



EDITORIAL ANDES COGNITIVO

# DEL DISEÑO EXPERIMENTAL AL ANÁLISIS EN R

## APLICACIONES DEL DBCA Y CUADRADO LATINO EN INVESTIGACIÓN



*Moisés Arreguín Sámano  
Milton Gabriel Del Hierro Mosquera  
Ángel Leyva Ovalle  
Pamela Rosa Taco Hernández*

# **DEL DISEÑO EXPERIMENTAL AL ANÁLISIS EN R**

**Aplicaciones del DBCA y cuadrado latino en investigación**

Moisés Arreguín Sámano

Milton Gabriel Del Hierro Mosquera

Ángel Leyva- Ovalle

Pamela Rosa Taco Hernández



Editorial Andes Cognition

## DEL DISEÑO EXPERIMENTAL AL ANÁLISIS EN R

### Aplicaciones del DBCA y cuadrado latino en investigación

#### © Autores

##### **Moisés Arreguín Sámano**

**Correo:** marreguin@ueb.edu.ec

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

**Institución:** Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador

##### **Milton Gabriel Del Hierro Mosquera**

**Correo:** milton.delhierro@upec.edu.ec

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-1735-6674>

**Institución:** Universidad Politécnica Esta del Carchi- UPEC, Ecuador

##### **Ángel Leyva Ovalle**

**Correo:** aleyvao@chapingo.mx

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

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

##### **Pamela Rosa Taco Hernández**

**Correo:** rosapamelatacohernandez@gmail.com

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-1669-4348>

**Institución:** Investigadora Independiente, Ecuador

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

## **DEPARTAMENTO DE EDICIÓN**

### **Editado y Distribuido por:**

<b>Editorial:</b>	Andes Cognito
<b>Sello Editorial:</b>	978-9942-7408
<b>Teléfono:</b>	0995805659
<b>Web:</b>	<a href="https://andescognitio.org">https://andescognitio.org</a>
<b>ISBN:</b>	978-9907-9504-6-5
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.64230/5pfm7898">https://doi.org/10.64230/5pfm7898</a>

© Primera Edición

© Abril 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 Cognito” 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 libro “Del Diseño Experimental al Análisis en R: Aplicaciones del DBCA y Cuadrado Latino en Investigación” surge como una respuesta académica y metodológica a la creciente necesidad de integrar la teoría estadística con herramientas computacionales modernas en los procesos de investigación. En los contextos agrícola e industrial, donde la variabilidad es inherente a los sistemas productivos, el diseño experimental constituye un pilar fundamental para garantizar resultados válidos, reproducibles y técnicamente sustentados.

Esta obra ha sido concebida con el propósito de tender un puente entre los fundamentos clásicos del Diseño Experimental —particularmente el Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) y el Diseño en Cuadrado Latino— y su implementación práctica mediante el software R. El lector encontrará una exposición estructurada que inicia con los principios teóricos esenciales, avanza hacia la formulación del modelo estadístico y culmina con la programación, análisis e interpretación de resultados en un entorno computacional accesible y potente.

El enfoque adoptado combina rigurosidad matemática con aplicabilidad práctica. Cada capítulo integra ejemplos reales vinculados a la investigación agrícola e industrial, permitiendo comprender cómo los diseños experimentales optimizan recursos, reducen el error experimental y fortalecen la toma de decisiones basada en evidencia. Además, la incorporación de scripts en R facilita la replicabilidad y fomenta el desarrollo de competencias analíticas en estudiantes, docentes e investigadores.

Más que un manual técnico, esta obra busca consolidarse como una guía formativa que promueva el pensamiento crítico, la correcta estructuración de experimentos y el análisis estadístico responsable. Se espera que este libro contribuya al fortalecimiento de la investigación aplicada, brindando herramientas sólidas para enfrentar los desafíos metodológicos propios de los sistemas productivos contemporáneos y promoviendo una cultura científica fundamentada en el rigor y la innovación.

# ÍNDICE GENERAL

<b>PRÓLOGO</b> .....	2
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	3
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>CAPÍTULO I</b> .....	7
<b>FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	7
1.1. Cuadrado Latino ( <b>DCL</b> ) y Grecolatino ( <b>DCGL</b> ).....	7
1.2. Características.....	7
1.3. Modelo estadístico lineal.....	8
1.4. Representación simbólica.....	8
1.5. Implementación del ANOVA y Pruebas de Comparación de Medias en un Diseño Cuadrado Latino mediante R.....	16
<b>CAPÍTULO II</b> .....	54
<b>DISEÑO FACTORIAL</b> .....	54
2.1 Factorial ( <b>AB, ABC y ABCD</b> ).....	54
2.2 Diseño Factorial $2^2$ .....	65
2.2.1 Esquema del diseño factorial.....	66
2.3 Diseño Factorial $2^3$ .....	73
2.3.1 Modelo estadístico lineal.....	74
<b>CAPÍTULO III</b> .....	88
<b>APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B</b> .....	88
3.1 Aplicación 1.....	88

3.2	Aplicación 2.....	90
3.3	Aplicación 3.....	107
3.4	Aplicación 4.....	117
3.5	Aplicación 5.....	132
3.6	Aplicación 6.....	139
3.7	Aplicación 7.....	141
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>144</b>

## INTRODUCCIÓN

El Diseño Experimental constituye una de las herramientas metodológicas más importantes en la investigación científica, especialmente en los ámbitos agrícola e industrial, donde la variabilidad de los procesos productivos exige métodos rigurosos para la obtención de resultados confiables. La correcta planificación de un experimento permite controlar fuentes de variación, optimizar recursos y generar conclusiones válidas que respalden la toma de decisiones técnicas y estratégicas. En este contexto, el presente libro, “Del Diseño Experimental al Análisis en R: Aplicaciones del DBCA y Cuadrado Latino en Investigación”, ofrece una guía integral que articula los fundamentos teóricos con su aplicación práctica mediante el software R.

La obra se centra en dos de los diseños más utilizados en la experimentación aplicada: el Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) y el Diseño en Cuadrado Latino. Ambos modelos permiten controlar factores de variabilidad que, de no ser considerados, podrían distorsionar los resultados del estudio. A lo largo del texto, se desarrollan los principios estadísticos que sustentan estos diseños, el planteamiento del modelo matemático, el análisis de varianza (ANOVA) y la interpretación de efectos principales e interacciones.

Un elemento diferenciador de esta obra es la integración sistemática del análisis estadístico en R, proporcionando al lector herramientas prácticas para la programación, el procesamiento de datos y la visualización gráfica de resultados. Este enfoque fortalece las competencias analíticas y promueve la reproducibilidad científica.

El libro está dirigido a estudiantes de pregrado y posgrado, docentes, investigadores y profesionales vinculados a la investigación aplicada. Su propósito es facilitar la comprensión del diseño experimental como un proceso estructurado, lógico y esencial para garantizar calidad, eficiencia y validez en los estudios agrícolas e industriales.



EDITORIAL ANDES COGNITIO

# FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL



## CAPÍTULO I

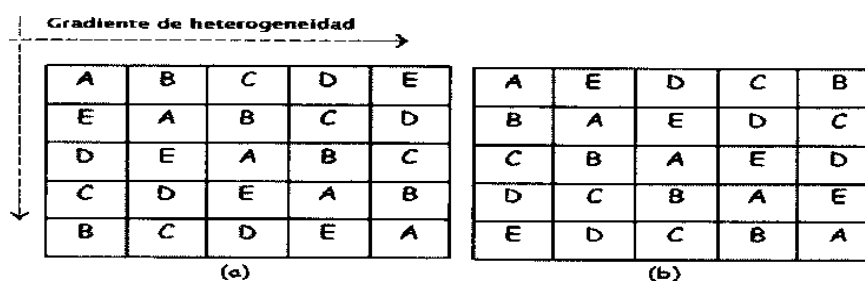
### FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 1.1. Cuadrado Latino (DCL) y Grecolatino (DCGL)

El DBCA es muy eficaz en reducir el error experimental al eliminar una fuente de variación. En cambio, el Diseño Cuadrado Latino (DCL) es útil para eliminar dos fuentes de variabilidad; es decir, permite hacer la formación de bloques sistemática en dos direcciones. En consecuencia, los bloques (filas, renglones o hileras) y columnas representan en realidad dos restricciones sobre aleatorización, pues DCL es una extensión del DBCA y aplica cuando las unidades experimentales pueden agruparse según a dos fuentes, llamadas bloques y columnas. Por ejemplo: en ganado de leche, en filas se ubica hembras y columnas diferentes periodos de lactancia.

#### 1.2. Características

- a) Cada tratamiento aparece una vez en cada fila, bloques o hilera y una más en cada columna; es decir, ningún tratamiento se repite en fila ni columna. Los tratamientos se representan por letras latinas, se disponen mediante permutaciones horizontales a verticales:



- b) Existirá homogeneidad, dentro de filas y columnas, entre unidades experimentales. Además, existirá alta heterogeneidad entre filas (bloques) y columnas.
- c) Diferencias de fertilidad entre filas, bloques o hileras y diferencias entre columnas son eliminadas en comparación de medias de tratamientos con aumento en precisión del experimento.
- d) Número de unidades experimentales en cada fila y columna será igual al número de tratamientos en estudio:  $r = c = t$ . El número total de unidades experimentales de todo el experimento será igual a  $r^2$ .
- e) Cada fila o columna es una repetición completa de tratamientos.

- f) La particularidad de DCL de constituir bloques completos en sentido de filas y columnas permite observar, en ambos sentidos, la variabilidad del material experimental.
- g) Su uso se recomienda cuando el número de tratamientos oscila entre 3 y 10, pues a mayor número no es práctico debido a la característica anterior.
- h) Si se produce pérdida de una o más unidades experimentales por razones ajenas al experimento, existen métodos para asignar a esa unidad experimental un valor.

**1.3. Modelo estadístico lineal**

El modelo estadístico lineal está dado por  $Y_{ijk}$  (Observación en intersección de  $i$ -ésima fila con  $k$ -ésima columna) =  $\mu$  (Media poblacional) +  $\beta_j$  (Efecto por filas-bloque o hilera-) +  $\gamma_k$  (Efecto por columna) +  $\tau_i$  (Efecto por tratamiento) +  $\varepsilon_{ijk}$  (Error experimental) tal que  $\sum_{i=1}^t \tau_i = \sum_{i=1}^t \beta_j = t \sum_{i=1}^t \gamma_k = 0$ ,  $\varepsilon_{ijk} \sim \text{DNI}(0, \sigma^2)$  e  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, t$  tratamiento,  $j = 1, 2, 3, 4, \dots, t$  filas – bloques o hileras – y  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, t$  columnas.

**1.4. Representación simbólica**

La representación simbólica de datos del DCL con “t” tratamientos y “b” bloques es:

Filas (j) (Hileras o Bloques)	Columnas (i)				Total filas
	1	2	3	4	$Y_{.j}$
1	$Y_{i11}$	$Y_{i12}$	$Y_{i13}$	$Y_{i14}$	$Y_{.1}$
2	$Y_{i21}$	$Y_{i22}$	$Y_{i23}$	$Y_{i24}$	$Y_{.2}$
3	$Y_{i31}$	$Y_{i32}$	$Y_{i33}$	$Y_{i34}$	$Y_{.3}$
4	$Y_{i41}$	$Y_{i42}$	$Y_{i43}$	$Y_{i44}$	$Y_{.4}$
<b>Total columnas (<math>Y_{..k}</math>)</b>	$Y_{..1}$	$Y_{..2}$	$Y_{..3}$	$Y_{..4}$	$Y_{..}$
<b>Resumen tratamientos (<math>Y_{i..}</math>)</b>	$Y_{1..}$	$Y_{2..}$	$Y_{3..}$	$Y_{4..}$	
<b>Promedio tratamientos (<math>\bar{Y}_{i..}</math>)</b>	$\bar{Y}_{1..}$	$\bar{Y}_{2..}$	$\bar{Y}_{3..}$	$\bar{Y}_{4..}$	$\bar{Y}_{..}$

Al aplicar método de mínimos cuadrados,  $\sum \sum \sum \varepsilon_{ijk}^2 = \text{mínimo} = \sum \sum \sum (Y_{ijk} - \mu - \beta_j - \gamma_k - \tau_i)^2 = 0 \Rightarrow \delta$  respecto a  $\hat{\mu}, \hat{\tau}_i, \hat{\beta}_j, \hat{\gamma}_k$  se obtienen las ecuaciones normales. Por ejemplo:  $t^2 \hat{\mu} + t \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i + t \sum_{j=1}^t \hat{\beta}_j + t \sum_{k=1}^t \hat{\gamma}_k = Y_{..} = G_{(\text{Gran Total})}$ ,  $t \hat{\mu} + t \hat{\beta}_j + \sum_{k=1}^t \hat{\gamma}_k + \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i = Y_{.j} = H_j_{(\text{Total de hilera } j)}$ ,  $t \hat{\mu} + \sum_{j=1}^t \hat{\beta}_j + t \hat{\gamma}_k + \sum_{i=1}^t \hat{\tau}_i = Y_{.k} = C_k_{(\text{Total columna } k)}$  o  $t \hat{\mu} + \sum_{j=1}^t \hat{\beta}_j + \sum_{k=1}^t \hat{\gamma}_k + t \hat{\tau}_i = Y_{i.} = T_i_{(\text{Total para tratamiento y de variable estudio})}$ .

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

En análisis de varianza hay una fuente de variación para cada factor: fila, columna, tratamiento, error experimental y total. Tal que, del modelo dado en

$$Y_{ijk}(\text{Observación en intersección de } i\text{-ésima fila con } k\text{-ésima columna}) = \mu(\text{Media poblacional}) + \beta_j(\text{Efecto por filas-bloque o hilera-}) + \gamma_k(\text{Efecto por columna}) + \tau_i(\text{Efecto por tratamiento}) + \varepsilon_{ijk}(\text{Error experimental}),$$

se puede estimar que  $Y_{ijk} - \bar{Y} = (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...}) + (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...}) + (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + (Y_{ijk} - \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{i..} + 2\bar{Y}_{...}) \Rightarrow \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - \bar{Y})^2 = t \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...})^2 + t \sum_{k=1}^t (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})^2 + t \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^2 + \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{i..} + 2\bar{Y}_{...})^2$ .

Con base en lo anterior, se calcula suma de cuadrados de cada componente; por ejemplo  $SC_{(\text{Total})} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{t^2}$ ,  $SC_{(\text{Filas})} = t \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...})^2 = \frac{\sum_{j=1}^t Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{...}^2}{t^2}$ ,  $SC_{(\text{Columnas})} = t \sum_{k=1}^t (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})^2 = \frac{\sum_{k=1}^t Y_{..k}^2}{t} - \frac{Y_{...}^2}{t^2}$ ,  $SC_{(\text{Tratamientos})} = t \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^2 = \frac{\sum_{i=1}^t Y_{i..}^2}{t} - \frac{Y_{...}^2}{t^2}$  y  $SC_{(\text{Error})} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t (Y_{ijk} - \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{i..} + 2\bar{Y}_{...})^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - \frac{\sum_{j=1}^t Y_{.j}^2}{t} - \frac{\sum_{k=1}^t Y_{..k}^2}{t} - \frac{\sum_{i=1}^t Y_{i..}^2}{t} + 2 \frac{Y_{...}^2}{t^2}$ .

Además, la eficiencia relativa de un DCL respecto a DBCA es  $E.R.(\text{Eficiencia Relativa}) = \frac{M_R(\text{Cuadrado Medio de Hileras}) + M_C(\text{Cuadrado Medio de Columnas}) + (t-1)M_R(\text{Cuadrado Medio de Hileras})}{(t-1)M_E(\text{Cuadrado Medio de Error})}$  tal que la

eficiencia relativa de un DCL con DBCA, suponiendo que hileras se usan como bloques, es

$$E.R.(\text{Eficiencia Relativa}) = M_C(\text{Cuadrado Medio de Columnas}) = \frac{(t-1)M_E(\text{Cuadrado Medio de Error})}{tM_E(\text{Cuadrado Medio de Error})}$$

Además, la eficiencia de un DCL respecto a un DCA y DBCA, así tratamientos hubiesen sido completamente aleatorizados en todas las Unidades Experimentales, se basa en comparar algebraicamente lo que podría haber sucedido en  $CME_{DCL} = \frac{SME_{DCL}}{(t-2)(t-1)}$  con aleatorización completa.

Si se compara el cuadrado medio del error de DCL en términos de DCA es  $CME_{DCA} = \frac{(t-1)CME_{Fila} + (t-1)CME_{Columna} + (t-2)(t-1)CME_{DCL}}{(t-1) + (t-1) + (t-2)(t-1)} = \frac{CME_{Fila} + CME_{Columna} + (t-2)CME_{DCL}}{t} \Rightarrow$  eficiencia

relativa (ER) de DCA respecto a DCL es  $ER_{DCA \rightarrow DCL} = \frac{CME_{Fila} + CME_{Columna} + (t-1)CME_{DCL}}{tCME_{DCL}} =$

$$\frac{1}{t} \frac{CME_{Fila}}{CME_{DCL}} + \frac{CME_{Columna}}{tCME_{DCL}} + \left(1 - \frac{2}{t}\right) = 1 - \frac{1}{t}(1 - F_F) - \frac{1}{t}(1 - F_C) = 1 - \frac{1}{t} \left(1 - \frac{CME_{Fila} DCL}{CME_{DCL}}\right) -$$

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

$\frac{1}{t} \left( 1 - \frac{CME_{\text{Columna DCL}}}{CME_{\text{DCL}}} \right)$  tal que si  $F_F, F_C > 1 \Rightarrow ER_{\text{DCA} \rightarrow \text{DCL}} < 1$  por lo que DCL es más eficiente que DCA.

Si se compara DCL con DBCA es  $CME_{\text{DBCA}} = \frac{(t-1)CME_{\text{Fila}} + (t-2)(t-1)CME_{\text{DCL}}}{(t-1) + (t-2)(t-1)} = \frac{CME_{\text{Fila}} + (t-2)CME_{\text{DCL}}}{(t-1)}$   $\Rightarrow$  eficiencia relativa (ER) de DBCA respecto a DCL es  $ER_{\text{DBCA} \rightarrow \text{DCL}} = \frac{CME_{\text{Fila}} + (t-2)CME_{\text{DCL}}}{(t-1)CME_{\text{DCL}}} = 1 + \frac{1}{(t-1)}(1 - F_F) = 1 + \frac{1}{(t-1)} \left( 1 - \frac{CME_{\text{Fila DCL}}}{CME_{\text{DCL}}} \right)$  tal que si  $F_F > 1 \Rightarrow ER_{\text{DBCA} \rightarrow \text{DCL}} > 1$  por lo que DCL es más eficiente que DBCA, sino será al revés.

**Tabla 1.1** Ventajas, Desventajas y Aplicaciones del Diseño Cuadrado Latino (DCL)

Diseño Cuadrado Latino (DCL)		
Ventajas	Desventajas	Usos
a) Al hacer control local en dos direcciones, se tiene mayor control en variación, resultando el CME más pequeño que si se usa DCA o DBCA.	a) Número de tratamientos está limitado al número de columnas e hileras.	
b) Si se pierden todas las unidades experimentales de un mismo tratamiento, el resto de tratamientos siguen ajustados al DCL y, en caso, que se pierda una hilera (bloques) o columna, el diseño queda ajustado al DBCA.	b) Es raro usar DCL con más de 10 tratamientos, pues el número de unidades experimentales se incrementa notablemente a medida que t aumenta.	
c) Aplicable en estimación de efecto cúpula o, también, conocido como superficie de respuesta.		

