 B beta Insecticida3 Terreno3

12 7 C alfa Insecticida4 Terreno3

13 11 A alfa Insecticida1 Terreno4

14 11 D beta Insecticida2 Terreno4

15 8 C gamma Insecticida3 Terreno4

16 9 B delta Insecticida4 Terreno4

A continuación debemos transformar tanto la columna de los tratamiento como la de los bloques en un factor para podemos realizar los cálculos posteriores adecuadamente.

> propuesto7$Tipo\_abono <- factor(propuesto7$Tipo\_abono)

> propuesto7$Tipo\_abono

 [1] C B A D B C D A D A B C A D C B

Levels: A B C D

> propuesto7$Tipo\_semilla <- factor(propuesto7$Tipo\_semilla)

> propuesto7$Tipo\_semilla

 [1] beta alfa delta gamma gamma delta alfa beta delta gamma beta alfa

[13] alfa beta gamma delta

Levels: alfa beta delta gamma

> propuesto7$Tipo\_insecticida <- factor(propuesto7$Tipo\_insecticida)

> propuesto7$Tipo\_insecticida

 [1] Insecticida1 Insecticida2 Insecticida3 Insecticida4 Insecticida1

 [6] Insecticida2 Insecticida3 Insecticida4 Insecticida1 Insecticida2

[11] Insecticida3 Insecticida4 Insecticida1 Insecticida2 Insecticida3

[16] Insecticida4

Levels: Insecticida1 Insecticida2 Insecticida3 Insecticida4

> propuesto7$Tipo\_terreno <- factor(propuesto7$Tipo\_terreno)

> propuesto7$Tipo\_terreno

 [1] Terreno1 Terreno1 Terreno1 Terreno1 Terreno2 Terreno2 Terreno2 Terreno2

 [9] Terreno3 Terreno3 Terreno3 Terreno3 Terreno4 Terreno4 Terreno4 Terreno4

Levels: Terreno1 Terreno2 Terreno3 Terreno4

**2. ¿Se puede afirmar que el crecimiento de las plantas es el mismo para los cuatro tipos de abonos? ¿Y con los distintos insecticidas?**

Primero vamos a obtener la tabla ANOVA

> mod1 <- aov(Crecimiento~ Tipo\_abono + Tipo\_semilla + Tipo\_insecticida + Tipo\_terreno, data = propuesto7 )

> mod1

Call:

 aov(formula = Crecimiento ~ Tipo\_abono + Tipo\_semilla + Tipo\_insecticida +

 Tipo\_terreno, data = propuesto7)

Terms:

 Tipo\_abono Tipo\_semilla Tipo\_insecticida Tipo\_terreno Residuals

Sum of Squares 42.25 31.25 20.75 64.25 1.25

Deg. of Freedom 3 3 3 3 3

Residual standard error: 0.6454972

Estimated effects may be unbalanced

> summary(mod1)

 Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

Tipo\_abono 3 42.25 14.083 33.8 0.00820 \*\*

Tipo\_semilla 3 31.25 10.417 25.0 0.01266 \*

Tipo\_insecticida 3 20.75 6.917 16.6 0.02260 \*

Tipo\_terreno 3 64.25 21.417 51.4 0.00445 \*\*

Residuals 3 1.25 0.417

---

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Son significativos los efectos de todos los factores

Para determinar si el crecimiento de las plantas es el mismo para los cuatro tipos de abonos y con los distintos insecticidas, vamos a realizar contrastes de comparaciones múltiples, por ejemplo de Duncan para los tipos de abonos y Newman Keuls para los insecticidas.

Recordar que hay que cargar e instalar el paquete agricolae

> library(agricolae)

> (duncan=duncan.test(mod1, "Tipo\_abono" , group = T))

$statistics

 MSerror Df Mean CV

 0.4166667 3 9.375 6.885304

$parameters

 test name.t ntr alpha

 Duncan Tipo\_abono 4 0.05

$duncan

 Table CriticalRange

2 4.500659 1.452581

3 4.515652 1.457420

4 4.472854 1.443607

$means

 Crecimiento std r Min Max Q25 Q50 Q75

A 10.00 3.464102 4 5 13 9.50 11.0 11.50

B 8.00 3.162278 4 5 12 5.75 7.5 9.75

C 7.75 1.707825 4 6 10 6.75 7.5 8.50

D 11.75 3.774917 4 7 16 10.00 12.0 13.75

$comparison

NULL

$groups

 Crecimiento groups

D 11.75 a

A 10.00 b

B 8.00 c

C 7.75 c

attr(,"class")

[1] "group"

