



EDITORIAL ANDES COGNITIO

DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS : FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y PROGRAMACIÓN EN R



*Moisés Arreguín Sámano
Ángel Leyva- Ovalle
Mario Alejandro Paguay Alvarado
Diego Andres Andrade Segarra*

**DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL
AZAR: Fundamentos, aplicaciones y
programación en R**

Moisés Arreguín Sámano

Ángel Leyva- Ovalle

Mario Alejandro Paguay Alvarado

Diego Andres Andrade Segarra



Editorial Andes Cognition

DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR: FUNDAMENTOS, APLICACIONES Y PROGRAMACIÓN EN R

© Autores

Moisés Arreguín Sámano

Correo: marreguin@ueb.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9324-9400>

Institución: Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador

Ángel Leyva Ovalle

Correo: aleyvao@chapingo.mx

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9324-9400>

Institución: Universidad Autónoma Chapingo (UACH-DiCiFo), México

Mario Alejandro Paguay Alvarado

Correo: alejandro.paguay@esPOCH.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-1157-4972>

Institución: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Ecuador

Diego Andres Andrade Segarra

Correo: diegoa.andrade@esPOCH.edu.ec

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4014-2751>

Institución: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Ecuador

Editorial "ANDES COGNITIO EDAC S.A.S."

DEPARTAMENTO DE EDICIÓN

Editado y Distribuido por:

Editorial:	Andes Cognito
Sello Editorial:	978-9942-7408
Teléfono:	0995805659
Web:	https://andescognitio.org
ISBN:	978-9907-9504-5-8
DOI:	https://doi.org/10.64230/cdm3b250

© Primera Edición

© Marzo 2026

Impreso en Ecuador

Revisión de Ortografía

Leda. Cristina Paola Chamorro Ortega

Diseño de Portada

Ing. Pamela Rosa Taco Hernández Mgs

Diagramación

Ing. Yoselyn Andrea Rogel Gaibor

Director Editorial

Ec. Juan F. Villacis U. Mgs.

Aviso Legal

El contenido de este libro incluyendo textos, imágenes, gráficos, tablas, cuadros y referencias bibliográficas es de exclusiva responsabilidad del/ de los autor (es). Las opiniones, datos y criterios expresados no representan necesariamente la postura institucional ni el pensamiento de la Editorial Andes Cognito.

Derechos de Autor ©

Este documento se publica bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIguual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



Todos los derechos de autor y de propiedad intelectual e industrial relativos al contenido de esta publicación pertenecen exclusivamente a la “Editorial Andes Cognitio” y a sus respectivos autores. Queda expresamente prohibida, bajo las sanciones establecidas por la legislación vigente, la reproducción total o parcial de esta obra, su almacenamiento en sistemas informáticos, su tratamiento digital, así como cualquier forma de distribución, transmisión o comunicación pública por medios electrónicos, mecánicos, ópticos, químicos, de grabación o fotocopia sin la debida autorización previa y por escrito de los titulares del copyright.

Se exceptúan únicamente los usos con fines académicos o de investigación científica, siempre que no persigan propósitos comerciales y se realicen de forma gratuita, debiendo citarse en todo momento a la fuente editorial correspondiente. Las opiniones vertidas en los distintos capítulos son de exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la postura institucional de la editorial.

Comité Científico Académico

Dr. Jorge Gualberto Paredes Gavilanez PhD.
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Dr. Oscar Patricio López Solís PhD.
Universidad Técnica de Ambato

Ec. Carlos Roberto López Paredes PhD.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Extensión Orellana

Dr. Héctor Enrique Hernández Altamirano PhD.
Universidad Técnica de Ambato

Dr. Carlos Arturo Jara Santillán PhD.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Dr. Guillermo Carrillo Espinosa PhD,
Universidad Autónoma de Chapingo - México

Dra. Doris Coromoto Pernía Barragán PhD,
Universidad de los Andes Tachira Venezuela

Ec. María Gabriela González Bautista PhD.
Universidad Nacional de Chimborazo

My. Efraín Arguello Arellano, Mgs.
Tecnológico Universitario ARGOS – Policía Nacional del Ecuador

Ing. Liliana Priscila Campos Llerena Mgs.
Universidad Técnica de Ambato

Dr. Mario Humberto Paguay Cuvi Mgs.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ec. Oswaldo Javier Jácome Izurieta Mgs.
Universidad Técnica de Ambato

Ec. Juan Carlos Pèrez Briceño Mgs.
Instituto Superior Universitario Bolivariano

Dr. Luís Fernando Paz Villaceoel Mgs.
Universidad Técnica Particular de Loja

Dra. Daysi Graciela Astudillo Condo Mgs.
Universidad Nacional de Chimborazo

Ec. Ligia Ximena Tapia Hermida Mgs.
Universidad Nacional de Chimborazo

Ing. Paula Alejandra Abdo Peralta Mgs.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Milton Gabriel Del Hierro Mosquera Mgs.
Universidad Politécnica Estatal del Carchi

Ing. Catherine Gabriela Frey Erazo Mgs.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Juan Enrique Ureña Moreno Mgs.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. José Fernando Esparza Parra Mgs.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Alexis Gabriel Reinoso Haro Mgs.
Universidad Estatal de Bolívar

Constancia de Arbitraje

La Editorial Andes Cognito, hace constar que este libro proviene de una investigación realizada por los autores, siendo sometido a un arbitraje bajo el sistema de doble ciego, de contenido y forma por jurados especialistas. Además, se realizó una revisión del enfoque, paradigma y método investigativo; desde la matriz epistémica asumida por los autores, aplicándose las normas APA, Séptima Edición, proceso de anti plagio en línea Compilatio, garantizándose así la científicidad de la obra.

Comité Editorial

Eco. Juan Federico Villacis Uvidia Mgs.
Director de la Editorial Andes Cognito

Lcda. Andrea Damaris Hernández Allauca PhD.
Editora de Andes Cognito

PRÓLOGO

El avance de la ciencia y la tecnología en las últimas décadas ha transformado profundamente la manera en que se conciben, desarrollan y evalúan los experimentos en las ciencias agronómicas, ambientales, biológicas e industriales. En este contexto, el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) se ha consolidado como una de las herramientas metodológicas más versátiles y potentes para el análisis experimental, al permitir controlar la variabilidad y garantizar resultados más precisos y confiables.

Este libro surge con el propósito de ofrecer a investigadores, docentes y estudiantes una guía integral que articule tres dimensiones esenciales: los fundamentos teóricos, las aplicaciones prácticas y la implementación computacional en R. La obra no solo describe la base conceptual del DBCA, sino que además la enriquece con ejemplos reales en el ámbito agrícola, agroindustrial e incluso en procesos industriales, mostrando la amplitud de escenarios donde esta metodología resulta indispensable.

La incorporación de la programación en R constituye un valor agregado fundamental, ya que acerca al lector a las herramientas estadísticas modernas, permitiéndole reproducir análisis, generar modelos propios y desarrollar competencias para enfrentar con solvencia los retos de la investigación aplicada.

Con un enfoque claro, didáctico y aplicado, este libro busca convertirse en un texto de referencia y consulta, pero también en un recurso formativo que motive al lector a comprender, experimentar e innovar. Al recorrer sus páginas, encontrará no solo explicaciones y procedimientos, sino también un puente entre la teoría estadística y la práctica profesional, fortaleciendo el vínculo entre la investigación científica y la toma de decisiones basada en evidencia.

ÍNDICE GENERAL

PRÓLOGO	1
ÍNDICE GENERAL	2
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I	9
1.1. Principios de Fisher y la experimentación agrícola	9
1.2. Aportes de R.A. Fisher al diseño experimental	9
1.3. Representación simbólica	11
1.4. Ventajas- Desventajas DBCA	16
1.5. Supuestos del modelo en DBCA	20
1.6. Cultivos y Ensayos de Rendimiento	21
Ejercicio 1. Evaluación del rendimiento de variedades de fréjol	21
Ejercicio 2. Comparación de tratamientos de fertilización en papa	29
Ejercicio 3. Respuesta de la orejera a diferentes dosis de abono	35
CAPÍTULO II	42
Aplicación 2.1. Producción de ajo bajo fertilización fosforada	42
Aplicación 2.2. Comparación de riegos en el crecimiento de soya	71
Aplicación 2.3. Evaluación estadística del rendimiento de trigo	80
Aplicación 2.4. Efecto de biofertilizantes en cultivos de trigo	87
CAPÍTULO III	96

Aplicación 3.1. Evaluación de variedades de cebada en distintos ambientes	96
Aplicación 3.2. Comparación de sistemas de fertilización en fincas agrícola	102
Aplicación 3.3. Ensayo de fertilización orgánica vs. química en papa.....	109
Aplicación 3.4. Análisis del rendimiento de caña de azúcar bajo riego	117
Aplicación 3.5. Efecto de la fertilización en el contenido proteico del maíz	121
CAPÍTULO IV	127
Aplicación 4.1. Efecto de la fertilización en el contenido proteico del maíz	127
Aplicación 4.2. Evaluación de la altura de plantas de maíz bajo diferentes dosis de N, P y K.....	132
Aplicación 4.3. Efecto combinado de nitrógeno, fósforo y potasio en la altura de plantas de maíz.	137
Aplicación 4.4. Interacción entre nutrientes en el rendimiento del maíz (N, P y K).....	142
Aplicación 4.5. Comparación de dosis de fertilización en el desarrollo de maíz	148
CAPÍTULO V	152
EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ	152
Aplicación 5.1. Evaluación de 10 líneas promisorias de arroz en distintos ambientes y años	152
Aplicación 5.2. Análisis de rendimiento de arroz en experimentos simples y combinados	154

Aplicación 5.3. Ensayo de variedades de arroz en dos localidades.....	160
Aplicación 5.4. Comparación del rendimiento de arroz en diferentes años agrícolas.....	163
Aplicación 5.5. Evaluación de accesiones de quinua: diámetro de panojas .	169
Aplicación 5.6. Comparación de variedades de quinua en dos localidades .	173
Aplicación 5.7. Ensayo de variedades de quinua en distintos ambientes productivos.....	178
Aplicación 5.8. Evaluación de sorgo bajo diferentes densidades de siembra y dosis de nitrógeno.....	181
Aplicación 5.9. Interacción entre densidad de siembra y fertilización nitrogenada en sorgo.....	186
CAPÍTULO VI	190
Aplicación 6.1. Comparación de sorgos híbridos bajo distintos niveles de nitrógeno	190
Aplicación 6.2. Efecto de variedades de arroz y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento	195
Aplicación 6.3. Efecto de híbridos de maíz y fertilización nitrogenada en el rendimiento	196
Aplicación 6.4. Interacción híbrido × nitrógeno en maíz.....	201
Aplicación 6.5. Respuesta del maíz a la combinación de híbridos y fertilización	204
Aplicación 6.6. Evaluación factorial 2x2: híbridos de maíz y niveles de nitrógeno	209
Aplicación 6.7. Ensayo factorial simple en maíz: interacción híbrido × dosis de N.....	211

Aplicación 6.8. Comparación de híbridos de maíz en condiciones de fertilización limitada.....	225
Aplicación 6.9. Evaluación de seis híbridos de maíz duro: rendimiento a 13% de humedad	231
BIBLIOGRAFÍA.....	234

INTRODUCCIÓN

El Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) constituye una de las técnicas experimentales más empleadas en la investigación agrícola y científica, debido a su capacidad para controlar la variabilidad y generar resultados estadísticamente confiables. Su origen se remonta a los aportes de R.A. Fisher, considerado el padre del diseño experimental moderno, cuyas contribuciones sentaron las bases de la experimentación científica aplicada a la agricultura y a múltiples disciplinas.

Este libro ha sido concebido con el propósito de integrar en un solo texto los fundamentos teóricos, los ejercicios prácticos y la programación en R, con el fin de que el lector no solo comprenda los principios del DBCA, sino que también desarrolle las competencias necesarias para aplicarlo en escenarios reales de investigación.

El Capítulo I ofrece una aproximación conceptual, revisando los aportes de Fisher, la representación simbólica del modelo, sus ventajas, limitaciones y supuestos estadísticos. Además, se incluyen ejercicios introductorios en cultivos como fréjol, papa y orejera, que permiten al lector familiarizarse con el procedimiento básico de análisis.

En los Capítulos II a IV se desarrollan aplicaciones en diversos cultivos —ajo, soya, trigo, cebada, caña de azúcar y maíz— donde se exploran tanto efectos simples como interacciones complejas entre nutrientes y factores agronómicos. Estos capítulos destacan la versatilidad del DBCA como herramienta metodológica para evaluar tratamientos, optimizar prácticas agrícolas y comprender el comportamiento de los cultivos en condiciones variables.

El Capítulo V amplía el enfoque hacia la evaluación de variedades y líneas promisorias de arroz, quinua y sorgo, mostrando la utilidad del diseño en programas de mejoramiento genético y ensayos multilocales. Finalmente, el Capítulo VI concentra estudios en híbridos de maíz, integrando diseños factoriales y análisis de interacciones entre genotipos y fertilización, lo que permite valorar la productividad y la estabilidad del cultivo en distintos ambientes.

La inclusión de R como herramienta estadística constituye un aporte transversal en toda la obra, pues facilita la aplicación práctica de los modelos, el análisis de datos reales y la interpretación de resultados mediante un software de acceso libre y creciente relevancia en la investigación científica.

En conjunto, este libro pretende ser una guía clara y didáctica para estudiantes, investigadores y profesionales interesados en fortalecer sus competencias en diseño experimental, combinando rigurosidad estadística, aplicaciones prácticas y recursos computacionales que vinculan la teoría con la práctica.



EDITORIAL ANDES COGNITIO

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)



CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

1.1. Principios de Fisher y la experimentación agrícola

La idea de bloques fue introducida por Sir Ronald Aylmer Fisher en 1925 en agricultura, pues observó que los campos experimentales en ella marcaban una heterogeneidad de fertilidad y, en consecuencia, complicaba asignación de tratamientos en lugar a otro (Bustos, 2023).

En consecuencia, el bloque permitía la partición de variabilidad inherente en campo experimental después de asignación de tratamientos en componentes **i)** diferencias entre tratamientos-variación entre tratamientos, **ii)** variación dentro de bloques y **iii)** variación entre bloques. Con base en esto, el diseño en bloque completos aleatorizados o DBCA nació, pues este término es usado más ampliamente para referir a un grupo de unidades experimentales que tienen un conjunto de características que “ocasionan” un problema efectivo de respuesta, una vez que han sido aplicados los tratamientos (Baquela & Redchuk, 2013).

1.2. Aportes de R.A. Fisher al diseño experimental

También, el DBCA se llama experimento con dos criterios de clasificación, pues tiene dos fuentes de variación: tratamientos y bloques (Alidaee & Aneja, 2018).

Sus características son:

- a)** Su objetivo es mantener la homogeneidad entre unidades experimentales dentro de un bloque como sea posible tal que las diferencias observadas se deban en gran parte a tratamientos. La variabilidad entre unidades de diferentes bloques será mayor a variabilidad entre unidades experimentales del mismo bloque. Lo ideal es que variabilidad entre unidades experimentales se controle tal que se maximice la variación entre bloques, mientras que la variación entre unidades se minimice.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

- b) Generalmente, cada tratamiento es asignado a una unidad experimental dentro de cada bloque. No obstante, es posible tener para un tratamiento de interés el doble de unidades experimentales por bloque sin que su análisis estadístico sea complicado.
- c) Número de bloques deberá ser por lo menos 4 y su número de tratamientos por bloque al menos 2. Si se usa mayor número de tratamientos tenga en cuenta que los bloques no sean muy grandes, pues traerá heterogeneidad dentro de cada bloque.
- d) Bloques heterogéneos constituye una ventaja debido a que están comparando los tratamientos en condiciones diferentes, que es importante para prueba estadística entre tratamientos.
- e) Si en experimento hay pérdida de unidades experimentales o un bloque por algún motivo, el análisis es sencillo, pues existen métodos para asignar a unidad experimental perdida de un valor.
- f) Si tratamiento aplicado ocasiona pérdida de unidad experimental no se procede a asignar ningún valor, pues es 0.

Su modelo estadístico lineal poblacional es Y_{ij} (Variable dependiente) = μ (Media) + τ_i (Efecto de i -ésimo tratamiento) + β_j (Efecto de j -ésimo bloque) + e_{ij} (Error experimental) tal que $i = 1, 2, 3, 4 \dots, t$ (t -ésimo tratamiento) y $j = 1, 2, 3, 4 \dots, b$ (b -ésimo bloque) tal que efectos de tratamientos y bloques se consideran, por lo general, como desviaciones de media global y, en consecuencia, $\sum_{i=1}^t \tau_i = 0$, $\sum_{j=1}^b \beta_j = 0$ y e_{ij} está DNI ($0, \sigma^2$) (Di Perro, 2017).

El modelo indica que **i)** hay una nueva fuente de variación, de bloques, que no existe en diseño DCA-DIA-DCR, **ii)** error experimental está medido por interacción tratamientos con bloques, **iii)** desuniformidad en comportamiento de cada tratamiento provoca variación del error y **iv)** factores que influyen en comparación de tratamientos, además de tratamientos, es error, pues si este es alto la comparación de $\tau_1 - \tau_2$ es sesgada debido a que cuanto menor sea error experimental se acerca a diferencias entre reales medias de tratamientos en comparación $(\tau_1 + \epsilon) - (\tau_2 + \epsilon)$ e indica que estimación de diferencia entre efectos de dos tratamientos cualesquiera no está influenciada por efectos ambientales, sino solamente por efectos residuales ϵ_{ij} , no tiene que ver nada media general, sino sólo observaciones y sus propios errores (Bazaraa, Sherali & Shetty, 2009).

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

1.3. Representación simbólica

Según (Gen & Cheng, 2000), la representación simbólica de datos del DBCA con “t” tratamientos y “b” bloques es:

Tabla 1.1 Estructura general de un DBCA con totales y medias por tratamiento y bloque

Tratamiento	Bloque								Tot al	Med ia
	1	2	3	4	...	j	...	b		
i = 1, 2, 3, 4 ... , t _{(t-ésimo trat}										
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	...	Y_{1j}	...	Y_{1b}	$Y_{1.}$	$\bar{Y}_{1.}$
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	...	Y_{2j}	...	Y_{2b}	$Y_{2.}$	$\bar{Y}_{2.}$
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{34}	Y_{34}	...	Y_{3j}	...	Y_{3b}	$Y_{3.}$	$\bar{Y}_{3.}$
4	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	...	Y_{4j}	...	Y_{4b}	$Y_{4.}$	$\bar{Y}_{4.}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	Y_{i1}	Y_{i2}	Y_{i3}	Y_{i4}	...	Y_{ij}	...	Y_{ib}	$Y_{i.}$	$\bar{Y}_{i.}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t	Y_{t1}	Y_{t2}	Y_{t3}	Y_{t4}	...	Y_{tj}	...	Y_{tb}	$Y_{t.}$	$\bar{Y}_{t.}$
Total	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$	$Y_{.3}$	$Y_{.4}$	...	$Y_{.j}$	...	$Y_{.b}$	$Y_{..}$	
Media	$\bar{Y}_{.1}$	$\bar{Y}_{.2}$	$\bar{Y}_{.3}$	$\bar{Y}_{.4}$	...	$\bar{Y}_{.j}$	...	$\bar{Y}_{.b}$		$\bar{Y}_{..}$

Fuente: Elaboración propia, con base en el modelo teórico del Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) para el análisis de varianza (ANOVA).

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

La técnica para hacer análisis de varianza es mínimos cuadrados, que permite hallar estimadores que aseguren la suma cuadrados del error mínimo (Gujarati & Porter, 2010). El modelo aditivo lineal

$$\begin{aligned}
 Y_{ij} \text{ (Variable dependiente)} &= \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \\
 Y_{11} \text{ (Variable dependiente)} &= \mu + \tau_1 + \beta_1 + \varepsilon_{11} \\
 Y_{12} \text{ (Variable dependiente)} &= \mu + \tau_1 + \beta_2 + \varepsilon_{12} \\
 Y_{13} \text{ (Variable dependiente)} &= \mu + \tau_1 + \beta_3 + \varepsilon_{13} \\
 Y_{14} \text{ (Variable dependiente)} &= \mu + \tau_1 + \beta_4 + \varepsilon_{14} \\
 &\vdots \\
 Y_{1b} \text{ (Variable dependiente)} &= \mu + \tau_1 + \beta_b + \varepsilon_{2b}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{1.} &= b\mu + b\tau_1 + \sum_{j=1}^b \beta_j + \sum_{j=1}^b \varepsilon_{2j} \\
 \bar{Y}_{1.} &= \frac{b\mu + b\tau_1 + \sum_{j=1}^b \beta_j + \sum_{j=1}^b \varepsilon_{2j}}{b} \\
 \bar{Y}_{1.} &= \mu + \tau_1 + \frac{\sum_{j=1}^t \beta_j}{b} + \frac{\sum_{j=1}^t \varepsilon_{1j}}{b}
 \end{aligned}$$

Para

$$\begin{aligned}
 Y_{2.} &= b\mu + b\tau_2 + \sum_{j=1}^b \beta_j + \sum_{j=1}^b \varepsilon_{2j} \\
 \bar{Y}_{2.} &= \mu + \tau_2 + \frac{\sum_{j=1}^t \beta_j}{b} + \frac{\sum_{j=1}^b \varepsilon_{2j}}{b}
 \end{aligned}$$

Siendo la $H_0: \tau_1 - \tau_2 = 0$ vs $H_a: \tau_1 - \tau_2 \neq 0$ tal que, la comparación será $\bar{Y}_{1.} - \bar{Y}_{2.} = 0 \Rightarrow \bar{Y}_{1.} - \bar{Y}_{2.} = \mu + \tau_1 + \frac{\sum_{j=1}^t \beta_j}{b} + \frac{\sum_{j=1}^t \varepsilon_{1j}}{b} - \mu - \tau_2 - \frac{\sum_{j=1}^t \beta_j}{b} - \frac{\sum_{j=1}^b \varepsilon_{2j}}{b} = \tau_1 - \tau_2 + \frac{\sum_{j=1}^t \varepsilon_{1j}}{b} - \frac{\sum_{j=1}^b \varepsilon_{2j}}{b}$ tal que $\bar{Y}_{1.} - \bar{Y}_{2.} = (\tau_1 + \varepsilon) + (\tau_2 + \varepsilon)$.

Por consiguiente, los errores ε_{ij} son variables aleatorias independientes normalmente distribuidas o $\varepsilon_{ij} \sim \text{IND}(0, \sigma^2)$, representa el grado que se apartan datos del modelo aditivo debido a errores experimentales (Mendiburu, 2015)

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Con base en lo anterior, se origina la ecuación del error $\varepsilon_{ij} = Y_{ij} - \mu - \tau_i - \beta_j$ tal que $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b \varepsilon_{ij}^2 = \text{Mínimo} \Rightarrow \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \mu - \tau_i - \beta_j)^2 = Q$ tal que una condición necesaria, desde el punto de vista matemático, para que Q sea mínimo es que las derivadas parciales de Q respecto a $\mu, \tau_1, \dots, \tau_t, \beta_1, \dots, \beta_b = 0$ (Vicéns, Herrarte & Medina, 2005).

Entonces, la forma de obtener estimadores es derivando. Por ejemplo derivando respecto a μ es $\frac{dQ}{d\mu} = -2 \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j) \Rightarrow -\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j) = 0$ que trabajando con sumatoria equivale a $-\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij} + bt\hat{\mu} + r \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i + t \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = 0$, derivando respecto a un efecto particular τ_i equivale a $\frac{dQ}{d\tau_i} = -2 \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j) \Rightarrow -\sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j) = 0$ e introduciendo sumatoria es $-\sum_{j=1}^b Y_{ij} + b\hat{\mu} - b\hat{\tau}_i + \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = 0 \Rightarrow b\hat{\mu} + b\hat{\tau}_i + \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = Y_{i.}$, derivando respecto a efecto $\hat{\beta}_j$ tal que $\frac{dQ}{d\beta_j} = -2 \sum_{i=1}^t (Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j) \Rightarrow -\sum_{i=1}^t (Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j) = 0$ e introduciendo sumatoria implica $-\sum_{i=1}^t Y_{ij} + t\hat{\mu} + t\hat{\beta}_j + \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i = 0 \Rightarrow t\hat{\mu} + t\hat{\beta}_j + \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i = Y_{.j}$ y, además, las ecuaciones normales resultantes de aplicar mínimos cuadrados son $bt\hat{\mu} + b \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i + t \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = Y_{..} \Rightarrow b\hat{\mu} + b\hat{\tau}_i + \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = Y_{i.} \Rightarrow t\hat{\mu} + \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i + t\hat{\beta}_j = Y_{.j}$. Ahora, suponga que el DBCA con 4 tratamientos y 3 repeticiones ($t = 4, r = 3$), el sistema de ecuaciones será $12\hat{\mu} + 3 \sum_{i=1}^4 \hat{\tau}_i + 4 \sum_{j=1}^3 \hat{\beta}_j = Y_{..}$ (gran total), $3\hat{\mu} - 3\hat{\tau}_1 + \sum_{j=1}^3 \hat{\beta}_j = Y_{1.}$ (total primer tratamiento), $3\hat{\mu} - 3\hat{\tau}_2 + \sum_{j=1}^3 \hat{\beta}_j = Y_{2.}$ (total segundo tratamiento), $3\hat{\mu} - 3\hat{\tau}_3 + \sum_{j=1}^3 \hat{\beta}_j = Y_{3.}$ (total tercer tratamiento) y $3\hat{\mu} - 3\hat{\tau}_4 + \sum_{j=1}^3 \hat{\beta}_j = Y_{4.}$ (total cuarto tratamiento). Estas ecuaciones reproducen ecuación de media; por lo tanto, no hay independencia del sistema. Además, $4\hat{\mu} + \sum_{i=1}^4 \hat{\tau}_i + 4\hat{\beta}_1 = Y_{.1}$ (total primer bloque), $4\hat{\mu} +$

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

$\sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i + 4\hat{\beta}_2 = Y_{.2}$ (total segundo bloque) y $4\hat{\mu} + \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i + 4\hat{\beta}_3 = Y_{.3}$ (total tercer bloque). Asimismo, falta independencia, por lo que se ve obligado a imponer restricciones; por ejemplo, $\sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i = \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = 0$, pues son condiciones impuestas para obtener solución a ecuaciones normales (Rosell, 2022).

También, $bt\hat{\mu} = Y_{..}$, $b\hat{\mu} + r\hat{\tau}_i = Y_{i.}$ y $t\hat{\mu} + t\hat{\beta}_j = Y_{.j}$ tal que se tienen un sistema de $1 + t + b$ ecuaciones normales. Con base en estas ecuaciones, $\hat{\mu} = \frac{Y_{..}}{bt} = \bar{Y}$, $\hat{\tau}_i = \frac{Y_{i.}}{b} - \hat{\mu} = \frac{Y_{i.}}{b} - \frac{Y_{..}}{bt} = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}$ y $\hat{\beta}_j = \frac{Y_{.j}}{t} - \hat{\mu} = \frac{Y_{.j}}{t} - \frac{Y_{..}}{bt} = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}$ y, con base al modelo, $\varepsilon_{ij} = Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j = Y_{ij} - \bar{Y} - (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}) - (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}) = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}$ tal que permite suposiciones respecto a **i)** poblaciones normales, **ii)** modelo aditivo lineal, **iii)** homogeneidad de varianzas y **iv)** tratamientos con bloques no interaccionan, por lo que para solución de este modelo $\sum_{i=1}^t \tau_i = \sum_{j=1}^b \beta_j = 0$ y e_{ij} está DNI $(0, \sigma^2)$.