**Fuente:** Adaptado de Gomez y Gomez (1984); Cochran y Cox (1957).

Su ANOVA es:

*Tabla 1.2 Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Cuadrado Latino (DCL)*

<b>F. de V</b> <sub>(Factor de Variación)</sub> <b>0</b> <b>V.F.</b> <sub>(Variation factor)</sub>	<b>Gl</b> <sub>(Grados de Libertad)</sub> <b>0</b> <b>Df</b> <sub>(Degrees of freedom)</sub>	<b>SC</b> <sub>(Suma de Cuadrados)</sub> <b>0</b> <b>SumSq</b> <sub>(Sum of square)</sub>	<b>CM</b> <sub>(Cuadrado Medio)</sub> <b>0</b> <b>Mean Sq</b> <sub>(Mean squares)</sub>	<b>F</b> <sub>(calculada)</sub> <b>0</b> <b>F value</b> <sub>(Calculated F)</sub>	<b>F</b> <sub>(tablas)</sub>
<b>Total</b>	$(r^2 - 1)$	$\sum_{ij} X_{ij}^2 - \frac{X_{..}^2}{N}$			
<b>Tratamientos</b>	$(r - 1)$	$\sum_i \frac{X_{i.}^2}{r} - \frac{X_{..}^2}{N}$	$\frac{SCT}{(r - 1)}$	$\frac{CMT}{CME}$	$\frac{gl(\text{tratamientos})}{gl(\text{error})}$
<b>Hileras, Filas o Bloques</b>	$(r - 1)$	$\sum_j \frac{X_{.j}^2}{r} - \frac{X_{..}^2}{N}$	$\frac{SCH}{(r - 1)}$	$\frac{CMH}{CME}$	$\frac{gl(\text{hileras})}{gl(\text{error})}$
<b>Columnas</b>	$(r - 1)$	$\sum_j \frac{X_{.j}^2}{r} - \frac{X_{..}^2}{N}$	$\frac{SCC}{(r - 1)}$	$\frac{CMC}{CME}$	$\frac{gl(\text{columnas})}{gl(\text{error})}$
<b>Error</b>	$(r - 1)(r - 2)$	$SCE = SCT - (SCT + SCH + SCC)$	$\frac{SCE}{(r - 1)(r - 2)}$		

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Equivalente a:

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Cuadrado Latino (DCL)					
F. de V o VF (Factor de Variación Variation factor)	Gl o Df (Grados de Libertad Degrees of freedom)	SC o SumSq (Suma de Cuadrados Sum of square)	CM o Mean Sq (Cuadrado Medio Mean squares)	F <sub>(calculada)</sub> o F value (Calculated F)	F <sub>(tablas)</sub>
<b>Total</b>	$(r^2 - 1)$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{r^2}$			
<b>Tratamientos</b>	$(r - 1)$	$\frac{\sum_{i=1}^t Y_i^2}{t} - \frac{Y_{...}^2}{r^2}$	$\frac{SCT}{(r - 1)}$	$\frac{CMT}{CME}$	$\frac{gl(\text{tratamientos})}{gl(\text{error})}$
<b>Hileras, Filas o Bloques</b>	$(r - 1)$	$\frac{\sum_{j=1}^t Y_j^2}{t} - \frac{Y_{...}^2}{r^2}$	$\frac{SCH}{(r - 1)}$	$\frac{CMH}{CME}$	$\frac{gl(\text{hileras})}{gl(\text{error})}$
<b>Columnas</b>	$(r - 1)$	$\frac{\sum_{k=1}^t Y_k^2}{t} - \frac{Y_{...}^2}{r^2}$	$\frac{SCC}{(r - 1)}$	$\frac{CMC}{CME}$	$\frac{gl(\text{columnas})}{gl(\text{error})}$

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Cuadrado Latino (DCL)					
F. de V <sub>0</sub> (Factor de Variación) VF (Variation factor)	G <sub>0</sub> (Grados de Libertad) Df (Degrees of freedom)	SC <sub>0</sub> (Suma de Cuadrados) SumSq (Sum of square)	CM <sub>0</sub> (Cuadrado Medio) Mean Sq (Mean squares)	F <sub>0</sub> (calculada) F value (Calculated F)	F <sub>0</sub> (tablas)
<b>Error</b>	$(r-1)(r-2)$	$\left[ \frac{\sum_{j=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{\sum_{j=1}^r Y_{.j}^2}{t}}{\sum_{j=1}^r Y_{.j}^2} - \frac{\sum_{k=1}^r Y_{.k}^2}{t} \right] + \left[ \frac{2 Y_{..}^2}{r^2} \right]$	$\frac{SCE}{(r-1)(r-2)}$		
<b>Total</b>	$(r^2 - 1)$	$\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^r X_{jkl}^2 - \frac{X_{..}^2}{N}$			
<b>Tratamientos</b>	$(r-1)$	$SCT_r = \sum_{j=1}^r \frac{X_{.j}^2}{r} - \frac{X_{..}^2}{N}$	$\frac{SCT_r}{(r-1)}$	$\frac{CMT_r}{CME}$	$\frac{gl(\text{tratamientos})}{gl(\text{error})}$
<b>Hileras</b>	$(r-1)$	$SCB_1 = \sum_{j=1}^r \frac{X_{.j}^2}{r} - \frac{X_{..}^2}{N}$	$\frac{SCB_1}{(r-1)}$	$\frac{CMB_1}{CME}$	$\frac{gl(B_1)}{gl(\text{error})}$
<b>Columnas</b>	$(r-1)$	$SCB_2 = \sum_{j=1}^r \frac{X_{.j}^2}{r} - \frac{X_{..}^2}{N}$	$\frac{SCB_2}{(r-1)}$	$\frac{CMB_2}{CME}$	$\frac{gl(B_2)}{gl(\text{error})}$

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Cuadrado Latino (DCL)					
F. de V 0 VF (Factor de Variación) VF (Variation factor)	Gl 0 Df (Grados de Libertad) Df (Degrees of freedom)	SC 0 SumSq (Suma de Cuadrados) SumSq (Sum of square)	CM 0 MeanSq (Cuadrado Medio) MeanSq (Mean squares)	F 0 F value (calculada) F value (Calculated F)	F (tablas)
Letras griegas	(r-1)	$SCB_3 = \sum_{k=1}^r \frac{X_{..k}^2}{r} - \frac{X_{...}^2}{N}$	$\frac{SCB_3}{(r-1)}$	$\frac{CMB_3}{CME}$	$\frac{gl(B_3)}{gl(error)}$
Error	(r-3)(r-1)	$SCE = SCT - (SCT_r + SCB_1 + SCB_2 + SCB_3)$	$\frac{SCE}{(r-3)(r-1)}$		

Fuente: Adaptado de Fisher (1935); Cochran y Cox (1957); Gomez y Gomez (1984).

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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 la 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  $\rho - \text{Value}_{(\text{Rho value})}$ .
- 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 y/o Prueba de Scheffé) con nivel de significancia de 0.05 y/o 0.01 ( $\alpha = 0.05$  y/o  $\alpha = 0.01$ ).

### 1.5. Implementación del ANOVA y Pruebas de Comparación de Medias en un Diseño Cuadrado Latino mediante R

#### Ejercicio 1.1

Introducción de datos:

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> produce &lt;- c(12, 17, 24, 12, 18, 22, 14, 15, 15, 13, 20, 31, 20, 14, 12, 18)  fila &lt;- factor(rep(1:4, 4))  columna &lt;- factor(rep(1:4, each=4))  variedad &lt;- c("A", "C", "D", "B", "B", "D", "C", "A", "C", "A", "B", "D", "D", "B", "A", "C")  problema &lt;- data.frame(fila, columna, variedad, produce)  rm(fila, columna, variedad, produce)  attach(problema)  matrix(problema\$variedad, 4, 4)  p.aov &lt;- aov(produce ~ fila + columna + variedad, data = problema)  summary(p.aov)  detach(variedad)  variedad                     </pre>	<p>Se trata de un diseño de Cuadrados Latinos</p> <p>No hay diferencias significativas entre filas ni entre columnas. En cambio sí hay diferencias entre variedades.</p>
<pre> install.packages("agricolae") library(agricolae)  model &lt;- aov(produce ~ variedad)  LSD.test(model, "variedad", console=TRUE)                     </pre>	<p>Con base en (De Mendiburu, 2017), es necesario instalar el comando “agricolae” para hacer las siguientes pruebas de medias de tratamientos:</p> <p>Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS, LSD, t de Fisher ó Least Significant Difference).</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
LSD.test(model, "variedad", group=T, p.adj="bon", console=TRUE)	Prueba de Bonferroni.
duncan.test(model, "variedad", console=TRUE)	Prueba de Duncan o Rangos Múltiples de Duncan.
SNK.test(model, "variedad", group=TRUE, console=TRUE)	Prueba de Student-Newman-Keuls (SNK) o Método de Keul.
REGW.test(model, "variedad", group=FALSE, console=TRUE)	Prueba de Prueba Ryan, Einot and Gabriel and Welsch valor.
outHSD <- HSD.test(model, "variedad", console=TRUE)	Prueba de Tukey o Tukey's W Procedure (HSD).
outWaller <- waller.test(model, "variedad", group=TRUE, console=TRUE)	Prueba de Prueba T Waller-Duncan's Bayesian K-Ratio.
scheffe.test(model, "especie", group=TRUE, console=TRUE)	
g.lm <- lm(produce ~ variedad)	
anova(g.lm)	Prueba de Scheffé (Scheffé's Test).
lm(produce ~ variedad)	
summary(g.lm)	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores mediante el software R (R Core Team, 2023) y el paquete agricolae (de Mendiburu, 2017).

**Ejercicio 1.2**

Un experimento con cuatro variedades de arroz, con gradientes en dos sentidos se muestra (rendimiento Kg/Parcela) enseguida. Los totales de cada tratamiento son  $A=32$ ,  $B=16$ ,  $C=28$  y  $D=20$ .

Experimento con Cuatro Variedades de Arroz					
	B	D	A	C	Total hileras
	2	3	6	8	19
	A	C	B	D	
	7	5	5	7	24
	D	B	C	A	
	5	4	9	10	28
	C	A	D	B	
	6	9	5	5	25
<b>Total columnas</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>96</b>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Rendimiento &lt;- c(2, 3, 6, 8, 7, 5, 5, 7, 5, 4, 9, 10, 6, 9, 5, 5)  Columna &lt;- factor(rep(1:4, 4))  Hilera.Fila &lt;- factor(rep(1:4, each=4))  Tratamiento &lt;- c("B", "A", "D", "C", "D", "C", "B", "A", "A", "B", "C", "D", "C", "D", "A", "B")</pre>	Se ordena por columnas.

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>problema &lt;- data.frame(Columna, Hilera.Fila, Tratamiento, Rendimiento)</pre>	
<pre>rm(Columna, Hilera.Fila, Tratamiento, Rendimiento)</pre>	
<pre>attach(problema)</pre>	
<pre>matrix(problema\$Tratamiento, 4, 4)</pre>	<p>Se trata de un diseño de Cuadrados Latinos.</p>
<pre>p.aov &lt;- aov(Rendimiento ~ Columna + Hilera.Fila + Tratamiento, data = problema)</pre>	<p>Tabla del análisis de la varianza para este diseño.</p>
<pre>summary(p.aov)</pre>	<p>No hay diferencias significativas entre filas ni entre columnas. En cambio, sí hay diferencias entre variedades.</p>
<pre>detach(Tratamiento)</pre>	
<pre>Tratamiento</pre>	

```
install.packages("agricolae")
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Rendimiento ~ Tratamiento)
```

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

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

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Rendimiento ~ Tratamiento)
```

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

```
lm(Rendimiento ~ Tratamiento)
```

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

```
plot(Rendimiento ~ Tratamiento)
```

```
boxplot(Rendimiento ~ Hilera.Fila)
```

```
boxplot(Rendimiento ~ Columna)
```

```
stripchart(Rendimiento ~ Tratamiento, method="stack")
```

**Ejercicio 1.3**

Estime el Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Cuadrado Latino (DCL) para Rapidez de Combustión:

A	B	C	D	E
24	20	19	24	24
B	C	D	E	A
17	24	30	27	36
C	D	E	A	B
18	38	26	27	21
D	E	A	B	C
26	31	26	23	22
E	A	B	C	D
22	30	20	29	31

Combustion <- c(24, 17, 18, 26, 22, 20, 24, 38, 31, 30, 19, 30, 26, 26, 20, 24, 27, 27, 23, 29, 24, 36, 21, 22, 31)

Lotes.Materia.Prima <- factor(rep(1:5, 5))

Operadores <- factor(rep(1:5, each=5))

Formulaciones <- c("A", "B", "C", "D", "E", "B", "C", "D", "E", "A", "C", "D", "E", "A", "B", "D", "E", "A", "B", "C", "E", "A", "B", "C", "D")

problema <- data.frame(Lotes.Materia.Prima, Operadores, Formulaciones, Combustion)

rm(Lotes.Materia.Prima, Operadores, Formulaciones, Combustion)

attach(problema)

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
matrix(problema$Formulaciones, 5, 5)
```

```
p.aov <- aov(Combustion ~ Lotes.Materia.Prima + Operadores + Formulaciones, data = problema)
```

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

```
detach(Formulaciones)
```

### **Formulaciones**

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Combustion ~ Formulaciones)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Combustion ~ Formulaciones)
```

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

```
lm(Combustion ~ Formulaciones)
```

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

```
library(agricolae)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
model <- aov(Combustion ~ Operadores)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Combustion ~ Operadores)
```

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

```
lm(Combustion ~ Formulaciones)
```

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

```
plot(Combustion ~ Formulaciones)
```

```
boxplot(Combustion ~ Lotes.Materia.Prima)
```

```
boxplot(Combustion ~ Operadores)
```

```
stripchart(Combustion ~ Formulaciones, method="stack")
```

**Ejercicio 1.4**

Un Ingeniero Agroindustrial hizo una investigación en producción de Papa usando DCL con insecticidas y abonos.

C	D	B	A
7	8	4	3
B	A	C	D
15	16	18	23
D	B	A	C
18	12	12	10
A	C	D	B
14	13	16	14

Produccion <- c(7, 15, 18, 14, 8, 16, 12, 13, 4, 18, 12, 16, 3, 23, 10, 14)

Abonos <- factor(rep(1:4, 4))

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

Semillas <- c("C", "B", "D", "A", "D", "A", "B", "C", "B", "C", "A", "D", "A", "D", "C", "B")

Vars.papa <- c("α", "β", "γ", "δ", "β", "γ", "δ", "α", "γ", "δ", "α", "β", "δ", "α", "β", "γ")

problema <- data.frame(Abonos, Insecticidas, Semillas, Vars.papa, Produccion)

rm(Abonos, Insecticidas, Semillas, Vars.papa, Produccion)

attach(problema)

matrix(problema\$Semillas, 4, 4)

matrix(problema\$Vars.papa, 4, 4)

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
p.aov <- aov(Produccion ~ Abonos + Insecticidas + Semillas + Vars.papa, data = problema)
```

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

```
detach(Semillas)
```

Semillas

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Produccion ~ Abonos)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Produccion ~ Abonos)
```

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

```
lm(Produccion ~ Abonos)
```

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

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Produccion ~ Semillas)
```

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Produccion ~ Semillas)
```

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

```
lm(Produccion ~ Semillas)
```

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

```
plot(Produccion ~ Abonos)
```

```
boxplot(Produccion ~ Semillas)
```

```
boxplot(Produccion ~ Insecticidas)
```

```
boxplot(Produccion ~ Vars.papa)
```

```
stripchart(Produccion ~ Abonos, method="stack")
```

**Ejercicio 1.5**

Una compañía de fabricación de llantas quería comparar la durabilidad de cuatro marcas de llantas (T1 “Chevy”, T2 “Ford”, T3 “Dodge” y T4 “Toyota”). El Estadístico de la compañía decidió usar un Diseño de Cuadrado Latino, porque existieron dos fuentes de variación cocidas por el investigador: 1. Marca de vehículo y 2. Posición de la llanta en el vehículo. Los tratamientos fueron la marca de llantas, mismos que fueron asignados al azar en cada fila y columna. La variable que se midió fue el desgaste de las llantas en micrón x 100 (valores en paréntesis).

	Marca del vehículo	Columnas (Posición de las llantas en el vehículo) (4)			
		Delantera (derecha)	Delantera (izquierda)	Posterior (derecha)	Posterior (Izquierda)
Hileras o Filas (4)	1. Chevy	T3: (39)	T1 (35)	T2 (27)	T4 (17)
	2. Ford	T2 (28)	T4 (19)	T3 (40)	T1 (37)
	3. Dodge	T1 (33)	T2 (26)	T4 (21)	T3 (38)
	4. Toyota	T4 (22)	T3 (40)	T1 (29)	T2 (34)

```
Desgaste.Llantas <- c(39, 28, 33, 22, 35, 19, 26, 40, 27, 40, 21, 29, 17, 37, 38, 34)
```

```
Marca.Vehiculo <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Posicion.Llantas <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Marcas.Llantas <- c("T3", "T2", "T1", "T4", "T1", "T4", "T2", "T3", "T2", "T3", "T4", "T1", "T4", "T1", "T3", "T2")
```

```
Dibujo.Llantas <- c("α", "β", "γ", "δ", "β", "γ", "δ", "α", "γ", "δ", "α", "β", "δ", "α", "β", "γ")
```

```
problema <- data.frame(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Dibujo.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

```
rm(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Dibujo.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Marcas.Llantas, 4, 4)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
matrix(problema$ Dibujo.Llantas, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo + Posicion.Llantas + Marcas.Llantas +  
Dibujo.Llantas, data = problema)
```

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

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

```
detach(Marcas.Llantas)
```

```
Marcas.Llantas
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

```
lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
plot(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

```
boxplot(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo)
```

```
boxplot(Desgaste.Llantas ~ Posicion.Llantas)
```

```
stripchart(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas, method="stack")
```

### Ejercicio 1.6

Se realizó un experimento en Diseño de Cuadrado Latino con el propósito de evaluar cuatro marcas de vehículo (Filas), la posición de las llantas en el carro (Columnas) y cuatro marcas de llantas (Tratamientos). El estadístico de la compañía de fabricación de llantas, evaluó el desgaste de las mismas en la unidad de Micrón/100.

	Marca del vehículo	Columnas (Posición de las llantas en el vehículo) (4)			
		Delantera (derecha)	Delantera (izquierda)	Posterior (derecha)	Posterior (Izquierda)
Hileras o Filas (4)	1. Toyota	T1 (17)	T2 (25)	T3 (30)	T4 (38)
	2. Nissan	T2 (22)	T3 (28)	T4 (32)	T1 (13)
	3. Mazda	T3 (32)	T4 (40)	T1 (19)	T2 (26)
	4. Ford	T4 (45)	T1 (14)	T2 (29)	T3 (36)

```
Desgaste.Llantas <- c(17, 22, 32, 45, 25, 28, 40, 14, 30, 32, 19, 29, 38, 13, 26, 36)
```

```
Marca.Vehiculo <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Posicion.Llantas <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Marcas.Llantas <- c("T3", "T2", "T1", "T4", "T1", "T4", "T2", "T3", "T2", "T3", "T4", "T1", "T4", "T1", "T3", "T2")
```

```
problema <- data.frame(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
rm(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Marcas.Llantas, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo + Posicion.Llantas + Marcas.Llantas, data =  
problema)
```

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

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

```
detach(Marcas.Llantas)
```

```
Marcas.Llantas
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
g.lm <- lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

```
lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

**Ejercicio 1.7**

Una compañía de fabricación de llantas quería comparar la durabilidad de cuatro marcas de llantas (T1; T2; T3 y T4). El Estadístico de la compañía decidió usar un Diseño de Cuadrado Latino, porque existieron dos fuentes de variación conocidas por el investigador: 1. Marca de vehículo y 2. Posición de la llanta en el vehículo. Los tratamientos fueron la marca de llantas, mismos que fueron asignados al azar en cada fila y columna. La variable que se midió fue el desgaste de las llantas en micrón x 100 (valores en paréntesis).