El mayor crecimiento de las plantas se produce con el **Abono D** siendo la altura que alcanza de **11.75 y la menor altura (7.75) la alcanza con el tipo de abono C**

> Newman\_Keuls <- SNK.test(mod1,"Tipo\_insecticida", console=TRUE, main=" Contraste de Newman-Keuls para el factor tipo de insecticida")

Study: Contraste de Newman-Keuls para el factor tipo de insecticida

Student Newman Keuls Test

for Crecimiento

Mean Square Error: 0.4166667

Tipo\_insecticida, means

 Crecimiento std r Min Max

Insecticida1 7.5 2.380476 4 6 11

Insecticida2 9.5 3.109126 4 5 12

Insecticida3 10.5 4.932883 4 5 16

Insecticida4 10.0 2.581989 4 7 13

Alpha: 0.05 ; DF Error: 3

Critical Range

 2 3 4

1.452581 1.907336 2.202606

Means with the same letter are not significantly different.

 Crecimiento groups

Insecticida3 10.5 a

Insecticida4 10.0 a

Insecticida2 9.5 a

Insecticida1 7.5 b

La menor altura (**7.5**) la alcanza cuando se le suministra el **Insecticida 1**.

**3. ¿Existen diferencias significativas en el crecimiento de las plantas con las distintas semillas? ¿Y el tipo de tierra influye en dicho crecimiento?**

Aplicamos el contraste de comparaciones múltiple de Tukey

> mod.tukey<- TukeyHSD(mod1, "Tipo\_semilla", ordered = TRUE)

> mod.tukey

 Tukey multiple comparisons of means

 95% family-wise confidence level

 factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = Crecimiento ~ Tipo\_abono + Tipo\_semilla + Tipo\_insecticida + Tipo\_terreno, data = propuesto7)

$Tipo\_semilla

 diff lwr upr p adj

beta-gamma 0.25 -1.9526064 2.452606 0.9412719

delta-gamma 1.75 -0.4526064 3.952606 0.0901983

alfa-gamma 3.50 1.2973936 5.702606 0.0139151

delta-beta 1.50 -0.7026064 3.702606 0.1305850

alfa-beta 3.25 1.0473936 5.452606 0.0171739

alfa-delta 1.75 -0.4526064 3.952606 0.0901983

Esta salida nos muestra los intervalos de confianza simultáneos construidos por el método de Tukey. En la tabla se muestra un resumen de las comparaciones de cada tratamiento con los restantes. Es decir, aparecen comparadas dos a dos las cuatro medias del tipo de semilla.

En esta tabla, las columnas:

* **diff:** muestra las medias de cada par
* **p adj:** muestra los p-valores de los contrastes, que permiten conocer si la diferencia entre cada pareja de medias es significativa al nivel de significación considerado (en este caso 0.05)
* **lwr** y **upr:** proporcionan los intervalos de confianza al 95% para cada diferencia.

Comprobamos que únicamente hay diferencias significativas entre los tipos de semillas alfa-gamma (p-valor = 0.0139) y entre alfa-beta (p-valor =0.0171).

Para determinar si el tipo de terreno influye en el crecimiento aplicamos el método de comparaciones múltiples LSD.

> LSD.test(mod1,"Tipo\_terreno", p.adj="bonferroni", console=TRUE)

Study: mod1 ~ "Tipo\_terreno"

LSD t Test for Crecimiento

P value adjustment method: bonferroni

Mean Square Error: 0.4166667

Tipo\_terreno, means and individual ( 95 %) CI

 Crecimiento std r LCL UCL Min Max

Terreno1 11.00 3.366502 4 9.97287 12.02713 6 13

Terreno2 10.75 4.112988 4 9.72287 11.77713 6 16

Terreno3 6.00 1.154701 4 4.97287 7.02713 5 7

Terreno4 9.75 1.500000 4 8.72287 10.77713 8 11

Alpha: 0.05 ; DF Error: 3

Critical Value of t: 6.231543

Minimum Significant Difference: 2.844297

Treatments with the same letter are not significantly different.

 Crecimiento groups

Terreno1 11.00 a

Terreno2 10.75 a

Terreno4 9.75 a

Terreno3 6.00 b

Hay dos grupos de terrenos que difieren significativamente, por un lado el grupo formado por los tipos de terrenos 1,2 y 4 y por otra parte el grupo formado un solo tipo de terreno, el tipo de terreno 3. El mayor crecimiento de las plantas se produce en el tipo de terreno 1 con un crecimiento de 11 u.c.