La suma de cuadrados atribuibles a un efecto es suma de estimación de efectos por correspondientes lados derechos de sus ecuaciones normales:

- i.** $SC\hat{\mu} = \hat{\mu}Y_{..} = \frac{Y_{..}Y_{..}}{bt} = \frac{Y_{..}^2}{bt} = FC.$
- ii.** $SC\hat{\tau}_i = \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i Y_{i.} = \sum_{i=1}^t \left(\frac{Y_{i.}}{b} - \frac{Y_{..}}{bt} \right) Y_{i.} = \frac{\sum_{i=1}^t Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..} \sum_{i=1}^t Y_{i.}}{bt} = \frac{\sum_{i=1}^t Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{bt}$
- iii.** $SC\hat{\beta}_j = \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j Y_{.j} = \sum_{j=1}^b \left(\frac{Y_{.j}}{t} - \frac{Y_{..}}{bt} \right) Y_{.j} = \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..} \sum_{j=1}^b Y_{.j}}{bt} = \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{bt}$

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

También, los estimadores se obtendrán a partir del modelo $Y_{ij} = \hat{\mu} + \hat{\tau}_i + \hat{\beta}_j + \varepsilon_{ij} \Rightarrow Y_{ij} = \bar{Y} + (\bar{Y}_i - \bar{Y}) + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}) \Rightarrow Y_{ij} - \bar{Y} = (\bar{Y}_i - \bar{Y}) + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})$ tal que la suma de cuadrados total corregida puede expresarse como $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b [(\bar{Y}_i - \bar{Y}) + (\bar{Y}_j - \bar{Y}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})]^2$. Al desarrollar el miembro de lado derecho de la ecuación se obtiene $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = b \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 + t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})^2 + 2 \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_i - \bar{Y})(\bar{Y}_j - \bar{Y}) + 2 \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_j - \bar{Y})(Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}) + 2 \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_i - \bar{Y})(Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})$ tal que mediante procedimientos algebraicos se prueba que los tres productos cruzados son cero. Entonces, $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = b \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 + t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})^2$ representa una partición de suma de cuadrados total. Simbólicamente, las sumas de cuadrados de esta ecuación se tiene las fórmulas del cálculo manual como ecuaciones $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{bt}$ (SC_{Total}), $b \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 = \frac{\sum_{i=1}^t Y_i^2}{b} - \frac{Y^2}{bt}$ (SC_{Tratamientos}), $t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_j - \bar{Y})^2 = \frac{\sum_{j=1}^b Y_j^2}{t} - \frac{Y^2}{bt}$ (SC_{Bloques}) y $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^t Y_i^2}{b} - \frac{\sum_{j=1}^b Y_j^2}{t} + \frac{Y^2}{bt}$ (SC_{Error}).

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

1.4. Ventajas- Desventajas DBCA

Tabla 1.2 Ventajas, desventajas y usos del DBCA

Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA)		
Ventajas	Desventajas	Usos
a) Es más preciso que DCA o DCR, pues para la mayoría de trabajos experimentales se requiere 10 repeticiones en DCA mientras que en DBCA sólo 6 repeticiones son necesarias (Dantzig, 1963).	a) No puede aumentarse ilimitadamente el número de tratamientos, pues causaría bloques muy largos o grandes que producen heterogeneidad dentro de bloques. Sus rangos pueden estar entre 2 y 30 tratamientos.	
b) Elimina variabilidad por diferencias de fertilidad en suelo, disminuyendo varianza de error (σ_e^2).		a) Útil en ensayos de campo o invernadero,
c) Flexible en cuanto a número de tratamientos y bloques. Permite usar un número de bloques de 2 a 8 o 9, pues limitaciones económicas, materiales experimentales o personal condiciona la cantidad de bloques. El mínimo de repeticiones habrá de ser para estimar el error (Rossum, 2009).	b) Cuando se sabe que el terreno tiene variabilidad de fertilidad, en varios sentidos, este diseño no es recomendable debido a que no reducirá la heterogeneidad de fertilidad y, en consecuencia, es recomendable usar otro diseño experimental (Cestero & Caballero, 2017).	con gradientes diferentes de fertilidad de suelo.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA)		
Ventajas	Desventajas	Usos
d) Parcelas perdidas no causan mucha dificultad en análisis, pues son fácilmente estimadas.	c) Si no hay eficiencia respecto a DCA se perdería precisión al aplicar DBCA. Además, DBCA no es adecuado si existe interacción entre bloques y tratamientos; es decir, si efectos de tales factores no son aditivos (González, 1985).	b) S.
e) Aprovechando los bloques se puede incluir en cada bloque niveles adicionales de tratamientos, conocidos como diseños incrementados.		
f) Es un diseño simple, sencillo de planificar y analizar.	d) DBCA Estima error experimental con menos grados de libertad que DCA o DCR:	c) N.
g) Análisis estadístico no presenta complicaciones, pues cualquier número de tratamientos puede excluirse del análisis sin que se complique (Padrón, 1996).		

Fuente: Elaboración propia de los autores con base en Dantzig (1963), González (1985), Padrón (1996), Rossum (2009) y Cestero & Caballero (2017), sobre fundamentos y aplicaciones del Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA).

Su ANOVA es:

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Tabla 1.3 Análisis de varianza para DBCA

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA)					
F. de V _{(Factor o VF(Variation factor))}	Gl _{(Grados de libertad o Df(Degrees of freedom))}	SC _{(Suma de Cuadrados o Sum Sq(Sum of Squares))}	CM _{(Cuadrado Medio o Mean Sq(Mean Square))}	F _{(calculada o F value(Calculated))}	F _(tablas)
Total corregido	$(rt - 1)$	$\sum_{ij} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$			
Entre bloques	$(r - 1)$	$\sum_j \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$			
Entre tratamiento	$(t - 1)$	$\sum_i \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	$SC / gl_{(numera)}$	$\frac{C. M. \cdot \text{Trat}}{C. M. \cdot \text{Error}}$	$\frac{gl_{(numera)}}{gl_{(denom)}}$
Error experimental	$(t - 1)(r - 1)$	$\left[\sum_{ij} Y_{ij}^2 - \sum_j \frac{Y_{.j}^2}{t} - \left[\sum_i \frac{Y_{i.}^2}{r} + \frac{Y_{..}^2}{tr} \right] \right]$	$SC / gl_{(denom)}$		

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Es igual a:

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completos al Azar (DBCA)					
F. de V _(Factor) o VF _(Variation factor)	Gl _{(Grados de} o Df _{(Degrees of}	SC _{(Suma de C} o Sum Sq _{(Sum}	CM _{(Cuadrado} o Mean Sq _{(Me}	F _(calculada) o F value _{(Cal}	F _(tablas)
Total corregido	$(rt - 1)$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$			
Entre bloques	$(r - 1)$	$\frac{\sum_{j=1}^r Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$			
Entre tratamiento	$(t - 1)$	$\frac{\sum_{i=1}^t Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	$SC / gl_{(numera$	$\frac{C. M. \cdot \text{Trat}}{C. M. \cdot \text{Error}}$	$\frac{gl_{(numera}}{gl_{(denom$
Error experimental	$(t - 1)(r - 1)$	$\left[\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^t Y_{i.}^2}{r} - \frac{\sum_{j=1}^r Y_{.j}^2}{t} \right] + \left[\frac{Y_{..}^2}{tr} \right]$	$SC / gl_{(denom$		

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

1.5. Supuestos del modelo en DBCA

Con base en los siguientes ejercicios calcule para cada uno de ellos:

- A. Haga el planteamiento de las H_0 e H_a .
- B. Calcular los valores promedios por cada tratamiento y media general.
- C. Grafique los valores promedio de los tratamientos mediante “Gráficas de caja con vigotes” o “Box Plot”.
- D. Calcular el tabla de Análisis de Varianza: ANOVA, ADEVA, ANVA o ANDEVA.
- E. Interpretar la ANOVA con base en el 1er criterio de lectura de la ADEVA: Comparación de las medias de los tratamientos respecto a la media general.
- F. Interpretar la ANOVA con base en el 2do criterio de lectura de ADEVA: Comparación del Cuadrado Medio de Tratamientos respecto al Cuadrado Medio de los Residuos.
- G. Interpretar la ANOVA con base en el 3er criterio de lectura de ADEVA: Comparación del valor de $|F_{\text{Calculado}}|$ respecto al valor de $|F_{\text{Tablas}}|$.
- H. Interpretar la ANOVA con base en el 4to criterio de lectura de ADEVA: Valor de ρ – Value_(Rho value).
- I. Con base en estos criterios concluir. Si existen diferencias entre medias de tratamientos hacer comparación de medias mediante Comparaciones Basadas en Distribución t (Contraste de Diferencia Mínima Significativa o t de Fisher o LSD, Bonferroni y/o Prueba de Dunnett o DHS) y Test de Rangos Múltiples (Prueba de Duncan o Rangos Múltiples de Duncan, Prueba Student-Newman-Keuls (SNK) o Método de Keul, Contrastes Ortogonales, Prueba de Tukey o Honestly-significant-difference o HSD

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

y/o Prueba de Scheffé) con nivel de significancia de 0.05 y/o 0.01 ($\alpha = 0.05$ y/o $\alpha = 0.01$) (Loubet, 2020).

1.6. Cultivos y Ensayos de Rendimiento

Ejercicio 1. Evaluación del rendimiento de variedades de fréjol

En una investigación se evaluó el efecto densidad de cultivo de Fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en un DBCA con cuatro repeticiones. La variable en estudio es altura promedio en Cm.

Variación 1

Tabla 1.4 Programación en R para el análisis de un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
d1 <- c(12.60, 13.80, 11.40, 12.30)	
d2 <- c(9.60, 11.40, 9.30, 9.00)	
d3 <- c(7.50, 9.60, 8.40, 7.80)	
d4 <- c(5.40, 6.00, 5.40, 7.20)	
d5 <- c(10.50, 12.60, 11.10, 12.00)	
d6 <- c(6.60, 7.50, 6.60, 7.80)	
altura <- c(d1, d2, d3, d4, d5, d6)	
densidad <- gl(6, 4, labels = c("5 plantas/m2", "6 plantas/m2", "7 plantas/m2", "8 plantas/m2", "9 plantas/m2", "10 plantas/m2"))	
tapply(altura, densidad, summary)	

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 4)) p.aov <- aov(altura ~ densidad) model.tables(p.aov, type = "mean") summary(p.aov) stripchart(altura ~ densidad, method="stack") plot(altura ~ densidad, col=rainbow(7)) g.lm <- lm(altura ~ densidad) anova(g.lm) lm(altura ~ densidad) summary(g.lm)</pre>	<p>Comando “rep(rep(1:6, each = 1), 4)” crea la variable para mediar la varianza entre bloques en el posterior ANOVA, que en este caso son 6 tratamientos, con 4 repeticiones. Si el resultado no sale en el ANOVA es que no es significativa la varianza entre bloques.</p>

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>library(agricolae) model <- aov(longitud ~ especie)</pre>	<p>Con base en (Mendiburu 2015), es necesario instalar el comando “agricolae” para hacer las siguientes pruebas de medias de tratamientos:</p>
<pre>LSD.test(model, "especie", console=TRUE)</pre>	<p>La prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS, LSD, t de Fisher ó Least Significant Difference) indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075 (Navidi, 2006).</p>
<pre>LSD.test(model, "especie", group=T, p.adj="bon", console=TRUE)</pre>	<p>La Prueba de Bonferroni indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075.</p>
<p>Prueba de Dunnett o DHS</p> <pre>duncan.test(model, "especie", console=TRUE)</pre>	<p>La prueba de Duncan o Rangos Múltiples de Duncan indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075.</p>
<pre>SNK.test(model, "especie", group=TRUE, console=TRUE)</pre>	<p>La prueba de Student-Newman-Keuls (SNK) o Método de Keul indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075.</p>
<pre>REGW.test(model, "especie", group=FALSE, console=TRUE)</pre>	<p>La prueba de Prueba Ryan, Einot and Gabriel and Welsch indica que la variedad Nacional</p>

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	(A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075 (Urquía & Martín, 2016).
<pre>outHSD <- HSD.test(model, "especie", c monsole=TRUE)</pre>	La prueba de Tukey o Tukey's W Procedure (HSD) indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075.
<pre>outWaller <- waller.test(model, "especie", group=TRUE, console=TRUE)</pre>	La prueba de Prueba T Waller-Duncan's Bayesian K-Ratio indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075.
<pre>scheffe.test(model, "especie", group=TRUE, console=TRUE)</pre>	La prueba de Scheffé (Scheffé's Test) indica que la variedad Nacional (A2 = grupo a) tiene, con valor medio 5.2, mayor media de pH que la variedad Valencia (A1 = grupo b), con valor medio 4.075 (Nocedal & Wright, 2006).

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Variación 2

```
d1 <- c(12.60, 13.80, 11.40, 12.30, 12.56)
```

```
d2 <- c(9.60, 11.40, 9.30, 9.00, 10.23)
```

```
d3 <- c(7.50, 9.60, 8.40, 7.80, 8.35)
```

```
d4 <- c(5.40, 6.00, 5.40, 7.20, 7.00)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
d5 <- c(10.50, 12.60, 11.10, 12.00, 11.86)
```

```
d6 <- c(6.60, 7.50, 6.60, 7.80, 7.26)
```

```
d7 <- c(5.45, 6.0, 7.42, 6.68, 7.90)
```

```
altura <- c(d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7)
```

```
densidad <- gl(7, 5, labels = c("5 plantas/m2", "6 plantas/m2", "7 plantas/m2",  
"8 plantas/m2", "9 plantas/m2", "10 plantas/m2", "12 plantas/m2"))
```

```
tapply(altura, densidad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:7, each = 1), 5))
```

```
p.aov <- aov(altura ~ densidad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(altura ~ densidad, method="stack")
```

```
hist(altura ~ densidad, method="stack")
```

```
plot(altura ~ densidad)
```

```
g.lm <- lm(altura ~ densidad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(altura ~ densidad)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Variación 3

```
d1 <- c(12.60, 13.80, 11.40)
```

```
d2 <- c(11.40, 9.30, 9.00)
```

```
d3 <- c(9.60, 8.40, 7.80)
```

```
d4 <- c(6.00, 5.40, 7.20)
```

```
d5 <- c(12.60, 11.10, 12.00)
```

```
altura <- c(d1, d2, d3, d4, d5)
```

```
densidad <- gl(5, 3, labels = c("5 plantas/m2", "6 plantas/m2", "7 plantas/m2",  
"8 plantas/m2", "9 plantas/m2"))
```

```
tapply(altura, densidad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:5, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(altura ~ densidad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(altura ~ densidad, method="stack")
```

```
plot(altura ~ densidad)
```

```
g.lm <- lm(altura ~ densidad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(altura ~ densidad)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

Variación 4

```
d1 <- c(12.60, 13.80, 11.40, 12.30, 12.56, 12.89)
```

```
d2 <- c(9.60, 11.40, 9.30, 9.00, 10.23, 10.46)
```

```
d3 <- c(7.50, 9.60, 8.40, 7.80, 8.35, 9.58)
```

```
d4 <- c(5.40, 6.00, 5.40, 7.20, 7.00, 7.16)
```

```
d5 <- c(10.50, 12.60, 11.10, 12.00, 11.86, 11.26)
```

```
d6 <- c(6.60, 7.50, 6.60, 7.80, 7.26, 7.75)
```

```
d7 <- c(5.45, 6.0, 7.42, 6.68, 7.90, 6.87)
```

```
d8 <- c(5.57, 6.32, 6.38, 6.59, 6.90, 6.42)
```

```
altura <- c(d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8)
```

```
densidad <- gl(8, 6, labels = c("5 plantas/m2", "6 plantas/m2", "7 plantas/m2",  
"8 plantas/m2", "9 plantas/m2", "10 plantas/m2", "11 plantas/m2", "12  
plantas/m2"))
```

```
tapply(altura, densidad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:8, each = 1), 6))
```

```
p.aov <- aov(altura ~ densidad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(altura ~ densidad, method="stack")
```

```
plot(altura ~ densidad)
```

```
g.lm <- lm(altura ~ densidad)
```

```
anova(g.lm)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
lm(altura ~ densidad)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 5

```
d1 <- c(12.60, 13.80)
```

```
d2 <- c(9.60, 11.40)
```

```
d3 <- c(9.60, 8.40)
```

```
d4 <- c(6.00, 7.20)
```

```
altura <- c(d1, d2, d3, d4)
```

```
densidad <- gl(4, 2, labels = c("5 plantas/m2", "6 plantas/m2", "7 plantas/m2",  
"8 plantas/m2"))
```

```
tapply(altura, densidad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:4, each = 1), 2))
```

```
p.aov <- aov(altura ~ densidad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(altura ~ densidad, method="stack")
```

```
plot(altura ~ densidad)
```

```
g.lm <- lm(altura ~ densidad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(altura ~ densidad)
```

```
summary(g.lm)
```

Ejercicio 2. Comparación de tratamientos de fertilización en papa

En una investigación se evaluó 6 variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en un DBCA con cuatro repeticiones. La variable evaluada es rendimiento en Kg/Parcela (Taha, 2004).

Variación 1

```
Carrizo <- c(21.00, 23.00, 19.00, 20.50)
Iniap.Gabriela <- c(16.00, 19.00, 15.50, 15.00)
Iniap.Sta.Isabela <- c(12.50, 16.00, 14.00, 13.00)
Iniap.Fripapa <- c(9.00, 10.00, 9.00, 12.00)
Iniap.Rosita <- c(17.50, 21.00, 18.50, 20.00)
Iniap.Soledad.Cañar <- c(11.00, 12.50, 11.00, 13.00)

rendimiento <- c(Carrizo, Iniap.Gabriela, Iniap.Sta.Isabela, Iniap.Fripapa,
Iniap.Rosita, Iniap.Soledad.Cañar)

variedad <- gl(6, 4, labels = c("Carrizo", "Iniap.Gabriela", "Iniap.Sta.Isabela",
"Iniap.Fripapa", "Iniap.Rosita", "Iniap.Soledad.Cañar"))

tapply(rendimiento, variedad, summary)

bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 4))

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
plot(rendimiento ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

```
Carrizo <- c(21.00, 23.00, 19.00, 20.50, 20.23)
```

```
Iniap.Gabriela <- c(16.00, 19.00, 15.50, 15.00, 17.45)
```

```
Iniap.Sta.Isabela <- c(12.50, 16.00, 14.00, 13.00, 13.56)
```

```
Iniap.Fripapa <- c(9.00, 10.00, 9.00, 12.00, 11.56)
```

```
Iniap.Rosita <- c(17.50, 21.00, 18.50, 20.00, 19.53)
```

```
Iniap.Soledad.Cañar <- c(11.00, 12.50, 11.00, 13.00, 12.87)
```

```
Chaucha.Holandesa <- c(12.00, 14.50, 12.00, 12.80, 13.86)
```

```
rendimiento <- c(Carrizo, Iniap.Gabriela, Iniap.Sta.Isabela, Iniap.Fripapa,  
Iniap.Rosita, Iniap.Soledad.Cañar, Chaucha.Holandesa)
```

```
variedad <- gl(7, 5, labels = c("Carrizo", "Iniap.Gabriela", "Iniap.Sta.Isabela",  
"Iniap.Fripapa", "Iniap.Rosita", "Iniap.Soledad.Cañar", "Chaucha.Holandesa"))
```

```
tapply(rendimiento, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:7, each = 1), 5))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
model.tables(p.aov, type = "mean")  
  
summary(p.aov)  
  
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")  
  
plot(rendimiento ~ variedad)  
  
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)  
  
anova(g.lm)  
  
lm(rendimiento ~ variedad)  
  
summary(g.lm)
```

Variación 3

```
Carrizo <- c(21.00, 23.00, 20.50)  
  
Iniap.Gabriela <- c(16.00, 19.00, 15.50)  
  
Iniap.Sta.Isabela <- c(12.50, 16.00, 14.00)  
  
Iniap.Fripapa <- c(10.00, 9.00, 12.00)  
  
Iniap.Rosita <- c(17.50, 21.00, 20.00)  
  
rendimiento <- c(Carrizo, Iniap.Gabriela, Iniap.Sta.Isabela, Iniap.Fripapa,  
Iniap.Rosita)  
  
variedad <- gl(5, 3, labels = c("Carrizo", "Iniap.Gabriela", "Iniap.Sta.Isabela",  
"Iniap.Fripapa", "Iniap.Rosita"))  
  
tapply(rendimiento, variedad, summary)  
  
bloque <- factor(rep(rep(1:5, each = 1), 3))
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
model.tables(p.aov, type = "mean")
summary(p.aov)
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
plot(rendimiento ~ variedad)
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
anova(g.lm)
lm(rendimiento ~ variedad)
summary(g.lm)
```

Variación 4

```
Carrizo <- c(21.00, 23.00, 19.00, 20.50, 20.23, 22.87)
Iniap.Gabriela <- c(16.00, 19.00, 15.50, 15.00, 17.45, 16.98)
Iniap.Sta.Isabela <- c(12.50, 16.00, 14.00, 13.00, 13.56, 14.95)
Iniap.Fripapa <- c(9.00, 10.00, 9.00, 12.00, 11.56, 11.75)
Iniap.Rosita <- c(17.50, 21.00, 18.50, 20.00, 19.53, 20.42)
Iniap.Soledad.Cañar <- c(11.00, 12.50, 11.00, 13.00, 12.87, 12.78)
Chaucha.Holandesa <- c(12.00, 14.50, 12.00, 12.80, 13.86, 13.85)
Calvache <- c(12.00, 14.50, 12.00, 12.80, 13.86, 13.56)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
rendimiento <- c(Carrizo, Iniap.Gabriela, Iniap.Sta.Isabela, Iniap.Fripapa, Iniap.Rosita, Iniap.Soledad.Cañar, Chaucha.Holandesa, Calvache)
```

```
variedad <- gl(8, 6, labels = c("Carrizo", "Iniap.Gabriela", "Iniap.Sta.Isabela", "Iniap.Fripapa", "Iniap.Rosita", "Iniap.Soledad.Cañar", "Chaucha.Holandesa", "Calvache"))
```

```
tapply(rendimiento, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:8, each = 1), 6))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 5

```
Carrizo <- c(21.00, 23.00)
```

```
Iniap.Gabriela <- c(16.00, 19.00)
```

```
Iniap.Sta.Isabela <- c(16.00, 14.00)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
Iniap.Fripapa <- c(10.00, 12.00)
```

```
rendimiento <- c(Carrizo, Iniap.Gabriela, Iniap.Sta.Isabela, Iniap.Fripapa)
```

```
variedad <- gl(4, 2, labels = c("Carrizo", "Iniap.Gabriela", "Iniap.Sta.Isabela",  
"Iniap.Fripapa"))
```

```
tapply(rendimiento, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:4, each = 1), 2))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```

Ejercicio 3. Respuesta de la orejera a diferentes dosis de abono

En un proceso experimental a cinco dosis 10-30-10 de un cultivo de orejera (*Solanum orejera*) usando el DBCA con cuatro repeticiones. La variable en estudio es rendimiento/Ha (Gómez, Danglot & Vega, 2003).

Variación 1

```
d0 <- c(15, 18, 12, 10)
```

```
d1 <- c(20, 24, 22, 22)
```

```
d2 <- c(25, 30, 28, 32)
```

```
d3 <- c(30, 32, 32, 34)
```

```
d4 <- c(38, 40, 42, 40)
```

```
d5 <- c(50, 55, 55, 52)
```

```
rendimiento <- c(d0, d1, d2, d3, d4, d5)
```

```
dosis <- gl(6, 4, labels = c("0 Kg/Ha", "10 Kg/Ha", "20 Kg/Ha", "30 Kg/Ha",  
"40 Kg/Ha", "50 Kg/Ha"))
```

```
tapply(rendimiento, dosis, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 4))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ dosis)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ dosis, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ dosis)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ dosis)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ dosis)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

```
d0 <- c(15, 18, 12, 10, 13)
```

```
d1 <- c(20, 24, 22, 22, 23)
```

```
d2 <- c(25, 30, 28, 32, 30)
```

```
d3 <- c(30, 32, 32, 34, 34)
```

```
d4 <- c(38, 40, 42, 40, 41)
```

```
d5 <- c(50, 55, 55, 52, 54)
```

```
d6 <- c(52, 58, 57, 54, 58)
```

```
rendimiento <- c(d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6)
```

```
dosis <- gl(7, 5, labels = c("0 Kg/Ha", "10 Kg/Ha", "20 Kg/Ha", "30 Kg/Ha",  
"40 Kg/Ha", "50 Kg/Ha", "55 Kg/Ha"))
```

```
tapply(rendimiento, dosis, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:7, each = 1), 5))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ dosis)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ dosis, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ dosis)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ dosis)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ dosis)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 3

```
d0 <- c(15, 18, 12)
```

```
d1 <- c(20, 24, 22)
```

```
d2 <- c(25, 30, 32)
```

```
d3 <- c(30, 32, 34)
```

```
d4 <- c(40, 42, 40)
```

```
rendimiento <- c(d0, d1, d2, d3, d4)
```

```
dosis <- gl(5, 3, labels = c("0 Kg/Ha", "10 Kg/Ha", "20 Kg/Ha", "30 Kg/Ha",  
"40 Kg/Ha"))
```

```
tapply(rendimiento, dosis, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:5, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ dosis)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
model.tables(p.aov, type = "mean")  
  
summary(p.aov)  
  
stripchart(rendimiento ~ dosis, method="stack")  
  
plot(rendimiento ~ dosis)  
  
g.lm <- lm(rendimiento ~ dosis)  
  
anova(g.lm)  
  
lm(rendimiento ~ dosis)  
  
summary(g.lm)
```

Variación 4

```
d0 <- c(15, 18, 12, 10, 13, 17, 18)  
d1 <- c(20, 24, 22, 22, 23, 23, 24)  
d2 <- c(25, 30, 28, 32, 30, 29, 31)  
d3 <- c(30, 32, 32, 34, 34, 33, 34)  
d4 <- c(38, 40, 42, 40, 41, 41, 42)  
d5 <- c(50, 55, 55, 52, 54, 53, 55)  
d6 <- c(52, 58, 57, 54, 58, 56, 57)  
d7 <- c(53, 59, 58, 56, 59, 59, 58)  
  
rendimiento <- c(d0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
dosis <- gl(8, 7, labels = c("0 Kg/Ha", "10 Kg/Ha", "20 Kg/Ha", "30 Kg/Ha",  
"40 Kg/Ha", "50 Kg/Ha", "55 Kg/Ha", "60 Kg/Ha"))
```

```
tapply(rendimiento, dosis, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:8, each = 1), 7))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ dosis)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ dosis, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ dosis)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ dosis)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ dosis)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 5

```
d0 <- c(15, 18)
```

```
d1 <- c(24, 22)
```

```
d2 <- c(30, 32)
```

```
d3 <- c(32, 34)
```

```
rendimiento <- c(d0, d1, d2, d3)
```

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y DEL DISEÑO EN BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA)

```
dosis <- gl(4, 2, labels = c("0 Kg/Ha", "10 Kg/Ha", "20 Kg/Ha", "30 Kg/Ha"))  
tapply(rendimiento, dosis, summary)  
bloque <- factor(rep(rep(1:4, each = 1), 2))  
p.aov <- aov(rendimiento ~ dosis)  
model.tables(p.aov, type = "mean")  
summary(p.aov)  
stripchart(rendimiento ~ dosis, method="stack")  
plot(rendimiento ~ dosis)  
g.lm <- lm(rendimiento ~ dosis)  
anova(g.lm)  
lm(rendimiento ~ dosis)  
summary(g.lm)
```



EDITORIAL ANDES COGNITIO

CAPÍTULO II

APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL



CAPÍTULO II

APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Aplicación 2.1. Producción de ajo bajo fertilización fosforada

En una investigación se evaluó el efecto de cinco fertilizantes fosforados en el cultivo del ajo (*Allium sativum*). Usando DBCA con cuatro repeticiones. La variable de interés es rendimiento Kg/Parcela (Parra, 2016).

Variación 1

```
f1 <- c(4, 5, 7, 3)
```

```
f2 <- c(10, 13, 14, 15)
```

```
f3 <- c(21, 20, 22, 21)
```

```
f4 <- c(23, 22, 24, 25)
```

```
f5 <- c(27, 25, 25, 27)
```

```
rendimiento <- c(f1, f2, f3, f4, f5)
```

```
fert.fosforados <- gl(5, 4, labels = c("Testigo", "Fosfato Mono Amónico",  
"Fosfato Mono Potásico", "Fosfato Bi Amónico", "Súper Fosfato Triple"))
```

```
tapply(rendimiento, fert.fosforados, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:5, each = 1), 4))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ fert.fosforados, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

```
f1 <- c(4, 5, 7, 3, 6)
```

```
f2 <- c(10, 13, 14, 15, 12)
```

```
f3 <- c(21, 20, 22, 21, 22)
```

```
f4 <- c(23, 22, 24, 25, 22)
```

```
f5 <- c(27, 25, 25, 27, 26)
```

```
f6 <- c(27, 25, 25, 27, 26)
```

```
rendimiento <- c(f1, f2, f3, f4, f5, f6)
```

```
fert.fosforados <- gl(6, 5, labels = c("Testigo", "Fosfato Mono Amónico",  
"Fosfato Mono Potásico", "Fosfato Bi Amónico", "Súper Fosfato Triple",  
"Binario"))
```

```
tapply(rendimiento, fert.fosforados, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 5))
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ fert.fosforados)
model.tables(p.aov, type = "mean")
summary(p.aov)
stripchart(rendimiento ~ fert.fosforados, method="stack")
plot(rendimiento ~ fert.fosforados)
g.lm <- lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
anova(g.lm)
lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
summary(g.lm)
```