	Marca del vehículo	Columnas (Posición de las llantas en el vehículo) (4)			
		Delantera (derecha)	Delantera (izquierda)	Posterior (derecha)	Posterior (Izquierda)
Hileras o Filas (4)	1. Chevy	T3: (37)	T1 (33)	T2 (25)	T4 (15)
	2. Ford	T2 (26)	T4 (17)	T3 (37)	T1 (34)
	3. Dodge	T1 (31)	T2 (24)	T4 (18)	T3 (35)
	4. Toyota	T4 (20)	T3 (38)	T1 (26)	T2 (32)

```
Desgaste.Llantas <- c(37, 26, 31, 20, 33, 17, 24, 38, 25, 37, 18, 26, 15, 34, 35, 32)
```

```
Marca.Vehiculo <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Posicion.Llantas <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Marcas.Llantas <- c("T3", "T2", "T1", "T4", "T1", "T4", "T2", "T3", "T2", "T3", "T4", "T1", "T4", "T1", "T3", "T2")
```

```
problema <- data.frame(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

```
rm(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Marcas.Llantas, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo + Posicion.Llantas + Marcas.Llantas, data = problema)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

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

```
detach(Marcas.Llantas)
```

```
Marcas.Llantas
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

```
lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

```
plot(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

```
boxplot(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
boxplot(Desgaste.Llantas ~ Posicion.Llantas)
```

```
stripchart(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas, method="stack")
```

### Ejercicio 1.8

Una compañía de fabricación de llantas quería comparar la durabilidad de cuatro marcas de llantas (T1; T2; T3 y T4). El Estadístico de la compañía decidió usar un Diseño de Cuadrado Latino, porque existieron dos fuentes de variación cocidas por el investigador: 1. Marca de vehículo y 2. Posición de la llanta en el vehículo. Los tratamientos fueron la marca de llantas, mismos que fueron asignados al azar en cada fila y columna. La variable que se midió fue el desgaste de las llantas en micrón x 100 (valores en paréntesis).

	Marca del vehículo	Columnas (Posición de las llantas en el vehículo) (4)			
		Delantera (derecha)	Delantera (izquierda)	Posterior (derecha)	Posterior (Izquierda)
Hileras o Filas (4)	1. Chevy	T3: (39)	T1 (35)	T2 (27)	T4 (17)
	2. Ford	T2 (28)	T4 (19)	T3 (40)	T1 (37)
	3. Dodge	T1 (33)	T2 (26)	T4 (21)	T3 (38)
	4. Toyota	T4 (22)	T3 (40)	T1 (29)	T2 (34)

```
Desgaste.Llantas <- c(39, 28, 33, 22, 35, 19, 26, 40, 27, 40, 21, 29, 17, 37, 38, 34)
```

```
Marca.Vehiculo <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Posicion.Llantas <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Marcas.Llantas <- c("T3", "T2", "T1", "T4", "T1", "T4", "T2", "T3", "T2", "T3", "T4", "T1", "T4", "T1", "T3", "T2")
```

```
problema <- data.frame(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

```
rm(Marca.Vehiculo, Posicion.Llantas, Marcas.Llantas, Desgaste.Llantas)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Marcas.Llantas, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo + Posicion.Llantas + Marcas.Llantas, data =  
problema)
```

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

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

```
detach(Marcas.Llantas)
```

```
Marcas.Llantas
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

`anova(g.lm)`

`lm(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)`

`summary(g.lm)`

`plot(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas)`

`boxplot(Desgaste.Llantas ~ Marca.Vehiculo)`

`boxplot(Desgaste.Llantas ~ Posicion.Llantas)`

`stripchart(Desgaste.Llantas ~ Marcas.Llantas, method="stack")`

**Ejercicio 1.9**

En la obtención de un determinado producto químico se está interesado en comparar 4 procedimientos. Se supone que en dicha obtención también puede influir temperatura, presión y tipo de catalizador empleado, decidiéndose realizar un experimento DCGL. Se consideran 4 niveles de cada uno de estos factores. Las filas representan el factor principal (procedimientos), columnas indican factor temperatura, letras latinas factor presión y letras griegas factor tipo catalizador.

Procedimientos	Temperaturaas			
	T1	T2	T3	T4
P1	C β 5	B α 12	A δ 13	D γ 13
P2	B γ 6	C δ 10	D α 15	A β 11
P3	D δ 7	A γ 5	B β 5	C α 7
P4	A α 11	D β 10	C γ 8	B δ 9

Producto.Quimico <- c(5, 6, 7, 11, 12, 10, 5, 10, 13, 15, 5, 8, 13, 11, 7, 9)

Procedimientos <- factor(rep(1:4, 4))

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

Presion <- c("C", "B", "D", "A", "B", "C", "A", "D", "A", "D", "B", "C", "D", "A", "C", "B")

Catalizador <- c("β", "γ", "δ", "α", "α", "δ", "γ", "β", "δ", "α", "β", "γ", "γ", "β", "α", "δ")

problema <- data.frame(Procedimientos, Temperatura, Presion, Catalizador, Producto.Quimico)

rm(Procedimientos, Temperatura, Presion, Catalizador, Producto.Quimico)

attach(Presion)

attach(problema)

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
matrix(problema$Presion, 4, 4)
```

```
matrix(problema$Catalizador, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Producto.Quimico ~ Procedimientos + Temperatura + Presion + Catalizador, data =  
problema)
```

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

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

```
detach(Presion)
```

```
Presion
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Producto.Quimico ~ Procedimientos)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
g.lm <- lm(Producto.Quimico ~ Procedimientos)
```

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

```
lm(Producto.Quimico ~ Procedimientos)
```

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
library(agricolae)

model <- aov(Producto.Quimico ~ Presion)

LSD.test(model, "Presion", console=TRUE)

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

duncan.test(model, "Presion", console=TRUE)

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

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

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

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

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

g.lm <- lm(Producto.Quimico ~ Presion)

anova(g.lm)

lm(Producto.Quimico ~ Presion)

summary(g.lm)

library(agricolae)

model <- aov(Producto.Quimico ~ Catalizador)

LSD.test(model, "Catalizador", console=TRUE)

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

duncan.test(model, "Catalizador", console=TRUE)

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

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

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

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

```
g.lm <- lm(Producto.Quimico ~ Catalizador)
```

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

```
lm(Producto.Quimico ~ Catalizador)
```

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

```
plot(Producto.Quimico ~ Procedimientos)
```

```
boxplot(Producto.Quimico ~ Presion)
```

```
boxplot(Producto.Quimico ~ Temperatura)
```

```
boxplot(Producto.Quimico ~ Catalizador)
```

```
stripchart(Producto.Quimico ~ Procedimientos, method="stack")
```

```
stripchart(Producto.Quimico ~ Presion, method="stack")
```

**Ejercicio 1.10**

Suponga que un experimentador estudia los efectos que tienen cinco formulaciones diferentes de carga propulsora (A, B, C, D Y E con cinco niveles o  $k=5$ ), utilizada en sistemas de expulsión de tripulación de un avión basado en la rapidez de combustión (Variable dependiente  $Y$ ). Cada formulación se hace con un lote de materia prima que solo alcanza para probar cinco formulaciones. Además, las formulaciones son preparadas por varios operadores y puede haber diferencias sustanciales en habilidades y experiencias de operadores. Por lo tanto, hay dos factores perturbadores que serán calculados en promedio en diseño: lotes de materia prima y operadores. El diseño apropiado para este problema consiste en probar cada formulación exactamente una vez con cada uno de los cinco operadores ( $n=1$ ). Al diseño resultante se llama Diseño de Cuadro Latino (DCL), que usaremos para eliminar las dos fuentes perturbadoras.

Materia Prima	Operadores				
	T1	T2	T3	T4	T5
P1	A $\alpha$ 24	B $\gamma$ 20	C $\epsilon$ 19	D $\beta$ 24	E $\delta$ 24
P2	B $\beta$ 17	C $\delta$ 24	D $\alpha$ 30	E $\gamma$ 27	A $\epsilon$ 36
P3	C $\gamma$ 18	D $\epsilon$ 38	E $\beta$ 26	A $\delta$ 27	B $\alpha$ 21
P4	D $\delta$ 26	E $\alpha$ 31	A $\gamma$ 26	B $\epsilon$ 23	C $\beta$ 22
P5	E $\epsilon$ 22	A $\beta$ 30	B $\delta$ 20	C $\alpha$ 29	D $\gamma$ 31

Carga.Propulsora <- c(24, 17, 18, 26, 22, 20, 24, 38, 31, 30, 19, 30, 26, 26, 20, 24, 27, 27, 23, 29, 24, 36, 21, 22, 31)

Materia.Prima <- factor(rep(1:5, 5))

Operadores <- factor(rep(1:5, each = 5))

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
Formulaciones <- c("A", "B", "C", "D", "E", "B", "C", "D", "E", "A", "C", "D", "E", "A", "B", "D",  
"E", "A", "B", "C", "E", "A", "B", "C", "D")
```

```
Ensamblajes <- c("α", "β", "γ", "δ", "ε", "γ", "δ", "ε", "α", "β", "ε", "α", "β", "γ", "δ", "β", "γ", "δ", "ε",  
"δ", "δ", "ε", "α", "β", "γ")
```

```
problema <- data.frame(Materia.Prima, Operadores, Formulaciones, Ensamblajes, Carga.Propulsora)
```

```
rm(Materia.Prima, Operadores, Formulaciones, Ensamblajes, Carga.Propulsora)
```

```
attach(Formulaciones)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Formulaciones, 5, 5)
```

```
matrix(problema$Ensamblajes, 5, 5)
```

```
p.aov <- aov(Carga.Propulsora ~ Materia.Prima + Operadores + Formulaciones + Ensamblajes, data =  
problema)
```

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

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

```
detach(Formulaciones)
```

```
Formulaciones
```

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Carga.Propulsora ~ Formulaciones)
```

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

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

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

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

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

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

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

g.lm <- lm(Carga.Propulsora ~ Formulaciones)

anova(g.lm)

lm(Carga.Propulsora ~ Formulaciones)

summary(g.lm)

library(agricolae)

model <- aov(Carga.Propulsora ~ Operadores)

LSD.test(model, "Operadores", console=TRUE)

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

duncan.test(model, "Operadores", console=TRUE)

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

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

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

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

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

g.lm <- lm(Carga.Propulsora ~ Operadores)

anova(g.lm)

lm(Carga.Propulsora ~ Operadores)

summary(g.lm)
```

```
plot(Carga.Propulsora ~ Formulaciones)
```

```
boxplot (Carga.Propulsora ~ Formulaciones)
```

```
plot(Carga.Propulsora ~ Operadores)
```

```
plot(Carga.Propulsora ~ Materia.Prima)
```

```
plot(Carga.Propulsora ~ Ensamblajes)
```

```
stripchart(Carga.Propulsora ~ Formulaciones, method="stack")
```

### Ejercicio 1.11

Dos investigadoras evaluaron factores que influyen en la obtención de cerveza a partir de 4 variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L: Teran 78, Duchicel, Canicapa y Dorada) mediante diseño cuadrado grecolatino. Sus objetivos específicos son conocer el procedimiento de elaboración de cerveza, evaluar cuál es la mejor variedad de cebada para su elaboración mediante análisis fisicoquímico y cuál es el mejor tiempo para una óptima fermentación.

```
Optima.fermentacion.cerveza <- c(11, 12, 15, 13, 8, 6, 9, 10, 5, 5, 8, 9, 5, 5, 8, 9)
```

```
Variedades.Cebada <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Procedimiento.Elaboracion <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Temperatura <- c("C", "B", "A", "D", "D", "A", "B", "C", "C", "B", "D", "A", "D", "C", "B", "A")
```

```
Tipo.catalizador <- c("δ", "γ", "β", "α", "α", "δ", "γ", "β", "β", "α", "δ", "γ", "γ", "β", "α", "δ")
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
problema <- data.frame(Variedades.Cebada, Procedimiento.Elaboracion, Temperatura,  
Tipo.catalizador, Optima.fermentacion.cerveza)
```

```
rm(Variedades.Cebada, Procedimiento.Elaboracion, Temperatura, Tipo.catalizador,  
Optima.fermentacion.cerveza)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Temperatura, 4, 4)
```

```
matrix(problema$Tipo.catalizador 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Optima.fermentacion.cerveza ~ Variedades.Cebada + Procedimiento.Elaboracion +  
Temperatura + Tipo.catalizador, data = problema)
```

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

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

```
library(agricolae)
```

```
model <- aov(Optima.fermentacion.cerveza ~ Procedimiento.Elaboracion)
```

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

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

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

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

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

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

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

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

```
g.lm <- lm(Optima.fermentacion.cerveza ~ Procedimiento.Elaboracion)
```

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

```
lm(Optima.fermentacion.cerveza ~ Procedimiento.Elaboracion)
```

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

```
plot(Optima.fermentacion.cerveza ~ Procedimiento.Elaboracion)
```

```
boxplot (Optima.fermentacion.cerveza ~ Procedimiento.Elaboracion)
```

```
stripchart(Optima.fermentacion.cerveza ~ Procedimiento.Elaboracion, method="stack")
```

### Ejercicio 1.12

Dos investigadores quieren comprobar que la concentración el aceite de oliva es un buen conservante natural para una mortadela especial mediante diseño cuadrado grecolatino. Sus objetivos específicos son evaluar las variables bromatológicas grasa, proteína, humedad y carbohidratos.

```
Conservacion.mortadela <- c(0.03, 0.06, 0.96, 0.018, 0.12, 0.09, 0.93, 0.98, 0.018, 0.12, 0.9, 0.3, 0.015, 0.062, 1.02, 1.98)
```

```
Concentracion.aceite.oliva <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Tiempo.conservacion <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Porcentaje.humedad <- c("C", "B", "A", "D", "A", "C", "B", "D", "B", "D", "A", "C", "A", "C", "D", "B")
```

```
Porcentaje.carbohidratos <- c("β", "γ", "α", "δ", "α", "β", "δ", "γ", "γ", "δ", "β", "α", "δ", "α", "γ", "β")
```

```
problema <- data.frame(Concentracion.aceite.oliva, Tiempo.conservacion, Porcentaje.humedad, Porcentaje.carbohidratos, Conservacion.mortadela)
```

```
rm(Concentracion.aceite.oliva, Tiempo.conservacion, Porcentaje.humedad, Porcentaje.carbohidratos, Conservacion.mortadela)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Porcentaje.humedad, 4, 4)
```

```
matrix(problema$Porcentaje.carbohidratos, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Conservacion.mortadela ~ Concentracion.aceite.oliva + Tiempo.conservacion + Porcentaje.humedad + Porcentaje.carbohidratos, data = problema)
```

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

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

```
plot(Conservacion.mortadela ~ Concentracion.aceite.oliva)
```

```
boxplot (Conservacion.mortadela ~ Concentracion.aceite.oliva)
```

```
stripchart(Conservacion.mortadela ~ Concentracion.aceite.oliva, method="stack")
```

### Ejercicio 1.13

Tres investigadores aplicaron diseño experimental cuadrado latino en deshidratación de mortiño (*Vaccinium floribundum*) y en determinación de sus características. Sus objetivos son someter al proceso de secado el mortiño (*Vaccinium oribundum*), determinar la temperatura (B), el tiempo (A) óptimos de secado del mortiño y determinar que tratamiento es el más eficiente para el deshidratado del mortiño.

```
Nivel.deshidratacion.mortino <- c(20, 25, 30, 45, 35, 40, 45, 50, 40, 45, 50, 55, 25, 50, 55, 60)
```

```
Tratamiento <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Tiempo.optimo.secado <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Temperatura.secado <- c("C", "B", "A", "D", "A", "D", "B", "C", "B", "C", "D", "A", "D", "A", "C",  
"B")
```

```
problema <- data.frame(Tratamiento, Tiempo.optimo.secado, Temperatura.secado,  
Nivel.deshidratacion.mortino)
```

```
rm(Tratamiento, Tiempo.optimo.secado, Temperatura.secado, Nivel.deshidratacion.mortino)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Temperatura.secado, 4, 4)
```

```
p.aov <- aov(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento + Tiempo.optimo.secado +  
Temperatura.secado, data = problema)
```

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

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

```
library(agricolae)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

```
model <- aov(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento)

LSD.test(model, "Tratamiento", console=TRUE)

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

duncan.test(model, "Tratamiento", console=TRUE)

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

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

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

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

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

g.lm <- lm(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento)

anova(g.lm)

lm(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento)

summary(g.lm)

plot(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento)

boxplot(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento)

stripchart(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tratamiento, method="stack")

library(agricolae)

model <- aov(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tiempo.optimo.secado)

LSD.test(model, "Tiempo.optimo.secado", console=TRUE)
```

## CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

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

```
duncan.test(model, "Tiempo.optimo.secado", console=TRUE)
```

```
SNK.test(model, "Tiempo.optimo.secado", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
REGW.test(model, "Tiempo.optimo.secado", group=FALSE, console=TRUE)
```

```
outHSD <- HSD.test(model, "Tiempo.optimo.secado", console=TRUE)
```

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

```
scheffe.test(model, "Tiempo.optimo.secado", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
g.lm <- lm(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tiempo.optimo.secado)
```

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

```
lm(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tiempo.optimo.secado)
```

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

```
plot(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tiempo.optimo.secado)
```

```
boxplot(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tiempo.optimo.secado)
```

```
stripchart(Nivel.deshidratacion.mortino ~ Tiempo.optimo.secado, method="stack")
```

### Ejercicio 1.14

Dos investigadores elaboraron mermelada de capulí (*Prunus serótina* elirh.) y determinaron sus características organolépticas. Usaron un diseño cuadrado latino con 5 tratamientos y 5 repeticiones.

Viscosidad.mermelada <- c(58, 12, 45, 78, 20, 30, 45, 78, 32, 63, 21, 52, 42, 62, 32, 29, 21, 30, 24, 63, 98, 63, 25, 58, 24)

```
Tratamiento <- factor(rep(1:5, 5))
```

```
Nivel.madurez.capuli <- factor(rep(1:5, each = 5))
```

```
Temperatura.coccion <- c("B", "C", "D", "E", "A", "A", "D", "B", "C", "E", "C", "D", "A", "E", "D",  
"E", "A", "D", "B", "C", "D", "E", "C", "A", "B")
```

```
problema <- data.frame(Tratamiento, Nivel.madurez.capuli, Temperatura.coccion,  
Viscosidad.mermelada)
```

```
rm(Tratamiento, Nivel.madurez.capuli, Temperatura.coccion, Viscosidad.mermelada)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Temperatura.coccion, 5, 5)
```

```
p.aov <- aov(Viscosidad.mermelada ~ Tratamiento + Nivel.madurez.capuli + Temperatura.coccion,  
data = problema)
```

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

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

### Ejercicio 1.15

Tres investigadores aplicaron diseño cuadrado latino en cuatro variedades de melón (3 variedades híbridadas y una estándar: Híbrido mission, híbrido mark, híbrido topfligth y híbrido hales best jumbo). Sus objetivos son determinar sus características físico organolépticas (color, olor, sabor y textura). El diseño experimental usado fue DCL.

```
Viscosidad.mermelada <- c(45, 29, 37, 38, 50, 53, 41, 40, 43, 41, 41, 35, 35, 63, 63, 41)
```

```
Variedades.melon <- factor(rep(1:4, 4))
```

```
Grados.Brix <- factor(rep(1:4, each = 4))
```

```
Temperatura.coccion <- c("A", "B", "C", "D", "B", "C", "D", "A", "C", "D", "A", "B", "D", "A", "B",  
"C")
```

```
problema <- data.frame(Variedades.melon, Grados.Brix, Temperatura.coccion,  
Viscosidad.mermelada)
```

```
rm(Variedades.melon, Grados.Brix, Temperatura.coccion, Viscosidad.mermelada)
```

```
attach(problema)
```

```
matrix(problema$Temperatura.coccion, 4, 4)
```

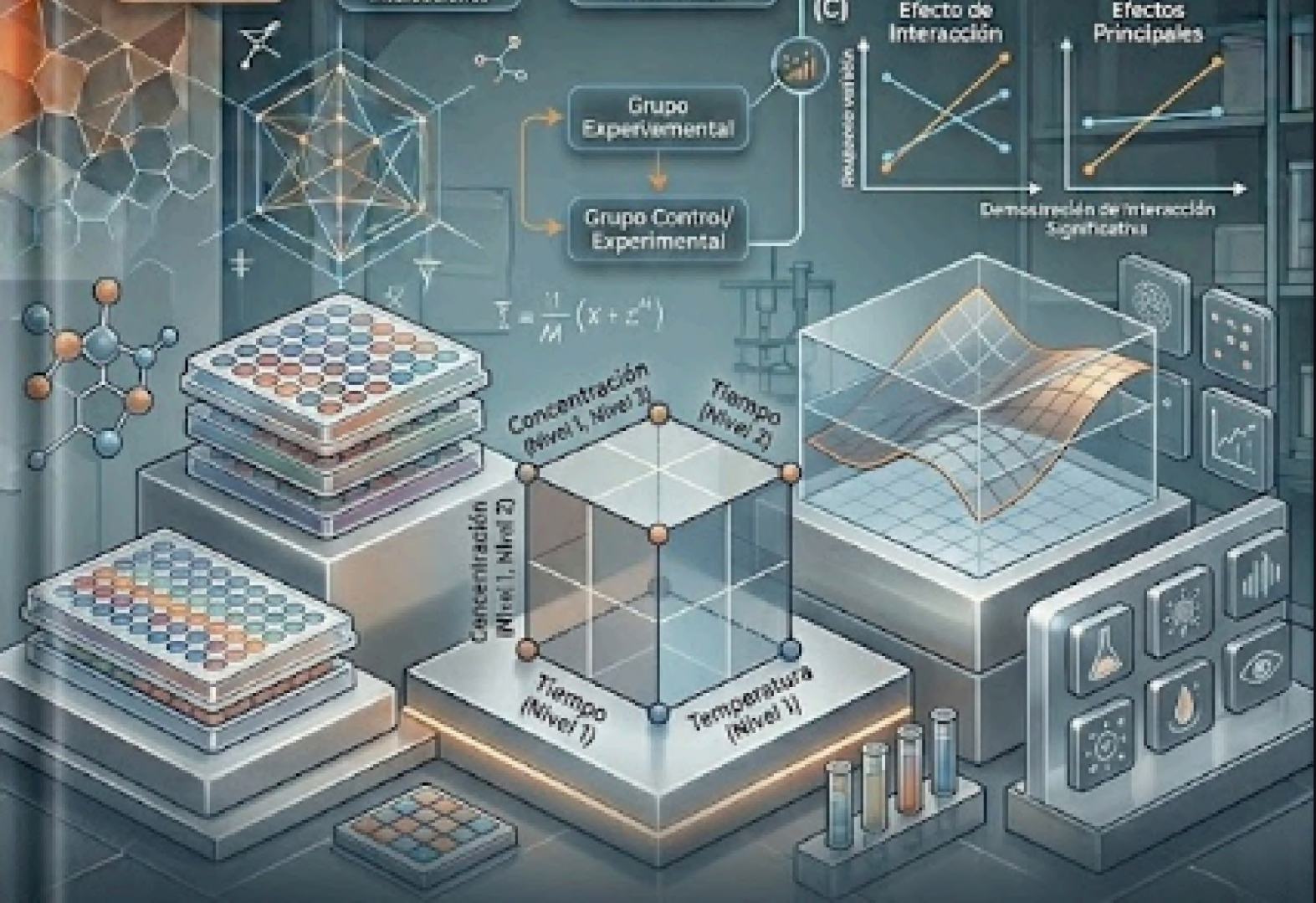
```
p.aov <- aov(Viscosidad.mermelada ~ Variedades.melon + Grados.Brix + Temperatura.coccion, data  
= problema)
```

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

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



# DISEÑO FACTORIAL



## CAPÍTULO II

### DISEÑO FACTORIAL

#### 2.1 Factorial (AB, ABC y ABCD)

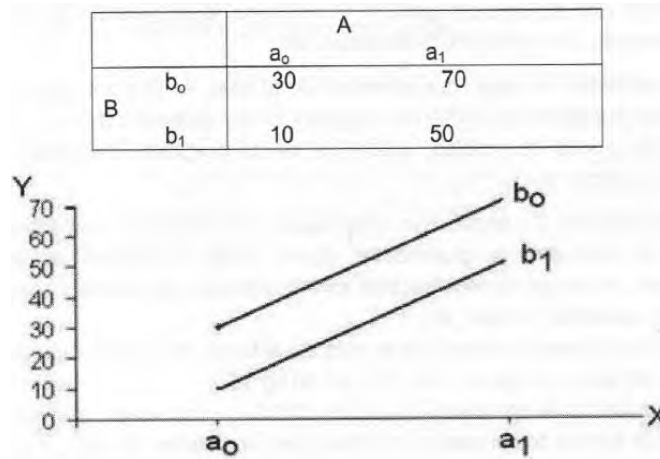
Su objetivo es estudiar efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. Factorial refiere a un arreglo especial de formar combinaciones de tratamientos y no un tipo básico de diseño experimental, pues son un arreglo de tratamientos, probados en casi todos los diseños: DCA – DIA – DCR, DBCA, DCL – DCGL, etcétera. Su principio involucra investigación de dos o más factores simultáneamente. Factor es un tipo particular de tratamiento, que varía según diseño de investigador. Son factores como nitrógeno, temperatura, densidad, peso de semilla, variedad, profundidad, etcétera. Factor cualitativo corresponde, en caso de que tratamientos no sean arreglados en orden de magnitud, como cultivares de maíz, diferentes técnicas de podas de árboles, aplicación de fungicida, máquinas, tipos de materiales, operador, etcétera. Factor cuantitativo es tratamiento son cantidades numéricas referidas a una variable cuantitativa, como dosis crecientes de nitrógeno, cantidades de crecimiento de reactivo, diversos pesos de semillas, temperatura, humedad, velocidad, presión, entre otros. Niveles son varios valores asignados al factor en estudio, como niveles de factor nitrógeno (120, 100, 80, 60 Kg Ha<sup>-1</sup>), factor temperatura (0°C, 50°C, 100°C), factor formas de aplicación de fertilizantes (bandas, voleo, golpe, etcétera).