**4. ¿Con qué tipo de semilla se produce el mayor crecimiento de las plantas?**

> Newman\_Keuls1 <- SNK.test(mod1,"Tipo\_semilla", console=TRUE, main=" Contraste de Newman-Keuls para el factor tipo de semilla ")

Study: Contraste de Newman-Keuls para el factor tipo de semilla

Student Newman Keuls Test

for Crecimiento

Mean Square Error: 0.4166667

Tipo\_semilla, means

 Crecimiento std r Min Max

alfa 11.50 3.696846 4 7 16

beta 8.25 3.201562 4 5 11

delta 9.75 2.500000 4 7 13

gamma 8.00 3.559026 4 5 13

Alpha: 0.05 ; DF Error: 3

Critical Range

 2 3 4

1.452581 1.907336 2.202606

Means with the same letter are not significantly different.

 Crecimiento groups

alfa 11.50 a

delta 9.75 b

beta 8.25 c

gamma 8.00 c

> Newman\_Keuls1

$statistics

 MSerror Df Mean CV

 0.4166667 3 9.375 6.885304

$parameters

 test name.t ntr alpha

 SNK Tipo\_semilla 4 0.05

$snk

 Table CriticalRange

2 4.500659 1.452581

3 5.909663 1.907336

4 6.824526 2.202606

$means

 Crecimiento std r Min Max Q25 Q50 Q75

alfa 11.50 3.696846 4 7 16 10.00 11.5 13.00

beta 8.25 3.201562 4 5 11 5.75 8.5 11.00

delta 9.75 2.500000 4 7 13 8.50 9.5 10.75

gamma 8.00 3.559026 4 5 13 5.75 7.0 9.25

$comparison

NULL

$groups

 Crecimiento groups

alfa 11.50 a

delta 9.75 b

beta 8.25 c

gamma 8.00 c

attr(,"class")

[1] "group"

El mayor crecimiento de la planta se produce con el tipo de semilla alfa (11.50 u.c.)

**5. ¿El crecimiento de las plantas es el mismo utilizando al mismo tiempo los abonos A y B que utilizando los abonos C y D?**

> TukeyHSD(mod1, "Tipo\_abono", ordered = TRUE)

 Tukey multiple comparisons of means

 95% family-wise confidence level

 factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = Crecimiento ~ Tipo\_abono + Tipo\_semilla + Tipo\_insecticida + Tipo\_terreno, data = propuesto7)

$Tipo\_abono

 diff lwr upr p adj

B-C 0.25 -1.95260644 2.452606 0.9412719

A-C 2.25 0.04739356 4.452606 0.0472540

D-C 4.00 1.79739356 6.202606 0.0094879

A-B 2.00 -0.20260644 4.202606 0.0643491

D-B 3.75 1.54739356 5.952606 0.0114235

D-A 1.75 -0.45260644 3.952606 0.0901983

Hay diferencias significativas en el crecimiento utilizando los abonos C y D (P-valor = 0.0094), pero no las hay con los abonos A y B (P-valor= 0.064).

**Script de R**

setwd("C:/Users/Usuario/Desktop/Datos")

propuesto7<-read.table("propuesto7.txt", header = TRUE)

propuesto7

propuesto7$Tipo\_abono <- factor(propuesto7$Tipo\_abono)

propuesto7$Tipo\_abono

propuesto7$Tipo\_semilla <- factor(propuesto7$Tipo\_semilla)

propuesto7$Tipo\_semilla

propuesto7$Tipo\_insecticida <- factor(propuesto7$Tipo\_insecticida)

propuesto7$Tipo\_insecticida

propuesto7$Tipo\_terreno <- factor(propuesto7$Tipo\_terreno)

propuesto7$Tipo\_terreno

mod1 <- aov(Crecimiento~ Tipo\_abono + Tipo\_semilla + Tipo\_insecticida + Tipo\_terreno, data = propuesto7 )

mod1

summary(mod1)

library(agricolae)

(duncan=duncan.test(mod1, "Tipo\_abono" , group = T))

Newman\_Keuls <- SNK.test(mod1,"Tipo\_insecticida", console=TRUE, main=" Contraste de Newman-Keuls para el factor tipo de insecticida")

mod.tukey<- TukeyHSD(mod1, "Tipo\_semilla", ordered = TRUE)

mod.tukey

LSD.test(mod1,"Tipo\_terreno", p.adj="bonferroni", console=TRUE)

Newman\_Keuls1 <- SNK.test(mod1,"Tipo\_semilla", console=TRUE, main=" Contraste de Newman-Keuls para el factor tipo de semilla ")

Newman\_Keuls1

TukeyHSD(mod1, "Tipo\_abono", ordered = TRUE)