Variación 3

```
f1 <- c(4, 5, 7)
f2 <- c(13, 14, 15)
f3 <- c(21, 22, 21)
f4 <- c(23, 24, 25)
rendimiento <- c(f1, f2, f3, f4)
fert.fosforados <- gl(4, 3, labels = c("Testigo", "Fosfato Mono Amónico",
"Fosfato Mono Potásico", "Fosfato Bi Amónico"))
tapply(rendimiento, fert.fosforados, summary)
bloque <- factor(rep(rep(1:4, each = 1), 3))
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ fert.fosforados)
model.tables(p.aov, type = "mean")
summary(p.aov)
stripchart(rendimiento ~ fert.fosforados, method="stack")
plot(rendimiento ~ fert.fosforados)
g.lm <- lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
anova(g.lm)
lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
summary(g.lm)
```

Variación 4

```
f1 <- c(4, 5, 7, 3, 6, 6)
f2 <- c(10, 13, 14, 15, 12, 16)
f3 <- c(21, 20, 22, 21, 22, 21)
f4 <- c(23, 22, 24, 25, 22, 24)
f5 <- c(27, 25, 25, 27, 26, 27)
f6 <- c(27, 25, 25, 27, 26, 25)
f7 <- c(15, 13, 19, 22, 25, 23)
rendimiento <- c(f1, f2, f3, f4, f5, f6, f7)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
fert.fosforados <- gl(7, 6, labels = c("Testigo", "Fosfato Mono Amónico",  
"Fosfato Mono Potásico", "Fosfato Bi Amónico", "Súper Fosfato Triple",  
"Binario", "Complejo"))
```

```
tapply(rendimiento, fert.fosforados, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:7, each = 1), 6))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ fert.fosforados, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 5

```
f1 <- c(21, 22)
```

```
f2 <- c(24, 25)
```

```
f3 <- c(27, 27)
```

```
rendimiento <- c(f1, f2, f3)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
fert.fosforados <- gl(3, 2, labels = c("Fosfato Mono Potásico", "Fosfato Bi Amónico", "Súper Fosfato Triple"))
```

```
tapply(rendimiento, fert.fosforados, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 2))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ fert.fosforados, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ fert.fosforados)
```

```
summary(g.lm)
```

Cada finca es un bloque:

Variación 1

Tabla 2.1 Programación en R para el análisis de un DBCA con dos factores (Fincas y Fertilización)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> produc <- c(2.1, 2.2, 1.8, 2.0, 1.9, 2.2, 2.6, 2.7, 2.5, 2.8, 1.8, 1.9, 1.6, 2.0, 1.9, 2.1, 2.0, 2.2, 2.4, 2.1) fert <- gl(4, 5) finca <- factor(rep(1:5, 4)) xtabs(produc ~ finca + fert) p.aov <- aov(produc ~ finca + fert) medias <- model.tables(p.aov, type = "means") medias g.lm <- lm(produc ~ finca + fert) </pre>	<p>Refiere al nivel de producción en las 4 fincas</p> <p>Aplicación de fertilización en 4 fincas con 5 repeticiones.</p> <p>1er criterio de lectura para ANOVAS: Valor promedio de tratamientos (\bar{X}_{ti}) y media general (μ). Regla de decisión: $\bar{X}_{ti} > \mu$ son tratamientos significativos (Mehrotra, 2022).</p> <p>2do criterio de lectura para ANOVAS: $C_{Medio_{Tratamientos}} > C_{Medio_{Error}}$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>3er criterio de lectura para ANOVAS:</p> $|F_{\text{Calculada}}| > |F_{\text{Tablas}}|.$ <p>Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>4to criterio de lectura para ANOVAS (Lind, Marchal y Mason 2004):</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Si $\rho < 0.10$ tiene alguna evidencia que H_0 no es verdadera. b) Si $\rho < 0.05$ tiene fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. c) Si $\rho < 0.01$ tiene muy fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. d) Si $\rho < 0.001$ tiene una evidencia extremadamente fuerte que H_0 no es verdadera. <p>Comando “g.lm” indica un modelo lineal y la tabla del análisis de la varianza. No hay diferencias entre las fincas,</p>

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>anova(g.lm) drop1(g.lm, test = "F") tapply(produc, fert, summary) efectos <- model.tables(p.aov) efectos stripchart(produc ~ fert, method = "stack") stripchart(produc ~ finca, method = "stack") interaction.plot(fert, finca, produc, legend = F) interaction.plot(finca, fert, produc, legend = F)</pre>	<p>pero sí las hay entre los fertilizantes.</p> <p>Genera un resumen de los datos por cuatro fertilizaciones.</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

Tabla 2.2 Programación en R para el análisis de un DBCA con cinco tratamientos y cinco repeticiones

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> produc <- c(2.1, 2.2, 1.8, 2.0, 1.9, 2.2, 2.6, 2.7, 2.5, 2.8, 1.8, 1.9, 1.6, 2.0, 1.9, 2.1, 2.0, 2.2, 2.4, 2.1, 1.9, 2.0, 2.1, 2.5, 2.4) fert <- gl(5, 5) finca <- factor(rep(1:5, 5)) xtabs(produc ~ finca + fert) p.aov <- aov(produc ~ finca + fert) medias <- model.tables(p.aov, type = "means") medias g.lm <- lm(produc ~ finca + fert) </pre>	<p>Ejercicio Normal + tratamiento + repetición normal. Refiere al nivel de producción en las 5 fincas</p> <p>Aplicación de fertilización en 5 fincas con 5 repeticiones.</p> <p>1er criterio de lectura para ANOVAS: Valor promedio de tratamientos (\bar{X}_{ti}) y media general (μ). Regla de decisión: $\bar{X}_{ti} > \mu$ son tratamientos significativos (Gómez, 2006).</p> <p>2do criterio de lectura para ANOVAS: $C_{MedioTratamientos} > C_{MedioError}$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>3er criterio de lectura para ANOVAS:</p> <p>$|F_{\text{Calculada}}| > |F_{\text{Tablas}}|$.</p> <p>Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>4to criterio de lectura para ANOVAS (Lind, Marchal y Mason 2004):</p> <ul style="list-style-type: none"> e) Si $\rho < 0.10$ tiene alguna evidencia que H_0 no es verdadera. f) Si $\rho < 0.05$ tiene fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. g) Si $\rho < 0.01$ tiene muy fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. h) Si $\rho < 0.001$ tiene una evidencia extremadamente fuerte que H_0 no es verdadera. <p>Comando “g.lm” indica un modelo lineal y la tabla del análisis de la varianza. No</p>

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> anova(g.lm) drop1(g.lm, test = "F") tapply(produc, fert, summary) efectos <- model.tables(p.aov) efectos stripchart(produc ~ fert, method = "stack") stripchart(produc ~ finca, method = "stack") interaction.plot(fert, finca, produc, legend = F) interaction.plot(finca, fert, produc, legend = F) </pre>	<p>hay diferencias entre las fincas, pero sí las hay entre los fertilizantes.</p> <p>Genera un resumen de los datos por cuatro fertilizaciones.</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 3

Tabla 2.3 Programación en R para el análisis de un DBCA con tres tratamientos y cinco bloques

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> produc <- c(2.1, 2.2, 2.0, 2.2, 2.6, 2.7, 2.5, 2.8, 2.0, 1.9, 2.1, 2.0, 2.2, 2.4, 2.1) fert <- gl(3, 5) finca <- factor(rep(1:5, 3)) xtabs(produc ~ finca + fert) p.aov <- aov(produc ~ finca + fert) medias <- model.tables(p.aov, type = "means") medias </pre>	<p>Ejercicio Normal - tratamiento – repetición.</p> <p>Aplicación de fertilización en 5 fincas con 5 repeticiones.</p> <p>1er criterio de lectura para ANOVAS: Valor promedio de tratamientos (\bar{X}_{ti}) y media general (μ). Regla de decisión: $\bar{X}_{ti} > \mu$ son tratamientos significativos.</p>
<pre> g.lm <- lm(produc ~ finca + fert) </pre>	<p>2do criterio de lectura para ANOVAS: $CMedio_{Tratamientos} > CMedio_{Error}$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>3er criterio de lectura para ANOVAS:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>$|F_{\text{Calculada}}| > |F_{\text{Tablas}}|$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>4to criterio de lectura para ANOVAS (Lind, Marchal y Mason 2004):</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Si $\rho < 0.10$ tiene alguna evidencia que H_0 no es verdadera. j) Si $\rho < 0.05$ tiene fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. k) Si $\rho < 0.01$ tiene muy fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. l) Si $\rho < 0.001$ tiene una evidencia extremadamente fuerte que H_0 no es verdadera. <p>Comando “g.lm” indica un modelo lineal y la tabla del análisis de la varianza. No hay diferencias entre las fincas, pero sí las hay entre los</p>

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> anova(g.lm) drop1(g.lm, test = "F") tapply(produc, fert, summary) efectos <- model.tables(p.aov) efectos stripchart(produc ~ fert, method = "stack") stripchart(produc ~ finca, method = "stack") interaction.plot(fert, finca, produc, legend = F) interaction.plot(finca, fert, produc, legend = F) </pre>	<p>fertilizantes (Luenberger, 1984).</p> <p>Genera un resumen de los datos por cuatro fertilizaciones.</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 4

Tabla 2.4 Programación en R para el análisis de un DBCA con seis tratamientos y cinco bloques

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> produc <- c(2.1, 2.2, 1.8, 2.0, 1.9, 2.2, 2.6, 2.7, 2.5, 2.8, 1.8, 1.9, 1.6, 2.0, 1.9, 2.1, 2.0, 2.2, 2.4, 2.1, 1.9, 1., 2.5, 2.6, 2.5, 2.6, 2.7, 2.0, 2.1, 2.7) fert <- gl(6, 5) finca <- factor(rep(1:5, 6)) xtabs(produc ~ finca + fert) p.aov <- aov(produc ~ finca + fert) medias <- model.tables(p.aov, type = "means") medias g.lm <- lm(produc ~ finca + fert) </pre>	<p>Ejercicio Normal + 2 tratamientos + 2 repeticiones.</p> <p>Aplicación de fertilización en 5 fincas con 5 repeticiones.</p> <p>1er criterio de lectura para ANOVAS: Valor promedio de tratamientos (\bar{X}_{ti}) y media general (μ). Regla de decisión: $\bar{X}_{ti} > \mu$ son tratamientos significativos.</p> <p>2do criterio de lectura para ANOVAS: $C_{Medio_{Tratamientos}} > C_{Medio_{Error}}$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>3er criterio de lectura para ANOVAS:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>$|F_{\text{Calculada}}| > |F_{\text{Tablas}}|$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>4to criterio de lectura para ANOVAS (Lind, Marchal y Mason 2004):</p> <ul style="list-style-type: none">m) Si $\rho < 0.10$ tiene alguna evidencia que H_0 no es verdadera.n) Si $\rho < 0.05$ tiene fuerte evidencia que H_0 no es verdadera.o) Si $\rho < 0.01$ tiene muy fuerte evidencia que H_0 no es verdadera.p) Si $\rho < 0.001$ tiene una evidencia extremadamente fuerte que H_0 no es verdadera. <p>Comando “g.lm” indica un modelo lineal y la tabla del análisis de la varianza. No hay diferencias entre las fincas, pero sí las hay entre los fertilizantes.</p>

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>anova(g.lm) drop1(g.lm, test = "F") tapply(produc, fert, summary) efectos <- model.tables(p.aov) efectos stripchart(produc ~ fert, method = "stack") stripchart(produc ~ finca, method = "stack") interaction.plot(fert, finca, produc, legend = F) interaction.plot(finca, fert, produc, legend = F)</pre>	<p>Genera un resumen de los datos por cuatro fertilizaciones.</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 5

Tabla 2.5 Programación en R para el análisis de un DBCA con cuatro tratamientos y siete bloques (estructura inversa de repetición)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> produc <- c(2.1, 2.2, 1.8, 2.0, 1.9, 2.2, 2.6, 2.7, 2.5, 2.8, 1.8, 1.9, 1.6, 2.0, 1.9, 2.1, 2.0, 2.2, 2.4, 2.1, 1.8, 1.9, 2.1, 2.3, 2.5, 1.9, 1.8, 2.6) </pre>	<p>Ejercicio Normal + 2 tratamiento + 2 repetición normal inverso (modificación de repetición de fertilización y tratamientos de finca=.</p>
<pre> fert <- gl(4, 7) </pre>	<p>Aplicación de fertilización en 5 fincas con 5 repeticiones.</p>
<pre> finca <- factor(rep(1:7, 4)) xtabs(produc ~ finca + fert) </pre>	
<pre> p.aov <- aov(produc ~ finca + fert) </pre>	
<pre> medias <- model.tables(p.aov, type = "means") </pre>	
<pre> medias </pre>	
<pre> g.lm <- lm(produc ~ finca + fert) </pre>	<p>1er criterio de lectura para ANOVAS: Valor promedio de tratamientos (\bar{X}_{ti}) y media</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>general (μ). Regla de decisión: $\bar{X}_{ti} > \mu$ son tratamientos significativos.</p> <p>2do criterio de lectura para ANOVAS:</p> <p>$C_{Medio_{Tratamientos}} > C_{Medio_{Error}}$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>3er criterio de lectura para ANOVAS:</p> <p>$|F_{Calculada}| > |F_{Tablas}|$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>4to criterio de lectura para ANOVAS (Lind, Marchal y Mason 2004):</p> <ul style="list-style-type: none"> q) Si $\rho < 0.10$ tiene alguna evidencia que H_0 no es verdadera. r) Si $\rho < 0.05$ tiene fuerte evidencia que H_0 no es verdadera.

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<p>anova(g.lm)</p> <p>drop1(g.lm, test = "F")</p> <p>tapply(produc, fert, summary)</p> <p>efectos <- model.tables(p.aov)</p> <p>efectos</p> <p>stripchart(produc ~ fert, method = "stack")</p>	<p>s) Si $\rho < 0.01$ tiene muy fuerte evidencia que H_0 no es verdadera.</p> <p>t) Si $\rho < 0.001$ tiene una evidencia extremadamente fuerte que H_0 no es verdadera.</p> <p>Comando "g.lm" indica un modelo lineal y la tabla del análisis de la varianza. No hay diferencias entre las fincas, pero sí las hay entre los fertilizantes.</p> <p>Genera un resumen de los datos por cuatro fertilizaciones.</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>stripchart(produc ~ finca, method = "stack") interaction.plot(fert, finca, produc, legend = F) interaction.plot(finca, fert, produc, legend = F)</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 6

Tabla 2.6 Programación en R para el análisis de un DBCA con dos tratamientos y tres bloques

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>produc <- c(2.1, 2.2, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8)</pre>	Ejercicio Normal – 2 tratamientos – 2 repeticiones.
<pre>fert <- gl(2, 3)</pre>	Aplicación de fertilización en 5 fincas con 5 repeticiones.
<pre>finca <- factor(rep(1:3, 2))</pre>	

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>xtabs(produc ~ finca + fert) p.aov <- aov(produc ~ finca + fert) medias <- model.tables(p.aov, type = "means") medias g.lm <- lm(produc ~ finca + fert)</pre>	<p>1er criterio de lectura para ANOVAS: Valor promedio de tratamientos (\bar{X}_{ti}) y media general (μ). Regla de decisión: $\bar{X}_{ti} > \mu$ son tratamientos significativos.</p> <p>2do criterio de lectura para ANOVAS:</p> <p>$CMedio_{Tratamientos} > CMedio_{Error}$. Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>3er criterio de lectura para ANOVAS:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>$|F_{\text{Calculada}}| > |F_{\text{Tablas}}|$.</p> <p>Regla de decisión: No acepta H_0 y no rechaza H_a.</p> <p>4to criterio de lectura para ANOVAS (Lind, Marchal y Mason 2004):</p> <ul style="list-style-type: none"> u) Si $\rho < 0.10$ tiene alguna evidencia que H_0 no es verdadera. v) Si $\rho < 0.05$ tiene fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. w) Si $\rho < 0.01$ tiene muy fuerte evidencia que H_0 no es verdadera. x) Si $\rho < 0.001$ tiene una evidencia extremadamente fuerte que H_0 no es verdadera. <p>Comando “g.lm” indica un modelo lineal y la tabla del análisis de la varianza. No hay diferencias entre las fincas, pero sí las hay entre los fertilizantes.</p>

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>anova(g.lm)</pre>	
<pre>drop1(g.lm, test = "F")</pre>	
<pre>tapply(produc, fert, summary)</pre>	<p>Genera un resumen de los datos por cuatro fertilizaciones.</p>
<pre>efectos <- model.tables(p.aov)</pre>	
<pre>efectos</pre>	
<pre>stripchart(produc ~ fert, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(produc ~ finca, method = "stack")</pre>	
<pre>interaction.plot(fert, finca, produc, legend = F)</pre>	
<pre>interaction.plot(finca, fert, produc, legend = F)</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Los datos son:

Variación 1

```
frec <- c(22, 21, 17, 20, 16, 21, 25, 19, 23, 31, 35, 35, 24, 18, 26, 25, 23, 23, 11, 16, 17, 24, 24, 20)
```

```
mes <- factor(rep(1:4, each = 6), labels=c("Enero", "Marzo", "Mayo", "Julio"))
```

```
hora <- factor(rep(1:6, 4), labels=as.character(9:14))
```

```
tapply(frec, mes, mean)
```

```
tapply(frec, hora, mean)
```

```
p.aov <- aov(frec ~ hora + mes)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(frec ~ mes, method = "stack")
```

```
stripchart(frec ~ hora, method = "stack")
```

```
interaction.plot(mes, hora, frec, legend = F)
```

```
interaction.plot(hora, mes, frec, legend = F)
```

Variación 2

```
frec <- c(22, 21, 17, 20, 16, 21, 25, 19, 23, 31, 35, 35, 24, 18, 26, 25, 23, 23, 11, 16, 17, 24, 24, 20, 20, 22, 24, 26, 29, 30, 18, 19, 20, 22, 26, 25)
```

```
mes <- factor(rep(1:6, each = 6), labels=c("Enero", "Marzo", "Mayo", "Julio"))
```

```
hora <- factor(rep(1:6, 6), labels=as.character(9:14))
```

```
tapply(frec, mes, mean)
```

```
tapply(frec, hora, mean)
```

```
p.aov <- aov(frec ~ hora + mes)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(frec ~ mes, method = "stack")
```

```
stripchart(frec ~ hora, method = "stack")
```

```
interaction.plot(mes, hora, frec, legend = F)
```

```
interaction.plot(hora, mes, frec, legend = F)
```

Variación 3

```
frec <- c(22, 21, 20, 25, 23, 31, 35, 35, 24, 26, 25, 23, 24, 24, 20)
```

```
mes <- factor(rep(1:3, each = 5), labels=c("Enero", "Marzo", "Mayo", "Julio"))
```

```
hora <- factor(rep(1:5, 3), labels=as.character(9:14))
```

```
tapply(frec, mes, mean)
```

```
tapply(frec, hora, mean)
```

```
p.aov <- aov(frec ~ hora + mes)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(frec ~ mes, method = "stack")
```

```
stripchart(frec ~ hora, method = "stack")
```

```
interaction.plot(mes, hora, frec, legend = F)
```

```
interaction.plot(hora, mes, frec, legend = F)
```

Variación 4

```
frec <- c(22, 21, 17, 20, 16, 21, 25, 19, 23, 31, 35, 35, 24, 18, 26, 25, 23, 23, 11,  
16, 17, 24, 24, 20, 21, 20, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 24, 32)
```

```
mes <- factor(rep(1:6, each = 6), labels=c("Enero", "Marzo", "Mayo", "Julio"))
```

```
hora <- factor(rep(1:6, 6), labels=as.character(9:14))
```

```
tapply(frec, mes, mean)
```

```
tapply(frec, hora, mean)
```

```
p.aov <- aov(frec ~ hora + mes)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(frec ~ mes, method = "stack")
```

```
stripchart(frec ~ hora, method = "stack")
```

```
interaction.plot(mes, hora, frec, legend = F)
```

```
interaction.plot(hora, mes, frec, legend = F)
```

Variación 5

```
frec <- c(22, 21, 17, 20, 16, 21, 25, 19, 23, 31, 35, 35, 24, 18, 26, 25, 23, 23, 11,  
16, 17, 24, 24, 20, 19, 20, 23, 25, 27, 30, 31, 34)
```

```
mes <- factor(rep(1:4, each = 8), labels=c("Enero", "Marzo", "Mayo", "Julio"))
```

```
hora <- factor(rep(1:8, 4), labels=as.character(9:14))
```

```
tapply(frec, mes, mean)
```

```
tapply(frec, hora, mean)
```

```
p.aov <- aov(frec ~ hora + mes)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(frec ~ mes, method = "stack")
```

```
stripchart(frec ~ hora, method = "stack")
```

```
interaction.plot(mes, hora, frec, legend = F)
```

```
interaction.plot(hora, mes, frec, legend = F)
```

Variación 6

```
frec <- c(22, 21, 20, 21, 25, 23, 31, 35, 35, 24, 26, 25, 23, 23, 24, 20)
```

```
mes <- factor(rep(1:4, each = 4), labels=c("Enero", "Marzo", "Mayo", "Julio"))
```

```
hora <- factor(rep(1:4, 4), labels=as.character(9:14))
```

```
tapply(frec, mes, mean)
```

```
tapply(frec, hora, mean)
```

```
p.aov <- aov(frec ~ hora + mes)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(frec ~ mes, method = "stack")
```

```
stripchart(frec ~ hora, method = "stack")
```

```
interaction.plot(mes, hora, frec, legend = F)
```

```
interaction.plot(hora, mes, frec, legend = F)
```

Aplicación 2.2. Comparación de riegos en el crecimiento de soya

En un área experimental x se analizaron 12 variedades de soya con cuatro repeticiones en un diseño de bloques completos al azar. Los rendimientos se dan en *Kg/Parcela*.

Variación 1

Bossier <- c(0.103, 0.202, 0.301, 0.408)

II.S4.599.599.M <- c(0.105, 0.205, 0.303, 0.407)

II.S18.Cadel.156.M <- c(0.102, 0.207, 0.309, 0.409)

Victoria <- c(0.101, 0.204, 0.304, 0.401)

Davis <- c(0.109, 0.208, 0.306, 0.403)

II.S.549.549.M <- c(0.107, 0.203, 0.302, 0.411)

Conchos <- c(0.104, 0.202, 0.311, 0.406)

Cajeme <- c(0.108, 0.206, 0.308, 0.404)

Santa.Rosa <- c(0.112, 0.201, 0.310, 0.412)

Viroja <- c(0.110, 0.211, 0.305, 0.402)

Suprema <- c(0.111, 0.210, 0.312, 0.405)

Brag <- c(0.106, 0.209, 0.307, 0.410)

rendimiento <- c(Bossier, II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Victoria, Davis, II.S.549.549.M, Conchos, Cajeme, Santa.Rosa, Viroja, Suprema, Brag)

variedades <- gl(12, 4, labels = c("Bossier", "II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M", "Victoria", "Davis", "II.S.549.549.M", "Conchos", "Cajeme", "Santa.Rosa", "Viroja", "Suprema", "Brag"))

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)

tapply(rendimiento, variedades, summary)

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")

plot(rendimiento ~ variedades)

g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rendimiento ~ variedades)

summary(g.lm)
```

Variación 2

```
Bossier <- c(0.103, 0.202, 0.301, 0.408, 0.105)

II.S4.599.599.M <- c(0.105, 0.205, 0.303, 0.407, 0.206)

II.S18.Cadel.156.M <- c(0.102, 0.207, 0.309, 0.409, 0.207)

Victoria <- c(0.101, 0.204, 0.304, 0.401, 0.306)

Davis <- c(0.109, 0.208, 0.306, 0.403, 0.307)

II.S.549.549.M <- c(0.107, 0.203, 0.302, 0.411, 0.306)

Conchos <- c(0.104, 0.202, 0.311, 0.406, 0.313)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
Cajeme <- c(0.108, 0.206, 0.308, 0.404, 0.310)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.112, 0.201, 0.310, 0.412, 0.414)
```

```
Viroja <- c(0.110, 0.211, 0.305, 0.402, 0.405)
```

```
Suprema <- c(0.111, 0.210, 0.312, 0.405, 0.315)
```

```
Brag <- c(0.106, 0.209, 0.307, 0.410, 0.309)
```

```
rendimiento <- c(Bossier, II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Victoria, Davis,  
II.S.549.549.M, Conchos, Cajeme, Santa.Rosa, Viroja, Suprema, Brag)
```

```
variedades <- gl(12, 5, labels = c("Bossier", "II.S4.599.599.M",  
"II.S18.Cadel.156.M", "Victoria", "Davis", "II.S.549.549.M", "Conchos",  
"Cajeme", "Santa.Rosa", "Viroja", "Suprema", "Brag"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 3

```
Bossier <- c(0.202, 0.301, 0.408)
```

```
II.S4.599.599.M <- c(0.205, 0.303, 0.407)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.207, 0.309, 0.409)
```

```
Victoria <- c(0.204, 0.304, 0.401)
```

```
Davis <- c(0.109, 0.306, 0.403)
```

```
II.S.549.549.M <- c(0.203, 0.302, 0.411)
```

```
Conchos <- c(0.202, 0.311, 0.406)
```

```
Cajeme <- c(0.108, 0.308, 0.404)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.112, 0.310, 0.412)
```

```
Viroja <- c(0.211, 0.305, 0.402)
```

```
Suprema <- c(0.111, 0.210, 0.312)
```

```
Brag <- c(0.209, 0.307, 0.410)
```

```
rendimiento <- c(Bossier, II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Victoria, Davis,  
II.S.549.549.M, Conchos, Cajeme, Santa.Rosa, Viroja, Suprema, Brag)
```

```
variedades <- gl(12, 3, labels = c("Bossier", "II.S4.599.599.M",  
"II.S18.Cadel.156.M", "Victoria", "Davis", "II.S.549.549.M", "Conchos",  
"Cajeme", "Santa.Rosa", "Viroja", "Suprema", "Brag"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 4

```
Bossier <- c(0.103, 0.202, 0.301, 0.408)
```

```
II.S4.599.599.M <- c(0.105, 0.205, 0.303, 0.407)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.102, 0.207, 0.309, 0.409)
```

```
Victoria <- c(0.101, 0.204, 0.304, 0.401)
```

```
Davis <- c(0.109, 0.208, 0.306, 0.403)
```

```
II.S.549.549.M <- c(0.107, 0.203, 0.302, 0.411)
```

```
Conchos <- c(0.104, 0.202, 0.311, 0.406)
```

```
Cajeme <- c(0.108, 0.206, 0.308, 0.404)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.112, 0.201, 0.310, 0.412)
```

```
Viroja <- c(0.110, 0.211, 0.305, 0.402)
```

```
Suprema <- c(0.111, 0.210, 0.312, 0.405)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
Brag <- c(0.106, 0.209, 0.307, 0.410)
```

```
INIAP.431.Andina <- c(0.103, 0.206, 0.305, 0.408)
```

```
rendimiento <- c(Bossier, II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Victoria, Davis,  
II.S.549.549.M, Conchos, Cajeme, Santa.Rosa, Viroja, Suprema, Brag,  
INIAP.431.Andina)
```

```
variedades <- gl(12, 4, labels = c("Bossier", "II.S4.599.599.M",  
"II.S18.Cadel.156.M", "Victoria", "Davis", "II.S.549.549.M", "Conchos",  
"Cajeme", "Santa.Rosa", "Viroja", "Suprema", "Brag", "INIAP.431.Andina"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 5

```
Bossier <- c(0.103, 0.202, 0.301, 0.408)
```

```
II.S4.599.599.M <- c(0.105, 0.205, 0.303, 0.407)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.102, 0.207, 0.309, 0.409)

Victoria <- c(0.101, 0.204, 0.304, 0.401)

Davis <- c(0.109, 0.208, 0.306, 0.403)

II.S.549.549.M <- c(0.107, 0.203, 0.302, 0.411)

Conchos <- c(0.104, 0.202, 0.311, 0.406)

Cajeme <- c(0.108, 0.206, 0.308, 0.404)

Santa.Rosa <- c(0.112, 0.201, 0.310, 0.412)

Viroja <- c(0.110, 0.211, 0.305, 0.402)

Suprema <- c(0.111, 0.210, 0.312, 0.405)

Brag <- c(0.106, 0.209, 0.307, 0.410)

INIAP.431.Andina <- c(0.103, 0.206, 0.305, 0.408)

INIAP.432.Lojanita <- c(0.104, 0.205, 0.306, 0.409)

rendimiento <- c(Bossier, II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Victoria, Davis,
II.S.549.549.M, Conchos, Cajeme, Santa.Rosa, Viroja, Suprema, Brag,
INIAP.431.Andina, INIAP.432.Lojanita)

variedades <- gl(12, 4, labels = c("Bossier", "II.S4.599.599.M",
"II.S18.Cadel.156.M", "Victoria", "Davis", "II.S.549.549.M", "Conchos",
"Cajeme", "Santa.Rosa", "Viroja", "Suprema", "Brag", "INIAP.431.Andina",
"INIAP.432.Lojanita"))

mean(rendimiento, na.rm=TRUE)

tapply(rendimiento, variedades, summary)

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")  
  
summary(p.aov)  
  
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")  
  
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)  
  
anova(g.lm)  
  
lm(rendimiento ~ variedades)  
  
summary(g.lm)
```

Variación 6

```
Bossier <- c(0.103, 0.202, 0.301, 0.408)  
  
II.S4.599.599.M <- c(0.105, 0.205, 0.303, 0.407)  
  
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.102, 0.207, 0.309, 0.409)  
  
Victoria <- c(0.101, 0.204, 0.304, 0.401)  
  
Davis <- c(0.109, 0.208, 0.306, 0.403)  
  
II.S.549.549.M <- c(0.107, 0.203, 0.302, 0.411)  
  
Conchos <- c(0.104, 0.202, 0.311, 0.406)  
  
Cajeme <- c(0.108, 0.206, 0.308, 0.404)  
  
Santa.Rosa <- c(0.112, 0.201, 0.310, 0.412)  
  
Suprema <- c(0.111, 0.210, 0.312, 0.405)  
  
Brag <- c(0.106, 0.209, 0.307, 0.410)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
rendimiento <- c(Bossier, II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Victoria, Davis,  
II.S.549.549.M, Conchos, Cajeme, Santa.Rosa, Suprema, Brag)
```

```
variedades <- gl(11, 4, labels = c("Bossier", "II.S4.599.599.M",  
"II.S18.Cadel.156.M", "Victoria", "Davis", "II.S.549.549.M", "Conchos",  
"Cajeme", "Santa.Rosa", "Suprema", "Brag"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Aplicación 2.3. Evaluación estadística del rendimiento de trigo

En un experimento llevado a cabo en un área experimental se analizaron siete variedades de trigo con cuatro repeticiones. Los rendimientos se dan en *Kg/Parcela* (Bertsimas & Tsitsiklis, 1997).