Respuesta es resultado de una parcela experimental. El rendimiento de maíz, longitud de mazorca, altura de planta; en otras plantas, como papa, número de tallos, número de tubérculos comerciales, etcétera. Efecto es medida de cambio en respuesta, producido por cambio en nivel del factor. Cuando factor que se estudia tiene dos niveles, efecto es la diferencia entre promedio de respuestas de todas las unidades con primer factor y promedio de respuestas que llevan el segundo nivel del mismo factor. Cuando se estudian más de dos niveles, las diferencias entre promedios de respuesta pueden expresarse de diversas formas, como efectos lineal, cuadrático, cúbico, etcétera.

La notación reconoce factores y niveles, como dos niveles de Factor A-dos niveles de Factor B es factorial  $2^n$  o  $2^k$  tal que n es número de factores tomados a dos niveles; es decir,  $2 * 2$  o  $2^2$ , dos factores con tres niveles de cada uno  $3^n$  o  $3^k$  tal que n es número de factores tomados a tres niveles; es decir,  $3 * 3$  o  $3^2$ . Los factores empleados en experimento se denotan con letras mayúsculas, como A, B, C, D. Los niveles se denotan con letras minúsculas y subscritos N:  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4$ , N:  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ . La combinación de tratamientos está dada por producto de niveles, como

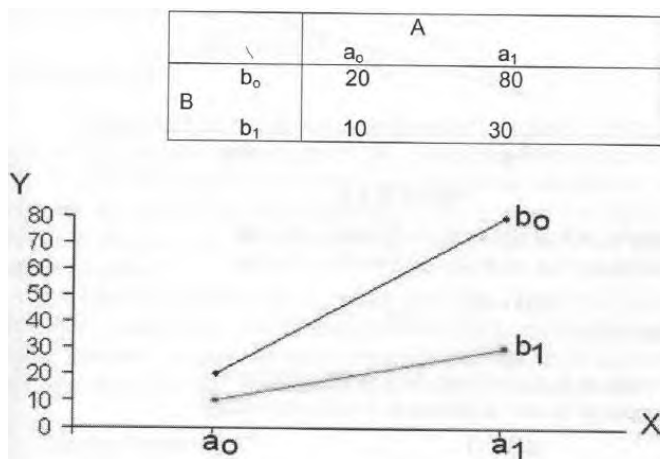
**CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL**

$a_0b_0, a_0b_1, a_0b_2, a_0b_3, a_0b_4$  aunque otros usan subscritos 00,01. Interacción es respuesta diferencial a un factor en combinación con niveles de variables de segundo factor aplicado simultáneamente; es decir, es un efecto adicional por influencia combinada de dos o más factores. Interacción es acción conjunta de dos o más factores o el efecto de un factor es modificado por acción de otro factor o factores. Estos efectos pueden ser aditivos, multiplicativos o interactivos. Ejemplos de interacción:



**Fuente:** Elaboración propia de los autores

Donde efecto simple A al bajo de nivel B =  $70 - 30 = 40$ , efecto simple de A al alto nivel de B =  $50 - 10 = 40$ . Tal que interacción  $AB = \frac{40-40}{2} = 0$ . Efecto simple B al bajo de nivel A =  $10 - 30 = -20$ , efecto simple de B al alto nivel de A =  $50 - 70 = -20$ . Tal que interacción  $AB = \frac{-20-(-20)}{2} = 0$ . En consecuencia, efectos de dos factores son independientes o aditivos.



**Fuente:** Elaboración propia de los autores

## CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Donde efecto simple A al bajo de nivel B =  $80 - 20 = 60$ , efecto simple de A al alto nivel de B =  $50 - 10 = 40$ . Tal que interacción AB =  $\frac{20-60}{2} = -20$ . Efecto simple B al bajo de nivel A =  $10 - 20 = -10$ , efecto simple de B al alto nivel de A =  $30 - 80 = -50$ . Tal que interacción AB =  $\frac{-50-(-10)}{2} = -20$ . En consecuencia, niveles  $b_0$  y  $b_1$  aumentan paralelamente a niveles  $a_0$  y  $a_1$  de factor A, pero  $b_0$  tiene mayor aumento que  $b_1$  por lo que hay efectos interactivos.

El Diseño Factorial  $2^k$  se usan en experimentos que incluyen varios factores cuando se requiere estudiar el efecto conjunto de factores sobre la respuesta. Existen casos especiales del diseño experimental que son importantes por su uso generalizado en trabajos de investigación y constituyen bases de otros diseños de valor práctico. El diseño factorial más importante es k factores, cada uno sólo dos niveles. Si todos factores se estudian con dos niveles, se dice que es un experimento factorial  $2^k$ , que pueden ser cuantitativos o cualitativos. Este diseño experimental factorial se fundamenta en “Teoría del Binomio de Newton”, con base en “Principio de inducción matemática. **Teorema del Binomio:**  $(\forall a, b \in \mathbb{R})(\forall n \in \mathbb{N}): (a + b)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} b^k$  ssi  $\binom{n}{k} = nC_k = \frac{n!}{(n-k)! k!}$ . **Desarrollo del Binomio  $(x + a)^n$ .** Se encuentran ciertos coeficientes llamados “Coeficientes Binomiales”  $\binom{n}{k}$ , que en realidad es una manera de representar coeficientes:

$$\frac{n!}{k! (n-k)!} = \frac{n!}{(n-k)! k!} = nC_k = \binom{n}{k} \text{ para } k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n \text{ tal que:}$$

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}$$

Tabla 2.1 Coeficientes forman el “Triángulo de Pascal o Tartaglia”

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
1	1	$\binom{0}{0}$	0 efecto principal y 0 interacción de 0 factor	$\sum_{k=0}^0 \binom{0}{k} a^{0-k} b^k$ $= \binom{0}{0} a^1 b^0$ $= 0 a^1$	$(a+b)^0$	$2^0$	1
2	1 1	$\binom{1}{0} \binom{1}{1}$	0 efecto principal y 1 interacción de 1 factor	$\sum_{k=0}^1 \binom{1}{k} a^{1-k} b^k$ $= \binom{1}{0} a^1 b^0$ $+ \binom{1}{1} a^0 b^1$ $= 1 a^1 b^0$ $+ 1 a^0 b^1$ $= a + b$	$(a+b)^1$	$2^1$	2

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
3	1 2 1	$\binom{2}{0}$ $\binom{2}{1}$ $\binom{2}{2}$	2 efectos principales y 1 interacción de factores	$\sum_{k=0}^2 \binom{2}{k} a^{2-k} b^k$ $= \binom{2}{0} a^2 b^0 + \binom{2}{1} a^1 b^1 + \binom{2}{2} a^0 b^2$ $= a^2 + 2ab + b^2$	$(a+b)^2$	$2^2$	4
4	1 3 3 1	$\binom{3}{0}$ $\binom{3}{1}$ $\binom{3}{2}$ $\binom{3}{3}$	3 efectos principales, 3 interacciones dobles y 1 interacción de factores	$\sum_{k=0}^3 \binom{3}{k} a^{3-k} b^k$ $= \binom{3}{0} a^3 b^0 + \binom{3}{1} a^2 b^1 + \binom{3}{2} a^1 b^2 + \binom{3}{3} a^0 b^3$ $= a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$	$(a+b)^3$	$2^3$	8

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
5	1 4 6 4 1	$\binom{4}{0}$ $\binom{4}{1}$ $\binom{4}{2}$ $\binom{4}{3}$ $\binom{4}{4}$	4 efectos principales, 6 interacciones dobles, 4 interacciones triples y 1 interacción de 4 factores	$\sum_{k=0}^4 \binom{4}{k} a^{4-k} b^k$ $= \binom{4}{0} a^4 b^0$ $+ \binom{4}{1} a^3 b^1$ $+ \binom{4}{2} a^2 b^2$ $+ \binom{4}{3} a^1 b^3$ $+ \binom{4}{4} a^0 b^4$ $= a^4$ $+ 4 a^3 b^1$ $+ 6 a^2 b^2$ $+ 4 a^1 b^3$ $+ b^4$	$(a+b)^4$	$2^4$	16

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
6	1 5 10 10 5 1	$\binom{5}{0}$ $\binom{5}{1}$ $\binom{5}{2}$ $\binom{5}{3}$ $\binom{5}{4}$ $\binom{5}{5}$	5 efectos principales, 10 interacciones dobles, 10 interacciones triples, 5 interacciones cuádruples y 1 interacción de 5 factores	$\sum_{k=0}^5 \binom{5}{k} a^{5-k} b^k$ $= \binom{5}{0} a^5 b^0$ $+ \binom{5}{1} a^4 b^1$ $+ \binom{5}{2} a^3 b^2$ $+ \binom{5}{3} a^2 b^3$ $+ \binom{5}{4} a^1 b^4$ $+ \binom{5}{5} a^0 b^5$ $= a^5$ $+ 5a^4b^1$ $+ 10a^3b^2$ $+ 10a^2b^3$ $+ 5a^1b^4$ $+ b^5$	$(a+b)^5$	2 <sup>5</sup>	32

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
7	1 6 15 20 15 6 1	$\binom{6}{0}$ $\binom{6}{1}$ $\binom{6}{2}$ $\binom{6}{3}$ $\binom{6}{4}$ $\binom{6}{5}$ $\binom{6}{6}$	6 efectos principales, 15 interacciones dobles, 20 interacciones triples, 15 interacciones cuádruples, 6 interacciones quintuples y 1 interacción de 6 factores	$\sum_{k=0}^6 \binom{6}{k} a^{6-k} b^k$ $= \binom{6}{0} a^6 b^0$ $+ \binom{6}{1} a^5 b^1$ $+ \binom{6}{2} a^4 b^2$ $+ \binom{6}{3} a^3 b^3$ $+ \binom{6}{4} a^2 b^4$ $+ \binom{6}{5} a^1 b^5$ $+ \binom{6}{6} a^0 b^6$ $= a^6$ $+ 6a^5b^1$ $+ 15a^4b^2$ $+ 20a^3b^3$ $+ 15a^2b^4$ $+ 6a^1b^5$ $+ b^6$	$(a+b)^6$	$2^6$	64

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
8	1 7 21 35 35 21 7	$\binom{7}{0}$ $\binom{7}{1}$ $\binom{7}{2}$ $\binom{7}{3}$ $\binom{7}{4}$ $\binom{7}{5}$ $\binom{7}{6}$	7 efectos principales, 21 interacciones dobles, 35 interacciones triples, 35 interacciones cuádruples, 21 interacciones quintuples, 7 interacciones sextuples y 1 interacción de 7 factores	$\sum_{k=0}^7 \binom{7}{k} a^{7-k} b^k$ $= \binom{7}{0} a^7 b^0$ $+ \binom{7}{1} a^6 b^1$ $+ \binom{7}{2} a^5 b^2$ $+ \binom{7}{3} a^4 b^3$ $+ \binom{7}{4} a^3 b^4$ $+ \binom{7}{5} a^2 b^5$ $+ \binom{7}{6} a^1 b^6$ $+ \binom{7}{7} a^0 b^7$ $= a^7$ $+ 7 a^6 b^1$ $+ 21 a^5 b^2$ $+ 35 a^4 b^3$ $+ 35 a^3 b^4$ $+ 21 a^2 b^5$ $+ 7 a^1 b^6$ $+ b^7$	$(a+b)^7$	27	128

9	1 8 28 56 70 56 28	$\binom{8}{0}$ $\binom{8}{1}$ $\binom{8}{2}$ $\binom{8}{3}$ $\binom{8}{4}$ $\binom{8}{5}$ $\binom{8}{6}$	8 efectos principales, 28 efectos dobles, 56 efectos triples, 70 efectos cuádruples, 56 efectos quintuples, 28 efectos séxtuples, 8 efectos séptuples y 1 interacción de 8 factores	$\sum_{k=0}^8 \binom{8}{k} a^{8-k} b^k$ $= \binom{8}{0} a^8 b^0$ $+ \binom{8}{1} a^7 b^1$ $+ \binom{8}{2} a^6 b^2$ $+ \binom{8}{3} a^5 b^3$ $+ \binom{8}{4} a^4 b^4$ $+ \binom{8}{5} a^3 b^5$ $+ \binom{8}{6} a^2 b^6$ $+ \binom{8}{7} a^1 b^7$ $+ \binom{8}{8} a^0 b^8$ $= a^8$ $+ 8a^7b^1$ $+ 28a^6b^2$ $+ 56a^5b^3$ $+ 70a^4b^4$ $+ 56a^3b^5$ $+ 28a^2b^6$ $+ 8a^1b^7$ $+ b^8$	$(a+b)^8$	$2^8$	256
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Términos numéricos	Triángulo de Pascal o Tartaglia	Coeficientes Binomiales		Potencia de Binomio			Suma de Triángulo de Pascal
		Coeficiente	Interpretación	K-ésimo coeficiente binomial	Potencia	Equivalencia	
n				$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} b^k$ $= \binom{n}{0} a^n b^0$ $+ \binom{n}{1} a^{n-1} b^1$ $+ \binom{n}{2} a^{n-2} b^2$ $+ \binom{n}{3} a^{n-3} b^3$ $+ \binom{n}{4} a^{n-4} b^4$ $+ \dots$ $+ \binom{n}{n-1} a^1 b$ $+ \binom{n}{n} a^0 b^n$	$(a+b)^n$	$2^n$	$n!$

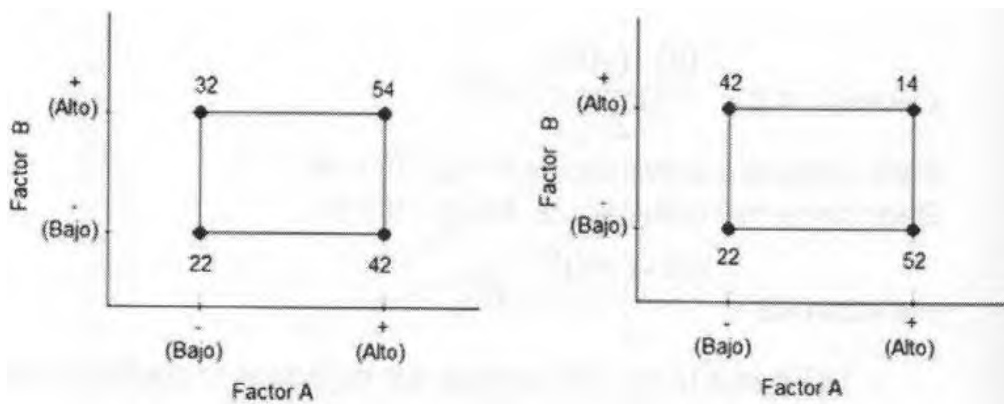
### 2.2 Diseño Factorial 2<sup>2</sup>

El factorial 2<sup>2</sup> son, igual a 2<sup>k</sup> tal que k es número de factores que en este caso es 2, tomados a dos niveles. En diseño completamente aleatorizado, que involucra “t” tratamientos y “n” unidades experimentales, su modelo es  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$  donde  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, t$  y  $j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ . Existe el caso que se tiene dos factores en estudio A y B, tal que  $\tau_i$  está descompuesto en A, B e interacción AB:  $\tau_i = \alpha_i + \beta_i + (\alpha\beta)_{ij}$ .

Entonces, se cambia modelo  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$  a  $Y_{ij} = \mu(\text{Efecto verdadero medio}) + \alpha_i(\text{Efecto verdadero del } i\text{-ésimo nivel de factor A}) + \beta_j(\text{Efecto verdadero del } j\text{-ésimo nivel de factor B}) + (\alpha\beta)_{ij}(\text{Efecto verdadero de interacción de } i\text{-ésimo nivel de factor A con } j\text{-ésimo nivel de factor B}) + \varepsilon_{ijk}(\text{Efecto de } k\text{-ésima unidad experimental sujeta a } ij\text{-ésima combinación de tratamientos})$  donde  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, t$ ;  $a = 2$ ;  $j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ ;  $b = 2$  y  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, n_{ij}$  con  $n_{ij} \geq 0$  es número de repeticiones tal que es un experimento asociado a diseño factorial completamente aleatorizado que supone  $\mu$  es constante y  $\varepsilon_{ijk} \sim \text{DNI}(0, \sigma^2)$ .

Además, 2<sup>2</sup> trata de un experimento factorial de dos factores en que ambos tienen dos niveles, llamados “bajo” y “alto”, denotados por “-” y “+”, respectivamente. El efecto principal del factor A puede visualizarse como diferencia entre respuesta promedio con nivel bajo de A y respuesta promedio con nivel alto de A:

**Figura 2.1** Interacción entre el Factor A y el Factor B en un diseño factorial 2×2 (niveles Alto y Bajo)



**Fuente:** Elaboración propia de los autores con fines académicos, a partir de datos experimentales de un diseño factorial 2×2

$$\text{Efecto A} = \frac{42 + 54}{2} - \frac{22 + 32}{2} = 21$$

## CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Cuando factor A se incrementa del nivel bajo al alto se produce un incremento de respuesta promedio de 21 unidades. Igualmente, el efecto principal B es:

$$\text{Efecto B} = \frac{32 + 54}{2} - \frac{22 + 42}{2} = 11$$

En algunos ensayos se encuentra que la diferencia en respuesta entre niveles de un factor no es igual para todos niveles de otros factores. Si esto sucede, existe una interacción entre factores. El experimento factorial de dos factores con nivel bajo de factor B, el efecto A es  $A = 42 - 22 = 20$  y con nivel alto de factor B, el efecto de A es  $A = 54 - 32 = 22$ . El efecto de A depende del nivel elegido para factor B, tal que existe una interacción entre A y B. La magnitud del efecto de interacción es la diferencia promedio de estos factores A o  $AB = \frac{(22-20)}{2} = 1.0$ , tal que la interacción es pequeña.

### 2.2.1 Esquema del diseño factorial

El esquema del diseño factorial  $2^2$ , con a y b niveles, en un diseño completamente aleatorizado presenta ab celdas, cada una de las cuales contiene n observaciones, pues cada combinación de tratamiento define una celda del arreglo.

**Tabla 2.2** Estructura de un diseño factorial  $A \times B$

Factor	A												
	1				2				...	a			
B	1	2	...	b	1	2	...	b	...	1	2	...	b
	$Y_{111}$	$Y_{121}$		$Y_{1b1}$	$Y_{211}$	$Y_{221}$		$Y_{2b1}$		$Y_{a11}$	$Y_{a21}$		$Y_{ab1}$
	$Y_{112}$	$Y_{122}$		$Y_{1b2}$	$Y_{212}$	$Y_{222}$		$Y_{2b2}$		$Y_{a12}$	$Y_{a22}$		$Y_{ab2}$
	$Y_{113}$	$Y_{123}$	...	$Y_{1b3}$	$Y_{213}$	$Y_{223}$	...	$Y_{2b3}$	...	$Y_{a13}$	$Y_{a23}$	...	$Y_{ab3}$
	$Y_{114}$	$Y_{124}$		$Y_{1b4}$	$Y_{214}$	$Y_{224}$		$Y_{2b4}$		$Y_{a14}$	$Y_{a24}$		$Y_{ab4}$
	...			...				...		...			...
	$Y_{11n}$	$Y_{12n}$		$Y_{1bn}$	$Y_{21n}$	$Y_{22n}$		$Y_{2bn}$		$Y_{a1n}$	$Y_{a2n}$		$Y_{abn}$
<b>Total AB</b>	$Y_{11.}$	$Y_{12.}$	...	$Y_{1b.}$	$Y_{21.}$	$Y_{22.}$	...	$Y_{2b.}$	...	$Y_{a1.}$	$Y_{a2.}$	...	$Y_{ab.}$
<b>Promedio</b>	$\bar{Y}_{11.}$	$\bar{Y}_{12.}$	...	$\bar{Y}_{1b.}$	$\bar{Y}_{21.}$	$\bar{Y}_{22.}$	...	$\bar{Y}_{2b.}$	...	$\bar{Y}_{a1.}$	$\bar{Y}_{a2.}$	...	$\bar{Y}_{ab.}$
Total A	$Y_{1..}$				$Y_{2..}$				$Y_{a..}$				
Promedio	$\bar{Y}_{1..}$				$\bar{Y}_{2..}$				$\bar{Y}_{a..}$				
Total B	$Y_{.1.}$				$Y_{.2.}$				$Y_{.b.}$				
Promedio	$\bar{Y}_{.1.}$				$\bar{Y}_{.2.}$				$\bar{Y}_{.b.}$				
<b>Total general</b>	<b><math>Y_{...}</math></b>				<b>Promedio</b>				<b><math>\bar{Y}_{...}</math></b>				

Fuente: Elaboración propia de los autores

Las estimaciones mediante mínimos cuadrados permite hallar estimadores, tal que del modelo  $Y_{ij} =$

$$\mu(\text{Efecto verdadero medio}) + \alpha_i(\text{Efecto verdadero del } i\text{-ésimo nivel de factor A}) +$$

## CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

$\beta_j$  (Efecto verdadero del  $j$ -ésimo nivel de factor B) +

$(\alpha\beta)_{ij}$  (Efecto verdadero de interacción de  $i$ -ésimo nivel de factor A con  $j$ -ésimo nivel de factor B) +

$\varepsilon_{ijk}$  (Efecto de  $k$ -ésima unidad experimental sujeta a  $ij$ -ésima combinación de tratamientos) se despeja el error

$\varepsilon_{ijk}$  (Efecto de  $k$ -ésima unidad experimental sujeta a  $ij$ -ésima combinación de tratamientos) =  $Y_{ij} -$

$\mu$  (Efecto verdadero medio) -  $\alpha_i$  (Efecto verdadero del  $i$ -ésimo nivel de factor A) -

$\beta_j$  (Efecto verdadero del  $j$ -ésimo nivel de factor B) -

$(\alpha\beta)_{ij}$  (Efecto verdadero de interacción de  $i$ -ésimo nivel de factor A con  $j$ -ésimo nivel de factor B) tal que

$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \varepsilon_{ijk}^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\hat{\alpha}\hat{\beta})_{ij}]^2 = 0$  se deriva e iguala a cero.

Además, si se deriva respecto a  $\mu$  es  $\frac{dQ}{d\hat{\mu}} = -2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\hat{\alpha}\hat{\beta})_{ij}] \Rightarrow$

$-\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\hat{\alpha}\hat{\beta})_{ij}] = 0$  tal que  $-\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ij} + abn\hat{\mu} +$

$bn \sum_{i=1}^a \hat{\alpha}_i + an \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j + n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0$  donde  $abn\hat{\mu} + bn \sum_{i=1}^a \hat{\alpha}_i + an \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j +$

$n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = Y_{...}$  pues si  $\sum_{i=1}^a \hat{\alpha}_i = \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0 \Rightarrow abn\hat{\mu} = Y_{...} \Rightarrow \hat{\mu} =$

$\frac{Y_{...}}{abn} = \bar{Y}_{...}$ . Si se deriva respecto a  $\alpha_i$  es  $\frac{dQ}{d\hat{\alpha}_i} = -2 \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\hat{\alpha}\hat{\beta})_{ij}] \Rightarrow$

$-\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\hat{\alpha}\hat{\beta})_{ij}] = 0$  tal que  $-\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ij} + bn\hat{\mu} + bn\hat{\alpha}_i + n \sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j +$

$\sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0$  si  $\sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (\alpha\beta)_{ij} = 0 \Rightarrow bn\hat{\alpha}_i = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ij} - bn\hat{\mu}$  y  $\hat{\alpha}_i = \frac{Y_{i.}}{bn} - \frac{bn\hat{\mu}}{bn} =$

$\frac{Y_{i.}}{bn} - \hat{\mu} = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}$ .

Derivando respecto a  $\beta_j$  es  $\frac{dQ}{d\hat{\beta}_j} = -2 \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\alpha\beta)_{ij}] \Rightarrow -\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} -$

$\hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\alpha\beta)_{ij}] = 0$  tal que  $-\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n Y_{ij} + an\hat{\mu} + n \sum_{i=1}^a \hat{\alpha}_i + \sum_{i=1}^a (\alpha\beta)_{ij} = 0$  si  $\sum_{i=1}^a \hat{\alpha}_i =$

$\sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0 \Rightarrow an\hat{\mu} + an\hat{\beta}_j = Y_{...}$  y  $\hat{\beta}_j = \frac{Y_{.j}}{bn} - \hat{\mu} = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}$ .

Finalmente, derivando respecto a  $(\alpha\beta)_{ij}$  es  $\frac{dQ}{d\hat{\beta}_j} = -2 \sum_{k=1}^n [Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - (\alpha\beta)_{ij}] \Rightarrow n\hat{\mu} + n\hat{\beta}_j +$

$\sum_{j=1}^b \hat{\beta}_j + n(\alpha\beta)_{ij} = \frac{Y_{ij}}{n}$ ,  $(\alpha\beta)_{ij} = \frac{Y_{ij}}{n} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j = \bar{Y}_{ij} - \bar{Y} - (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}) - (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}) = \bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{i.} -$

$\bar{Y}_{.j} + \bar{Y}$ .

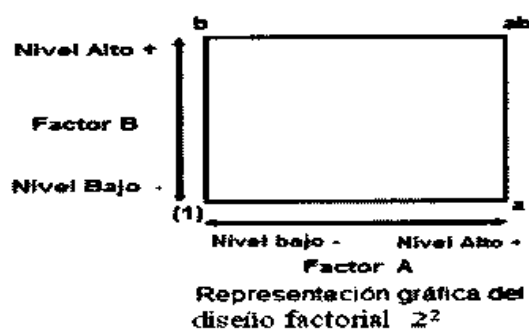
La suma de cuadrados está dada por:

$$a) \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abn} = SC_{Total}.$$

## CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

- b)  $bn \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i.} - \bar{\bar{Y}})^2 = \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i.}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{abn} = SC_A.$
- c)  $an \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{.j} - \bar{\bar{Y}})^2 = \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{abn} = SC_B.$
- d)  $n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (Y_{ij.} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{\bar{Y}})^2 = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij.}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i.}^2}{bn} - \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{an} + \frac{Y_{...}^2}{abn} = SC_{AB}.$
- e)  $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{.jk} + \bar{\bar{Y}})^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij.}^2}{n} - \frac{\sum_{k=1}^n Y_{.k}^2}{ab} + \frac{Y_{...}^2}{abn} = SC_{Error}.$

La combinación de tratamiento factorial en un DBCA tiene la nomenclatura:



**Tabla 2.3** Codificación de tratamientos y efectos en un diseño factorial  $2^2$

Tratamiento	Efectos		
1	$a_0 b_0$	00	(1)
2	$a_0 b_1$	01	b
3	$a_1 b_0$	10	a
4	$a_1 b_1$	11	ab

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

Si el diseño es en bloques, su modelo estadístico es  $Y_{ijk} = \mu$ (Efecto media poblacional) +  $\rho_i$  (Efecto verdadero del  $i$ -ésimo repetición o bloque) +  $\alpha_j$  (Efecto verdadero del  $j$ -ésimo nivel de factor A) +  $\beta_k$  (Efecto verdadero del  $k$ -ésimo nivel de factor B) +  $(\alpha\beta)_{ik}$  (Efecto verdadero de interacción de  $i$ -ésima repetición o bloque con  $k$ -ésimo nivel de factor B) +  $\epsilon_{ijk}$  (Efecto error) tal que  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, r, j = 1, 2$  y  $k = 1, 2$ .

Su ANOVA es:

Tabla 2.4 Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Factorial 2<sup>2</sup>

<b>F. de Variación</b> (Factor de Variación) VF (Variation factor)	<b>Gl</b> (Grados de Libertad) Df (Degrees of freedom)	<b>SC</b> (Suma de Cuadrados) Sum Sq (Sum of squares)	<b>CM</b> (Cuadrado Medio) Mean Sq (Mean square)	<b>F</b> (calculada) F value (Calculated)	<b>Pr</b> (> F) $\rho$ - Value
<b>A</b>	1	$SC_{(A)}$ $= \frac{1}{2^2n} [a + ab - b - (1)]^2$	$SC_{(A)}/Gl_A$	$CM_{(A)}/CM_E$	P ( $F_t > F_C^A$ )
<b>B</b>		$SC_{(B)}$ $= \frac{1}{2^2n} [b + ab - a - (1)]^2$	$SC_{(B)}/Gl_B$	$CM_{(B)}/CM_E$	P ( $F_t > F_C^B$ )
<b>AB</b>		$SC_{(AB)}$ $= \frac{1}{2^2n} [ab + (1) - a - b]^2$	$SC_{(AB)}/Gl_{AB}$	$CM_{(AB)}/CM_E$	P ( $F_t > F_C^{AB}$ )
<b>Error</b>	$4(n - 1)$	$SC_E$ $= SC_T - (SC_{(A)} + SC_{(B)} + SC_{(AB)})$	$SC_{(E)}/Gl_E$		
<b>Total</b>	$2^2n - 1$	$SC_T$ $= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{1}{2^2n} Y_{...}^2$			

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Completo al Azar (DCA)					
Factorial 2 <sup>2</sup>					
F. de V <sub>o</sub> (Factor de Variación)	Gl <sub>o</sub> (Grados de Libertad)	SC <sub>o</sub> (Suma de Cuadrados)	CM <sub>o</sub> (Cuadrado Medio)	F <sub>o</sub> (calculada)	Pr <sub>o</sub> (> F)
VF <sub>o</sub> (Variation factor)	Df <sub>o</sub> (Degrees of freedom)	Sum Sq <sub>o</sub> (Sum of squares)	Mean Sq <sub>o</sub> (Mean squares)	F value <sub>o</sub> (Calculated)	p - Value
<b>Tratamiento</b>	(t - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{abn}$	$\frac{SC_{(Tratamiento)}}{(t - 1)}$	$\frac{CM_{(Tratamiento)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> )
<b>A</b>	(a - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a Y_{i..}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{abn}$	$\frac{SC_{(A)}}{(a - 1)}$	$\frac{CM_{(A)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>A</sup> )
<b>B</b>	(b - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{abn}$	$\frac{SC_{(B)}}{(b - 1)}$	$\frac{CM_{(B)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>B</sup> )
<b>AB</b>	(a - 1)(b - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{abn} - \left[ \left( \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i..}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{abn} \right) + \left( \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{abn} \right) \right]$	$\frac{SC_{(AB)}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>AB</sup> )
<b>Error</b>	ab(n - 1)	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abn}$	$\frac{SC_{(Error)}}{ab(n - 1)}$		

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Completo al Azar (DCA) Factorial 2 <sup>2</sup>					
F. de V <sub>o</sub> (Factor de Variación) VF (Variation factor)	Gl <sub>o</sub> (Grados de Libertad) Df (Degrees of freedom)	SC <sub>o</sub> (Suma de Cuadrados) Sum Sq (Sum of squares)	CM <sub>o</sub> (Cuadrado Medio) Mean Sq (Mean squares)	F <sub>o</sub> (calculada) F value (Calculated)	Pr (> F) p - Value
<b>Total</b>	(abn - 1)	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij.}^2}{n}$			

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2 <sup>2</sup>					
F. de V <sub>o</sub> (Factor de Variación) VF (Variation factor)	Gl <sub>o</sub> (Grados de Libertad) Df (Degrees of freedom)	SC <sub>o</sub> (Suma de Cuadrados) Sum Sq (Sum of squares)	CM <sub>o</sub> (Cuadrado Medio) Mean Sq (Mean squares)	F <sub>o</sub> (calculada) F value (Calculated)	Pr (> F) p - Value
<b>Bloques</b>	(r - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^r Y_{i.}^2}{ab} - \frac{Y_{...}^2}{rab}$	$\frac{SC_{(Bloques)}}{(r - 1)}$	$\frac{CM_{(Bloques)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>Bloques</sup> )
<b>Tratamiento</b>	(t - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{.jk}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{rab}$	$\frac{SC_{(Tratamiento)}}{(t - 1)}$	$\frac{CM_{(Tratamiento)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>Tratamiento</sup> )
<b>A</b>	(a - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^a Y_{i.j.}^2}{rb} - \frac{Y_{...}^2}{rab}$	$\frac{SC_{(A)}}{(a - 1)}$	$\frac{CM_{(A)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>A</sup> )
<b>B</b>	(b - 1)	$\frac{\sum_{k=1}^b Y_{.k.}^2}{ra} - \frac{Y_{...}^2}{rab}$	$\frac{SC_{(B)}}{(b - 1)}$	$\frac{CM_{(B)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>B</sup> )

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2 <sup>2</sup>					
F. de Var. (Factor de Var. o VF (Variation factor))	Gl (Grados de Lib. o Df (Degrees of fr))	SC (Suma de Cuadr. o Sum Sq (Sum of s	CM (Cuadrado Medio o Mean Sq (Mean sq	F (calculada) o F value (Calculat	Pr (> F) o p - Value
<b>AB</b>	$(a - 1)(b - 1)$	$\frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{.jk}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{rab} - \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^a Y_{i..}^2}{rb} - \frac{Y_{...}^2}{rab} \right) + \left( \frac{\sum_{k=1}^b Y_{.k}^2}{ra} - \frac{Y_{...}^2}{rab} \right) \right]$	$\frac{SC_{(AB)}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{(Error)}}$	$P (F_t > F_C^{AB})$
<b>Error</b>	$ab(r - 1)$	$\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{ijl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{rab} \right] - \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{.jk}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{rab} \right) + \left( \frac{\sum_{i=1}^r Y_{i..}^2}{ab} - \frac{Y_{...}^2}{rab} \right) \right]$	$\frac{SC_{(Error)}}{ab(n - 1)}$		
<b>Total</b>	$(abr - 1)$	$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{ijl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{rab}$			

Fuente: Elaboración propia de los autores

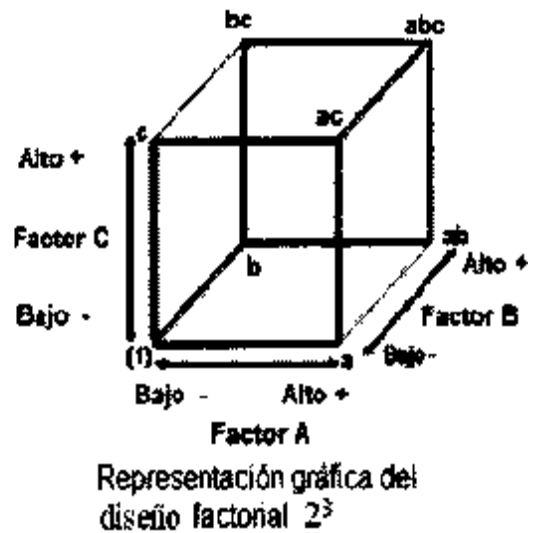
2.3 Diseño Factorial 2<sup>3</sup>

Cuando un factorial 2<sup>3</sup> está asociado a un diseño completamente aleatorizado que implica “n” unidades experimentales por combinación de tratamientos, su modelo estadístico es  $Y_{ijkl} = \mu$  (Media poblacional) +  $\alpha_i$  (Efecto i-ésimo nivel de factor a) +  $\beta_j$  (Efecto j-ésimo nivel de factor b) +  $\gamma_k$  (Efecto k-ésimo nivel de factor c) +  $(\alpha\beta)_{ij}$  (Efecto i-ésimo nivel de factor a con j-ésimo nivel del factor b) +  $(\alpha\gamma)_{ik}$  (Efecto i-ésimo nivel de factor a con k-ésimo nivel del factor c) +  $(\beta\gamma)_{jk}$  (Efecto j-ésimo nivel de factor b con k-ésimo nivel del factor c) +  $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  (Efecto i-ésimo nivel de factor a con j-ésimo nivel del factor b y k-ésimo nivel del factor c) +  $\epsilon_{ijkl}$  (Variación del error asociado con ijkl unidades) tal que  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, a$ ,  $j = 1, 2, 3, 4, \dots, b$ ,  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, c$  y  $l = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ .

El factorial 2<sup>3</sup> o 2<sup>n</sup> series involucra tres factores a, b y c cada uno con dos niveles en todas sus combinaciones dando lugar a 8 tratamientos. Su nomenclatura indica que hay cuatro notaciones diferentes para ocho tratamientos. La primera y segunda es uso de letras minúsculas con subíndices, para la primera con subíndices. La tercera es notación de signos + y -, llamada con frecuencia notación geométrica. La cuarta notación usa 1 y 0 para denotar niveles alto y bajo, de factores, en lugar de + y -, respectivamente:

Figura 2.2 Representación gráfica y tabla de efectos del diseño factorial 2<sup>3</sup>

Tratamiento	Efecto	A	B	C	A	B	C
1	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	(1)	-	-	0	0	0
2	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>0</sub>	a	+	-	1	0	0
3	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	b	-	+	0	1	0
4	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>0</sub>	ab	+	+	1	1	0
5	a <sub>0</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	c	-	-	0	0	1
6	a <sub>1</sub> b <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	ac	+	-	1	0	1
7	a <sub>0</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	bc	-	+	0	1	1
8	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	abc	+	+	1	1	1



Fuente: Elaboración propia de los autores

2.3.1 Modelo estadístico lineal

Su modelo estadístico lineal es  $Y_{ijkl} = \mu(\text{Verdadero efecto de media poblacional}) + \rho_i(\text{Efecto } i\text{-ésimo bloque}) + \alpha_j(\text{Efecto } j\text{-ésimo nivel de factor a}) + \beta_k(\text{Efecto } k\text{-ésimo nivel de factor b}) + \gamma_l(\text{Efecto } l\text{-ésimo nivel de factor c}) + (\alpha\beta)_{jk}(\text{Efecto } j\text{-ésimo nivel de factor a con } k\text{-ésimo nivel del factor b}) + (\alpha\gamma)_{jl}(\text{Efecto } j\text{-ésimo nivel de factor a con } l\text{-ésimo nivel del factor c}) + (\beta\gamma)_{kl}(\text{Efecto } k\text{-ésimo nivel de factor b con } l\text{-ésimo nivel del factor c}) + (\alpha\beta\gamma)_{jkl}(\text{Efecto } j\text{-ésimo nivel de factor a con } k\text{-ésimo nivel del factor b y } l\text{-ésimo nivel del factor c}) + \epsilon_{ijkl}(\text{Variación del error asociado con } ijkl \text{ unidades})$  tal que  $i = 1, 2, 3, 4, \dots, r$ ,  $j = 1, 2, 3, 4, \dots, a$ ,  $k = 1, 2, 3, 4, \dots, b$  y  $l = 1, 2, 3, 4, \dots, c$ .