Variación 1

```
II.S4.599.599.M <- c(0.125, 0.125, 0.185, 0.150)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.175, 0.145, 0.185, 0.470)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.200, 0.110, 0.215, 0.250)
```

```
Conchos <- c(0.100, 0.375, 0.210, 0.265)
```

```
Davis <- c(0.900, 0.110, 0.125, 0.200)
```

```
Viroja <- c(0.130, 0.175, 0.110, 0.615)
```

```
Dorado <- c(0.120, 0.210, 0.160, 0.765)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Santa.Rosa, Conchos,  
Davis, Viroja, Dorado)
```

```
variedades <- gl(7, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Santa.Rosa", "Conchos", "Davis", "Viroja", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ variedades)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

```
II.S4.599.599.M <- c(0.125, 0.125, 0.185, 0.150, 0.128)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.175, 0.145, 0.185, 0.470, 0.146)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.200, 0.110, 0.215, 0.250, 0.111)
```

```
Conchos <- c(0.100, 0.375, 0.210, 0.265, 0.214)
```

```
Davis <- c(0.900, 0.110, 0.125, 0.200, 0.205)
```

```
Viroja <- c(0.130, 0.175, 0.110, 0.615, 0.181)
```

```
Dorado <- c(0.120, 0.210, 0.160, 0.765, 0.767)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Santa.Rosa, Conchos,  
Davis, Viroja, Dorado)
```

```
variedades <- gl(7, 5, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Santa.Rosa", "Conchos", "Davis", "Viroja", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")

g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rendimiento ~ variedades)

summary(g.lm)
```

Variación 3

```
II.S4.599.599.M <- c(0.125, 0.185, 0.150)

II.S18.Cadel.156.M <- c(0.145, 0.185, 0.470)

Santa.Rosa <- c(0.200, 0.215, 0.250)

Conchos <- c(0.375, 0.210, 0.265)

Davis <- c(0.900, 0.125, 0.200)

Viroja <- c(0.175, 0.110, 0.615)

Dorado <- c(0.210, 0.160, 0.765)

rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Santa.Rosa, Conchos,
Davis, Viroja, Dorado)

variedades <- gl(7, 3, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",
"Santa.Rosa", "Conchos", "Davis", "Viroja", "Dorado"))
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)

tapply(rendimiento, variedades, summary)

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")

g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rendimiento ~ variedades)

summary(g.lm)
```

Variación 4

```
II.S4.599.599.M <- c(0.125, 0.125, 0.185, 0.150)

II.S18.Cadel.156.M <- c(0.175, 0.145, 0.185, 0.470)

Santa.Rosa <- c(0.200, 0.110, 0.215, 0.250)

Conchos <- c(0.100, 0.375, 0.210, 0.265)

Davis <- c(0.900, 0.110, 0.125, 0.200)

Viroja <- c(0.130, 0.175, 0.110, 0.615)

Dorado <- c(0.120, 0.210, 0.160, 0.765)

INIAP.432.Lojanita <- c(0.177, 0.146, 0.188, 0.474)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Santa.Rosa, Conchos,  
Davis, Viroja, Dorado, INIAP.432.Lojanita)
```

```
variedades <- gl(7, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Santa.Rosa", "Conchos", "Davis", "Viroja", "Dorado", "INIAP.432.Lojanita"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 5

```
II.S4.599.599.M <- c(0.125, 0.125, 0.185, 0.150)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.175, 0.145, 0.185, 0.470)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.200, 0.110, 0.215, 0.250)
```

```
Conchos <- c(0.100, 0.375, 0.210, 0.265)
```

```
Davis <- c(0.900, 0.110, 0.125, 0.200)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
Viroja <- c(0.130, 0.175, 0.110, 0.615)
```

```
Dorado <- c(0.120, 0.210, 0.160, 0.765)
```

```
INIAP.432.Lojanita <- c(0.177, 0.146, 0.188, 0.474)
```

```
INIAP.431.Andina <- c(0.176, 0.147, 0.185, 0.476)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Santa.Rosa, Conchos,  
Davis, Viroja, Dorado, INIAP.432.Lojanita, INIAP.431.Andina)
```

```
variedades <- gl(7, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Santa.Rosa", "Conchos", "Davis", "Viroja", "Dorado", "INIAP.432.Lojanita",  
"INIAP.431.Andina"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 6

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.175, 0.145, 0.185, 0.470)
```

```
Santa.Rosa <- c(0.200, 0.110, 0.215, 0.250)
```

```
Conchos <- c(0.100, 0.375, 0.210, 0.265)
```

```
Davis <- c(0.900, 0.110, 0.125, 0.200)
```

```
Viroja <- c(0.130, 0.175, 0.110, 0.615)
```

```
Dorado <- c(0.120, 0.210, 0.160, 0.765)
```

```
rendimiento <- c(II.S18.Cadel.156.M, Santa.Rosa, Conchos, Davis, Viroja,  
Dorado)
```

```
variedades <- gl(6, 4, labels = c("II.S18.Cadel.156.M", "Santa.Rosa", "Conchos",  
"Davis", "Viroja", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Aplicación 2.4. Efecto de biofertilizantes en cultivos de trigo

En un experimento llevado a cabo en el área experimental San Juan de Vaquería se analizaron siete variedades de trigo con cuatro repeticiones. Los rendimientos se dan en *Kg/Parcela* (Montgomery, 2012).

Variación 1

```
II.S4.599.599.M <- c(0.320, 0.630, 0.495, 0.465)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.260, 0.685, 0.515, 0.550)
```

```
Bossier <- c(0.110, 0.135, 0.280, 0.220)
```

```
Bragg <- c(0.300, 0.395, 0.425, 0.410)
```

```
Davis <- c(0.425, 0.780, 0.650, 0.450)
```

```
Suprema <- c(0.440, 0.505, 0.615, 0.490)
```

```
Dorado <- c(0.330, 0.435, 0.510, 0.445)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Bossier, Bragg, Davis, Suprema, Dorado)
```

```
variedades <- gl(7, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M", "Bossier", "Bragg", "Davis", "Suprema", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
plot(rendimiento ~ variedades)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
LSD.test(model, "variedades", console=TRUE)
```

```
LSD.test(model, "variedades", group=T, p.adj="bon", console=TRUE)
```

```
duncan.test(model, "variedades", console=TRUE)
```

```
SNK.test(model, "variedades", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
REGW.test(model, "variedades", group=FALSE, console=TRUE)
```

```
outHSD <- HSD.test(model, "variedades", console=TRUE)
```

```
outWaller <- waller.test(model, "variedades", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
scheffe.test(model, "variedades", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
plot(rendimiento ~ variedades)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

```
II.S4.599.599.M <- c(0.320, 0.630, 0.495, 0.465, 0.322)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.260, 0.685, 0.515, 0.550, 0.687)
```

```
Bossier <- c(0.110, 0.135, 0.280, 0.220, 0.117)
```

```
Bragg <- c(0.300, 0.395, 0.425, 0.410, 0.428)
```

```
Davis <- c(0.425, 0.780, 0.650, 0.450, 0.785)
```

```
Suprema <- c(0.440, 0.505, 0.615, 0.490, 0.443)
```

```
Dorado <- c(0.330, 0.435, 0.510, 0.445, 0.336)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Bossier, Bragg, Davis,  
Suprema, Dorado)
```

```
variedades <- gl(7, 5, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Bossier", "Bragg", "Davis", "Suprema", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 3

```
II.S4.599.599.M <- c(0.320, 0.630, 0.495)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.685, 0.515, 0.550)
```

```
Bossier <- c(0.110, 0.280, 0.220)
```

```
Bragg <- c(0.395, 0.425, 0.410)
```

```
Davis <- c(0.780, 0.650, 0.450)
```

```
Suprema <- c(0.440, 0.505, 0.615)
```

```
Dorado <- c(0.435, 0.510, 0.445)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Bossier, Bragg, Davis,  
Suprema, Dorado)
```

```
variedades <- gl(7, 3, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Bossier", "Bragg", "Davis", "Suprema", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 4

```
II.S4.599.599.M <- c(0.320, 0.630, 0.495, 0.465)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.260, 0.685, 0.515, 0.550)
```

```
Bossier <- c(0.110, 0.135, 0.280, 0.220)
```

```
Bragg <- c(0.300, 0.395, 0.425, 0.410)
```

```
Davis <- c(0.425, 0.780, 0.650, 0.450)
```

```
Suprema <- c(0.440, 0.505, 0.615, 0.490)
```

```
Dorado <- c(0.330, 0.435, 0.510, 0.445)
```

```
INIAP.436.Liliana <- c(0.324, 0.636, 0.497, 0.485)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Bossier, Bragg, Davis,  
Suprema, Dorado, INIAP.436.Liliana)
```

```
variedades <- gl(7, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Bossier", "Bragg", "Davis", "Suprema", "Dorado", "INIAP.436.Liliana"))
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)

tapply(rendimiento, variedades, summary)

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")

g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rendimiento ~ variedades)

summary(g.lm)
```

Variación 5

```
II.S4.599.599.M <- c(0.320, 0.630, 0.495, 0.465)

II.S18.Cadel.156.M <- c(0.260, 0.685, 0.515, 0.550)

Bossier <- c(0.110, 0.135, 0.280, 0.220)

Bragg <- c(0.300, 0.395, 0.425, 0.410)

Davis <- c(0.425, 0.780, 0.650, 0.450)

Suprema <- c(0.440, 0.505, 0.615, 0.490)

Dorado <- c(0.330, 0.435, 0.510, 0.445)

INIAP.436.Liliana <- c(0.324, 0.636, 0.497, 0.485)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
INIAP.433.Roxana <- c(0.330, 0.642, 0.499, 0.489)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Bossier, Bragg, Davis,  
Suprema, Dorado, INIAP.436.Liliana, INIAP.433.Roxana)
```

```
variedades <- gl(7, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Bossier", "Bragg", "Davis", "Suprema", "Dorado", "INIAP.436.Liliana",  
"INIAP.433.Roxana"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 6

```
II.S4.599.599.M <- c(0.320, 0.630, 0.495, 0.465)
```

```
II.S18.Cadel.156.M <- c(0.260, 0.685, 0.515, 0.550)
```

```
Bragg <- c(0.300, 0.395, 0.425, 0.410)
```

CAPÍTULO 2. APLICACIONES DE LABORATORIO Y FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL

```
Davis <- c(0.425, 0.780, 0.650, 0.450)
```

```
Suprema <- c(0.440, 0.505, 0.615, 0.490)
```

```
Dorado <- c(0.330, 0.435, 0.510, 0.445)
```

```
rendimiento <- c(II.S4.599.599.M, II.S18.Cadel.156.M, Bragg, Davis, Suprema,  
Dorado)
```

```
variedades <- gl(6, 4, labels = c("II.S4.599.599.M", "II.S18.Cadel.156.M",  
"Bragg", "Davis", "Suprema", "Dorado"))
```

```
mean(rendimiento, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(rendimiento, variedades, summary)
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedades, method="stack")
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```



EDITORIAL ANDES COGNITIO

CAPÍTULO III

APLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL



CAPÍTULO III

APLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Aplicación 3.1. Evaluación de variedades de cebada en distintos ambientes

Los siguientes resultados se obtuvieron en un experimento realizado para determinar si diferentes operadores obtenían resultados distintos en varias muestras de suelo para analizar en el laboratorio el efecto del fósforo (Birge & Louveaux, 2011).

Variación 1

```
Primer.Operador <- c(420, 350, 570, 390, 485)
```

```
Segundo.Operador <- c(472, 427, 389, 517, 308)
```

```
Tercer.Operador <- c(539, 525, 518, 498, 489)
```

```
resultados <- c(Primer.Operador, Segundo.Operador, Tercer.Operador)
```

```
efecto.fosforo <- gl(3, 5, labels = c("Primer.Operador", "Segundo.Operador",  
"Tercer.Operador"))
```

```
mean(resultados, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(resultados, efecto.fosforo, summary)
```

```
p.aov <- aov(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
plot(resultados ~ efecto.fosforo)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
g.lm <- lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

```
Primer.Operador <- c(420, 350, 570, 390, 485, 370)
```

```
Segundo.Operador <- c(472, 427, 389, 517, 308, 395)
```

```
Tercer.Operador <- c(539, 525, 518, 498, 489, 530)
```

```
resultados <- c(Primer.Operador, Segundo.Operador, Tercer.Operador)
```

```
efecto.fosforo <- gl(3, 6, labels = c("Primer.Operador", "Segundo.Operador",  
"Tercer.Operador"))
```

```
mean(resultados, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(resultados, efecto.fosforo, summary)
```

```
p.aov <- aov(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
plot(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
g.lm <- lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
anova(g.lm)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 3

```
Primer.Operador <- c(420, 570, 390, 485)
```

```
Segundo.Operador <- c(472, 427, 517, 308)
```

```
Tercer.Operador <- c(539, 525, 518, 498)
```

```
resultados <- c(Primer.Operador, Segundo.Operador, Tercer.Operador)
```

```
efecto.fosforo <- gl(3, 4, labels = c("Primer.Operador", "Segundo.Operador",  
"Tercer.Operador"))
```

```
mean(resultados, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(resultados, efecto.fosforo, summary)
```

```
p.aov <- aov(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
plot(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
g.lm <- lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Variación 4

```
Primer.Operador <- c(420, 350, 570, 390, 485)
```

```
Segundo.Operador <- c(472, 427, 389, 517, 308)
```

```
Tercer.Operador <- c(539, 525, 518, 498, 489)
```

```
Cuarto.Operador <- c(529, 536, 527, 499, 498)
```

```
resultados <- c(Primer.Operador, Segundo.Operador, Tercer.Operador,  
Cuarto.Operador)
```

```
efecto.fosforo <- gl(4, 5, labels = c("Primer.Operador", "Segundo.Operador",  
"Tercer.Operador", "Cuarto.Operador"))
```

```
mean(resultados, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(resultados, efecto.fosforo, summary)
```

```
p.aov <- aov(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
plot(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
g.lm <- lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Variación 5

```
Primer.Operador <- c(420, 350, 570, 390, 485)

Segundo.Operador <- c(472, 427, 389, 517, 308)

Tercer.Operador <- c(539, 525, 518, 498, 489)

Cuarto.Operador <- c(529, 536, 527, 499, 498)

Quinto.Operador <- c(520, 541, 532, 489, 519)

resultados <- c(Primer.Operador, Segundo.Operador, Tercer.Operador,
Cuarto.Operador, Quinto.Operador)

efecto.fosforo <- gl(5, 5, labels = c("Primer.Operador", "Segundo.Operador",
"Tercer.Operador", "Cuarto.Operador", "Quinto.Operador"))

mean(resultados, na.rm=TRUE)

tapply(resultados, efecto.fosforo, summary)

p.aov <- aov(resultados ~ efecto.fosforo)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

plot(resultados ~ efecto.fosforo)

g.lm <- lm(resultados ~ efecto.fosforo)

anova(g.lm)

lm(resultados ~ efecto.fosforo)

summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Variación 6

```
Primer.Operador <- c(420, 350, 570, 390, 485)
```

```
Segundo.Operador <- c(539, 525, 518, 498, 489)
```

```
resultados <- c(Primer.Operador, Segundo.Operador)
```

```
efecto.fosforo <- gl(3, 5, labels = c("Primer.Operador", "Segundo.Operador"))
```

```
mean(resultados, na.rm=TRUE)
```

```
tapply(resultados, efecto.fosforo, summary)
```

```
p.aov <- aov(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
plot(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
g.lm <- lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(resultados ~ efecto.fosforo)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Aplicación 3.2. Comparación de sistemas de fertilización en fincas agrícola

Se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de maíz duro (Factor A), y tres dosis de nitrógeno (Factor B). Los Híbridos de maíz fueron: A1: H-015; A2: H-016 y A3: H-017. Las dosis de nitrógeno fueron: B1 = 0 kg/ha de N; B2: 50 kg/ha de N y B3: 100 kg/ha de N. Existió espacio para realizar 3 repeticiones. Las variables que se midieron fueron el rendimiento de maíz en Kg/Parcela al 13% de humedad y longitud de mazorca en Cm (Brambila, 2011).

Tabla 3.1 Programación en R para el análisis de un Diseño Factorial 3×3 en Bloques Completos al Azar (Híbridos de maíz × Dosis de nitrógeno)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>rendimiento <- c(4.2, 5.6, 6.8, 7.3, 8.9, 9.9, 12.5, 13.8, 14.9, 5.7, 7.9, 9.9, 6.7, 8.9, 10.6, 12.7, 13.9, 15.4, 8.2, 9.9, 10.9, 13.5, 14.8, 16.8, 10.6, 11.9, 12.8) maiz <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("H015",</pre>	<p>Factor A. Generalmente, el tipo de factor “(rep(1:3, each = 9)” son variedades que sólo se representan con sus repeticiones. En este caso, seria las repeticiones de 1 a 3 híbridos de maíz con 9 repeticiones por cada híbrido: híbrido H-015 dosis 0 kg/ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-016 dosis 50 kg/ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-017 dosis 100 kg/ha de N con 3 repeticiones. Tal que, para sacar de tres o más factores sólo se crean factores adicionales,</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<p>"H016", "H017"))</p> <p>dosisnitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 kg/ha de N", "50 kg/ha de N", "100 kg/ha de N"))</p>	<p>nuevofactor <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("A", "B", "C")).</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 niveles], each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien ; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 3 [Son tres bloques de tratamiento, pues cada híbrido a_1 es e1ro, a_2 es 2do y a_3 es 3ro]) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (híbridos de maíz) has 3 repeticiones de los 3 dosis de Nitrógeno/Ha:</p> <p>3 híbridos de maíz (Factor A); 3 dosis de nitrógeno (Factor B); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> $\begin{array}{cc|c} a_1 & b_1 & 1 \\ a_1 & b_1 & 2 \\ a_1 & b_1 & 3 \end{array}$

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL
DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$\begin{array}{l} a_1 \quad b_2 \quad | \quad 1 \\ a_1 \quad b_2 \quad | \quad 2 \\ a_1 \quad b_2 \quad | \quad 3 \end{array}$ $\begin{array}{l} a_1 \quad b_3 \quad | \quad 1 \\ a_1 \quad b_3 \quad | \quad 2 \\ a_1 \quad b_3 \quad | \quad 3 \end{array}$ $\begin{array}{l} a_2 \quad b_1 \quad | \quad 1 \\ a_2 \quad b_1 \quad | \quad 2 \\ a_2 \quad b_1 \quad | \quad 3 \end{array}$ $\begin{array}{l} a_2 \quad b_2 \quad | \quad 1 \\ a_2 \quad b_2 \quad | \quad 2 \\ a_2 \quad b_2 \quad | \quad 3 \end{array}$ $\begin{array}{l} a_2 \quad b_3 \quad | \quad 1 \\ a_2 \quad b_3 \quad | \quad 2 \\ a_2 \quad b_3 \quad | \quad 3 \end{array}$ $\begin{array}{l} a_3 \quad b_1 \quad | \quad 1 \\ a_3 \quad b_1 \quad | \quad 2 \\ a_3 \quad b_1 \quad | \quad 3 \end{array}$

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p style="text-align: center;"> $a_3 \quad b_2 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_2 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_2 \quad | \quad 3$ </p> <p style="text-align: center;"> $a_3 \quad b_3 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_3 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_3 \quad | \quad 3$ </p> <p style="text-align: center;"> <u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “3 híbridos de maíz” (Factor A) con “3 repeticiones o número de bloques” solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u> </p> <p style="text-align: center;"> <u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “3 híbridos de maíz” (Factor A) con “3 dosis de N/Ha” (Factor B) solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u> </p> <p> bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 9)) </p> <p> Comando “rep(rep(1:3, each = 1), 9)” crea la variable para mediar la varianza entre bloques en el posterior ANOVA, que en este caso son 3 tratamientos, con 3 repeticiones (3 repes, según cuadro de ejercicio de Monar, 2016), uno por que la interacción de 1 1 sólo se presenta en el primer tratamiento y jamás en los otros trataas, 9 por que se hacen 3 </p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(rendimiento, maiz, mean) tapply(rendimiento, dosisnitro, mean) xtabs(rendimiento ~ maiz + dosisnitro) p.aov <- aov(rendimiento ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitro + bloque) summary(p.aov)</pre>	<p>repeticiones por cada tratamiento (López & González, 2014).</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(rendimiento ~ dosisnitro, method = "stack")</pre>	
<pre>interaction.plot(maiz, dosisnitro, rendimiento, legend = T)</pre>	
<pre>interaction.plot(dosisnitro, maiz, rendimiento, legend = T)</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Variación 1

```
long.mazorca <- c(8.5, 8.9, 9.9, 10.5, 11.7, 11.9, 12.7, 13.7, 14.9, 6.6, 6.9, 7.9, 8.8, 9.8, 10.2, 10.1, 10.9, 11.9, 9.2, 9.9, 10.7, 12.9, 13.6, 14.1, 11.2, 12.1, 12.9)
```

```
maiz <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("H015", "H016", "H017"))
```

```
dosisnitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 kg/ha de N", "50 kg/ha de N", "100 kg/ha de N"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 9))
```

```
tapply(long.mazorca, maiz, mean)
```

```
tapply(long.mazorca, dosisnitro, mean)
```

```
xtabs(long.mazorca ~ maiz + dosisnitro)
```

```
p.aov <- aov(long.mazorca ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitro + bloque)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(long.mazorca ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(long.mazorca ~ dosisnitro, method = "stack")
```

```
interaction.plot(maiz, dosisnitro, long.mazorca, legend = T)
```

```
interaction.plot(dosisnitro, maiz, long.mazorca, legend = T)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Aplicación 3.3. Ensayo de fertilización orgánica vs. química en papa

Dos tesisas hicieron una evaluación de materias orgánicas residuales para la elaboración de láminas comestibles biodegradables. Se usó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en arreglo factorial A (2 dosis de almidón de papa: A1 de 1.5% y A2 de 2.0%)* B (3 dosis de agente plastificante glicerina: 1.0% glicerina, 1.5% glicerina y 2.0% glicerina)* C (2 medios de dilución: Agua de 20 ml y Lacto suero de 20 ml) con 2 repeticiones:

Variación 1

Tabla 3.2 Programación en R para el análisis de un Diseño Factorial 2×3×2 (Almidón × Plastificante × Dilución) bajo un esquema completamente al azar

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>pH <- c(6.7, 6.6, 6.9, 6.7, 6.6, 6.6, 6.5, 6.8, 6.8, 6.7, 6.8, 6.5, 6.6, 6.4, 6.2, 6.5, 6.5, 6.5, 6.4, 6.6, 6.5, 6.3, 6.4, 6.4) almidon <- factor(rep(1:2, each = 12), labels = c("A1 de 1.5%", "A2 de 2.0%"))</pre>	<p style="text-align: center; color: blue;">Factor A</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> plastificante <- factor(rep(rep(1 :3, each = 4), 2), labels = c("1.0% glicerina", "1.5% glicerina", "2.0% glicerina")) </pre>	<p style="text-align: center;">Factor B</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:2 [El Factor C, dilución tiene de 1 a 2 tratamientos], each = 2 [Has 2 repeticiones en cada sub bloque de tratamie ; es decir, has 2 repeticiones para b_i), 6 [Son seis repeticiones por cada bloque del factor , b_1 es e1ro, b_2 es 2do y b_3 es 3ro]) equivalente a “decirle a R: en 2 bloques has 4 repeticiones de las 3 dosis de Nitrógeno/Ha o 3 tratamientos:</p> <p>2 dosis de almidón de papa (Factor A); 3 dosis de agente plastificante glicerina (Factor B); 2 medios de dilución</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL
DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>(Factor C); 2 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> $\begin{array}{ccc|c} a_1 & b_1 & c_1 & 1 \\ a_1 & b_1 & c_1 & 2 \\ a_1 & b_1 & c_2 & 1 \end{array}$ $\begin{array}{ccc|c} a_1 & b_1 & c_2 & 2 \\ a_1 & b_2 & c_1 & 1 \\ a_1 & b_2 & c_1 & 2 \end{array}$ $\begin{array}{ccc|c} a_1 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_1 & b_2 & c_2 & 2 \\ a_1 & b_3 & c_1 & 1 \end{array}$ $\begin{array}{ccc|c} a_1 & b_3 & c_1 & 2 \\ a_1 & b_3 & c_2 & 1 \\ a_1 & b_3 & c_2 & 2 \end{array}$ $\begin{array}{ccc|c} a_2 & b_1 & c_1 & 1 \\ a_2 & b_1 & c_1 & 2 \\ a_2 & b_1 & c_2 & 1 \end{array}$ $\begin{array}{ccc|c} a_2 & b_1 & c_2 & 2 \\ a_2 & b_2 & c_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_1 & 2 \end{array}$

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$\begin{array}{ccc|c} a_2 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 2 \\ a_2 & b_3 & c_1 & 1 \end{array}$ $\begin{array}{ccc|c} a_2 & b_3 & c_1 & 2 \\ a_2 & b_3 & c_2 & 1 \\ a_2 & b_3 & c_2 & 2 \end{array}$ <p>Si se hace al análisis <u>ANOVA</u> entre los datos de las columnas de “2 % de almidón de papa” (Factor A) con <u>2 repeticiones o número de bloques” solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p> <p>Si se hace al análisis <u>ANOVA</u> entre los datos de las columnas de “3 % de agentes plastificantes o glicerina” (Factor B) con <u>2 repeticiones o número de bloques” solo s e HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p> <p>Si se hace al análisis <u>ANOVA</u> entre los datos de las columnas de “2 medios de dilución” (Factor C) con <u>2 repeticiones o número de bloques” solo s e HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p>

**CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL
DISEÑO EXPERIMENTAL**

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 12)) p.aov <- aov(pH ~ almidon + plastificante + dilucion) summary(p.aov) tapply(pH, almidon, mean) tapply(pH, dilucion, mean) tapply(pH, plastificante, mean) </pre>	<p>Crea la variable para mediar la varianza entre bloques en el posterior ANOVA, que en este caso son 3 tratamientos, con 3 repeticiones (3 repes, según cuadro de ejercicio de Monar, 2016), uno por que la interacción de 1 1 sólo se presenta en el primer tratamiento y jamás en los otros tratras, 9 por que se hacen 3 repeticiones por cada tratatamiento.</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
plot(pH ~ plastificante)	
plot(pH ~ almidon)	
plot(pH ~ dilucion)	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

```
acidez <- c(0.32, 0.33, 2.17, 2.18, 0.32, 0.31, 2.30, 2.60, 0.38, 0.36, 1.79, 1.82, 0.32, 0.35, 2.40, 2.40, 0.40, 0.60, 1.16, 1.18, 0.38, 0.38, 1.17, 1.80)
```

```
almidon <- factor(rep(1:2, each = 12), labels = c("A1 de 1.5%", "A2 de 2.0%"))
```

```
plastificante <- factor(rep(rep(1:3, each = 4), 2), labels = c("1.0% glicerina", "1.5% glicerina", "2.0% glicerina"))
```

```
dilucion <- factor(rep(rep(1:2, each = 2), 6), labels = c("Agua de 20 ml", "Lacto suero de 20 ml"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 12))
```

```
p.aov <- aov(acidez ~ almidon + plastificante + dilucion)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(acidez, almidon, mean)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
tapply(acidez, dilucion, mean)
```

```
tapply(acidez, plastificante, mean)
```

```
plot(acidez ~ plastificante)
```

```
plot(acidez ~ almidon)
```

```
plot(acidez ~ dilucion)
```

Variación 3

```
brix <- c(4.5, 4.5, 4.8, 4.4, 4.5, 4.6, 4.5, 4.3, 5.0, 4.6, 4.0, 4.5, 4.5, 4.6, 4.5, 4.4,  
4.3, 4.3, 4.3, 4.1, 4.0, 4.2, 4.2, 4.5)
```

```
almidon <- factor(rep(1:2, each = 12), labels = c("A1 de 1.5%", "A2 de 2.0%"))
```

```
plastificante <- factor(rep(rep(1:3, each = 4), 2), labels = c("1.0% glicerina",  
"1.5% glicerina", "2.0% glicerina"))
```

```
dilucion <- factor(rep(rep(1:2, each = 2), 6), labels = c("Agua de 20 ml", "Lacto  
suero de 20 ml"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 12))
```

```
p.aov <- aov(brix ~ almidon + plastificante + dilucion)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(brix, almidon, mean)
```

```
tapply(brix, dilucion, mean)
```

```
tapply(brix, plastificante, mean)
```

```
plot(brix ~ plastificante)
```

```
plot(brix ~ almidon)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
plot(brix ~ dilucion)
```

Variación 4

```
humedad <- c(38.46, 37.25, 33.72, 33.33, 33.33, 36.36, 36.93, 37.17, 34.95,  
33.09, 33.64, 35.37, 35.42, 34.62, 27.27, 33.72, 29.41, 34.62, 31.03, 37.72, 30.95,  
36.61, 32.81, 31.003)
```

```
almidon <- factor(rep(1:2, each = 12), labels = c("A1 de 1.5%", "A2 de 2.0%"))
```

```
plastificante <- factor(rep(rep(1:3, each = 4), 2), labels = c("1.0% glicerina",  
"1.5% glicerina", "2.0% glicerina"))
```

```
dilucion <- factor(rep(rep(1:2, each = 2), 6), labels = c("Agua de 20 ml", "Lacto  
suero de 20 ml"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 12))
```

```
p.aov <- aov(humedad ~ almidon + plastificante + dilucion)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(humedad, almidon, mean)
```

```
tapply(humedad, dilucion, mean)
```

```
tapply(humedad, plastificante, mean)
```

```
plot(humedad ~ almidon)
```

```
plot(humedad ~ dilucion)
```

```
plot(humedad ~ dilucion)
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Aplicación 3.4. Análisis del rendimiento de caña de azúcar bajo riego

Un tesista evalúa tres cepas endémicas de *Trichoderma sp.*, en dos métodos de siembra para controlar *Damping off* en balsa (*Ochroma pyramidale*).