En términos de contrastes, efectos e interacciones se definen con coeficientes que se dan a continuación. Los signos de efectos principales se determinan asociando un signo positivo con nivel alto y signo negativo con nivel bajo. Una vez establecidos los signos de efectos principales, los signos de filas restantes pueden obtenerse multiplicando filas precedentes apropiadas, columna por columna. El contraste de cualquier efecto puede obtenerse fácilmente:

Tabla 2.5 Tabla de signos y notación de Yates para el diseño factorial  $2^3$

Signos para Diseño Factorial $2^3$							Notación Yates
A	B	C	AB	AC	BC	ABC	
-	-	-	+	+	+	-	(1)
+	-	-	-	-	+	+	a
-	+	-	-	+	-	+	b
-	-	+	+	-	-	+	c
+	+	-	+	-	-	-	ab
+	-	+	-	+	-	-	ac
-	+	+	-	-	+	-	bc
+	+	+	+	+	+	+	abc

Fuente: Elaboración propia de los autores

## CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Figura 2.3 Matriz de signos para efectos principales e interacciones en el diseño factorial  $2^3$

Efecto	Tratamientos							
	000	100	010	110	001	101	011	111
Total	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
A	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
B	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1
AB	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
C	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
AC	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
BC	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
ABC	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1

Fuente: Elaboración propia de los autores

Incluir ANOVAS:

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Tabla 2.6 Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Factorial 2<sup>3</sup>

F. de V (Factor de Variación)	G1 (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
A	1	$SC_{(A)} = \frac{\left[ \frac{[a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	SC <sub>(A)</sub> /G1 <sub>A</sub>	CM <sub>(A)</sub> /CM <sub>E</sub>	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>A</sup> )
B		$SC_{(B)} = \frac{\left[ \frac{[b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	SC <sub>(B)</sub> /G1 <sub>B</sub>	CM <sub>(B)</sub> /CM <sub>E</sub>	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>B</sup> )
C		$SC_{(C)} = \frac{\left[ \frac{[c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	SC <sub>(C)</sub> /G1 <sub>C</sub>	CM <sub>(C)</sub> /CM <sub>E</sub>	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>C</sup> )
AB		$SC_{(AB)} = \frac{\left[ \frac{[ab - a - b + abc + (1) - bc - ac + c]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	SC <sub>(AB)</sub> /G1 <sub>AB</sub>	CM <sub>(AB)</sub> /CM <sub>E</sub>	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>AB</sup> )
AC		$SC_{(AC)} = \frac{\left[ \frac{[ac - a - c + abc + (1) - ab - bc + b]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	SC <sub>(AC)</sub> /G1 <sub>AC</sub>	CM <sub>(AC)</sub> /CM <sub>E</sub>	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>AC</sup> )

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

F. de V (Factor de Variación)	G1 (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
<b>BC</b>		$SC_{(BC)} = \frac{\left[ \frac{[bc - b - c + abc + (1) - ab - ac + a]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	$SC_{(BC)} / G1_{BC}$	$CM_{(BC)} / CM_E$	$P (F_t > F_C^{BC})$
<b>ABC</b>		$SC_{(ABC)} = \frac{\left[ \frac{[abc + a + b + c - (1) - ab - ac - bc]}{n2^{k-1}} \right]^2}{2^2 n}$	$SC_{(ABC)} / G1_{ABC}$	$CM_{(ABC)} / CM_E$	$P (F_t > F_C^{ABC})$
<b>Error</b>	$2^3 (n - 1)$	$SC_E = SC_T - (SC_{(A)} + SC_{(B)} + SC_{(C)} + SC_{(AB)} + SC_{(AC)} + SC_{(BC)} + SC_{(ABC)})$	$SC_{(E)} / G1_E$		
<b>Total</b>	$2^3 n - 1$	$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{1}{2^2 n} Y_{...}^2$			

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Completo al Azar (DCA) Factorial 2 <sup>3</sup>					
F. de V (Factor de Variación)	Gl (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
Tratamientos	(t - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$	$\frac{SC_{(Tratamiento)}}{(t - 1)}$	$\frac{CM_{(Tratamiento)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>Tratamientos</sup> )
A	(a - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a Y_{i\dots}^2}{bcn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$	$\frac{SC_{(A)}}{(a - 1)}$	$\frac{CM_{(A)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>A</sup> )
B	(b - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j\dots}^2}{acn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$	$\frac{SC_{(B)}}{(b - 1)}$	$\frac{CM_{(B)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>B</sup> )
C	(c - 1)	$\frac{\sum_{k=1}^c Y_{\dots k}^2}{abn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$	$\frac{SC_{(C)}}{(c - 1)}$	$\frac{CM_{(C)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>C</sup> )
AB	(a - 1)(b - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij\dots}^2}{cn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$ $- \left[ \left( \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i\dots}^2}{bcn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right) \right]$ $+ \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^b Y_{.j\dots}^2}{acn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right) \right]$	$\frac{SC_{(AB)}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>AB</sup> )

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Completo al Azar (DCA) Factorial 2 <sup>3</sup>					
F. de V (Factor de Variación)	Gl (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
AC	(a - 1) (c - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c Y_{i.k}^2}{bn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$ $- \left[ \left( \frac{\sum_{i=1}^a Y_{i\dots}^2}{bcn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right) \right]$ $+ \left( \frac{\sum_{k=1}^c Y_{\dots k}^2}{abn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right)$	$\frac{SC_{(AC)}}{(a - 1) (c - 1)}$	$\frac{CM_{(AC)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>c</sub> <sup>AC</sup> )
BC	(b - 1) (c - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{j.k}^2}{bn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$ $- \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^b Y_{j\dots}^2}{acn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right) \right]$ $+ \left( \frac{\sum_{k=1}^c Y_{\dots k}^2}{abn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right)$	$\frac{SC_{(BC)}}{(b - 1) (c - 1)}$	$\frac{CM_{(BC)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>c</sub> <sup>BC</sup> )

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Completo al Azar (DCA) Factorial 2 <sup>3</sup>					
F. de V (Factor de Variación)	Gl (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
<b>Error</b>	abc(n - 1)	$\left[ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right]$ $- \left[ \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{ijk.}^2}{n} - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn} \right]$	$\frac{SC_{(Error)}}{abc(n - 1)}$		
<b>Total</b>	abcn - 1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abcn}$			

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2 <sup>3</sup>					
F. de V (Factor de Variación)	Gl (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
<b>Bloques</b>	(r - 1)	$\frac{\sum_{i=1}^r Y_{i...}^2}{abc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc}$	$\frac{SC_{(Bloques)}}{(r - 1)}$	$\frac{CM_{(Bloques)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>Bloques</sup> )
<b>Tratamientos</b>	(t - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b \sum_{l=1}^c Y_{.jkl}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{rabc}$	$\frac{SC_{(Tratamientos)}}{(t - 1)}$	$\frac{CM_{(Tratamientos)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>Tratamientos</sup> )
<b>A</b>	(a - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^a Y_{.j..}^2}{rbc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc}$	$\frac{SC_{(A)}}{(a - 1)}$	$\frac{CM_{(A)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>A</sup> )
<b>B</b>	(b - 1)	$\frac{\sum_{k=1}^b Y_{..k.}^2}{rac} - \frac{Y_{...}^2}{rabc}$	$\frac{SC_{(B)}}{(b - 1)}$	$\frac{CM_{(B)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>B</sup> )
<b>C</b>	(c - 1)	$\frac{\sum_{l=1}^c Y_{...l}^2}{rab} - \frac{Y_{...}^2}{rabc}$	$\frac{SC_{(C)}}{(c - 1)}$	$\frac{CM_{(C)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>C</sup> )
<b>AB</b>	(a - 1) (b - 1)	$\left[ \frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b Y_{.ij.}^2}{rc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right] - \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^a Y_{.j..}^2}{rbc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + \left( \frac{\sum_{k=1}^b Y_{..k.}^2}{rac} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) \right]$	$\frac{SC_{(AB)}}{(a - 1) (b - 1)}$	$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>AB</sup> )

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2 <sup>3</sup>					
F. de V (Factor de Variación)	GI (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
AC	(a - 1) (c - 1)	$\frac{\sum_{j=1}^a \sum_{l=1}^c Y_{j,l}^2}{rb} - \frac{Y_{...}^2}{rabc}$ $- \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^a Y_{j..}^2}{rbc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + \left( \frac{\sum_{l=1}^c Y_{...l}^2}{rab} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) \right]$	$\frac{SC_{(AC)}}{(a - 1) (c - 1)}$	$\frac{CM_{(AC)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>AC</sup> )
BC	(b - 1) (c - 1)	$\left[ \frac{\sum_{k=1}^b \sum_{l=1}^c Y_{..kl}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right]$ $- \left[ \left( \frac{\sum_{k=1}^b Y_{..k.}^2}{rac} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + \left( \frac{\sum_{l=1}^c Y_{...l}^2}{rab} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) \right]$	$\frac{SC_{(BC)}}{(b - 1) (c - 1)}$	$\frac{CM_{(BC)}}{CM_{(Error)}}$	P (F <sub>t</sub> > F <sub>C</sub> <sup>BC</sup> )

CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2 <sup>3</sup>					
F. de V (Factor de Variación)	Gl (Grados de Libertad)	SC (Suma de Cuadrados)	CM (Cuadrado Medio)	F (calculada)	Pr (> F)
<b>ABC</b>	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	$SC_{(Tratamiento)} - \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^a Y_{j..}^2}{rbc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + \left( \frac{\sum_{k=1}^b Y_{..k.}^2}{rac} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + \left( \frac{\sum_{l=1}^c Y_{...l}^2}{rab} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + (SC_{(AB)}) + (SC_{(AC)}) + (SC_{(BC)}) \right]$	$\frac{SC_{(ABC)}}{(a - 1)(b - 1)(c - 1)}$	$\frac{CM_{(ABC)}}{CM_{(Error)}}$	$P(F_t > F_c^{ABC})$
<b>Error</b>	$abc(r - 1)$	$\left[ \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right] - \left[ \left( \frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^b \sum_{l=1}^c Y_{jkl.}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) + \left( \frac{\sum_{i=1}^r Y_{i...}^2}{abc} - \frac{Y_{...}^2}{rabc} \right) \right]$	$\frac{SC_{(Error)}}{(abc - 1)(r - 1)}$		

**CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL**

<b>Análisis de Varianza (ANOVA, ADEVA ó ANVA) para Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2<sup>3</sup></b>					
<b>F. de V</b> <sub>(Factor de Variación)</sub>	<b>Gl</b> <sub>(Grados de Libertad)</sub>	<b>SC</b> <sub>(Suma de Cuadrados)</sub>	<b>CM</b> <sub>(Cuadrado Medio)</sub>	<b>F</b> <sub>(calculada)</sub>	<b>Pr</b> (> F)
<b>Total</b>	abcn - 1	$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{rabc}$			

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) Factorial 2 <sup>3</sup>		
Ventajas	Desventajas	Usos
a) Permite estudio de efectos principales, efectos de interacción y efectos simples, pues nunca origina pérdida de información.	a) Resultado del experimento y análisis estadístico es más complicado.	a) Ú
b) Cuando todos los factores son independientes en sus efectos, el método factorial indica ahorro de tiempo y material dedicado a experimentos.	b) Con gran número de combinaciones de tratamientos, la selección de unidades experimentales homogéneas es más difícil.	
c) La independencia de factores indicará que todos los efectos simples de un factor son iguales a su efecto principal tal que los efectos principales son las únicas cantidades necesarias para describir consecuencias de variaciones en factor.		
d) En experimento factorial, cada efecto se estima con igual precisión que si todo el experimento se hubiera dedicado a ese factor.	c) Conforme aumenta el número de combinaciones de tratamientos en un experimento, el error estándar aumenta.	
e) Número de grados de libertad es alto, contribuye a disminuir varianza del error, aumentando precisión del experimento.		
f) Se logra eficiencia en uso de recursos experimentales.		

Fuente: Elaboración propia de los autores

## CAPÍTULO 2. DISEÑO FACTORIAL

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

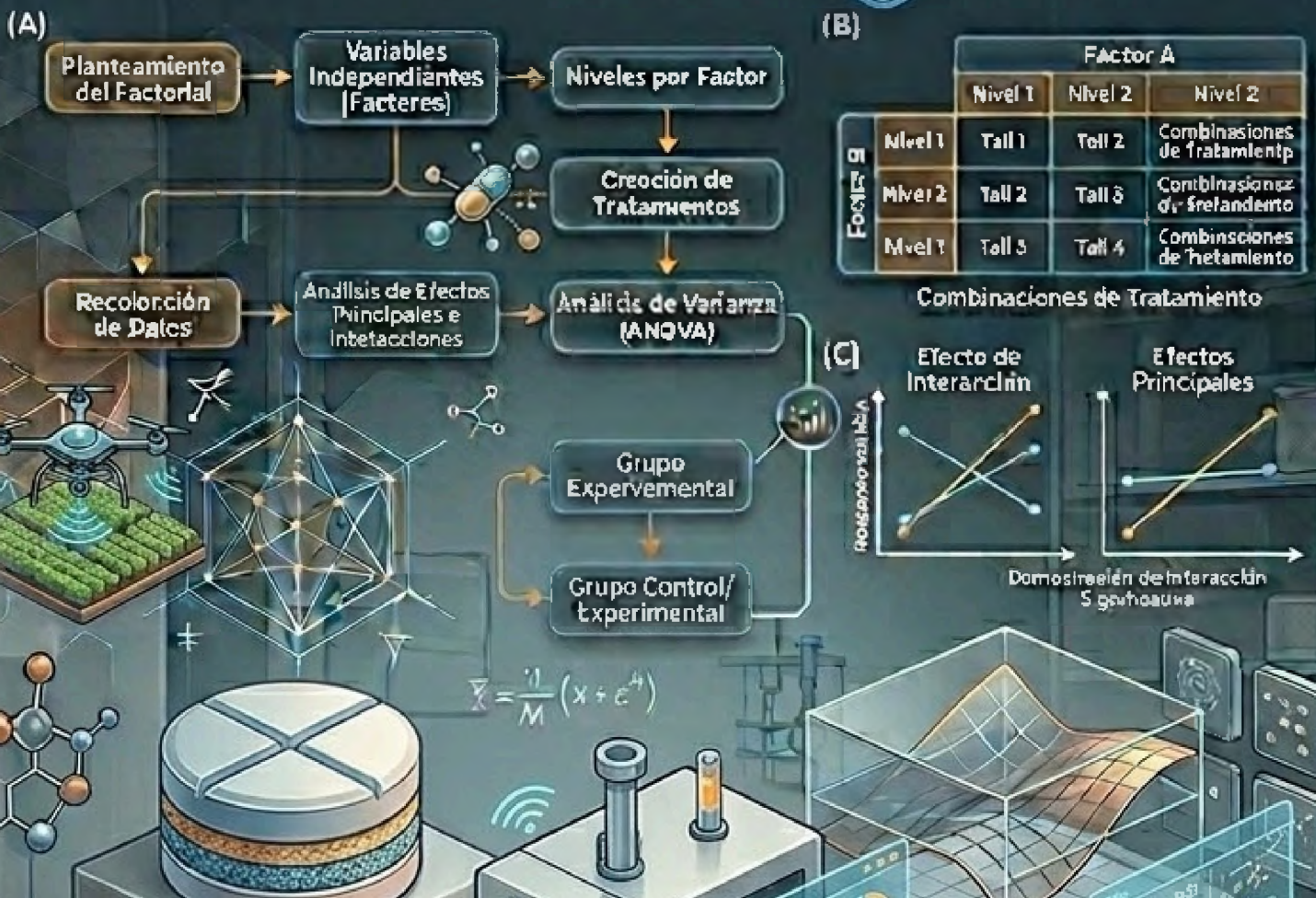
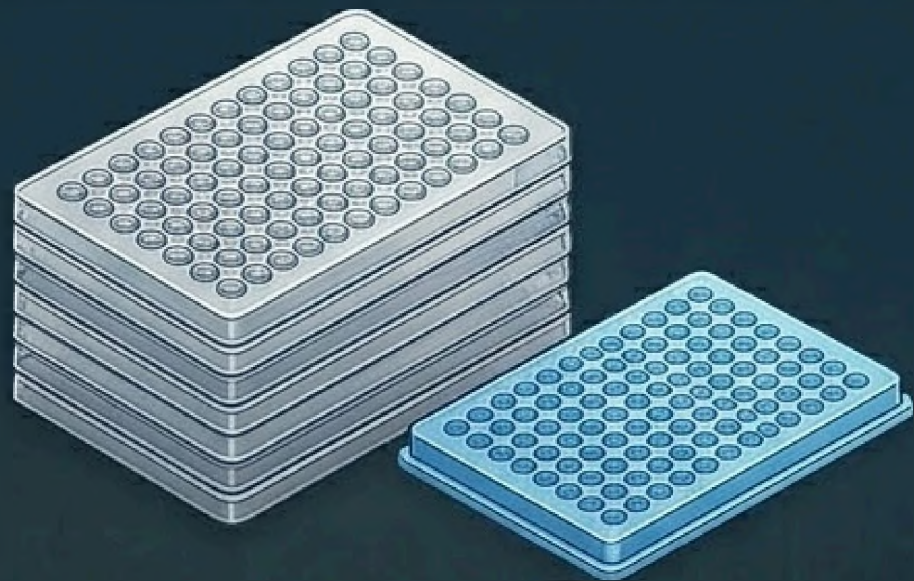
- A.** Haga el planteamiento de las  $H_0$  e  $H_a$ .
- B.** Calcular los valores promedios por cada tratamiento y media general.
- C.** Grafique los valores promedio de los tratamientos mediante “Gráficas de caja con vigotes” o “Box Plot”.
- D.** Calcular el tabla de Análisis de Varianza: ANOVA, ADEVA, 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  $F_{Calculada}$  respecto al valor de  $F_{Tablas}$ .
- H.** Interpretar la ANOVA con base en el 4to criterio de lectura de ADEVA: Valor de  $p$  – Value .

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 y/o Prueba de Scheffé) con nivel de significancia de 0.05 y/o 0.01.



EDITORIAL ANDES COGNITIO

# APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A X B



CAPÍTULO III

APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

3.1 Aplicación 1

Interesa estudiar el efecto del tamaño de broca (*factor A*) y de la velocidad (*factor B*) sobre la vibración de la ranuradora (*respuesta Y*). Para ello se decide utilizar un diseño factorial  $2^2$  con cuatro repeticiones; es decir, cuatro repeticiones en cada tratamiento, lo que da un total de  $[4 \times 2^2]$  ó  $2^4=16$  corridas del proceso, que se realizan en orden aleatorio. El tamaño de la broca se prueba en  $1/16$  y en  $1/8$  de pulgada y la velocidad en 40 y 90 rps, según se describe en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Ejemplo Práctico de un Diseño Factorial  $2^2$

Tabla 3						Tabla 4				Totales			
Broca	Velocidad	Orden aleatorio de 4 réplicas				A: Broca	B: Velocidad	Vibración					
1/16	40	5	8	1 3	1 4			18. 2	18. 9	12. 9	14. 4	64.4	<i>l</i>
1/18	40	1	6	1 0	1 2			27. 7	24. 0	22. 4	22. 5	96.6	<i>a</i>
1/16	90	3	7	1 1	1 5			15. 9	14. 5	15. 1	14. 2	59.7	<i>b</i>
1/8	90	2	4	9	1 6			41. 0	43. 9	36. 3	39. 9	161. 1	<i>a</i> <i>b</i>

Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla 3.2 ANOVA e Interpretación Gráfica de la Interacción Broca x Velocidad

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Vibracion &lt;- c(18.2, 18.9, 12.9, 14.4, 27.7, 24.0, 22.4, 22.5, 15.9, 14.5, 15.1, 14.2, 41.0, 43.9, 36.3, 39.9)  Velocidad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 8))  Broca &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 4), 2))  g.lm &lt;- lm(Vibracion ~ Broca + Velocidad + Broca * Velocidad)  anova(g.lm)  interaction.plot (Broca, Velocidad, Vibracion, legend = T)  interaction.plot (Velocidad, Broca, Vibracion, legend = T)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

### 3.2 Aplicación 2

Un investigador desea “caracterizar las propiedades físicas y químicas de remolacha (*Beta vulgaris* L) perteneciente a sectores (Provincias Chimborazo y Bolivar) con dos variedades alargada y redonda” mediante Diseño Experimental Factorial A\*B completamente al azar, 4 tratamientos y 3 réplicas mediante variables Diámetros Longitudinal, Ecuatorial, Masa, Volumen, Densidad, % de Jugo, % de cáscara, pH, Grados Brix y Sólidos.

*Tabla 3.3 Análisis de Varianza del Diámetro Longitudinal bajo un Arreglo Factorial 2x2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> Diametro.Longitudinal &lt;- c(6.70, 7.80, 8.00, 8.50, 8.40, 7.90, 5.60, 4.20, 5.00, 5.60, 7.20, 7.50)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Diametro.Longitudinal ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)                     </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>install.packages("agricolae") library(agricolae)</pre>	<p>Con base en (De Mendiburu 2017), es necesario instalar el comando “agricolae” para hacer las siguientes pruebas de medias de tratamientos:</p>
<pre>model &lt;- aov(Diametro.Longitudinal ~ Variedad)</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.</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.</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>
<pre>duncan.test(model, "Variedad", 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>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<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 (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>outHSD &lt;- HSD.test(model, "Variedad", console=TRUE)</pre>	<p>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.</p>
<pre>outWaller &lt;- waller.test(model, "Variedad", group=TRUE, console=TRUE)</pre>	<p>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.</p>
<pre>scheffe.test(model, "Variedad", group=TRUE, console=TRUE)</pre>	<p>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.</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
model <- aov(Diametro.Longitudinal ~ Sector)
```

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

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

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

*Tabla 3.4 Análisis de Varianza del Diámetro Ecuatorial bajo un Arreglo Factorial 2 x 2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Diametro.Ecuatorial &lt;- c(4.70, 4.30, 4.10, 6.80, 6.70, 6.10, 6.20, 5.50, 5.30, 8.00, 8.50, 8.70)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Diametro.Ecuatorial ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Diametro.Ecuatorial ~ Variedad)
```

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

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

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

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

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

```
model <- aov(Diametro.Ecuatorial ~ Sector)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 3.5 Análisis de Varianza del Peso bajo un Arreglo Factorial 2 x 2

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<p style="text-align: center;">El arreglo factorial sería:</p> <pre>Peso &lt;- c(74.00, 72.80, 68.40, 173.50, 189.10, 182.30, 101.80, 80.00, 78.00, 224.30, 302.20, 313.70)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Peso ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Peso ~ Variedad)
```

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

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

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

model <- aov(Peso ~ Sector)

LSD.test(model, "Sector", console=TRUE)

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

duncan.test(model, "Sector", console=TRUE)

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

REGW.test(model, "Sector", group=TRUE, console=TRUE)

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

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

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

p.aov <- aov(Peso ~ Variedad + Sector + Variedad*Sector)

medias <- model.tables(p.aov, type = "means")

medias
```

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

*Tabla 3.6 ANOVA del Volumen en un Diseño Factorial 2x2 (Variedad x Sector)*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Volumen &lt;- c(70.00, 70.00, 65.00, 150.00, 165.00, 160.00, 98.00, 60.00, 53.00, 200.00, 290.00, 300.00)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Volumen ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Volumen ~ Variedad)
```

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

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

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

model <- aov(Volumen ~ Sector)

LSD.test(model, "Sector", console=TRUE)

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

duncan.test(model, "Sector", console=TRUE)

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

REGW.test(model, "Sector", group=TRUE, console=TRUE)

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

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

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

p.aov <- aov(Volumen ~ Variedad + Sector + Variedad*Sector)

medias <- model.tables(p.aov, type = "means")

medias
```

*Tabla 3.7 Análisis de Varianza y Medias Factoriales de la Densidad bajo un Diseño 2x2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Densidad &lt;- c(1.057, 1.040, 1.052, 1.157, 1.146, 1.139, 1.039, 1.333, 1.472, 1.122, 1.042, 1.046)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor(rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Densidad ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)  p.aov &lt;- aov(Densidad ~ Variedad + Sector + Variedad*Sector)  medias &lt;- model.tables(p.aov, type = "means")  medias</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

Tabla 3.8 ANOVA del Porcentaje de Cáscara en un Diseño Factorial 2 x 2 (Variedad x Sector)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Porcentaje.Cascara &lt;- c(21.89, 25.00, 21.78, 15.33, 15.44, 19.58, 14.64, 27.88, 16.15, 14.76, 12.18, 14.15)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor(rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Porcentaje.Cascara ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Porcentaje.Cascara ~ Sector)
```

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

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

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

*Tabla 3.9 ANOVA del Porcentaje de Jugo en un Diseño Factorial 2 x 2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	El arreglo factorial sería:
<pre>Porcentaje.Jugo &lt;- c(79.24, 80.59, 79.44, 78.35, 74.98, 72.78, 82.39, 85.10, 83.94, 79.08, 77.20, 75.27)</pre>	
<pre>Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))</pre>	
<pre>Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))</pre>	
<pre>g.lm &lt;- lm(Porcentaje.Jugo ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)</pre>	
<pre>anova(g.lm)</pre>	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Porcentaje.Jugo ~ Variedad)
```

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

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

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

```
model <- aov(Porcentaje.Jugo ~ Sector)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 3.10 ANOVA del pH en un Diseño Factorial 2x2

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>pH &lt;- c(5.8, 5.9, 6.0, 6.4, 6.2, 6.1, 6.0, 6.0, 5.7, 6.3, 6.2, 6.0)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(pH ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(pH ~ Sector)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

Tabla 3.11 ANOVA de los Sólidos Solubles Totales ( $^{\circ}$ Brix) en un Diseño Factorial  $2 \times 2$

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Brix &lt;- c(15, 14.5, 14.7, 13, 12.2, 14.7, 12.9, 12.1, 10.9, 14.1, 12.9, 11)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor(rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Brix ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	El arreglo factorial sería:

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Brix ~ Variedad)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 3.12 ANOVA de la Variable Sólidos en un Diseño Factorial 2 x 2

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Solidos &lt;- c(2890, 3180, 2890, 1510, 700, 1004, 3870, 4190, 4520, 2830, 2480, 2620)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Solidos ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Solidos ~ Variedad)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
model <- aov(Solidos ~ Sector)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.3 Aplicación 3

Dos investigadoras desean “caracterizar las propiedades físicas y químicas de jícama (*Pachyrhizus erosus*) perteneciente a sectores Cantón Píllaro y Parroquia San Simón con dos variedades alargada y redonda” mediante Diseño Experimental Factorial A\*B completamente al azar, 4 tratamientos y 3 réplicas mediante variables Diámetros Longitudinal, Ecuatorial, Masa, Volumen, Densidad, % de Jugo, % de cáscara, pH, Grados Brix y Sólidos.