Se trata de un diseño con 3 factores a 3,2 y 3 niveles, con 3 réplicas por casilla:

Tabla 3.3 Programación en R para el análisis de un Diseño Factorial 3×3×2 con testigos en Bloques Completos al Azar (Cepas × Dosis × Método de siembra)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> cepas <- factor(rep(1:3, each = 20), labels = c("Trichoderma sp1", "Trichoderma sp2", "Trichoderma sp3")) </pre>	
<pre> cepas <- factor(rep(1:3, each = 20), labels = c("Trichoderma sp1", "Trichoderma sp2", "Trichoderma sp3")) </pre>	<p>Si fuera sólo rep(1:3, each = 9) indica que por cada cepa endémica se hagan 9 repeticiones, pero no le dice que haga otras 3 repeticiones debido a las 3 dosis de cepa para que de un total de 30 elementos por cada método de siembra. Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3, each = 9), 2) equivalente a “decirle a R: repite 2 veces (dos métodos de siembra), 9 repeticiones (por método de siembra), las 3 cepas endémicas: 3 cepas endémicas de <i>Trichoderma sp</i> (Factor A: a₁ <i>Trichoderma sp</i> 1, a₂ <i>Trichoderma sp</i> 2 y a₃ <i>Trichoderma sp</i> 3); 3 dosis de cepas endémicas (Factor B: b₁ 50 Gr/1Lt, b₂ 75 Gr/1Lt y b₃ 100 Gr/1Lt 3); 2 medios de siembra (Factor C: C₁ método de bolsa y C₂ método de camellón);</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <pre> a1 b1 c1 | 1 a1 b1 c1 | 2 a1 b1 c1 | 3 a1 b2 c1 | 1 a1 b2 c1 | 2 a1 b2 c1 | 3 a1 b3 c1 | 1 a1 b3 c1 | 2 a1 b3 c1 | 3 00 00 1|1(Testigo 1) a2 b1 c1 | 1 a2 b1 c1 | 2 a2 b1 c1 | 3 a2 b2 c1 | 1 a2 b2 c1 | 2 a2 b2 c1 | 3 a2 b3 c1 | 1 a2 b3 c1 | 2 a2 b3 c1 | 3 00 00 1|1(Testigo 2) a3 b1 c1 | 1 a3 b1 c1 | 2 a3 b1 c1 | 3 a3 b2 c1 | 1 a3 b2 c1 | 2 a3 b2 c1 | 3 a3 b3 c1 | 1 a3 b3 c1 | 2 a3 b3 c1 | 3 00 00 1|1(Testigo 3) </pre>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$\begin{array}{ccc|c} a_1 & b_1 & c_2 & 1 \\ a_1 & b_1 & c_2 & 2 \\ a_1 & b_1 & c_2 & 3 \\ a_1 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_1 & b_2 & c_2 & 2 \\ a_1 & b_2 & c_2 & 3 \\ a_1 & b_3 & c_2 & 1 \\ a_1 & b_3 & c_2 & 2 \\ a_1 & b_3 & c_2 & 3 \end{array}$
	$00 \quad 00 \quad 1|1(\text{Testigo 4})$
	$\begin{array}{ccc|c} a_2 & b_1 & c_2 & 1 \\ a_2 & b_1 & c_2 & 2 \\ a_2 & b_1 & c_2 & 3 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 2 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 3 \\ a_2 & b_3 & c_2 & 1 \\ a_2 & b_3 & c_2 & 2 \\ a_2 & b_3 & c_2 & 3 \end{array}$
	$00 \quad 00 \quad 1|1(\text{Testigo 5})$
	$\begin{array}{ccc|c} a_3 & b_1 & c_2 & 1 \\ a_3 & b_1 & c_2 & 2 \\ a_3 & b_1 & c_2 & 3 \\ a_3 & b_2 & c_2 & 1 \\ a_3 & b_2 & c_2 & 2 \\ a_3 & b_2 & c_2 & 3 \\ a_3 & b_3 & c_2 & 1 \\ a_3 & b_3 & c_2 & 2 \\ a_3 & b_3 & c_2 & 3 \end{array}$
	$00 \quad 00 \quad 1|1(\text{Testigo 6})$

```
siembra <-
factor(rep(rep(1:2,
each = 30), 3), labels
```

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>= c("Bolsa", "Camellon") bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 60)) p.aov <- aov(control ~ cepas + dosis + siembra) summary(p.aov) tapply(control, cepas, mean) tapply(control, dosis, mean) tapply(control, siembra, mean)</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Aplicación 3.5. Efecto de la fertilización en el contenido proteico del maíz

Se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de maíz duro (Factor A), dos tipos de labranza (Factor B) y tres dosis de nitrógeno (Factor C). Los Híbridos de maíz fueron: A1: H-012; A2: H-013 y A3: H-014. Los tipos de labranza fueron: B1: Labranza Convencional y B2: Labranza Reducida. Las dosis de nitrógeno fueron: C1 = 0 Kg/Ha de N; C2: 50 Kg/Ha de N y C3: 100 Kg/Ha de N. Existió espacio para realizar 3 repeticiones (Szigeti, Cardillo, Hennem & Calvet, 2014).

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz en kg/parcela al 13% de humedad

Tabla 3.4 Programación en R para el análisis de un Diseño Factorial 3×2×3 (Híbrido de maíz × Sistema de labranza × Dosis de nitrógeno) con interacción triple

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(2.50, 2.60, 3.10, 4.80, 5.60, 6.10, 6.60, 7.10, 8.50, 3.40, 4.20, 5.10, 5.60, 6.10, 6.90, 8.10, 8.90, 9.80, 3.12, 4.15, 5.10, 5.60, 5.90, 6.10, 7.10, 7.89, 8.13, 8.99, 9.60, 10.10, 5.10, 5.90, 6.12, 10.15, 11.12, 13.10, 1.49, 1.89, 1.99, 2.10, 2.99, 3.60, 3.89, 4.10, 4.50, 1.89, 2.10, 3.10, 5.10,	

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>5.89, 6.10, 7.10, 7.89, 7.99) maiz <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("H- 012", "H-013", "H-014")) labranza <- factor(rep(rep(1 :2, each = 9), 3), labels = c("Convenciona l", "Reducida")) dosis.nitro <- factor(rep(rep(1 :3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50 Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))</pre>	<p style="text-align: center;">Factor A</p> <p style="text-align: center;">Factor B</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor C, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 tratamie , each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamie ; es decir, has 3 repeticiones para c_i), 6 [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque c híbrido de maíz) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (maíz híbrido) has 3 repeticiones de 3 dosis de nitrógeno por cada sistema de labranza (2 sistemas)”: 3 híbridos de maíz (Factor A); 2 sistemas de labranza (Factor B); 3 dosis de nitrógeno (Factor C); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p>

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL
DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	a ₁ b ₁ c ₁ | 1
	a ₁ b ₁ c ₁ | 2
	a ₁ b ₁ c ₁ | 3
	a ₁ b ₁ c ₂ | 1
	a ₁ b ₁ c ₂ | 2
	a ₁ b ₁ c ₂ | 3
	a ₁ b ₁ c ₃ | 1
	a ₁ b ₁ c ₃ | 2
	a ₁ b ₁ c ₃ | 3
	a ₁ b ₂ c ₁ | 1
	a ₁ b ₂ c ₁ | 2
	a ₁ b ₂ c ₁ | 3
	a ₁ b ₂ c ₂ | 1
	a ₁ b ₂ c ₂ | 2
	a ₁ b ₂ c ₂ | 3
	a ₁ b ₂ c ₃ | 1
	a ₁ b ₂ c ₃ | 2
	a ₁ b ₂ c ₃ | 3
	a ₂ b ₁ c ₁ | 1
	a ₂ b ₁ c ₁ | 2
	a ₂ b ₁ c ₁ | 3
	a ₂ b ₁ c ₂ | 1
	a ₂ b ₁ c ₂ | 2
	a ₂ b ₁ c ₂ | 3
	a ₂ b ₁ c ₃ | 1
	a ₂ b ₁ c ₃ | 2
	a ₂ b ₁ c ₃ | 3
	a ₂ b ₂ c ₁ | 1
	a ₂ b ₂ c ₁ | 2
	a ₂ b ₂ c ₁ | 3
	a ₂ b ₂ c ₂ | 1
	a ₂ b ₂ c ₂ | 2
	a ₂ b ₂ c ₂ | 3
	a ₂ b ₂ c ₃ | 1
	a ₂ b ₂ c ₃ | 2
	a ₂ b ₂ c ₃ | 3

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios	
	a ₃ b ₁ c ₁ | 1	
	a ₃ b ₁ c ₁ | 2	
	a ₃ b ₁ c ₁ | 3	
	a ₃ b ₁ c ₂ | 1	
	a ₃ b ₁ c ₂ | 2	
	a ₃ b ₁ c ₂ | 3	
	a ₃ b ₁ c ₃ | 1	
	a ₃ b ₁ c ₃ | 2	
	a ₃ b ₁ c ₃ | 3	
	a ₃ b ₂ c ₁ | 1	
	a ₃ b ₂ c ₁ | 2	
	a ₃ b ₂ c ₁ | 3	
	a ₃ b ₂ c ₂ | 1	
	a ₃ b ₂ c ₂ | 2	
	a ₃ b ₂ c ₂ | 3	
	a ₃ b ₂ c ₃ | 1	
	a ₃ b ₂ c ₃ | 2	
	a ₃ b ₂ c ₃ | 3	
	<pre>p.aov <- aov(rendimient o ~ maiz * labranza * dosis.nitro)</pre>	
	<pre>summary(p.aov)</pre>	
	<pre>tapply(rendimie nto, maiz, mean)</pre>	
	<pre>tapply(rendimie nto, labranza, mean)</pre>	

CAPÍTULO 3. FAPLICACIONES AGRONÓMICAS E INDUSTRIALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)</pre>	
<pre>stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(rendimiento ~ labranza, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	

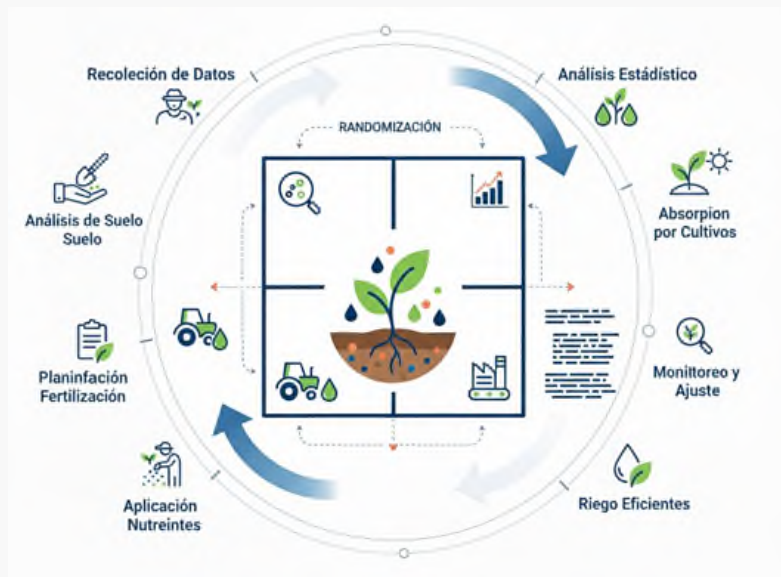
Fuente: Elaboración propia de los autores



EDITORIAL ANDES COGNITIO

CAPÍTULO IV

FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS



CAPÍTULO IV

FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Aplicación 4.1. Efecto de la fertilización en el contenido proteico del maíz

Se realizó un experimento para evaluar tres dosis de Nitrógeno (Factor A), dos niveles de Fósforo (Factor B) y tres dosis de potasio (Factor C). Las dosis de nitrógeno fueron: A1: 0; A2: 40 y A3: 80 kg/ha. Las dosis de fósforo fueron: B1: 0 y B2: 60 kg/ha. Las dosis de potasio fueron: C1: 0; C2: 30 y C3: 60 kg/ha. Existió suficiente espacio para realizar 3 repeticiones. La variable que se midió fue el rendimiento de sorgo en Kg/Parcela al 13% de humedad. La superficie del lote fue de 50 m x 60 m

Tabla 4.1 Análisis factorial 3×2×3 con 3 repeticiones en R

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(5.60, 6.10, 6.80, 6.70, 7.60, 8.10, 8.50, 8.90, 9.10, 7.80, 7.99, 8.10, 8.90, 9.10, 9.12, 9.13, 10.12, 11.05, 8.10, 8.60, 9.10, 9.45, 10.12, 11.20, 10.67, 11.60, 12.00, 10.12, 10.87, 11.12, 13.20, 14.12, 15.10, 14.60, 15.20,	

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>16.70, 12.30, 13.89, 14.60, 14.70, 15.89, 16.89, 15.30, 17.10, 18.98, 15.10, 16.50, 18.20, 16.70, 17.89, 19.10, 19.60, 20.25, 21.22)</pre>	
<pre>dosis.nitro <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("0 Kg/Ha", "40 Kg/Ha", "80 Kg/Ha"))</pre>	
<pre>dosis.fosforo <- factor(rep(rep(1: 2, each = 9), 3), labels = c("0 Kg/Ha", "60 Kg/Ha"))</pre>	
<pre>dosis.potasio <- factor(rep(rep(1: 3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha", "30 Kg/Ha", "60 Kg/Ha"))</pre>	<p>Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: $(\text{rep}(\text{rep}(1:3$ [El Factor C, dosis potasio tiene de 1 a 3 tratamient , each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamie ; es decir, has 3 repeticiones para c_i, 6 [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque de híbrido de maíz</p>

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (dosis nitrógeno) has 3 repeticiones de 3 dosis de potasio por cada dosis de fosforo (2 dosis)”:</p> <p>3 dosis de nitrógeno (Factor A); 2 dosis de fosforo (Factor B); 3 dosis de potasio (Factor C); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <pre> a1 b1 c1 | 1 a1 b1 c1 | 2 a1 b1 c1 | 3 a1 b1 c2 | 1 a1 b1 c2 | 2 a1 b1 c2 | 3 a1 b1 c3 | 1 a1 b1 c3 | 2 a1 b1 c3 | 3 a1 b2 c1 | 1 a1 b2 c1 | 2 a1 b2 c1 | 3 a1 b2 c2 | 1 a1 b2 c2 | 2 a1 b2 c2 | 3 a1 b2 c3 | 1 a1 b2 c3 | 2 a1 b2 c3 | 3 a2 b1 c1 | 1 a2 b1 c1 | 2 a2 b1 c1 | 3 a2 b1 c2 | 1 a2 b1 c2 | 2 a2 b1 c2 | 3 a2 b1 c3 | 1 a2 b1 c3 | 2 a2 b1 c3 | 3 </pre>

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	a ₂ b ₂ c ₁ | 1
	a ₂ b ₂ c ₁ | 2
	a ₂ b ₂ c ₁ | 3
	a ₂ b ₂ c ₂ | 1
	a ₂ b ₂ c ₂ | 2
	a ₂ b ₂ c ₂ | 3
	a ₂ b ₂ c ₃ | 1
	a ₂ b ₂ c ₃ | 2
	a ₂ b ₂ c ₃ | 3
	a ₃ b ₁ c ₁ | 1
	a ₃ b ₁ c ₁ | 2
	a ₃ b ₁ c ₁ | 3
	a ₃ b ₁ c ₂ | 1
	a ₃ b ₁ c ₂ | 2
	a ₃ b ₁ c ₂ | 3
	a ₃ b ₁ c ₃ | 1
	a ₃ b ₁ c ₃ | 2
	a ₃ b ₁ c ₃ | 3
	a ₃ b ₂ c ₁ | 1
	a ₃ b ₂ c ₁ | 2
	a ₃ b ₂ c ₁ | 3
	a ₃ b ₂ c ₂ | 1
	a ₃ b ₂ c ₂ | 2
	a ₃ b ₂ c ₂ | 3
	a ₃ b ₂ c ₃ | 1
	a ₃ b ₂ c ₃ | 2
	a ₃ b ₂ c ₃ | 3
<pre>p.aov <- aov(rendimiento ~ dosis.nitro * dosis.fosforo * dosis.potasio) summary(p.aov)</pre>	

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(rendimie nto, dosis.nitro, mean)</pre>	
<pre>tapply(rendimie nto, dosis.fosforo, mean)</pre>	
<pre>tapply(rendimie nto, dosis.potasio, mean)</pre>	
<pre>stripchart(rendi miento ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(rendi miento ~ dosis.fosforo, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(rendi miento ~ dosis.potasio, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Aplicación 4.2. Evaluación de la altura de plantas de maíz bajo diferentes dosis de N, P y K

Se realizó un experimento para evaluar tres dosis de Nitrógeno (Factor A), dos niveles de Fósforo (Factor B) y tres dosis de Potasio (Factor C). Las dosis de nitrógeno fueron: A1: 0; A2: 40 y A3: 80 kg/ha. Las dosis de fósforo fueron: B1: 0 y B2: 60 kg/ha. Las dosis de potasio fueron: C1: 0; C2: 30 y C3: 60 Kg/Ha. Existió suficiente espacio para realizar 3 repeticiones. La variable que se midió fue la altura de plantas de maíz H-5060 en Cm. La superficie del lote fue de 80 m x 90 m.

Tabla 4.2 Análisis factorial trifactorial en R (Variable: Altura)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>altura <- c(180, 185, 190, 186, 190, 192, 190, 197, 199, 210, 112, 115, 225, 230, 237, 226, 228, 232, 192, 198, 200, 200, 210, 212, 215, 219, 225, 218, 227, 230, 230, 235, 240, 232, 234, 238, 200, 210, 212, 121, 216, 224, 228, 236, 239, 234, 240, 242, 239, 245, 248, 240, 245, 255)</pre>	

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>dosis.nitro <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("0 Kg/Ha", "40 Kg/Ha", "80 Kg/Ha"))</pre>	<p style="text-align: center;">Factor A</p>
<pre>dosis.fosforo <- factor(rep(rep (1:2, each = 9), 3), labels = c("0 Kg/Ha", "60 Kg/Ha"))</pre>	<p style="text-align: center;">Factor B</p>
<pre>dosis.potasio <- factor(rep(rep (1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha", "30 Kg/Ha", "60 Kg/Ha"))</pre>	<p style="text-align: center;">Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor C, dosis potasio tiene de 1 a 3 tratamientos , each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien ; es decir, has 3 repeticiones para c_i), 6 [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque a_i de híbrido de maíz) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (dosis nitrógeno) has 3 repeticiones de 3 dosis de potasio por cada dosis de fosforo (2 dosis)”: 3 dosis de nitrógeno (Factor A); 2 dosis de fosforo (Factor B); 3 dosis de potasio (Factor C); 3 repeticiones o número</p>

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <pre> a1 b1 c1 | 1 a1 b1 c1 | 2 a1 b1 c1 | 3 a1 b1 c2 | 1 a1 b1 c2 | 2 a1 b1 c2 | 3 a1 b1 c3 | 1 a1 b1 c3 | 2 a1 b1 c3 | 3 a1 b2 c1 | 1 a1 b2 c1 | 2 a1 b2 c1 | 3 a1 b2 c2 | 1 a1 b2 c2 | 2 a1 b2 c2 | 3 a1 b2 c3 | 1 a1 b2 c3 | 2 a1 b2 c3 | 3 a2 b1 c1 | 1 a2 b1 c1 | 2 a2 b1 c1 | 3 a2 b1 c2 | 1 a2 b1 c2 | 2 a2 b1 c2 | 3 a2 b1 c3 | 1 a2 b1 c3 | 2 a2 b1 c3 | 3 a2 b2 c1 | 1 a2 b2 c1 | 2 a2 b2 c1 | 3 </pre>

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$a_2 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 1$ $a_2 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 2$ $a_2 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 3$ $a_2 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 1$ $a_2 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 2$ $a_2 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 3$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_1 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_1 \quad c_1 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_1 \quad c_1 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_1 \quad c_2 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_1 \quad c_2 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_1 \quad c_2 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_1 \quad c_3 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_1 \quad c_3 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_1 \quad c_3 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_2 \quad c_1 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_2 \quad c_1 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_2 \quad c_1 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 3$
<pre>p.aov <- aov(altura ~ dosis.nitro * dosis.fosforo * dosis.potasio) summary(p.aov)</pre>	

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(altura, dosis.nitro, mean)</pre>	
<pre>tapply(altura, dosis.fosforo, mean)</pre>	
<pre>tapply(altura, dosis.potasio, mean)</pre>	
<pre>stripchart(altura ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(altura ~ dosis.fosforo, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(altura ~ dosis.potasio, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Aplicación 4.3. Efecto combinado de nitrógeno, fósforo y potasio en la altura de plantas de maíz.

Se realizó un experimento para evaluar dos híbridos de maíz duro (Factor A): A1 = H-1045 y A2 = H-1052 y dos niveles de Nitrógeno en Kg/Ha: B1 = 0 y B2 = 80 Kg/Ha de N. Se tuvieron 4 repeticiones (Eiselt & Sandblom, 2009). El investigador previamente identificó una fuente de variabilidad conocida que fue la pendiente. La variable que se midió fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela al 13% de humedad.

Variación 1

Tabla 4.3 ANOVA factorial 2x2 (Hibrido de maíz × Dosis de nitrógeno) para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>rendimiento <- c(4.20, 5.67, 6.78, 8.12, 9.12, 13.45, 17.89, 20.12, 7.89, 9.87, 12.56, 14.56, 6.78, 7.89, 10.23, 11.20)</pre>	
<pre>hib.maiz <- factor(rep(1:2, each = 8), labels = c("H-1045", "H- 1052"))</pre>	<p>Factor A. El factor A, los híbridos de maíz son dos (a₁ es H-1045 y a₂ es H-1052). Tal que, cada bloque tendrá 8 elementos en total.</p>
<pre>dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 4), 2), labels = c("0 Kg/Ha", "60 Kg/Ha"))</pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores A-B: Generalmente, en el caso de híbridos se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:2 [El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 2 dósiss] , each = 4 [Has 4 repeticiones en cada sub bloque de tratam</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 8)) p.aov <- aov(rendimiento ~ </pre>	<p>; es decir, has 4 repeticiones para b_i), 2 [Son 2 bloques de tratamiento o, en este caso, 2 bloques, pues cada híbrido es un bloque, a_1 es 1ro y a_2 es 2do]) equivalente a “decirle a R: en 2 bloques has 4 repeticiones de las 2 dosis de fertilización para los dos híbridos de maíz: 2 híbridos de maíz (Factor A); 2 niveles de fertilización (Factor B); 4 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <pre> a1 b1 | 1 a1 b1 | 2 a1 b1 | 3 a1 b1 | 4 a2 b2 | 1 a2 b2 | 2 a2 b2 | 3 a2 b2 | 4 a2 b1 | 1 a2 b1 | 2 a2 b1 | 3 a2 b1 | 4 a2 b2 | 1 a2 b2 | 2 a2 b2 | 3 a2 b2 | 4 </pre>

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>hib.maiz * dosis.nitro) summary(p.aov) tapply(rendimiento , hib.maiz, mean) tapply(rendimiento , dosis.nitro, mean) stripchart(rendimie nto ~ hib.maiz, method = "stack") stripchart(rendimie nto ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

```
rendimiento <- c(4.20, 5.67, 6.78, 8.12, 9.12, 13.45, 17.89, 20.12, 7.89, 9.87,
12.56, 14.56, 6.78, 7.89, 10.23, 11.20, 4.30, 5.32, 4.27, 8.10, 12.45, 20.11, 7.84,
9.84, 11.56, 13.56, 6.45)
```

```
hib.maiz <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("H-1045", "H-1052"))
```

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 Kg/Ha", "60
Kg/Ha"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 9))
```

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ hib.maiz * dosis.nitro)
summary(p.aov)
tapply(rendimiento, hib.maiz, mean)
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)
stripchart(rendimiento ~ hib.maiz, method = "stack")
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Variación 3

```
rendimiento <- c(13.45, 17.89, 20.12, 9.87, 12.56, 14.56, 10.23, 11.20)
hib.maiz <- factor(rep(1:1, each = 8), labels = c("H-1045", "H-1052"))
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:1, each = 2), 4), labels = c("0 Kg/Ha", "60
Kg/Ha"))
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 4))
p.aov <- aov(rendimiento ~ hib.maiz * dosis.nitro)
summary(p.aov)
tapply(rendimiento, hib.maiz, mean)
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)
stripchart(rendimiento ~ hib.maiz, method = "stack")
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Variación 4

```
rendimiento <- c(4.20, 5.67, 6.78, 8.12, 9.12, 13.45, 17.89, 20.12, 7.89, 9.87,  
12.56, 14.56, 6.78, 7.89, 10.23, 11.20, 6.77, 8.10, 9.10, 12.53, 20.10, 7.65, 9.56,  
11.56, 13.56, 6.45, 7.56, 10.21, 11.46, 6.45, 8.09, 11.15)
```

```
hib.maiz <- factor(rep(1:4, each = 8), labels = c("H-1045", "H-1052"))
```

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:4, each = 2), 4), labels = c("0 Kg/Ha", "60  
Kg/Ha"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:4, each = 1), 8))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ hib.maiz * dosis.nitro)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(rendimiento, hib.maiz, mean)
```

```
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)
```

```
stripchart(rendimiento ~ hib.maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Aplicación 4.4. Interacción entre nutrientes en el rendimiento del maíz (N, P y K)

Considérese un experimento en que se quiere estudiar el efecto de los factores de velocidad de alimentación y profundidad de corte sobre el acabado de un metal. Aunque los factores son de naturaleza continua, en este proceso sólo se pueden trabajar en 3 y 4 niveles, respectivamente (Rosales, 2001). Entonces, se decide correr un factorial completo 4*3 con tres réplicas, que permitirá obtener toda la información relevante en relación al efecto de estos factores sobre el acabado.

Variación 1

Tabla 4.4 ANOVA factorial 4×3 (Profundidad × Velocidad) para la variable acabado

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>acabado <- c(74, 64, 60, 92, 86, 88, 99, 98, 102, 79, 68, 73, 98, 104, 88, 104, 99, 95, 82, 88, 92, 99, 108, 95, 108, 110, 99, 99, 104, 96, 104, 110, 99, 114, 111, 107)</pre>	
<pre>profundidad <- factor(rep(1:4,</pre>	<p>El Factor A, profundidad tiene de 1 a 4 combinaciones ("0.15 pulg.", "0.18 pulg.", "0.21 pulg.", "0.24 pulg.") con</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>each = 9), labels = c("0.15 pulg.", "0.18 pulg.", "0.21 pulg.", "0.24 pulg.") velocidad <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 4), labels = c("0.20 rpm", "0.25 rpm", "0.30 rpm"))</pre>	<p>nueve elementos de combinación por cada bloque; En total, por cuatro bloques, equivale a 36 elementos.</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A-B: Generalmente, en el caso de velocidad se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: $(\text{rep}(\text{rep}(1:3$ [El Factor B, velocidad tiene de 1 a 3 velocidades], $\text{each} = 3$ [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamiento]; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 4 [Son 4 bloques de tratamiento o, en este caso, cuatro bloques, pues cada nivel de profundidad es a_1 es 1ro, a_2 es 2do, a_3 es 3ro y a_4 es 4to]) equivalente a “decirle a R: en 4 bloques has 3 repeticiones de las 3 velocidades:</p> <p>4 combinaciones de profundidad (Factor A); 3 niveles de velocidad (Factor B); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> $\begin{matrix} a_1b_1 & | & 1 \\ a_1b_2 & | & 2 \\ a_1b_3 & | & 3 \end{matrix}$

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$\begin{matrix} a_1 b_2 & | & 1 \\ a_1 b_2 & | & 2 \\ a_1 b_2 & | & 3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} a_1 b_3 & | & 1 \\ a_1 b_3 & | & 2 \\ a_1 b_3 & | & 3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} a_2 b_1 & | & 1 \\ a_2 b_1 & | & 2 \\ a_2 b_1 & | & 3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} a_2 b_2 & | & 1 \\ a_2 b_2 & | & 2 \\ a_2 b_2 & | & 3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} a_2 b_3 & | & 1 \\ a_2 b_3 & | & 2 \\ a_2 b_3 & | & 3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} a_3 b_1 & | & 1 \\ a_3 b_1 & | & 2 \\ a_3 b_1 & | & 3 \end{matrix}$

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:4, each = 1), 9)) </pre>	a_3b_2 | 1 a_3b_2 | 2 a_3b_2 | 3
	a_3b_3 | 1 a_3b_3 | 2 a_3b_3 | 3
	a_4b_1 | 1 a_4b_1 | 2 a_4b_1 | 3
	a_4b_2 | 1 a_4b_2 | 2 a_4b_2 | 3
	a_4b_3 | 1 a_4b_3 | 2 a_4b_3 | 3

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>p.aov <- aov(acabado ~ profundidad * velocidad) summary(p.aov) tapply(acabado, , profundidad, mean) tapply(acabado, , velocidad, mean)</pre>	

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>stripchart(acab ado ~ profundidad, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(acab ado ~ velocidad, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Aplicación 4.5. Comparación de dosis de fertilización en el desarrollo de maíz

Se realizó un experimento para evaluar seis híbridos de maíz duro. Se tuvieron tres repeticiones. La variable que se midió fue el rendimiento de maíz al 13% de humedad en Kg/Parcela como efecto de los tratamientos.

Variación 1

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz al 13% de humedad en Kg/Parcela como efecto de los tratamientos en 2012.

```
H.2345 <- c(5.5, 6.8, 7.7)
```

```
H.2348 <- c(7.3, 9.5, 10.2)
```

```
H.2356 <- c(14.5, 15.7, 16.9)
```

```
H.6040 <- c(18.2, 19.3, 20.4)
```

```
H.6062 <- c(22.5, 23.5, 25.7)
```

```
H.550.Testigo <- c(6.7, 7.8, 8.9)
```

```
rend.maiz <- c(H.2345, H.2348, H.2356, H.6040, H.6062, H.550.Testigo)
```

```
variedades <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2348", "H-2356", "H-6040", "H-6062", "H-550-Testigo"))
```

```
tapply(rend.maiz, variedades, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(rend.maiz ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rend.maiz ~ variedades, method="stack")
```

```
plot(rend.maiz ~ variedades)
```

```
g.lm <- lm(rend.maiz ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rend.maiz ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz al 13% de humedad en Kg/Parcela como efecto de los tratamientos en 2013.

Tabla 4.5 ANOVA de un factor (Variedades de maíz) para el rendimiento con tres repeticiones

Programación de software R	Observaciones o comentarios
H.2345 <- c(6, 7, 8)	
H.2348 <- c(8,10, 11)	
H.2356 <- c(13, 14, 15)	
H.6040 <- c(17, 18, 19)	
H.6062 <- c(25, 26, 28)	
H.550.Testigo <- c(7, 8, 9)	
rend.maiz <- c(H.2345, H.2348, H.2356, H.6040, H.6062, H.550.Testigo)	

CAPÍTULO 4. FERTILIZACIÓN Y MANEJO DE NUTRIENTES EN CULTIVOS

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> variedades <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H- 2348", "H-2356", "H-6040", "H-6062", "H-550- Testigo")) tapply(rend.maiz, variedades, summary) bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3)) p.aov <- aov(rend.maiz ~ variedades) model.tables(p.aov, type = "mean") summary(p.aov) stripchart(rend.maiz ~ variedades, method="stack") plot(rend.maiz ~ variedades) g.lm <- lm(rend.maiz ~ variedades) anova(g.lm) lm(rend.maiz ~ variedades) summary(g.lm) </pre>	<p>Comando “rep(rep(1:6, each = 1), 3)” crea la variable para mediar la varianza entre bloques en el posterior ANOVA, que en este caso son 6 tratamientos, con 4 repeticiones (Semarnat & Conafor, 2019). Si el resultado no sale en el ANOVA es que no es significativa la varianza entre bloques.</p>

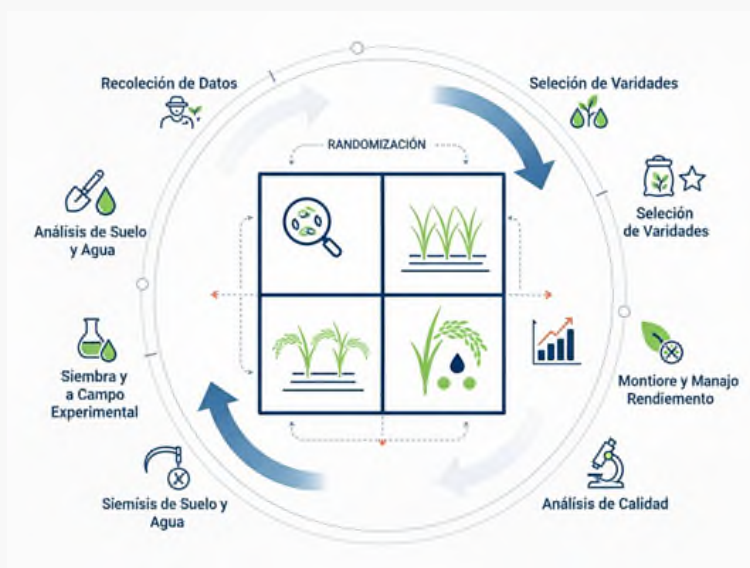
Fuente: Elaboración propia de los autores



EDITORIAL ANDES COGNITIO

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ



CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.1. Evaluación de 10 líneas promisorias de arroz en distintos ambientes y años

Se realizó un experimento para evaluar 10 líneas promisorias de arroz, con tres repeticiones. Se utilizó un DBCA. Inicialmente el investigador estuvo interesado en realizar este experimento en una localidad (Experimento sencillo). En función de los resultados, decidió evaluar este mismo experimento en dos localidades (Experimento combinado en dos localidades). Como el investigador tenía recursos económicos suficientes, decidió este experimento evaluarlo en dos años (experimento combinado entre localidades y años) (Broz, Mac Donagh, Arce & Yapura, 2017).

1a) La variable que se midió fue promedios de los tratamientos en la variable rendimiento de arroz en Kg/Parcela.

T.Testigo <- c(5.50)

T2 <- c(7.60)

T3 <- c(8.90)

T4 <- c(12.10)

T5 <- c(8.60)

T6 <- c(17.30)

T7 <- c(12.20)

T8 <- c(11.78)

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
T9 <- c(24.12)
```

```
T10 <- c(5.12)
```

```
rend.arroz <- c(T.Testigo, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10)
```

```
variedades <- gl(10, 1, labels = c("T.Testigo", "T2", "T3", "T4", "T5", "T6", "T7",  
"T8", "T9", "T10"))
```

```
tapply(rend.arroz, variedades, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:10, each = 1), 1))
```

```
p.aov <- aov(rend.arroz ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rend.arroz ~ variedades, method="stack")
```

```
plot(rend.arroz ~ variedades)
```

```
g.lm <- lm(rend.arroz ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rend.arroz ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.2. Análisis de rendimiento de arroz en experimentos simples y combinados

Se realizó un experimento para evaluar dos híbridos de maíz duro (Factor A): A1 = H-1032 y A2 = H-1450 y dos niveles de Nitrógeno en Kg/Ha: B1 = 0 y B2 = 90 Kg/Ha de N. Se tuvieron 3 repeticiones. El investigador previamente identificó una fuente de variabilidad conocida que fue la pendiente.

Variación 1

La variable que se midió fue el diámetro de la mazorca (Tisa).

Tabla 5.1 ANOVA factorial 2×2 (Hibrido de maíz × Dosis de nitrógeno) para el diámetro

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>diametro <- c(3.5, 4.6, 4.9, 5.9, 6.8, 7.7, 4.6, 4.9, 6.8, 4.1, 4.5, 5.9)</pre>	
<pre>hib.maiz <- factor(rep(1: 2, each = 6), labels = c("H-1032", "H-1450"))</pre>	Factor A
<pre>dosis.nitro <- factor(rep(re p(1:2, each =</pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores A-B: Generalmente, en el caso de velocidad se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:2</p>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>o ~ hib.maiz * dosis.nitro) summary(p.a ov) tapply(diame tro, hib.maiz, mean) tapply(diame tro, dosis.nitro, mean) stripchart(di ametro ~ hib.maiz, method = "stack") stripchart(di ametro ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Variación 2

La variable que se midió fue el rendimiento en Kg/Parcela (Tisa).

Tabla 5.2 ANOVA factorial 2×2 (Híbrido de maíz × Dosis de nitrógeno) para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>rendimiento <- c(7.9, 8.4, 9.1, 11.2, 12.5, 13.3, 8.9, 9.2, 10.3, 9.9, 10.7, 11.4) hib.maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels = c("H- 1032", "H- 1450")) dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 3), 2), labels = c("0 Kg/Ha", "90 Kg/Ha"))</pre>	<p style="text-align: center;">Factor A</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A-B: Generalmente, en el caso de velocidad se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: <code>(rep(rep(1:2</code> [El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 2 niveles de <code>, each = 3</code> [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien <code>; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 2</code> [Son 2 bloques de tratamiento, pues cada nivel de pr <code>a_1 es 1ro y a_2 es 2do])</code> equivalente a “decirle a R: en 2 bloques has 3 repeticiones de las 3 niveles de fertilización de nitrogeno:</p>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6)) p.aov <- aov(rendimiento ~ hib.maiz * dosis.nitro) summary(p.aov) tapply(rendimiento, hib.maiz, mean) </pre>	<p>2 híbridos de maíz (Factor A); 2 niveles de velocidad (Factor B); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <p> a_1b_1 1 a_1b_1 2 a_1b_1 3 a_1b_2 1 a_1b_2 2 a_1b_2 3 a_2b_1 1 a_2b_1 2 a_2b_1 3 a_2b_2 1 a_2b_2 2 a_2b_2 3 </p>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean) stripchart(rendimiento ~ hib.maiz, method = "stack") stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.3. Ensayo de variedades de arroz en dos localidades.

Se realizó un experimento para evaluar seis variedades de soya . Se tuvieron tres repeticiones.

Variación 1

La variable que se midió fue el rendimiento de soya en Kg/Parcela en el año 2012.

```
Jupiter <- c(3.3, 3.8, 3.9)
```

```
I.302 <- c(4.6, 4.9, 5.2)
```

```
I.303 <- c(4.8, 4.9, 5.4)
```

```
I.304 <- c(5.5, 5.9, 6.1)
```

```
L.1050 <- c(8.3, 8.5, 8.9)
```

```
L.1020 <- c(8.5, 8.9, 9.1)
```

```
rend.soya <- c(Jupiter, I.302, I.303, I.304, L.1050, L.1020)
```

```
variedades <- gl(6, 3, labels = c("Jupiter", "I-302", "I-303", "I-304", "L-1050",  
"L-1020"))
```

```
tapply(rend.soya, variedades, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(rend.soya ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rend.soya ~ variedades, method="stack")
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
plot(rend.soya ~ variedades)

g.lm <- lm(rend.soya ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rend.soya ~ variedades)

summary(g.lm)
```

Variación 2

La variable que se midió fue el rendimiento de soya en Kg/Parcela en el año 2013.

```
Jupiter <- c(5.3, 5.4, 5.7)

I.302 <- c(6.6, 6.9, 7.2)

I.303 <- c(6.9, 7.3, 7.5)

I.304 <- c(8.3, 8.5, 8.9)

L.1050 <- c(10.5, 10.9, 11.3)

L.1020 <- c(10.8, 10.9, 11.6)

rend.soya <- c(Jupiter, I.302, I.303, I.304, L.1050, L.1020)

variedades <- gl(6, 3, labels = c("Jupiter", "I-302", "I-303", "I-304", "L-1050",
"L-1020"))

tapply(rend.soya, variedades, summary)

bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))

p.aov <- aov(rend.soya ~ variedades)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rend.soya ~ variedades, method="stack")
```

```
plot(rend.soya ~ variedades)
```

```
g.lm <- lm(rend.soya ~ variedades)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rend.soya ~ variedades)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.4. Comparación del rendimiento de arroz en diferentes años agrícolas

Mediante un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en arreglo factorial se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de sorgo (Factor A), dos densidades de siembra (Factor B) y tres dosis de nitrógeno (Factor C). Los Híbridos de sorgo fueron: A1: H-S010; A2: H-S011 y A3: H-S020. Las dos densidades de siembra fueron: B1: 90.000 y B2: 120.000 Plantas/Ha (Mijangos, 2019). Las dosis de Nitrógeno fueron: C1 = 0 Kg/Ha de N; C2: 40 Kg/Ha de N y C3: 80 Kg/Ha de N. Existió espacio para realizar 3 repeticiones.

Variación 1

Las variables que se midieron fueron rendimiento en Kg/Parcela en el año 2012.

Tabla 5.3 ANOVA factorial $3 \times 2 \times 3$ (Hibrido de sorgo \times Densidad de siembra \times Dosis de nitrógeno) para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento	
<- c(1.55,	
2.65, 2.85,	
4.99, 5.86,	
6.77, 6.87,	
7.79, 8.77,	
4.46, 5.28,	
5.95, 5.63,	
6.15, 7.96,	
8.20, 9.96,	
9.85, 2.98,	
3.87, 4.88,	
4.90, 5.30,	
5.80, 6.80,	
6.90, 7.10,	

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios																																																																																										
<pre> dosis.nitrogeno <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha", "40 Kg/Ha", "80 Kg/Ha")) </pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor C, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 tratamientos , each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamiento ; es decir, has 3 repeticiones para c_i), 6 [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque a_1) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (maíz híbrido) has 3 repeticiones de 3 dosis de nitrógeno por cada sistema de labranza (2 sistemas)”: 3 híbridos de maíz (Factor A); 2 sistemas de labranza (Factor B); 3 dosis de nitrógeno (Factor C); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_3</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_3</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_3</td><td> </td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	a_1	b_1	c_1		1	a_1	b_1	c_1		2	a_1	b_1	c_1		3	a_1	b_1	c_2		1	a_1	b_1	c_2		2	a_1	b_1	c_2		3	a_1	b_1	c_3		1	a_1	b_1	c_3		2	a_1	b_1	c_3		3	a_1	b_2	c_1		1	a_1	b_2	c_1		2	a_1	b_2	c_1		3	a_1	b_2	c_2		1	a_1	b_2	c_2		2	a_1	b_2	c_2		3	a_1	b_2	c_3		1	a_1	b_2	c_3		2	a_1	b_2	c_3		3
a_1	b_1	c_1		1																																																																																							
a_1	b_1	c_1		2																																																																																							
a_1	b_1	c_1		3																																																																																							
a_1	b_1	c_2		1																																																																																							
a_1	b_1	c_2		2																																																																																							
a_1	b_1	c_2		3																																																																																							
a_1	b_1	c_3		1																																																																																							
a_1	b_1	c_3		2																																																																																							
a_1	b_1	c_3		3																																																																																							
a_1	b_2	c_1		1																																																																																							
a_1	b_2	c_1		2																																																																																							
a_1	b_2	c_1		3																																																																																							
a_1	b_2	c_2		1																																																																																							
a_1	b_2	c_2		2																																																																																							
a_1	b_2	c_2		3																																																																																							
a_1	b_2	c_3		1																																																																																							
a_1	b_2	c_3		2																																																																																							
a_1	b_2	c_3		3																																																																																							

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	a ₂ b ₁ c ₁ | 1
	a ₂ b ₁ c ₁ | 2
	a ₂ b ₁ c ₁ | 3
	a ₂ b ₁ c ₂ | 1
	a ₂ b ₁ c ₂ | 2
	a ₂ b ₁ c ₂ | 3
	a ₂ b ₁ c ₃ | 1
	a ₂ b ₁ c ₃ | 2
	a ₂ b ₁ c ₃ | 3
	a ₂ b ₂ c ₁ | 1
	a ₂ b ₂ c ₁ | 2
	a ₂ b ₂ c ₁ | 3
	a ₂ b ₂ c ₂ | 1
	a ₂ b ₂ c ₂ | 2
	a ₂ b ₂ c ₂ | 3
	a ₂ b ₂ c ₃ | 1
	a ₂ b ₂ c ₃ | 2
	a ₂ b ₂ c ₃ | 3
	a ₃ b ₁ c ₁ | 1
	a ₃ b ₁ c ₁ | 2
	a ₃ b ₁ c ₁ | 3
	a ₃ b ₁ c ₂ | 1
	a ₃ b ₁ c ₂ | 2
	a ₃ b ₁ c ₂ | 3
	a ₃ b ₁ c ₃ | 1
	a ₃ b ₁ c ₃ | 2
	a ₃ b ₁ c ₃ | 3
	a ₃ b ₂ c ₁ | 1
	a ₃ b ₂ c ₁ | 2
	a ₃ b ₂ c ₁ | 3
	a ₃ b ₂ c ₂ | 1
	a ₃ b ₂ c ₂ | 2
	a ₃ b ₂ c ₂ | 3

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> p.aov <- aov(rendimiento ~ sorgo * siembra * dosis.nitrogeno) summary(p.aov) tapply(rendimiento, sorgo, mean) tapply(rendimiento, siembra, mean) tapply(rendimiento, dosis.nitrogeno, mean) stripchart(rendimiento ~ sorgo,</pre>	<pre> a3 b2 c3 | 1 a3 b2 c3 | 2 a3 b2 c3 | 3</pre>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ siembra, method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitrogeno, method = "stack")	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

Las variables que se midieron fueron rendimiento en Kg/Parcela en el año 2013.

```
rendimiento <- c(2.10, 2.50, 2.99, 4.11, 4.87, 5.10, 6.12, 6.90, 7.10, 3.12, 4.89,
5.99, 6.10, 6.99, 7.12, 10.4, 10.8, 11.12, 3.70, 4.87, 5.10, 4.12, 5.99, 6.99, 7.10,
7.99, 8.87, 6.12, 6.99, 7.56, 10.50, 11.10, 12.10, 13.50, 13.99, 14.12, 2.30, 2.99,
3.10, 5.40, 6.99, 7.89, 4.10, 4.90, 5.10, 1.10, 1.70, 2.10, 4.89, 5.20, 6.99, 3.20,
3.99, 4.20)
```

```
sorgo <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("HS010", "HS011", "HS020"))
```

```
siembra <- factor(rep(rep(1:2, each = 9), 3), labels = c("90 mil plantas.Ha", "120
mil plantas.Ha"))
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
dosis.nitrogeno <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha", "40 Kg/Ha", "80 Kg/Ha"))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ sorgo * siembra * dosis.nitrogeno)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(rendimiento, sorgo, mean)
```

```
tapply(rendimiento, siembra, mean)
```

```
tapply(rendimiento, dosis.nitrogeno, mean)
```

```
stripchart(rendimiento ~ sorgo, method = "stack")
```

```
stripchart(rendimiento ~ siembra, method = "stack")
```

```
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitrogeno, method = "stack")
```

Aplicación 5.5. Evaluación de accesiones de quinua: diámetro de panojas

Mediante Diseño de Bloques Completos al Azar se realizó un experimento para evaluar 11 accesiones de quinua (tratamientos) con tres repeticiones (Murillo, 2016). Lavariable a medir fue diámetro de las panojas de Quinua por Cm.

Variación 1

Localidad Laguacoto I:

```
T1 <- c(6.65, 6.05, 6.51)
```

```
T2 <- c(7.54, 6.65, 7.63)
```

```
T3 <- c(6.72, 5.7, 6.08)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
T4 <- c(7.29, 5.98, 7.78)
```

```
T5 <- c(6.78, 5.34, 5.93)
```

```
T6 <- c(6.49, 5.32, 5.55)
```

```
T7 <- c(6.98, 7.96, 6.18)
```

```
T8 <- c(6.46, 5.19, 6.39)
```

```
T9 <- c(7.38, 6.68, 9.25)
```

```
T10 <- c(5.76, 4.49, 5.64)
```

```
T11 <- c(8.44, 7.54, 11.14)
```

```
diametro <- c(T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11)
```

```
variedad <- gl(11, 3, labels = c("T1", "T2", "T3", "T4", "T5", "T6", "T7", "T8",  
"T9", "T10", "T11"))
```

```
tapply(diametro, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:11, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(diametro ~ variedad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(diametro ~ variedad, method="stack")
```

```
plot(diametro ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(diametro ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
lm(diametro ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

Localidad El Carbón:

```
T1 <- c(7.65, 8.76, 9.99)
```

```
T2 <- c(8.99, 9.76, 10.78)
```

```
T3 <- c(9.80, 10.12, 12.15)
```

```
T4 <- c(9.99, 11.12, 12.99)
```

```
T5 <- c(10.10, 10.99, 13.20)
```

```
T6 <- c(12.89, 12.99, 14.50)
```

```
T7 <- c(14.23, 14.87, 15.10)
```

```
T8 <- c(13.89, 14.90, 15.10)
```

```
T9 <- c(17.20, 18.20, 20.20)
```

```
T10 <- c(6.40, 6.78, 7.69)
```

```
T11 <- c(25.70, 27.30, 30.35)
```

```
diametro <- c(T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11)
```

```
variedad <- gl(11, 3, labels = c("T1", "T2", "T3", "T4", "T5", "T6", "T7", "T8",  
"T9", "T10", "T11"))
```

```
tapply(diametro, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:11, each = 1), 3))
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
p.aov <- aov(diametro ~ variedad)
model.tables(p.aov, type = "mean")
summary(p.aov)
stripchart(diametro ~ variedad, method="stack")
plot(diametro ~ variedad)
g.lm <- lm(diametro ~ variedad)
anova(g.lm)
lm(diametro ~ variedad)
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.6. Comparación de variedades de quinua en dos localidades

Mediante DBCA se realizó un experimento para evaluar dos híbridos de maíz duro (Factos A): A1 = H-1050 y A2 = H-1051 y dos niveles de nitrógeno (Factor B): B1 = 0 y B2 = 100 Kg/Ha de N. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial común de 2 x 2 (dos factores con dos tipos y dos niveles), porque existió un efecto de pendiente. Se tuvieron 3 repeticiones. Las variables que se evaluaron fueron el rendimiento de maíz en Kg/Parcela y la longitud de la mazorca en Cm.