*Tabla 3.13 ANOVA del Diámetro Longitudinal en un Arreglo Factorial 2 x 2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Diametro.Longitudinal &lt;- c(15.4, 16.6, 13.7, 13.2, 12.2, 11.5, 11.1, 10, 9.3, 20, 24, 18.3)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Diametro.Longitudinal ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Diametro.Longitudinal ~ Sector)
```

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

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

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

REGW.test(model, "Sector", group=TRUE, console=TRUE)

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

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

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

p.aov <- aov(Diametro.Longitudinal ~ Variedad + Sector + Variedad*Sector)

medias <- model.tables(p.aov, type = "means")

medias
```

*Tabla 3.14 ANOVA del Diámetro Ecuatorial en un Diseño Factorial 2x2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Diametro.Ecuatorial &lt;- c(5.1, 6.4, 6.1, 7.2, 7.9, 7.1, 8.6, 7.9, 7.5, 5.7, 8.9, 7.15)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Diametro.Ecuatorial ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Masa &lt;- c(294.5, 207.5, 253.5, 318.1, 301.7, 359.3, 366.9, 266.9, 245.8, 252.7, 395.5, 397.7)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Masa ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)                     </pre>	

Fuente: Elaboración propia de los autores

Tabla 3.15 ANOVA del Volumen en un Diseño Factorial 2x2

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> Volumen &lt;- c(286.7, 314.5, 250, 300, 282.7, 350, 342.5, 245, 230, 245, 380, 455)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Volumen ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)                     </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> Densidad &lt;- c(1.027, 0.660, 1.014, 1.060, 1.067, 1.027, 1.071, 1.089, 1.069, 1.031, 1.041, 0.874)                     </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Densidad ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

*Tabla 3.16 Análisis de Varianza del Porcentaje de Jugo (Proporción) bajo un Diseño Factorial*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Porcentaje.Jugo &lt;- c(0.956, 0.871, 0.919, 0.938, 0.903, 0.950, 0.939, 0.942, 0.897, 0.913, 0.899, 0.902)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Porcentaje.Jugo ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

*Tabla 3.17 ANOVA del Porcentaje de Cáscara en un Diseño Factorial 2 x 2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Porcentaje.Cascara &lt;- c(18.947, 26.651, 55.976, 23.452, 18.992, 16.643, 17.552, 14.537, 13.995, 18.995, 21.163, 6.387)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Porcentaje.Cascara ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

*Tabla 3.18 Análisis de Varianza del pH bajo un Diseño Factorial 2 x 2*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> pH &lt;- c(6.40, 6.20, 6.50, 6.20, 6.20, 6.40, 6.50, 6.80, 6.50, 6.40, 6.70, 6.60)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(pH ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)                     </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(pH ~ Variedad)
```

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

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

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

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

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

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

*Tabla 3.19 Análisis de Varianza de los Sólidos Solubles Totales (°Brix) bajo un Diseño Factorial*

2 × 2

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Brix &lt;- c(8.30 , 5.10, 6.20, 6.20, 5.30, 6.90, 9.20, 10.00, 11.10, 10.20, 10.10, 8.40)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Brix ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Brix ~ Variedad)
```

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

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

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

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

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

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

*Tabla 3.20 Análisis de Varianza de la Concentración de Sólidos*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Solidos &lt;- c(1.00, 1.40, 0.80, 2.00, 1.20, 0.30, 0.07, 0.02, 0.04, 0.07, 0.02, 0.06)  Variedad &lt;- factor(rep(1:2, 1, each = 6))  Sector &lt;- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 3), 2))  g.lm &lt;- lm(Solidos ~ Variedad + Sector + Variedad * Sector)  anova(g.lm)</pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Solidos ~ Variedad)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.4 Aplicación 4

Dos tesisas desean determinar los parámetros óptimos de pasteurización (tiempo y temperatura) del zumo y jugo de naranja, evaluados mediante el mejor tratamiento. Se aplicará un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en arreglo factorial A \* B con 2 repeticiones. Los Factores en estudio a desarrollar en la investigación para el zumo y jugo de naranja son:

*Tabla 3.21 Factores y Niveles del Diseño Factorial 2x2 Evaluado*

FACTOR	CODIGO	PORCENTAJES (%)
Variedad de naranja	A	A <sub>1</sub> = Valencia A <sub>2</sub> = Nacional
Pasteurización	B	B <sub>1</sub> = Lenta (65 °C x 30 minutos) B <sub>2</sub> = Rápida (72 °C x 15 minutos)

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

Tabla de combinaciones de los diferentes tratamientos para los dos diseños a trabajar son:

*Tabla 3.22 Combinación de Tratamientos del Diseño Factorial 2x2*

Nº	Tratamientos	Detalle
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	Naranja variedad valencia + 65 °C x 30 minutos
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	Naranja variedad valencia + 72 °C x 15 minutos
3	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	Naranja variedad nacional + 65 °C x 30 minutos
4	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	Naranja variedad nacional+ 72 °C x 15 minutos

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

Resultados de experimento para zumo de naranja:

*Tabla 3.23 Valores Experimentales de las Variables Fisicoquímicas*

Factor A	Factor B	Acidez	pH	Grados Brix
		43.2	3.9	9.0
		29.0	4.0	9.0
		20.4	3.9	9.0
		26.0	4.2	8.5
		25.0	3.9	8.0
		22.0	5.7	9.0
		23.0	3.8	9.0
		20.0	4.5	7.0

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

*Tabla 3.24 Efecto de la Variedad y el Método de Pasteurización sobre la Calidad Fisicoquímica del Zumo de Naranja*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
Acidez <- c(43.2, 29.0, 20.4, 26.0, 25.0, 22.0, 23.0, 20.0)	
pH <- c(3.9, 4.0, 3.9, 4.2, 3.9, 5.7, 3.8, 4.5)	
	El arreglo factorial sería:
Brix <- c(9.0, 9.0, 9.0, 8.5, 8.0, 9.0, 9.0, 7.0)	

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>Variedades.Naranja &lt;- factor(rep(1:2, 4))</pre>	<p>Son dos Variedades de Naranja (A1 = Valencia y A2 = Nacional) . Es cuatro porque son cuatro elementos de A1, así como cuatro de A2.</p>
<pre>Pasteurizacion &lt;- gl(2, 2, 8)</pre>	<p>Son dos métodos de Pasteurización (B1 = Lenta, 65 °C x 30 minutos y B2 = Rápida, 72 °C x 15 minutos), son 2 repes y, finalmente, son 8 elementos por cada columna de (Acidez, pH y Grados Brix).</p>
<pre>xtabs (Acidez ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)</pre>	<p>Da la suma de las variedades con cada repe; es decir, A1B11ra repe + A2B1 1ra repe, A1B11da repe + A2B1 1da repe. Esto no tiene ningún aporte al problema.</p>
<pre>xtabs (pH ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)</pre>	
<pre>xtabs (Brix ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)</pre>	
<pre>tapply(Acidez, Pasteurizacion, summary)</pre>	<p>Indica el valor medio de influencia de la Acidez, pH y Grados Brix respecto a la Pasteurización -</p>

CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	B1 = Lenta, 65 °C x 30 minutos y B2 = Rápida, 72 °C x 15 minutos-.
tapply(pH, Pasteurizacion, summary)	
tapply(Brix, Pasteurizaciogn, summary)	
tapply(Acidez, Variedades.Naranja, summary)	Indica el valor medio de influencia de la Acidez, pH y Grados Brix respecto a Variedades de Naranja –A1 = Valencia y A2 = Nacional-).
tapply(pH, Variedades.Naranja, summary)	
tapply(Brix, Variedades.Naranja, summary)	
stripchart(Acidez ~ Variedades.Naranja, method = "stack")	Existe menos variación de Acidez con variedad Nacional (A2) que la variedad Valencia (A1).
stripchart(Acidez ~ Pasteurizacion, method = "stack")	Existe menos variación de Acidez con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2), que con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).
stripchart(pH ~ Variedades.Naranja, method = "stack")	Existe menos variación de pH con variedad Valencia (A1) que variedad Nacional (A2).
stripchart(pH ~ Pasteurizacion, method = "stack")	Existe menos variación de pH con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2), que con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).
stripchart(Brix ~ Variedades.Naranja, method = "stack")	Existe menos variación de Grados Brix con variedad Valencia (A1) que variedad Nacional (A2).

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>stripchart(Brix ~ Pasteurizacion, method = "stack")</pre>	<p>Existe menos variación de Grados Brix con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1), que con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2).</p>
<pre>interaction.plot (Variedades.Naranja, Pasteurizacion, Acidez, legend = T)</pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Valencia (A1) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) para reducir la media de Acidez en el zumo de naranja. Asimismo, la <b>Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2), reduce en mayor grado la media de Acidez en el zumo de naranja usando variedad Nacional (A2) y, en menor grado, usando variedad Valencia (A1). El punto donde cruzan las dos rectas es lo mismo usar variedad Valencia (A1) como variedad Nacional (A2) y Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) o Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) porque la media de acidez es equivalente.</b></p>
<pre>interaction.plot (Pasteurizacion, Variedades.Naranja, Acidez, legend = T)</pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Valencia (A1) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) o Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) para reducir la media de pH en el zumo de naranja. Asimismo, la <b>variedad Valencia (A1) reduce en mayor grado la media de pH en el zumo de naranja con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) y, en menor grado, Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).</b></p>
<pre>interaction.plot (Variedades.Naranja, Pasteurizacion, pH, legend = T)</pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Valencia (A1) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) o Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) para reducir la media de pH en el zumo de naranja. Asimismo, la <b>variedad Valencia (A1) reduce en mayor grado la media de pH en el zumo de naranja con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) y, en menor grado, Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).</b></p>
<pre>interaction.plot (Variedades.Naranja, Pasteurizacion, Brix, legend = T)</pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Valencia (A1) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) o Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) para reducir la media de pH en el zumo de naranja. Asimismo, la <b>variedad Valencia (A1) reduce en mayor grado la media de pH en el zumo de naranja con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) y, en menor grado, Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).</b></p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> interaction.plot          (Pasteurizacion, Variedades.Naranja, Brix, legend = T)  g.lm &lt;- lm(Acidez ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion + Variedades.Naranja * Pasteurizacion)  anova(g.lm)  g.lm &lt;- lm(pH ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion + Variedades.Naranja * Pasteurizacion)  anova(g.lm)  g.lm &lt;- lm(Brix ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion + Variedades.Naranja * Pasteurizacion)  anova(g.lm)  p.aov &lt;- aov(Acidez ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion) </pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Nacional (A2) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) para reducir drásticamente la media de Grados Brix en el zumo de naranja o usar <b>la variedad Nacional (A2) para que aumente drásticamente la media de Grados Brix en el zumo de naranja usando Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1)</b>. Finalmente, la variedad Valencia (A1) reduce la media de Grados Brix en zumo de naranja usando Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) y, en menor grado, usando Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2).</p> <p>aov = Analysis of Variance guarda una variable llamada efectos el modelo de tablas, para ver resultados escribe efectos y obtiene la tabla. Ésta indica los valores promedios por cada variedad de</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>efectos &lt;- model.tables(p.aov)  efectos  medias &lt;- model.tables(p.aov, type = "means")  medias  p.aov &lt;- aov(pH ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)  efectos &lt;- model.tables(p.aov)  efectos  medias &lt;- model.tables(p.aov, type = "means")  medias  p.aov &lt;- aov(Brix ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)  efectos &lt;- model.tables(p.aov)</pre>	<p>naranja (valencia y nacional) y pasteurización (sin pasteurizar y pasteurizar).</p>

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<p>Efectos</p> <pre>medias &lt;- model.tables(p.aov, type = "means")</pre> <p>medias</p>	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

Resultados de experimento para jugo de naranja:

*Tabla 3.25 Valores Experimentales de las Variables Fisicoquímicas Evaluadas*

Factor A	Factor B	Acidez	pH	Grados Brix
		22.7	4.3	7.7
		18.0	5.0	7.0
		17.3	4.1	6.0
		19.0	6.0	9.0
		17.5	4.0	6.0
		16.0	5.0	7.0
		18.3	3.9	8.0
		18.0	4.8	7.6

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

*Tabla 3.26 Efecto de la Variedad de Naranja y el Método de Pasteurización sobre los Parámetros Fisicoquímicos del Jugo*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	<p>El arreglo factorial sería:</p> <p>Acidez &lt;- c(22.7, 18.0, 17.3, 19.0, 17.5, 16.0, 18.3, 18.0)</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<p>pH &lt;- c(4.3, 5.0, 4.1, 6.0, 4.0, 5.0, 3.9, 4.8)</p>	
<p>Brix &lt;- c(7.7, 7.0, 6.0, 9.0, 6.0, 7.0, 8.0, 7.6)</p>	
<p>Variedades.Naranja &lt;- factor(rep(1:2, 4))</p>	<p>Son dos Variedades de Naranja (A1 = Valencia y A2 = Nacional) . Es cuatro porque son cuatro elementos de A1, así como cuatro de A2.</p>
<p>Pasteurizacion &lt;- gl(2, 2, 8)</p>	<p>Son dos métodos de Pasteurización (B1 = Lenta, 65 °C x 30 minutos y B2 = Rápida, 72 °C x 15 minutos), son 2 repes y, finalmente, son 8 elementos por cada columna de (Acidez, pH y Grados Brix).</p>
<p>xtabs (Acidez ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)</p>	<p>Da la suma de las variedades con cada repe; es decir, A1B11ra repe + A2B1 1ra repe, A1B11da repe + A2B1 1da repe. Esto no tiene ningún aporte al problema</p>
<p>xtabs (pH ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)</p>	
<p>xtabs (Brix ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)</p>	
<p>tapply(Acidez, Pasteurizacion, summary)</p>	<p>Indica el valor medio de influencia de la Acidez, pH y Grados Brix respecto a la Pasteurización - B1 = Lenta, 65 °C x 30 minutos y B2 = Rápida, 72 °C x 15 minutos-.</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
tapply(pH, Pasteurizacion, summary)	
tapply(Brix, Pasteurizacion, summary)	
tapply(Acidez, Variedades.Naranja, summary)	Indica el valor medio de influencia de la Acidez, pH y Grados Brix respecto a Variedades de Naranja –A1 = Valencia y A2 = Nacional-).
tapply(pH, Variedades.Naranja, summary)	
tapply(Brix, Variedades.Naranja, summary)	
stripchart(Acidez ~ Variedades.Naranja, method = "stack")	Existe menos variación de Acidez con variedad Nacional (A2) que la variedad Valencia (A1).
stripchart(Acidez ~ Pasteurizacion, method = "stack")	Existe menos variación de Acidez con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2), que con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).
stripchart(pH ~ Variedades.Naranja, method = "stack")	Existe menos variación de pH con variedad Valencia (A1) que variedad Nacional (A2).
stripchart(pH ~ Pasteurizacion, method = "stack")	Existe menos variación de pH con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) que con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2).
stripchart(Brix ~ Variedades.Naranja, method = "stack")	Existe menos variación de Grados Brix con variedad Valencia (A1) que variedad Nacional (A2).

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>stripchart(Brix ~ Pasteurizacion, method = "stack")</pre>	<p>Existe menos variación de Grados Brix con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1), que con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2).</p>
<pre>interaction.plot (Variedades.Naranja, Pasteurizacion, Acidez, legend = T)</pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Nacional (A2) con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) para reducir drásticamente la media de Acidez de jugo de naranja o usar la variedad Valencia (A1) con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) para aumentar drásticamente la media de Acidez en el jugo de naranja. Asimismo, <b>usando Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) con variedad Valencia (A1) drásticamente la media de Acidez de jugo de naranja y, en menor grado, la variedad Nacional (A2) reduce la misma media de Acidez.</b></p>
<pre>interaction.plot (Pasteurizacion, Variedades.Naranja, Acidez, legend = T)</pre>	
<pre>interaction.plot (Variedades.Naranja, Pasteurizacion, pH, legend = T)</pre>	<p>Se recomienda usar la variedad Valencia (A1) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) o Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) para reducir la media de pH en el jugo de naranja o, caso contrario, variedad Nacional (A2) con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) o Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1). Asimismo, la <b>variedad Valencia (A1) reduce en mayor grado la media de pH en el jugo de naranja con Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2) y, en menor grado, Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1).</b> Paralelamente, el uso de la variedad Nacional (A2) <b>reduce en mayor grado la media de pH en el jugo de naranja con Pasteurización Lenta, 65 °C x 30 minutos (B1) y, en menor grado, Pasteurización Rápida, 72 °C x 15 minutos (B2).</b></p>
<pre>interaction.plot (Pasteurizacion, Variedades.Naranja, pH, legend = T)</pre>	



### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
library(agricolae)
```

```
g.lm <- lm(Acidez ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion + Variedades.Naranja * Pasteurizacion)
```

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

```
g.lm <- lm(pH ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion + Variedades.Naranja * Pasteurizacion)
```

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

```
g.lm <- lm(pH ~ Variedades.Naranja)
```

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

```
model <- aov(pH ~ Variedades.Naranja)
```

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

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

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

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

```
REGW.test(model, "Variedades.Naranja", group=TRUE, console=TRUE)
```

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

```
outHSD
```

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

```
print(outWaller$comparison)
```

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

```
g.lm <- lm(Brix ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion + Variedades.Naranja * Pasteurizacion)
```

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
p.aov <- aov(Acidez ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)
```

```
efectos <- model.tables(p.aov)
```

```
efectos
```

```
medias <- model.tables(p.aov, type = "means")
```

```
medias
```

```
p.aov <- aov(pH ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)
```

```
efectos <- model.tables(p.aov)
```

```
efectos
```

```
medias <- model.tables(p.aov, type = "means")
```

```
medias
```

```
p.aov <- aov(Brix ~ Variedades.Naranja + Pasteurizacion)
```

```
efectos <- model.tables(p.aov)
```

```
efectos
```

```
medias <- model.tables(p.aov, type = "means")
```

```
medias
```

### 3.5 Aplicación 5

Un investigador tiene por objetivos evaluar yogurt a base de leche de vaca y soya, enriquecida con néctar de maracuyá y determinar el valor nutricional de la bebida fermentada obtenida, a través de la caracterización física, química y organoléptica. Uso un Diseño de Bloques Completos al Azar Factorial A\*B con tres repeticiones; es decir, nueve tratamientos ( 50% bebida de soya + 50% leche de vaca, 60% bebida de soya + 40% leche de vaca, 70% bebida de soya + 30% leche de vaca, Néctar de maracuyá con 5 %, 10 % y 15 %) y, también, planteo las La adición de néctar de maracuyá no enriquecerá en proteínas el yogurt elaborado con base en bebida fermentada de leche de vaca y bebida de soya e La adición de néctar de maracuyá enriquecerá en proteínas el yogurt elaborado con base en bebida fermentada de leche de vaca y bebida de soya. Las variables medidas fueron pH, Acidez y Grados Brix.