Variación 1

La variable que se evaluó fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela:

Tabla 5.4 ANOVA factorial 2x2 (Hibrido de maíz × Dosis de nitrógeno) con efecto de bloque para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(5.4, 5.9, 6.3, 10.2, 11.3, 12.5, 6.9, 7.8, 8.9, 9.5, 10.2, 10.9)	
maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels = c("H1050", "H1051"))	Factor A , generalmente, este tipo de factor (variedades sólo se representan con sus repeticiones) . En este caso sería las repeticiones de 1 a 2 híbridos de maíz con 6 repeticiones por cada híbrido : híbrido H-050 dosis 0 kg/ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-021 dosis 1000 kg/ha de N con 3 repeticiones (Mora, 2019).
dosisnitro <- factor(rep(rep(	Efecto Interacción entre los Factores A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera,

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>1:2, each = 3), 2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "100 Kg de N/Ha"))</pre>	<p>pues sería lo correcto: (rep(rep(1:2</p> <p>[El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 2 niveles],</p> <p>= 3</p> <p>[Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien</p> <p>; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 2</p> <p>[Son dos bloques de tratamiento, pues cada híbrido a_1 es e1ro y a_2 es 2do y]) equivalente a “decirle a R: en</p> <p>2 bloques (híbridos de maíz) has 3 repeticiones de los 2 dosis</p> <p>de Nitrógeno/Ha:</p> <p>2 híbridos de maíz (Factor A); 2 dosis de nitrógeno (Factor B); 2 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> $\begin{array}{cc|c} a_1 & b_1 & 1 \\ a_1 & b_1 & 2 \\ a_1 & b_1 & 3 \\ a_1 & b_2 & 1 \\ a_1 & b_2 & 2 \\ a_1 & b_2 & 3 \\ \\ a_2 & b_1 & 1 \\ a_2 & b_1 & 2 \\ a_2 & b_1 & 3 \\ a_2 & b_2 & 1 \\ a_2 & b_2 & 2 \\ a_2 & b_2 & 3 \end{array}$ <p><u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “2 híbridos de maíz” (Factor A) con “3 repeticiones o número de bloques” solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p> <p><u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “2 híbridos de maíz” (Factor A) con “2 de</u></p>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6)) tapply(rendimi ento, maiz, mean) tapply(rendimi ento, dosisnitro, mean) xtabs(rendimie nto ~ maiz + dosisnitro) p.aov <- aov(rendimient o ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitr o + bloque) summary(p.aov) stripchart(rend imiento ~ </pre>	<p><u>dosis de N/Ha” (Factor B) solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> maiz, method = "stack") stripchart(rend imiento ~ dosisnitro, method = "stack") interaction.plot (maiz, dosisnitro, rendimiento, legend = T) interaction.plot (dosisnitro, maiz, rendimiento, legend = T) </pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

La variable que se evaluó fue longitud de la mazorca en Cm.

```
longitud <- c(7.6, 8.9, 9.9, 12.3, 13.5, 14.9, 8.9, 9.9, 10.2, 10.5, 11.6, 12.8)
```

```
maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels = c("H1050", "H1051"))
```

```
dosisnitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 3), 2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "100
Kg de N/Ha"))
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6))  
  
tapply(longitud, maiz, mean)  
  
tapply(longitud, dosisnitro, mean)  
  
xtabs(longitud ~ maiz + dosisnitro)  
  
p.aov <- aov(longitud ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitro + bloque)  
  
summary(p.aov)  
  
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")  
  
stripchart(longitud ~ dosisnitro, method = "stack")  
  
interaction.plot(maiz, dosisnitro, longitud, legend = T)  
  
interaction.plot(dosisnitro, maiz, longitud, legend = T)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.7. Ensayo de variedades de quinua en distintos ambientes productivos

Mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar se realizó un experimento para evaluar seis híbridos de maíz duro (Muñoz, Ochoa & Morales, 2011). Se tuvieron tres repeticiones.

Variación 1

La variable a medir fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela en el año 2013:

```
H2345 <- c(7.65, 8.76, 9.99)
H2348 <- c(8.99, 9.76, 10.78)
H2356 <- c(9.80, 10.12, 12.15)
H6040 <- c(9.99, 11.12, 12.99)
H6062 <- c(10.10, 10.99, 13.20)
H550 <- c(12.89, 12.99, 14.50)

rendimiento <- c(H2345, H2348, H2356, H6040, H6062, H550)

variedad <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2356", "H-6040", "H-6062",
"Testigo"))

tapply(rendimiento, variedad, summary)

bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```

Variación 2

La variable a medir fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela en el año 2014:

```
H2345 <- c(6.2, 7.6, 8.5)
```

```
H2348 <- c(8.4, 10.5, 11.6)
```

```
H2356 <- c(13.4, 14.8, 15.7)
```

```
H6040 <- c(17.3, 18.4, 19.5)
```

```
H6062 <- c(25.2, 26.4, 28.5)
```

```
H550 <- c(7.2, 8.4, 9.5)
```

```
rendimiento <- c(H2345, H2348, H2356, H6040, H6062, H550)
```

```
variedad <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2356", "H-6040", "H-6062",  
"Testigo"))
```

```
tapply(rendimiento, variedad, summary)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))  
  
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)  
  
model.tables(p.aov, type = "mean")  
  
summary(p.aov)  
  
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")  
  
plot(rendimiento ~ variedad)  
  
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)  
  
anova(g.lm)  
  
lm(rendimiento ~ variedad)  
  
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.8. Evaluación de sorgo bajo diferentes densidades de siembra y dosis de nitrógeno

Se realizó un experimento para evaluar dos híbridos de maíz duro (Factos A): A1 = H-1050 y A2 = H-1051 y dos niveles de nitrógeno (Factor B): B1 = 0 y B2 = 100 kg/ha de N. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial común de 2 x 2 (dos factores con dos tipos y dos niveles), porque existió un efecto de pendiente. Se tuvieron 3 repeticiones.

Variación 1

La variable que se evaluó fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela:

Tabla 5.5 ANOVA factorial 2x2 (Hibrido de maíz x Dosis de nitrógeno) con bloques para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>rendimiento <- c(5.9, 6.3, 7.5, 11.7, 12.5, 13.8, 7.8, 8.7, 10.3, 9.8, 10.9, 11.1)</pre>	
<pre>maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels = c("H1050", "H1051"))</pre>	<p>Factor A, generalmente, este tipo de factor (variedades sólo se representan con sus repeticiones). En este caso, sería las repeticiones de 1 a 2 híbridos de maíz con 6 repeticiones por cada híbrido: híbrido H-050 dosis 0 kg/ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-021 dosis 1000 kg/ha de N con 3 repeticiones (Valencia, 2018).</p>
<pre>dosisnitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 3),</pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:2</p>

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios																																				
<pre>2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "100 Kg de N/Ha"))</pre>	<p>[El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 2 niveles], each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien ; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 2 [Son dos bloques de tratamiento, pues cada híbrido a_1 es el 1ro y a_2 es el 2do y]) equivalente a “decirle a R: en 2 bloques (híbridos de maíz) has 3 repeticiones de los 2 dosis de Nitrógeno/Ha: 2 híbridos de maíz (Factor A); 2 dosis de nitrógeno (Factor B); 2 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_2</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_2</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_2</td><td>3</td></tr> </tbody> </table> <p><u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “2 híbridos de maíz” (Factor A) con “3 repeticiones o número de bloques” solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p> <p><u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “2 híbridos de maíz” (Factor A) con “2 de dosis de N/Ha” (Factor B) solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p>	a_1	b_1	1	a_1	b_1	2	a_1	b_1	3	a_1	b_2	1	a_1	b_2	2	a_1	b_2	3	a_2	b_1	1	a_2	b_1	2	a_2	b_1	3	a_2	b_2	1	a_2	b_2	2	a_2	b_2	3
a_1	b_1	1																																			
a_1	b_1	2																																			
a_1	b_1	3																																			
a_1	b_2	1																																			
a_1	b_2	2																																			
a_1	b_2	3																																			
a_2	b_1	1																																			
a_2	b_1	2																																			
a_2	b_1	3																																			
a_2	b_2	1																																			
a_2	b_2	2																																			
a_2	b_2	3																																			

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6)) tapply(rendimi ento, maiz, mean) tapply(rendimi ento, dosisnitro, mean) xtabs(rendimie nto ~ maiz + dosisnitro) p.aov <- aov(rendimient o ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitr o + bloque) summary(p.ao v) stripchart(rend imiento ~ maiz, method = "stack") </pre>	

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>stripchart(rendimiento ~ dosisnitro, method = "stack")</pre>	
<pre>interaction.plot(maiz, dosisnitro, rendimiento, legend = T)</pre>	
<pre>interaction.plot(dosisnitro, maiz, rendimiento, legend = T)</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

Las variable que se evaluó fue longitud de la mazorca en Cm.

```
longitud <- c(8.5, 9.8, 10.7, 13.1, 14.3, 15.9, 9.2, 10.8, 11.62, 11.7, 12.8, 13.6)
```

```
maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels = c("H1050", "H1051"))
```

```
dosisnitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 3), 2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "100 Kg de N/Ha"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6))
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
tapply(longitud, maiz, mean)
```

```
tapply(longitud, dosisnitro, mean)
```

```
xtabs(longitud ~ maiz + dosisnitro)
```

```
p.aov <- aov(longitud ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitro + bloque)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ dosisnitro, method = "stack")
```

```
interaction.plot(maiz, dosisnitro, longitud, legend = T)
```

```
interaction.plot(dosisnitro, maiz, longitud, legend = T)
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

Aplicación 5.9. Interacción entre densidad de siembra y fertilización nitrogenada en sorgo

Mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar se realizó un experimento para evaluar seis híbridos de maíz duro. Se tuvieron tres repeticiones.

Variación 1

La variable a medir fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela en Laguacoto I:

```
H2345 <- c(5.7, 6.98, 7.9)
```

```
H2348 <- c(7.6, 9.5, 10.6)
```

```
H2356 <- c(14.7, 15.9, 17.1)
```

```
H6040 <- c(18.7, 19.8, 20.9)
```

```
H6062 <- c(22.7, 23.8, 26.17)
```

```
H550 <- c(7.7, 8.9, 9.7)
```

```
rendimiento <- c(H2345, H2348, H2356, H6040, H6062, H550)
```

```
variedad <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2356", "H-6040", "H-6062",  
"Testigo"))
```

```
tapply(rendimiento, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
plot(rendimiento ~ variedad)
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
anova(g.lm)
lm(rendimiento ~ variedad)
summary(g.lm)
```

Variación 2

La variable a medir fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela en Laguacoto II:

```
H2345 <- c(8.2, 9.3, 10.7)
H2348 <- c(10.2, 12.4, 13.5)
H2356 <- c(15.2, 16.3, 17.5)
H6040 <- c(19.6, 20.4, 21.5)
H6062 <- c(27.8, 28.7, 30.8)
H550 <- c(6.3, 7.9, 8.8)

rendimiento <- c(H2345, H2348, H2356, H6040, H6062, H550)

variedad <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2356", "H-6040", "H-6062",
"Testigo"))

tapply(rendimiento, variedad, summary)

bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))
```

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE VARIEDADES Y LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```



EDITORIAL ANDES COGNITIO

CAPÍTULO VI

INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ



CAPÍTULO VI

INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Aplicación 6.1. Comparación de sorgos híbridos bajo distintos niveles de nitrógeno

Se realizó un experimento para evaluar dos Híbridos de maíz duro (Factos A): A1 = H-1050 y A2 = H-1051 y dos niveles de nitrógeno (Factor B): B1 = 0 y B2 = 100 kg/ha de N. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial común de 2 x 2 (dos factores con dos tipos y dos niveles), porque existió un efecto de pendiente. Se tuvieron 3 repeticiones.

Variación 1

Las variable que se evaluó fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela:

Tabla 6.1 Diseño factorial 2x2 (Hibrido x Dosis de N) con bloques para el análisis del rendimiento en maíz

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(5.4, 5.9, 6.3, 10.2, 11.3, 12.5, 6.9, 7.8, 8.9, 9.5, 10.2, 10.9)	
maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels =	Factor A , generalmente, este tipo de factor (variedades sólo se representan con sus repeticiones) . En este caso seria las repeticiones de 1 a 2 híbridos de maíz con 6 repeticiones por cada hibrido : hibrido H-050 dosis 0 kg/ha

Programación de software R	Observaciones o comentarios																																																
<pre> c("H1050", "H1051")) dosisnitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 3), 2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "100 Kg de N/Ha")) </pre>	<p>de N con 3 repeticiones + híbrido H-021 dosis 1000 kg/ha de N con 3 repeticiones.</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: <code>(rep(rep(1:2 [El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 2 niveles], each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamien ; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 2 [Son dos bloques de tratamiento, pues cada híbrido a_1 es el 1ro y a_2 es el 2do y])</code> equivalente a “decirle a R: en 2 bloques (híbridos de maíz) has 3 repeticiones de los 2 dosis de Nitrógeno/Ha:</p> <p>2 híbridos de maíz (Factor A); 2 dosis de nitrógeno (Factor B); 2 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_2</td><td> </td><td>3</td></tr> </tbody> </table> <p>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “2 híbridos de maíz” (Factor A) con “3</p>	a_1	b_1		1	a_1	b_1		2	a_1	b_1		3	a_1	b_2		1	a_1	b_2		2	a_1	b_2		3	a_2	b_1		1	a_2	b_1		2	a_2	b_1		3	a_2	b_2		1	a_2	b_2		2	a_2	b_2		3
a_1	b_1		1																																														
a_1	b_1		2																																														
a_1	b_1		3																																														
a_1	b_2		1																																														
a_1	b_2		2																																														
a_1	b_2		3																																														
a_2	b_1		1																																														
a_2	b_1		2																																														
a_2	b_1		3																																														
a_2	b_2		1																																														
a_2	b_2		2																																														
a_2	b_2		3																																														

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6)) tapply(rendimi ento, maiz, mean) tapply(rendimi ento, dosisnitro, mean) xtabs(rendimie nto ~ maiz + dosisnitro) p.aov <- aov(rendimient o ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitr o + bloque) </pre>	<p><u>repeticiones o número de bloques” solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p> <p><u>Si se hace al análisis ANOVA entre los datos de las columnas de “2 híbridos de maíz” (Factor A) con “2 de dosis de N/Ha” (Factor B) solo se HARÍA LA VARIANZA DEL EFECTO BLOQUE ENTRE ESTOS.</u></p>

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
summary(p.aov)	
stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ dosisnitro, method = "stack")	
interaction.plot(maiz, dosisnitro, rendimiento, legend = T)	
interaction.plot(dosisnitro, maiz, rendimiento, legend = T)	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

Las variable que se evaluó fue longitud de la mazorca en Cm.

```
longitud <- c(7.6, 8.9, 9.9, 12.3, 13.5, 14.9, 8.9, 9.9, 10.2, 10.5, 11.6, 12.8)
```

```
maiz <- factor(rep(1:2, each = 6), labels = c("H1050", "H1051"))
```

```
dosisnitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 3), 2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "100 Kg de N/Ha"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 6))
```

```
tapply(longitud, maiz, mean)
```

```
tapply(longitud, dosisnitro, mean)
```

```
xtabs(longitud ~ maiz + dosisnitro)
```

```
p.aov <- aov(longitud ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitro + bloque)
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ dosisnitro, method = "stack")
```

```
interaction.plot(maiz, dosisnitro, longitud, legend = T)
```

```
interaction.plot(dosisnitro, maiz, longitud, legend = T)
```

Aplicación 6.2. Efecto de variedades de arroz y dosis de nitrógeno sobre el rendimiento

Mediante DBCA se realizó un experimento para evaluar tres variedades de arroz (Factor A: A1: INIAP 317; A2: INIAP 318 y A3: PA-1050) y tres dosis de nitrógeno (Factor B: B1: 0 Kg/Ha; B2: 60 Kg/Ha y B3: 120 Kg/Ha de N). El investigador previamente identificó una fuente de variación conocida que fue la pendiente del terreno. La variable que se midió fue el rendimiento de arroz en Kg/Parcela (Challenger, Díaz & Becerra, 2014).

```
rendimiento <- c(5.5, 8.8, 12.9, 7.5, 13.8, 10.3, 9.9, 15.8, 12.6)

arroz <- factor(rep(1:3, each = 3), labels = c("INIAP 317", "INIAP 318", "PA-1050"))

dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 3), labels = c("0 Kg/Ha de N", "60 Kg/Ha de N", "120 Kg/Ha de N"))

bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 3))

p.aov <- aov(rendimiento ~ arroz * dosis.nitro)

summary(p.aov)

tapply(rendimiento, arroz, mean)

tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)

stripchart(rendimiento ~ arroz, method = "stack")

stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Aplicación 6.3. Efecto de híbridos de maíz y fertilización nitrogenada en el rendimiento

Mediante DBCA se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de maíz (Factor A: A1: H-015; A2: H-016 y A3: H-017) y tres dosis de nitrógeno (Factor B: B1: 0 Kg/Ha; B2: 50 Kg/Ha y B3: 100 Kg/Ha de N). Existió espacio para realizar 3 repeticiones. El investigador previamente identificó una fuente de variación conocida que fue la pendiente del terreno.

Variación 1

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela.

Tabla 6.2 ANOVA factorial 3×3 (Híbrido de maíz × Dosis de nitrógeno) para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(4.2, 5.6, 6.8, 7.3, 8.9, 9.9, 12.5, 13.8, 14.9, 5.7, 7.9, 9.9, 6.7, 8.9, 10.6, 12.7, 13.9, 15.4, 8.2, 9.9, 10.9, 13.5, 14.8, 16.8, 10.6, 11.9, 12.8)	
maiz <- factor(rep(1:	Generalmente, este tipo de factor (variedades sólo se representan con sus repeticiones) . En este caso seria las

Programación de software R	Observaciones o comentarios																											
<pre>3, each = 9), labels = c("H015", "H016", "H017")) dosis.nitro <- factor(rep(re p(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50 Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))</pre>	<p>repeticiones de 1 a 3 híbridos de maíz con 9 repeticiones por cada híbrido: híbrido H-050 dosis 0 Kg/Ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-016 dosis 60 Kg/Ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-017 dosis 120 Kg/Ha de N con 3 repeticiones.</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: $(\text{rep}(\text{rep}(1:3$ [El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 niveles], $\text{each} = 3$ [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamiento ; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 3 [Son tres bloques de tratamiento, pues cada híbrido de a_1 es 1ro, a_2 es 2do y a_3 es 3ro]) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (híbridos de maíz) has 3 repeticiones de las 3 dosis de Nitrógeno/Ha: 3 híbridos de maíz (Factor A); 3 dosis de nitrógeno (Factor B); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_3</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_3</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_3</td><td>3</td></tr> </table>	a_1	b_1	1	a_1	b_1	2	a_1	b_1	3	a_1	b_2	1	a_1	b_2	2	a_1	b_2	3	a_1	b_3	1	a_1	b_3	2	a_1	b_3	3
a_1	b_1	1																										
a_1	b_1	2																										
a_1	b_1	3																										
a_1	b_2	1																										
a_1	b_2	2																										
a_1	b_2	3																										
a_1	b_3	1																										
a_1	b_3	2																										
a_1	b_3	3																										

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(re p(1:3, each = 1), 9)) p.aov <- aov(rendimi ento ~ maiz * dosis.nitro) summary(p.a ov) </pre>	<pre> a2 b1 | 1 a2 b1 | 2 a2 b1 | 3 a2 b2 | 1 a2 b2 | 2 a2 b2 | 3 a2 b3 | 1 a2 b3 | 2 a2 b3 | 3 a3 b1 | 1 a3 b1 | 2 a3 b1 | 3 a3 b2 | 1 a3 b2 | 2 a3 b2 | 3 a3 b3 | 1 a3 b3 | 2 a3 b3 | 3 </pre>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(rendimiento, maiz, mean)</pre>	
<pre>tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)</pre>	
<pre>stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")</pre>	
<pre>stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

La variable que se midió fue longitud de mazorca en Cm.

```
longitud <- c(8.5, 8.9, 9.9, 10.5, 11.7, 11.9, 12.7, 13.7, 14.9, 6.6, 6.9, 7.9, 8.8, 9.8,
10.2, 10.1, 10.9, 11.9, 9.2, 9.9, 10.7, 12.9, 13.6, 14.1, 11.2, 12.1, 12.9)
```

```
maiz <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("H015", "H016", "H017"))
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50  
Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 9))
```

```
p.aov <- aov(longitud ~ maiz * dosis.nitro)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(longitud, maiz, mean)
```

```
tapply(longitud, dosis.nitro, mean)
```

```
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Aplicación 6.4. Interacción híbrido × nitrógeno en maíz

Mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar se realizó un experimento para evaluar seis híbridos de maíz duro. Se tuvieron tres repeticiones.

Variación 1

La variable a medir fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela en el año 2013:

```
H2345 <- c(5.5, 7.1, 7.7)
```

```
H2348 <- c(7.3, 9.5, 10.7)
```

```
H2356 <- c(14.5, 15.7, 17.3)
```

```
H6040 <- c(18.2, 19.3, 20.7)
```

```
H6062 <- c(22.5, 23.5, 25.9)
```

```
H550 <- c(6.7, 7.8, 9.1)
```

```
rendimiento <- c(H2345, H2348, H2356, H6040, H6062, H550)
```

```
variedad <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2356", "H-6040", "H-6062",  
"Testigo"))
```

```
tapply(rendimiento, variedad, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
plot(rendimiento ~ variedad)
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
anova(g.lm)
lm(rendimiento ~ variedad)
summary(g.lm)
```

Variación 2

La variable a medir fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela en el año 2014:

```
H2345 <- c(6.5, 7.8, 10.3)
H2348 <- c(8.6, 10.8, 11.9)
H2356 <- c(13.4, 14.8, 15.9)
H6040 <- c(17.2, 18.8, 20.2)
H6062 <- c(25.5, 26.9, 29.8)
H550 <- c(7.5, 8.9, 10.9)

rendimiento <- c(H2345, H2348, H2356, H6040, H6062, H550)

variedad <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2356", "H-6040", "H-6062",
"Testigo"))

tapply(rendimiento, variedad, summary)

bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))

p.aov <- aov(rendimiento ~ variedad)
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

```
summary(p.aov)
```

```
stripchart(rendimiento ~ variedad, method="stack")
```

```
plot(rendimiento ~ variedad)
```

```
g.lm <- lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
anova(g.lm)
```

```
lm(rendimiento ~ variedad)
```

```
summary(g.lm)
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Aplicación 6.5. Respuesta del maíz a la combinación de híbridos y fertilización

Se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de maíz duro (Factor A), y tres dosis de nitrógeno (Factor B). Los Híbridos de maíz fueron: A1: H-015; A2: H-016 y A3: H-017. Las dosis de nitrógeno fueron: B1 = 0 Kg/Ha de N; B2: 50 Kg/Ha de N y B3: 100 Kg/Ha de N. Existió espacio para realizar 3 repeticiones.

Variación 1

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela al 13% de humedad.

Tabla 6.3 ANOVA factorial 3×3 (Híbrido de maíz × Dosis de nitrógeno) con tres repeticiones para el rendimiento

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>rendimiento <- c(4.2, 5.6, 6.8, 7.3, 8.9, 9.9, 12.5, 13.8, 14.9, 5.7, 7.9, 9.9, 6.7, 8.9, 10.6, 12.7, 13.9, 15.4, 8.2, 9.9, 10.9, 13.5, 14.8, 16.8, 10.6, 11.9, 12.8)</pre>	
<pre>maiz <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("H015",</pre>	<p>Generalmente, este tipo de factor (variedades sólo se representan con sus repeticiones). En este caso seria las repeticiones de 1 a 3 híbridos de maíz con 9 repeticiones por cada híbrido: híbrido H-050 dosis 0 Kg/Ha de N con 3 repeticiones + híbrido H-016 dosis 60 Kg/Ha de N con 3</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios																																																
<pre>"H016", "H017")) dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50 Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))</pre>	<p>repeticiones + híbrido H-017 dosis 120 Kg/Ha de N con 3 repeticiones.</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor B, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 niveles], each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamier ; es decir, has 3 repeticiones para b_i), 3 [Son tres bloques de tratamiento, pues cada híbrido a_1 es e1ro, a_2 es 2do y a_3 es 3ro]) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (híbridos de maíz) has 3 repeticiones de las 3 dosis de Nitrógeno/Ha: 3 híbridos de maíz (Factor A); 3 dosis de nitrógeno (Factor B); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_3</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_3</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_3</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_2</td><td>b_1</td><td> </td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	a_1	b_1		1	a_1	b_1		2	a_1	b_1		3	a_1	b_2		1	a_1	b_2		2	a_1	b_2		3	a_1	b_3		1	a_1	b_3		2	a_1	b_3		3	a_2	b_1		1	a_2	b_1		2	a_2	b_1		3
a_1	b_1		1																																														
a_1	b_1		2																																														
a_1	b_1		3																																														
a_1	b_2		1																																														
a_1	b_2		2																																														
a_1	b_2		3																																														
a_1	b_3		1																																														
a_1	b_3		2																																														
a_1	b_3		3																																														
a_2	b_1		1																																														
a_2	b_1		2																																														
a_2	b_1		3																																														

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$a_2 \quad b_2 \quad | \quad 1$ $a_2 \quad b_2 \quad | \quad 2$ $a_2 \quad b_2 \quad | \quad 3$ $a_2 \quad b_3 \quad | \quad 1$ $a_2 \quad b_3 \quad | \quad 2$ $a_2 \quad b_3 \quad | \quad 3$
	$a_3 \quad b_1 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_1 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_1 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_2 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_2 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_2 \quad | \quad 3$ $a_3 \quad b_3 \quad | \quad 1$ $a_3 \quad b_3 \quad | \quad 2$ $a_3 \quad b_3 \quad | \quad 3$
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 9)) </pre>	
<pre> p.aov <- aov(rendimient o ~ maiz * dosis.nitro) </pre>	
<pre> summary(p.aov) </pre>	
<pre> tapply(rendimiento, maiz, mean) </pre>	

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean) stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack") stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack") interaction.plot (maiz, dosis.nitro, rendimiento, legend = T) interaction.plot (dosis.nitro, maiz, rendimiento, legend = T)</pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

La variable que se midió fue longitud de mazorca en Cm.

```
longitud <- c(8.8, 9.9, 10.19, 10.8, 11.9, 12.2, 12.9, 13.9, 15.2, 6.1, 6.8, 7.5, 8.6,  
9.7, 10.1, 10.0, 10.6, 11.5, 9.20, 9.7, 10.5, 12.7, 13.5, 14.0, 11.0, 11.8, 12.4)
```

```
maiz <- factor(rep(1:3, each = 9), labels = c("H015", "H016", "H017"))
```

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 3), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50  
Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:3, each = 1), 9))
```

```
p.aov <- aov(longitud ~ maiz * dosis.nitro)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(longitud, maiz, mean)
```

```
tapply(longitud, dosis.nitro, mean)
```

```
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

```
interaction.plot(maiz, dosis.nitro, longitud, legend = T)
```

```
interaction.plot(dosis.nitro, maiz, longitud, legend = T)
```

Aplicación 6.6. Evaluación factorial 2x2: híbridos de maíz y niveles de nitrógeno

Se realizó un experimento para evaluar dos híbridos de maíz duro (Factos A): A1 = H-1041 y A2 = H-1052 y dos niveles de nitrógeno (Factor B): B1 = 0 y B2 = 100 kg/ha de N. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial común de 2 x 2 (dos factores con dos tipos y dos niveles), porque existió un efecto de pendiente. Se tuvieron 4 repeticiones.

Variación 1

Las variable que se evaluó fue el rendimiento de maíz en Kg/Parcela al 13% de humedad:

Tabla 6.4 ANOVA del rendimiento de maíz bajo un diseño factorial 2x2 (Hibrido x Dosis de nitrógeno) con bloque

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>rendimiento <- c(4.20, 5.67, 6.78, 8.12, 9.12, 13.45, 17.89, 20.12, 7.89, 9.87, 12.56, 14.56, 6.78, 7.89, 10.23, 11.20) maiz <- factor(rep(1:2, each = 8), labels = c("H1041", "H1052"))</pre>	<p>Factor A. En este caso seria las repeticiones de 1 a 2 híbridos de maíz con 6 repeticiones por cada hibrido: hibrido H-1041 dosis 0 Kg/Ha de N con 4 repeticiones + hibrido H-1052 dosis 100 Kg/Ha de N con 4 repeticiones.</p>
<pre>dosisnitro <- factor(rep(rep(1:2, each = 4), 2), labels = c("0 Kg de N/Ha", "80 Kg de N/Ha"))</pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>A y B: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:2 [El Factor B, dosis , each = 4 [Has 4 repeticione ; es decir, has 4 repeticiones para b_i), 2 [Son dos bloques c a_1 es 1ro y a_2 es 2o) equivalente a “decirle a R: en 2 bloques (híbridos de maíz) has 4 repeticiones de los 2 dosis de Nitrógeno/Ha: 2 híbridos de maíz (Factor A); 2 dosis de nitrógeno (Factor B); 4 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <pre> a1 b1 | 1 a1 b1 | 2 a1 b1 | 3 a1 b1 | 4 a1 b2 | 1 a1 b2 | 2 a1 b2 | 3 a1 b2 | 4 </pre>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> bloque <- factor(rep(rep(1:2, each = 1), 8)) tapply(rendimiento, maiz, mean) tapply(rendimiento, dosisnitro, mean) xtabs(rendimiento ~ maiz + dosisnitro) p.aov <- aov(rendimiento ~ maiz + dosisnitro + maiz:dosisnitro + bloque) summary(p.aov) stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack") stripchart(rendimiento ~ dosisnitro, method = "stack") interaction.plot(maiz, dosisnitro, rendimiento, legend = T) interaction.plot(dosisnitro, maiz, rendimiento, legend = T) </pre>	<p> a_2 b_1 | 1 a_2 b_1 | 2 a_2 b_1 | 3 a_2 b_1 | 4 a_2 b_2 | 1 a_2 b_2 | 2 a_2 b_2 | 3 a_2 b_2 | 4 </p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

Aplicación 6.7. Ensayo factorial simple en maíz: interacción híbrido × dosis de N

Se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de maíz duro (Factor A), dos tipos de labranza (Factor B) y tres dosis de nitrógeno (Factor C). Los Híbridos de maíz fueron: A1: H-012; A2: H-013 y A3: H-014. Los tipos de labranza fueron: B1: Labranza Convencional y B2: Labranza Reducida. Las dosis de nitrógeno fueron: C1 = 0 Kg/Ha de N; C2: 50 Kg/Ha de N y C3: 100 Kg/Ha de N. Existió espacio para realizar 3 repeticiones.

Variación 1

La variable que se midió fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela al 13% de humedad en 2013.

Tabla 6.5 ANOVA factorial 3×2×3 (Híbrido de maíz × Sistema de labranza × Dosis de nitrógeno) para el rendimiento con tres repeticiones

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(2.45, 3.25, 3.65, 5.85, 6.66, 7.17, 7.66, 8.19, 9.57, 5.46, 6.28, 6.95, 6.63, 7.15, 8.96, 9.20, 9.96, 10.85, 3.98, 4.87, 5.88, 5.90, 6.30, 6.90, 7.90, 7.99, 9.13,	

Programación de software R	Observaciones o comentarios																																																																																										
<pre>dosis.nitro <- factor(rep(rep (1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50 Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))</pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor C, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 tratamient , each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamient ; es decir, has 3 repeticiones para c_i), 6 [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque a_1) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (maíz híbrido) has 3 repeticiones de 3 dosis de nitrógeno por cada sistema de labranza (2 sistemas)”: 3 híbridos de maíz (Factor A); 2 sistemas de labranza (Factor B); 3 dosis de nitrógeno (Factor C); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td> </td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_3</td><td> </td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_3</td><td> </td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_3</td><td> </td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	a_1	b_1	c_1		1	a_1	b_1	c_1		2	a_1	b_1	c_1		3	a_1	b_1	c_2		1	a_1	b_1	c_2		2	a_1	b_1	c_2		3	a_1	b_1	c_3		1	a_1	b_1	c_3		2	a_1	b_1	c_3		3	a_1	b_2	c_1		1	a_1	b_2	c_1		2	a_1	b_2	c_1		3	a_1	b_2	c_2		1	a_1	b_2	c_2		2	a_1	b_2	c_2		3	a_1	b_2	c_3		1	a_1	b_2	c_3		2	a_1	b_2	c_3		3
a_1	b_1	c_1		1																																																																																							
a_1	b_1	c_1		2																																																																																							
a_1	b_1	c_1		3																																																																																							
a_1	b_1	c_2		1																																																																																							
a_1	b_1	c_2		2																																																																																							
a_1	b_1	c_2		3																																																																																							
a_1	b_1	c_3		1																																																																																							
a_1	b_1	c_3		2																																																																																							
a_1	b_1	c_3		3																																																																																							
a_1	b_2	c_1		1																																																																																							
a_1	b_2	c_1		2																																																																																							
a_1	b_2	c_1		3																																																																																							
a_1	b_2	c_2		1																																																																																							
a_1	b_2	c_2		2																																																																																							
a_1	b_2	c_2		3																																																																																							
a_1	b_2	c_3		1																																																																																							
a_1	b_2	c_3		2																																																																																							
a_1	b_2	c_3		3																																																																																							

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	a ₂ b ₁ c ₁ | 1
	a ₂ b ₁ c ₁ | 2
	a ₂ b ₁ c ₁ | 3
	a ₂ b ₁ c ₂ | 1
	a ₂ b ₁ c ₂ | 2
	a ₂ b ₁ c ₂ | 3
	a ₂ b ₁ c ₃ | 1
	a ₂ b ₁ c ₃ | 2
	a ₂ b ₁ c ₃ | 3
	a ₂ b ₂ c ₁ | 1
	a ₂ b ₂ c ₁ | 2
	a ₂ b ₂ c ₁ | 3
	a ₂ b ₂ c ₂ | 1
	a ₂ b ₂ c ₂ | 2
	a ₂ b ₂ c ₂ | 3
	a ₂ b ₂ c ₃ | 1
	a ₂ b ₂ c ₃ | 2
	a ₂ b ₂ c ₃ | 3
	a ₃ b ₁ c ₁ | 1
	a ₃ b ₁ c ₁ | 2
	a ₃ b ₁ c ₁ | 3
	a ₃ b ₁ c ₂ | 1
	a ₃ b ₁ c ₂ | 2
	a ₃ b ₁ c ₂ | 3
	a ₃ b ₁ c ₃ | 1
	a ₃ b ₁ c ₃ | 2
	a ₃ b ₁ c ₃ | 3
	a ₃ b ₂ c ₁ | 1
	a ₃ b ₂ c ₁ | 2
	a ₃ b ₂ c ₁ | 3
	a ₃ b ₂ c ₂ | 1
	a ₃ b ₂ c ₂ | 2
	a ₃ b ₂ c ₂ | 3

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$\begin{array}{ccc|c} a_3 & b_2 & c_3 & 1 \\ a_3 & b_2 & c_3 & 2 \\ a_3 & b_2 & c_3 & 3 \end{array}$
<pre>p.aov <- aov(rendimiento ~ maiz * labranza * dosis.nitro) summary(p.aov) tapply(rendimiento, maiz, mean) tapply(rendimiento, labranza, mean) tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean) stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")</pre>	

Programación de software R	Observaciones o comentarios
stripchart(ren dimiento ~ labranza, method = "stack")	
stripchart(ren dimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

La variable que se midió fue longitud de la mazorca en Cm. en 2013.

```
longitud <- c(6.12, 6.89, 7.05, 7.10, 7.90, 8.10, 8.10, 8.90, 9.10, 6.67, 6.96, 7.20,
7.99, 8.10, 8.13, 8.78, 8.99, 9.14, 7.33, 7.78, 8.48, 8.67, 9.10, 9.87, 9.13, 9.89,
10.1, 10.11, 10.89, 11.13, 11.56, 11.99, 12.09, 13.20, 13.99, 14.87, 4.10, 4.89,
5.10, 6.12, 6.78, 7.10, 5.14, 5.89, 6.19, 4.89, 5.23, 5.99, 6.89, 7.12, 7.89, 6.56,
6.89, 7.50)
```

```
maiz <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("H-012", "H-013", "H-014"))
```

```
labranza <- factor(rep(rep(1:2, each = 9), 3), labels = c("Convencional",
"Reducida"))
```

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50
Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))
```

```
p.aov <- aov(longitud ~ maiz * labranza * dosis.nitro)
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(longitud, maiz, mean)
```

```
tapply(longitud, labranza, mean)
```

```
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)
```

```
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ labranza, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Variación 3

La variable que se midió fue rendimiento de maíz en Kg/Parcela al 13% de humedad en 2014.

Tabla 6.6 Análisis de varianza (ANOVA) trifactorial para el rendimiento de maíz en función del híbrido, sistema de labranza y dosis de nitrógeno

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(3.45, 4.25, 4.65, 6.85, 6.89, 7.98, 8.66, 9.19, 9.99, 5.90, 6.50, 7.95, 7.63, 8.15, 9.96, 9.20, 10.96, 11.85, 3.50,	

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>4.98, 5.98, 6.90, 7.30, 7.90, 8.20, 8.99, 9.70, 10.99, 11.60, 12.10, 6.90, 7.90, 7.99, 11.15, 12.12, 13.99, 1.10, 1.90, 1.99, 3.60, 5.00, 5.90, 4.89, 5.10, 6.50, 1.25, 2.00, 2.70, 5.70, 6.99, 6.99, 8.80, 9.89, 9.87)</pre>	
<pre>maiz <- factor(rep(1:3 , each = 18), labels = c("H- 012", "H- 013", "H- 014"))</pre>	<p>Factor A</p>
<pre>labranza <- factor(rep(rep (1:2, each = 9), 3), labels = c("Convencio</pre>	<p>Factor B</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios																																																												
<pre> na1", "Reducida")) dosis.nitro <- factor(rep(rep (1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50 Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N")) </pre>	<p>Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: <code>(rep(rep(1:3</code> [El Factor C, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 tratamient <code>, each = 3</code> [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratamient <code>; es decir, has 3 repeticiones para c_i), 6</code> [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque a_1) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (maíz híbrido) has 3 repeticiones de 3 dosis de nitrógeno por cada sistema de labranza (2 sistemas)”:</p> <p>3 híbridos de maíz (Factor A); 2 sistemas de labranza (Factor B); 3 dosis de nitrógeno (Factor C); 3 repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_1</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_2</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_1</td><td>c_3</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_1</td><td>3</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td>1</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td>2</td></tr> <tr><td>a_1</td><td>b_2</td><td>c_2</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	a_1	b_1	c_1	1	a_1	b_1	c_1	2	a_1	b_1	c_1	3	a_1	b_1	c_2	1	a_1	b_1	c_2	2	a_1	b_1	c_2	3	a_1	b_1	c_3	1	a_1	b_1	c_3	2	a_1	b_1	c_3	3	a_1	b_2	c_1	1	a_1	b_2	c_1	2	a_1	b_2	c_1	3	a_1	b_2	c_2	1	a_1	b_2	c_2	2	a_1	b_2	c_2	3
a_1	b_1	c_1	1																																																										
a_1	b_1	c_1	2																																																										
a_1	b_1	c_1	3																																																										
a_1	b_1	c_2	1																																																										
a_1	b_1	c_2	2																																																										
a_1	b_1	c_2	3																																																										
a_1	b_1	c_3	1																																																										
a_1	b_1	c_3	2																																																										
a_1	b_1	c_3	3																																																										
a_1	b_2	c_1	1																																																										
a_1	b_2	c_1	2																																																										
a_1	b_2	c_1	3																																																										
a_1	b_2	c_2	1																																																										
a_1	b_2	c_2	2																																																										
a_1	b_2	c_2	3																																																										

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$a_1 \quad b_2 \quad c_3 \mid 1$
	$a_1 \quad b_2 \quad c_3 \mid 2$
	$a_1 \quad b_2 \quad c_3 \mid 3$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_1 \mid 1$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_1 \mid 2$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_1 \mid 3$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_2 \mid 1$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_2 \mid 2$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_2 \mid 3$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_3 \mid 1$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_3 \mid 2$
	$a_2 \quad b_1 \quad c_3 \mid 3$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_1 \mid 1$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_1 \mid 2$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_1 \mid 3$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_2 \mid 1$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_2 \mid 2$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_2 \mid 3$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_3 \mid 1$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_3 \mid 2$
	$a_2 \quad b_2 \quad c_3 \mid 3$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_1 \mid 1$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_1 \mid 2$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_1 \mid 3$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_2 \mid 1$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_2 \mid 2$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_2 \mid 3$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_3 \mid 1$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_3 \mid 2$
	$a_3 \quad b_1 \quad c_3 \mid 3$

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	$a_3 \quad b_2 \quad c_1 \quad | \quad 1$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_1 \quad | \quad 2$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_1 \quad | \quad 3$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 1$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 2$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_2 \quad | \quad 3$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 1$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 2$
	$a_3 \quad b_2 \quad c_3 \quad | \quad 3$
	<pre> p.aov <- aov(rendimiento ~ maiz * labranza * dosis.nitro) summary(p.aov) tapply(rendimiento, maiz, mean) tapply(rendimiento, labranza, mean) tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean) </pre>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ labranza, method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 4

La variable que se midió fue longitud de la mazorca en Cm. en 2014.

```
longitud <- c(6.66, 6.99, 7.85, 7.80, 7.99, 8.19, 8.70, 8.90, 9.50, 6.87, 6.99, 7.90, 8.08, 8.80, 8.93, 8.98, 9.10, 9.74, 7.53, 7.98, 8.98, 8.97, 9.70, 9.99, 9.63, 9.99, 10.92, 10.91, 10.99, 11.83, 11.96, 12.50, 12.99, 13.60, 14.19, 14.98, 4.70, 4.60, 5.60, 6.92, 7.50, 7.90, 5.74, 5.99, 6.99, 4.99, 5.93, 6.99, 6.99, 7.82, 7.99, 8.56, 9.89, 10.50)
```

```
maiz <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("H-012", "H-013", "H-014"))
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
labranza <- factor(rep(rep(1:2, each = 9), 3), labels = c("Convencional",  
"Reducida"))
```

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50  
Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))
```

```
p.aov <- aov(longitud ~ maiz * labranza * dosis.nitro)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(longitud, maiz, mean)
```

```
tapply(longitud, labranza, mean)
```

```
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)
```

```
stripchart(longitud ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ labranza, method = "stack")
```

```
stripchart(longitud ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Aplicación 6.8. Comparación de híbridos de maíz en condiciones de fertilización limitada

Se realizó un experimento para evaluar tres híbridos de maíz duro (Factor A), dos tipos de labranza (Factor B) y tres dosis de nitrógeno (Factor C). Los Híbridos de maíz fueron: A1: H-012; A2: H-013 y A3: H-014. Los tipos de labranza fueron: B1: Labranza Convencional y B2: Labranza Reducida. Las dosis de nitrógeno fueron: C1 = 0 Kg/Ha de N; C2: 50 Kg/Ha de N y C3: 100 Kg/Ha de N. Existió espacio para realizar 3 repeticiones (Machado & Coto, 2017)

Variación 1

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz en kg/parcela al 13% de humedad.

Tabla 6.7 Análisis de varianza (ANOVA) trifactorial del rendimiento de maíz bajo diferentes híbridos, sistemas de labranza y dosis de nitrógeno

Programación de software R	Observaciones o comentarios
rendimiento <- c(2.45, 3.25, 3.65, 5.85, 6.66, 7.17, 7.66, 8.19, 9.57, 5.46, 6.28, 6.95, 6.63, 7.15, 8.96, 9.20, 9.96, 10.85, 3.98, 4.87, 5.88, 5.90, 6.30, 6.90, 7.90, 7.99, 9.13, 9.99, 10.60, 11.10, 6.10, 7.90, 7.99, 11.15, 12.12, 13.99, 1.01, 1.50,	Para corroborar la cantidad de elementos por variable length(). Ejemplo: length(dosis.nitro)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> 1.79, 3.10, 4.99, 5.60, 4.89, 5.10, 6.50, 1.20, 1.99, 2.50, 5.10, 6.89, 6.80, 7.80, 8.89, 9.23) maiz <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("H-012", "H- 013", "H-014")) labranza <- factor(rep(rep(1:2 , each = 9), 3), labels = c("Convencional" , "Reducida")) dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3 , each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50 Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N")) </pre>	<p style="text-align: center;">Factor A</p> <p style="text-align: center;">Factor B</p> <p>Efecto Interacción entre los Factores A-B-C: Generalmente, en el caso de dosis se aplica de esta manera, pues sería lo correcto: (rep(rep(1:3 [El Factor C, dosis nitrógeno tiene de 1 a 3 tratami , each = 3 [Has 3 repeticiones en cada sub bloque de tratam ; es decir, has 3 repeticiones para c_i), 6 [Son 6 repeticiones c_1, 6 de c_2 y 6 de c_3 por bloque bloque de híbrido de maíz) equivalente a “decirle a R: en 3 bloques (maíz híbrido) has 3 repeticiones de 3 dosis de nitrógeno por cada sistema de labranza (2 sistemas)”: 3 híbridos de maíz (Factor A); 2 sistemas de labranza (Factor B); 3 dosis de nitrógeno (Factor C); 3</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>repeticiones o número de bloques (efecto columna o efecto bloques por repeticiones):</p> <pre> a1 b1 c1 | 1 a1 b1 c1 | 2 a1 b1 c1 | 3 a1 b1 c2 | 1 a1 b1 c2 | 2 a1 b1 c2 | 3 a1 b1 c3 | 1 a1 b1 c3 | 2 a1 b1 c3 | 3 a1 b2 c1 | 1 a1 b2 c1 | 2 a1 b2 c1 | 3 a1 b2 c2 | 1 a1 b2 c2 | 2 a1 b2 c2 | 3 a1 b2 c3 | 1 a1 b2 c3 | 2 a1 b2 c3 | 3 a2 b1 c1 | 1 a2 b1 c1 | 2 a2 b1 c1 | 3 a2 b1 c2 | 1 a2 b1 c2 | 2 a2 b1 c2 | 3 a2 b1 c3 | 1 a2 b1 c3 | 2 a2 b1 c3 | 3 a2 b2 c1 | 1 a2 b2 c1 | 2 a2 b2 c1 | 3 </pre>

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	a ₂ b ₂ c ₂ | 1
	a ₂ b ₂ c ₂ | 2
	a ₂ b ₂ c ₂ | 3
	a ₂ b ₂ c ₃ | 1
	a ₂ b ₂ c ₃ | 2
	a ₂ b ₂ c ₃ | 3
	a ₃ b ₁ c ₁ | 1
	a ₃ b ₁ c ₁ | 2
	a ₃ b ₁ c ₁ | 3
	a ₃ b ₁ c ₂ | 1
	a ₃ b ₁ c ₂ | 2
	a ₃ b ₁ c ₂ | 3
	a ₃ b ₁ c ₃ | 1
	a ₃ b ₁ c ₃ | 2
	a ₃ b ₁ c ₃ | 3
	a ₃ b ₂ c ₁ | 1
	a ₃ b ₂ c ₁ | 2
	a ₃ b ₂ c ₁ | 3
	a ₃ b ₂ c ₂ | 1
	a ₃ b ₂ c ₂ | 2
	a ₃ b ₂ c ₂ | 3
	a ₃ b ₂ c ₃ | 1
	a ₃ b ₂ c ₃ | 2
	a ₃ b ₂ c ₃ | 3
<pre>p.aov <- aov(rendimiento ~ maiz * labranza * dosis.nitro)</pre>	
<pre>summary(p.aov)</pre>	
<pre>tapply(rendimiento, maiz, mean)</pre>	

Programación de software R	Observaciones o comentarios
tapply(rendimiento, labranza, mean)	
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)	
stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ labranza, method = "stack")	
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Variación 2

La variable que se midió fue longitud de la mazorca en Cm.

```
rendimiento <- c(6.12, 6.89, 7.05, 7.10, 7.90, 8.10, 8.10, 8.90, 9.10, 6.67, 6.96,
7.20, 7.99, 8.10, 8.13, 8.78, 8.99, 9.14, 7.33, 7.78, 8.48, 8.67, 9.10, 9.87, 9.13,
9.89, 10.10, 10.11, 10.89, 11.13, 11.56, 11.99, 12.09, 13.20, 13.99, 14.87, 4.10,
4.89, 5.10, 6.12, 6.78, 7.10, 5.14, 5.89, 6.19, 4.89, 5.23, 5.99, 6.89, 7.12, 7.89,
6.56, 6.89, 7.50)
```

```
maiz <- factor(rep(1:3, each = 18), labels = c("H-012", "H-013", "H-014"))
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
labranza <- factor(rep(rep(1:2, each = 9), 3), labels = c("Convencional",  
"Reducida"))
```

```
dosis.nitro <- factor(rep(rep(1:3, each = 3), 6), labels = c("0 Kg/Ha de N", "50  
Kg/Ha de N", "100 Kg/Ha de N"))
```

```
p.aov <- aov(rendimiento ~ maiz * labranza * dosis.nitro)
```

```
summary(p.aov)
```

```
tapply(rendimiento, maiz, mean)
```

```
tapply(rendimiento, labranza, mean)
```

```
tapply(rendimiento, dosis.nitro, mean)
```

```
stripchart(rendimiento ~ maiz, method = "stack")
```

```
stripchart(rendimiento ~ labranza, method = "stack")
```

```
stripchart(rendimiento ~ dosis.nitro, method = "stack")
```

Aplicación 6.9. Evaluación de seis híbridos de maíz duro: rendimiento a 13% de humedad

Se realizó un experimento para evaluar seis híbridos de maíz duro. Se tuvieron tres repeticiones. La variable que se midió fue el rendimiento de maíz al 13% de humedad en Kg/Parcela como efecto de los tratamientos (O'Neill & Thomas, 2010).

Variación 1

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz al 13% de humedad en Kg/Parcela como efecto de los tratamientos en 2012.

```
H.2345 <- c(5.5, 6.8, 7.7)
```

```
H.2348 <- c(7.3, 9.5, 10.2)
```

```
H.2356 <- c(14.5, 15.7, 16.9)
```

```
H.6040 <- c(18.2, 19.3, 20.4)
```

```
H.6062 <- c(22.5, 23.5, 25.7)
```

```
H.550.Testigo <- c(6.7, 7.8, 8.9)
```

```
rend.maiz <- c(H.2345, H.2348, H.2356, H.6040, H.6062, H.550.Testigo)
```

```
variedades <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2348", "H-2356", "H-6040", "H-6062", "H-550-Testigo"))
```

```
tapply(rend.maiz, variedades, summary)
```

```
bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))
```

```
p.aov <- aov(rend.maiz ~ variedades)
```

```
model.tables(p.aov, type = "mean")
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
summary(p.aov)

stripchart(rend.maiz ~ variedades, method="stack")

plot(rend.maiz ~ variedades)

g.lm <- lm(rend.maiz ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rend.maiz ~ variedades)

summary(g.lm)
```

Variación 2

La variable que se midió fue el rendimiento de maíz al 13% de humedad en Kg/Parcela como efecto de los tratamientos en 2013.

```
H.2345 <- c(6, 7, 8)
```

```
H.2348 <- c(8, 10, 11)
```

```
H.2356 <- c(13, 14, 15)
```

```
H.6040 <- c(17, 18, 19)
```

```
H.6062 <- c(25, 26, 28)
```

```
H.550.Testigo <- c(7, 8, 9)
```

```
rend.maiz <- c(H.2345, H.2348, H.2356, H.6040, H.6062, H.550.Testigo)
```

```
variedades <- gl(6, 3, labels = c("H-2345", "H-2348", "H-2356", "H-6040", "H-6062", "H-550-Testigo"))
```

CAPÍTULO 6. INTERACCIONES HÍBRIDOS POR FERTILIZACIÓN EN MAÍZ

```
tapply(rend.maiz, variedades, summary)

bloque <- factor(rep(rep(1:6, each = 1), 3))

p.aov <- aov(rend.maiz ~ variedades)

model.tables(p.aov, type = "mean")

summary(p.aov)

stripchart(rend.maiz ~ variedades, method="stack")

plot(rend.maiz ~ variedades)

g.lm <- lm(rend.maiz ~ variedades)

anova(g.lm)

lm(rend.maiz ~ variedades)

summary(g.lm)
```

BIBLIOGRAFÍA

- Alidaee, A., & Aneja, Y. P. (2018). *Non-predetermined goal programming. In Operations research: A model-based approach*. New Jersey, U.S.A.: Springer, Cham.
- Baquela, E. G., & Redchuk, A. (2013). *Optimización Matemática con R. Volumen I: Introducción al modelado y resolución de problemas*. Madrid, España: Bubok Publishing S. L.
- Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., & Shetty, C. M. (2009). *Nonlinear programming: Theory and applications*. Hoboken, New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc, Publication.
- Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. N. (1997). *Introduction to Linear Optimization*. Belmont, Mass. U.S.A.: Athena Scientific, Belmont, Massachusetts.
- Birge, J. R., & Louveaux, F. (2011). *Introduction to Stochastic Programming*. New York, USA: Springer Science+Business Media, .
- Brambila, P. J. (2011). *Bioeconomía: Instrumentos para su análisis económico*. Texcoco, estado de México. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Colegio de Postgraduados (COLPOS).
- Broz, D., Mac Donagh, P., Arce, J., & Yapura, P. (2017). La Investigación Operativa, la Ingeniería Forestal y los Problemas Sectoriales: Ante la Necesidad de un Cambio de Paradigma. *Yvyrareta*, 64-72.
- Bustos, F. E. (2023). *La importancia del teorema de suficiencia de Kuhn-Tucker en la tarea de decisiones organizacionales*. Carácas, Venezuela: Escuela Superior de Cómputo de Venezuela.
- Cestero, E. V., & Caballero, A. M. (2017). *Data Science y Redes Complejas. Métodos y aplicaciones*. Tomás Bretón, 21-28045, Madrid, España: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S. A.

- Challenger, P. I., Díaz, R. Y., & Becerra, G. R. (Abril-Junio, 2014). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín*, vol. XX, núm. 2., 1-13.
- Dantzig, G. B. (1963). *Linear Programming and Extensions*. Chichester, West Sussex, U.S.A.: Princeton University Press.
- Di Perro, M. (2017). What is the Blocchaing? *School of Computing at DePaul University, Chicago, IL, USA*, 92-95.
- Eiselt, H. A., & Sandblom, C. L. (2009). *Integer programming: Theory and practice*. New Jersey, U.S.A.: Springer.
- Gen, M., & Cheng, R. (2000). *Genetic algorithms and engineering optimization*. New York, U.S.A.: Wiley-Interscience Publication.
- Gómez, G. M., Danglot, B. C., & Vega, F. L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas. *Revista Mexicana de Pediatría*, 10.
- Gómez, P. M. (2006). *Introducción a la microeconomía*. Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- González, B. G. (1985). *Métodos Estadísticos y Principios de Diseño Experimental*. Quito, Ecuador: Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría*. Delegación Álvaro Obregón, México, D. F.: McGraw-Hill/Interamericana Editorres, S.A. de C.V.
- López, B. E., & González, R. B. (2014). *Diseño y Análisis de Experimentos. Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía*. Ciudad Universitaria zona 12. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.
- Loubet, B. (2020). *Excel: Herramienta Solver*. Centro Universitario, Ciudad de Mendoza. Provincia de Mendoza, Argentina.: Facultad de ciencias económicas. Universidad Nacional de Cuyo.

- Luenberger, D. G. (1984). *Linear and Nonlinear Programming*. New Jersey, U.S.A.: Springer.
- Machado, D. E., & Coto, F. H. (2017). Sistema de adquisición de datos con Python y Arduino. *Revista, Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 1-6.
- Mehrotra, S. (2022). Non-predetermined goal programming: A review of recent advances. *Journal of the Operational Research Society*, 73(5), 1018-1032.
- Mendiburu, F. (2007). *Análisis Estadístico con "R"*. Lima, Perú: Sección de Extensión Universitaria y Proyección Social. Centro de Estudios de la Facultad de Ingeniería Económica y Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mendiburu, F. (2015). *Agricolae tutorial (Version 1.2-3)*. La Molina, Perú: Departamento Académico de Estadística e Informática de la Facultad de Economía y Planificación. Universidad Agraria La Molina.
- Mijangos, L. J. (2019). *Investigación de Operaciones II*. Tuxtla Guitiérrez, Chiapas, México: Instituto Tecnológico de Tuxtla Guitiérrez.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and analysis of experiments*. Arizona, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Mora Flores, W. (2019). *Cálculo en Varias Variables. Visualización interactiva*. San José de Costa Rica: Escuela de Matemática, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Muñoz, C. R., Ochoa, H. M., & Morales, G. M. (2011). *Investigación de operaciones*. Delegación Álvaro Obregón, México D. F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Murillo, F. E. (2016). Riesgo agropecuario. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA*, 103-127 Pp.

- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos*. Colonia Desarrollo Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, México, D. F.: McGrawHill McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. de C. V.
- Nocedal, J., & Wright, S. J. (2006). *Numerical optimization*. New Jersey, U.S.A.: Springer Science & Business Media.
- 10). Esquistosomose mansônica: situação atual e perspectivas de controle. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 43(2), 123-130.
- O'Neill, P., & Thomas, J. (2010). Mathematical modelling of infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 8(11), 803-814.
- Padrón, C. E. (1996). *Diseños Experimentales: con aplicaciones a la agricultura y la ganadería*. Ciudad de México, México: Trillas. Mex.
- Parra, R. F. (2016). *Curso de Estadística con R*. Santander, Cantabria: Instituto Cántabro de Estadística.
- Rosales, A. J. (2001). *Análisis y diseño en el espacio de estado utilizando Matlab*. Quito, Ecuador: Escuela de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional .
- Rosell, E. K. (2022). *Optimización con programación dinámica*. Barcelona, España: Facultad de Matemáticas e Informática, Universidad de Barcelona.
- Rossum, V. G. (2009). *Tutorial Python versión 2.5.2*. Ciudad de México, México: Mundi Prensa.
- SEMARNAT, & CONAFOR. (2019). *Estrategia Nacional de Sanidad Forestal 2019-2024*. Ciudad de México, México.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Comisión Nacional Forestal.
- Szigeti, F., Cardillo, J., Hennem, J. C., & Calvet, J. L. (2014). El Método de Relajación Aplicado a Optimización de Sistemas Discretos. *ResearchGate*, 1-9.

- Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones 7ma Edición*. Atlacomulco No. 500-5° piso. Col. Industrial Atoto. Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Urquía, M. A., & Martín, V. C. (2016). *Métodos de simulación y modelado*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Valencia, N. E. (2018). *Investigación Operativa. Programación lineal, problemas resueltos con soluciones detalladas*. San Juan Bautista de Ambato, Provincia Tungurahua, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato (UTA).
- Vicéns, O. J., Herrarte, S. A., & Medina, M. E. (2005). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Distrito Federal, México: Trillas, S. A.



EDITORIAL ANDES COGNITIO



Moisés Arreguín Sámano

Moisés Arreguín Sámano Profesor e investigador de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB), Ecuador.



Ángel Leyva-Ovalle

Docente Investigador Universidad Autónoma Chapingo (UACH-DiCiFo), México. Ingeniero forestal con orientación en economía y ordenación por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), con experiencia en la División de Ciencias Forestales (DiCiFo), específicamente en el Departamento de Productos Forestales.



Mario Alejandro Paguay Alvarado

Docente de la carrera de Tecnologías de la información de la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el área de programación y manejo de datos, además de formar parte de la Comisión de Evaluación y Aseguramiento de la Calidad de la carrera. Realizo sus estudios de pregrado en la carrera de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la ESPOCH siendo el mejor graduado, así como sus estudios de postgrado en el Master de Computer Engineering for the Internet of Things en la Universidad de Calabria, Italia



Diego Andres Andrade Segarra

Profesional en Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, con maestrías en Telemática y Ciberseguridad, especializado en redes, sistemas telemáticos y seguridad informática. Experiencia docente universitaria en la ESPOCH y trayectoria como analista TIC en el sector público. Investigador en Deep Learning y NLP con enfoque en aplicaciones avanzadas de análisis de datos.

ISBN: 978-9907-9504-5-8



9 789907 950458