*Tabla 3.27 Evaluación del Efecto e Interacción Soya × Néctar sobre el pH mediante Modelo Lineal en R*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> pH &lt;- c(4.01, 4.03, 4.05, 4.05, 4.04, 4.03, 4.04, 4.07, 4.08, 4.14, 4.14, 4.15, 4.07, 4.11, 4.12, 4.07, 4.08, 4.08, 4.06, 4.07, 3.96, 4.00, 3.93, 4.02, 4.01, 4.03, 4.06)  Porcentaje.Soya.Leches &lt;- factor(rep(1:3, 1, each = 9))  Porcentaje.Nectar.Maracuya &lt;- factor (rep(rep(1:3, 1, each = 3), 3))  g.lm &lt;- lm(pH ~ Porcentaje.Soya.Leches + Porcentaje.Nectar.Maracuya + Porcentaje.Soya.Leches *Porcentaje.Nectar.Maracuya)  anova(g.lm)  interaction.plot (Porcentaje.Soya.Leches, Porcentaje.Nectar.Maracuya, pH, legend = T)                     </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre>plot(pH ~ Porcentaje.Soya.Lechе, col=rainbow(7))</pre>	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(pH ~ Porcentaje.Soya.Lechе)
```

```
LSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

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

```
duncan.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

```
SNK.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
REGW.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
outHSD <- HSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

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

```
scheffe.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

Tabla 3.28 ANOVA Factorial 3 x 3 para Acidez

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> Acidez &lt;- c(5, 5, 5.7, 5.10, 5.2, 5.5, 5.60, 5.7, 5.7, 5.80, 5.8, 5.8, 5.5, 6, 7, 7, 7.5, 8, 8, 8.3, 8.5, 8.5, 8.5, 8, 8, 9, 9)  Porcentaje.Soya.Lechе &lt;- factor(rep(1:3, 1, each = 9))  Porcentaje.Nectar.Maracuya &lt;- factor (rep(rep(1:3, 1, each = 3), 3))  g.lm &lt;- lm(Acidez ~ Porcentaje.Soya.Lechе + Porcentaje.Nectar.Maracuya + Porcentaje.Soya.Lechе*Porcentaje.Nectar.Maracuya)  anova(g.lm)  interaction.plot      (Porcentaje.Soya.Lechе, Porcentaje.Nectar.Maracuya, Acidez, legend = T)  plot(Acidez ~ Porcentaje.Soya.Lechе, col=rainbow(7))  plot(Acidez ~ Porcentaje.Nectar.Maracuya, col=rainbow(7)) </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Acidez ~ Porcentaje.Soya.Lechе)
```

```
LSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

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

```
duncan.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

```
SNK.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
REGW.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)

outHSD <- HSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)

outWaller <- waller.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group= TRUE, console=TRUE)

scheffe.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)

library("agricolae")

model <- aov(Acidez ~ Porcentaje.Nectar.Maracuya)

LSD.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", console=TRUE)

LSD.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=T, p.adj="bon", console=TRUE)

duncan.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", console=TRUE)

SNK.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=TRUE, console=TRUE)

REGW.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=TRUE, console=TRUE)

outHSD <- HSD.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", console=TRUE)

outWaller <- waller.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", group= TRUE, console=TRUE)

scheffe.test(model, "Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=TRUE, console=TRUE)

library("agricolae")

model <- aov(Acidez ~ Porcentaje.Soya.Lechе*Porcentaje.Nectar.Maracuya)

LSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе*Porcentaje.Nectar.Maracuya", console=TRUE)

LSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе*Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=T, p.adj="bon",
console=TRUE)
```

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
duncan.test(model, "Porcentaje.Soya.Lече*Porcentaje.Nectar.Maracuya", console=TRUE)
```

```
SNK.test(model, "Porcentaje.Soya.Lече*Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=TRUE,  
console=TRUE)
```

```
REGW.test(model, "Porcentaje.Soya.Lече*Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=TRUE,  
console=TRUE)
```

```
outHSD <- HSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lече*Porcentaje.Nectar.Maracuya",  
console=TRUE)
```

```
outWaller <- waller.test(model, "Porcentaje.Soya.Lече*Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=  
TRUE, console=TRUE)
```

```
scheffe.test(model, "Porcentaje.Soya.Lече*Porcentaje.Nectar.Maracuya", group=TRUE,  
console=TRUE)
```

Tabla 3.29 ANOVA Factorial 3x3 para Grados Brix

Programación de software R	Observaciones o comentarios
<pre> Brix &lt;- c(16, 16, 16, 17, 16, 16, 16, 16, 16, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15)  Porcentaje.Soya.Lechе &lt;- factor(rep(1:3, 1, each = 9))  Porcentaje.Nectar.Maracuya &lt;- factor (rep(rep(1:3, 1, each = 3), 3))  g.lm &lt;- lm(Brix ~ Porcentaje.Soya.Lechе + Porcentaje.Nectar.Maracuya + Porcentaje.Soya.Lechе * Porcentaje.Nectar.Maracuya)  anova(g.lm)  interaction.plot (Porcentaje.Soya.Lechе, Porcentaje.Nectar.Maracuya, Brix, legend = T)                     </pre>	<p>El arreglo factorial sería:</p>

Fuente: Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Brix ~ Porcentaje.Soya.Lechе)
```

```
LSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

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

```
duncan.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

```
SNK.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
REGW.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

```
outHSD <- HSD.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", console=TRUE)
```

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

```
scheffe.test(model, "Porcentaje.Soya.Lechе", group=TRUE, console=TRUE)
```

### 3.6 Aplicación 6

Interesa estudiar el efecto método de ensamble (*factor A*) y tipo de operador (*factor B*) sobre rendimiento de ensamble (*respuesta Y*). Se plantea la comparación de cuatro métodos de ensamble tal que se controla activamente el experimento y operadores que realizan el ensamble. El diseño experimental es un factorial  $2^2$  con cuatro repeticiones; es decir, cuatro repeticiones en cada tratamiento, lo que da un total de  $[[4*2^2]]$  ó  $2^4=16$  corridas del proceso, que se realizan en orden aleatorio, según se describe en la siguiente tabla:

*Tabla 3.30 Evaluación de Métodos bajo un Diseño en Bloques Completos al Azar*

Método	Operador			
	1	2	3	4
	6	9	7	8
	7	10	11	8
	10	16	11	14
	10	13	11	9

Fuente: Elaboración propia de los autores

*Tabla 3.31 Análisis del Rendimiento de Ensamble en un Diseño Factorial  $2 \times 2$*

Programación de software R	Observaciones o comentarios
	El arreglo factorial sería:
	Rendimiento.ensamble <- c(6, 9, 7, 8, 7, 10, 11, 8, 10, 16, 11, 14, 10, 13, 11, 9)
	Ensamble <- factor(rep(1:2, 1, each = 8))
	Operador <- factor (rep(rep(1:2, 1, each = 4), 2))
	g.lm <- lm(Rendimiento.ensamble ~ Ensamble + Operador + Ensamble * Operador)
	anova(g.lm)

Programación de software R	Observaciones o comentarios
interaction.plot (Ensamble, Rendimiento.ensamble, legend = T)	Operador,
interaction.plot (Operador, Rendimiento.ensamble, legend = T)	Ensamble
plot(Rendimiento.ensamble ~ col=rainbow(7))	Ensamble,
p.aov <- aov(Rendimiento.ensamble ~ Ensamble)	
efectos <- model.tables(p.aov)	
efectos	
medias <- model.tables(p.aov, type = "means")	
medias	

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Rendimiento.ensamble ~ Ensamble)
```

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

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

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

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

```
REGW.test(model, "Rendimiento.ensamble", group=TRUE, console=TRUE)
```

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

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

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

### 3.7 Aplicación 7

Una empresa de venta por catalogo diseño un experimento factorial para probar el efecto de tamaño y diseño de anuncios publicitarios , en catalogo sobre numero de solicitudes recibidos. Los datos están dados en miles. Se pusieron a consideración tres diseños publicitarios con dos tamaños y dos repeticiones. Emplee el ANOVA para diseño factorial que pruebe si hay efectos al menos significativos debido al tipo de diseño, tamaño o interacción. Use . Los datos obtenidos son:

*Tabla 3.32 Evaluación del Diseño y Tamaño de Anuncio en un Diseño Factorial 3 x 2*

		Tamaño de anuncio	
		Pequeño	Grande
Diseño de anuncio	A	8	12
		12	8
	B	22	26
		14	30
	C	10	18
		18	14
		<b>84</b>	<b>108</b>

**Fuente:** Elaboración propia de los autores

```
Rendimiento <- c(8, 12, 12, 8, 22, 14, 26, 30, 10, 18, 18, 14)
```

```
Tamano <- factor(rep(1:2, 1, each = 6))
```

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

```
g.lm <- lm(Rendimiento ~ Tamano + Diseno + Tamano * Diseno)
```

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

```
interaction.plot (Tamano, Diseno, Rendimiento, legend = T)
```

```
interaction.plot (Diseno, Tamano, Rendimiento, legend = T)
```

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

```
plot(Rendimiento ~ Tamano, col=rainbow(7))
```

```
plot(Rendimiento ~ Tamano * Diseno, col=rainbow(7))
```

```
p.aov <- aov(Rendimiento ~ Tamano)
```

```
efectos <- model.tables(p.aov)
```

```
efectos
```

```
medias <- model.tables(p.aov, type = "means")
```

```
medias
```

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Rendimiento ~ Tamano)
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
library("agricolae")
```

```
model <- aov(Rendimiento ~ Tamano * Diseno)
```

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

### CAPÍTULO 3. APLICACIONES DE DISEÑO FACTORIAL A x B

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

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

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

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

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

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

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

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, J. A., Benitez, M. D., Guidek, R. C., & Domínguez, G. A. (2016). *Enseñanza de Programación Lineal y Juegos de Empresa*. Asunción, Paraguay: Universidad Autónoma de Paraguay.
- Adhikari, R., & Dandekar, R. (2012). Optimization models for control of parasitic diseases. *Mathematical and Computer Modelling*, 56(1-2), 233-250.
- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., & Orlin, J. B. (1993). *Network Flows. Theory, Algorithms and Applications*. Upper Saddle River, New Jersey, USA.: Prentice-Hall, Inc.
- Alarcón, S. (1998). La programación estocástica discreta como instrumento de planificación de plantaciones de olivos en Castilla-La Mancha. *Economía Agraria N0. 183*, 173-200.
- Alidaee, A., & Aneja, Y. P. (2018). *Non-predetermined goal programming. In Operations research: A model-based approach*. New Jersey, U.S.A.: Springer, Cham.
- Ancco, P. R., Chalco, C. D., Clavijo, T. P., Delgado, H. P., Huarac, S. Y., & Ugarte, F. D. (2020). Métodos para el procesamiento de imágenes digitales. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco Perú*, 1-8.
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2006). *Estadística para administración y economía*. Col. Cruz Manca, Santa Fe, México, D. F.: Cengage Learning Editores, S. A. de C. V.
- Arévalo, J. J., Castro, A., & Villa, É. (2002). Un análisis del ciclo económico en competencia imperfecta. *Revista de Economía Institucional*, vol. 4, núm. 7, segundo semestre, 11-39 Pp.
- Arriaza, G. A., Fernández, P. F., López, S. M., Muñoz, M. M., Pérez, P. S., & Sánchez, N. A. (2008). *Estadística Básica con R y R-Commander*. Cádiz, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Atucha, A. J., & Gualdoni, P. (2018). *El funcionamiento de los mercados*. Mar de Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Nacional de Mar del Plata.

- Avdoshin, S. M., & Pesotskaya, E. Y. (2011). Software risk management. *National Research University Higher School of Economics* , 1-6 Pp.
- 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.
- Bertsimas, D., Teo, C., & Vohra, R. (1999). On dependent randomized rounding algorithms. *ELSEVIER*, 105 –114.
- Bhatt, A., Das, V., & Sundaram, V. (2011). Economic analysis of malaria control programs: A review of the literature. *Malaria Journal*, 10(1), 202.
- 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.
- Burbano, R., Espinosa, A. M., & Horna, L. (2018). *Economía para matemáticos*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional (EPN).
- Burkard, R., Dell'Amico, M., & Martello, S. (2012). *Operations research: Theory and practice*. New Jersey, U.S.A.: Springer Science & Business Media.

- 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.
- Cabrera, G. E., & Díaz, G. E. (2021). *Manual de uso de Jupyter Notebook para aplicaciones docentes*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Camps, P. R., Casillas, S. L., Costal, C. D., Gibert, G. M., Martín, E. C., & Pérez, M. O. (2005). *Software libre. Bases de datos*. Av. Tibidado, 39-43, Barcelona España: Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya. Eureka Media, SL.
- Capa, S. H. (2015). *Probabilidades y estadística para una gestión científica de la información*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional .
- Carballo, R. E., & Peñate, P. E. (2014). *Benchmarking de Herramientas Forenses Móviles*. Managua: COMPDES, UNAN, Managua.
- Carro, P. R. (2014). *Investigación de operaciones en administración. 1ra Edición*. Mar de Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Nacional de Mar de Plata.
- 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.
- Dantzig, G. B., & Wolfe, P. (1954). The decomposition principle for linear programming. *Operations Research*, 2(1), 76-81.
- Daza, P. J. (2006). *Estadística Aplicada con Excel*. Lima, Perú: Grupo Editorial Megabyte s.a.c.

- De los Reyes García, M. M., & Romero, C. J. (2004). *Investigación de operaciones I*. UAM Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180. Col. Reynosa Tamaulipas. Delegación Azcapotzalco. México, D. F.: División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Sistemas. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.
- De Mendiburu, F. (2007). *Análisis estadístico con R*. Av. Túpac Amaru 210, Rímac 15333, Lima, Perú: Sección de extensión universitaria y proyección social. Centro de estudiantes de facultad de ingeniería económica y ciencias sociales. Universidad Nacional de Ingeniería.
- De Mendiburu, F. (2017). *Tutorial de agricolae (Versión 1.2-8)*. La Molina-Perú: Departamento Académico de Estadística e Informática de la Facultad de Economía y Planificación. Universidad Nacional Agraria La Molina-Perú.
- Delgado, Q. S. (2023). *Aprende Python*. Ciudad de México, México: Mundi Prensa.
- Deng, Z. X., & Wang, X. (2022). A survey on non-predetermined goal programming. *European Journal of Operational Research*, 297(2), 1115-1133.
- Devia, J., Azacon, J., López, N., Villarroel, Z., Carvajal, A., Rodríguez, B., . . . Suárez, F. (2012). *Software TORA*. Maturín, Venezuela: Núcleo de Monagas. Universidad de Oriente de Venezuela.
- Di Perro, M. (2017). What is the Blocchaing? *School of Computing at DePaul University, Chicago, IL, USA*, 92-95.
- Díaz, C. M., & Gómez, M. P. (2011). *Comportamiento de volatilidad del tipo de México 1970 a 2010*. Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- DiLorenzo, T. J. (1992). El Mito del Monopolio Natural. *The Review of Austrian Economics Vol. 9, No. 2*, 1-15 Pp.
- Eiselt, H. A., & Sandblom, C. L. (2009). *Integer programming: Theory and practice*. New Jersey, U.S.A.: Springer.

- Engler, P. A. (2009). *Estrategias del manejo del riesgo*. Quilamapu, Chillán, Chile: TRAMA Impresores S. A.
- Galindo, D. T. (2006). *Estadística. Métodos y Aplicaciones*. Quito, Ecuador: Prociencia Editores.
- Garcés, R. A. (2020). *Optimización convexa. Aplicaciones en operación y dinámica de sistemas de potencia*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- García, M. A., & García, S. (2015). Investigación de operaciones en el control de enfermedades parasitarias. *Revista de Investigación Académica*, 26, 1-12.
- García, M. M., & Romero, C. J. (2004). *Investigación de operaciones 1. 1ra parte*. Delegación Azcapotzalco, D. F.: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Azcapotzalco).
- 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. Cuando 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.
- González, B. G. (2010). *Métodos estadísticos y principios de diseño experimental*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- González, J. A., García, S. J., Chalita, T. L., Matus, G. J., Cruz, G. B., Sangerman, J. D., . . . Fortis, H. M. (2012). Modelo de equilibrio espacial para determinar costos de transporte en la distribución de durazno en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.4* , 701-712 Pp.
- Grossman, S. S., & Flores, G. J. (2012). *Álgebra Lineal*. México D. F.: Colonia Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, México D. F.

- Guerrero, S. H. (2009). *Programación Lineal Aplicada*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría*. Delegación Álvaro Obregón, México, D. F.: McGraw-Hill/Interamericana Editorres, S.A. de C.V.
- Hernández, N., Soto, F., & Caballero, A. (2009). Modelos de simulación de cultivos, características y usos. *Cultivos Tropicales*, vol. 30, núm. 1, 73-82 Pp.
- Hernandez, S. R., Fernandez, C. C., & Baptista, L. P. (2006). *Metodología de la investigación*. Colonia Desarrollo Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, México, D. F. : McGraw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C. V.
- Herrera, A. L. (2009). *Perspectivas para la carna de bovino en México aplicando un sistema de trazabilidad*. Campus Montecillo, Texcoco, estado de México: Colegio de Postgraduados. Tesis de maestría.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. Delegación Álvaro Obregón, México D. F.: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Operations Reseach*. New York, U.S.A.: McGraw-Hill Education.
- Hung, M. T., & Hung, C. C. (2019). A review of non-predetermined goal programming: Methods, applications, and challenges. *European Journal of Operational Research*, 274(3), 909-924.
- Hurtado, M. J., & Gómez, F. R. (2010). *Diseño Experimental*. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Iusem, A. N. (2003). On the convergence properties of the projectedgradient method for convex optimization. *Computational and Applied Mathematics*, 37-52.
- Kaiser, H. M., & Messer, K. D. (2011). *Mathematical Programming for Agricultural, Enviromental, and Resource Economics*. Rosewood Drive, Danvers, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

- Kmenta, J. (1971). *Elements of econometrics*. Collier Macmillan Canada, Inc.: Macmillan Publishing Company.
- Larrañaga, L. J., Zulueta, G. E., Elizagarate, U. F., & Alzola, B. J. (2020). Algoritmos Meméticos en problemas de Investigación Operativa. *Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU)*., 1-19.
- Leek, J. T., & Peng, R. D. (2015). *Statistics: P values are just the tip of the iceberg*. Maryland, USA.: School of Public Health in Baltimore.
- Li, H., Zhang, J., & Zhang, X. (2019). Randomized rounding for general integer programs. *Operations Research Letters*, 47(2), 164-169.
- Li, W., & Yang, L. (2022). A novel non-predetermined goal programming model for renewable energy planning. *Energy*, 220, 122772.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Mason, R. D. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. Col. del Valle, México D. F.: Alfaomega Grupo Editor S. A. de C. V.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Mason, R. D. (2006). *Estadística para Administración y Economía*. Col. del Valle, México D. F.: Alfa Omega Grupo Editor 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.
- Ipizar, M. J. (12 de Octubre de 2023). *Universidad Latina*. Obtenido de La organización industrial: <https://cisprocr.com/cispro/system/files/Clase%209%20Organizaci%C3%B3n%20Industrial.pdf>
- 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.
- Madrid, C. C. (2020). Filosofía de la ciencia del cambio climático: Modelos, problemas e incertidumbres. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, vol. 20, núm. 41, 201-234 Pp.
- Martínez, Á. (26/10/2023 de Octubre 26 de 2023). *Optimización global*. Obtenido de Optimización global:  
[http://www.dma.uvigo.es/~aurea/Optimizaci%C3%B3n\\_global.pdf?fbclid=IwAR1z2kTahmpEcDLkOYNhhObwwxDVviGT62FDMF6uGU1byE4MU39bTK\\_6L68](http://www.dma.uvigo.es/~aurea/Optimizaci%C3%B3n_global.pdf?fbclid=IwAR1z2kTahmpEcDLkOYNhhObwwxDVviGT62FDMF6uGU1byE4MU39bTK_6L68)
- Martínez, A. L. (2013). *Modelo de Programación Cuadrática y Ratios Financieros para minimizar el riesgo de las inversiones en la Bolsa de Valores de Lima*. Lima, Perú: Facultad de Ciencias Matemáticas, E.A.P. de Investigación Operativa. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- 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.
- Moghaddam, S. A., Arabshahi, A., Yazdani, D., & Dehshibi, M. M. (2012). A novel Hybrid Algorithm for Optimization in Multimodal Dynamic Environments. *Research Gate*, 143-148.

- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México, D. F.: Limusa S. A. de C. V.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and analysis of experiments*. Arizona, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- 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.
- Nolasco, V. J. (2018). *Python. Aplicaciones prácticas*. Calle Jarama, 3A, Poligono Industrial Igarra. Paracuellos de Jarama, Madrid, España: Ra-Ma Editorial.
- Oliveira, W., Rocha, R. S., & Katz, N. (2010). 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.

- Pérez, A. E. (2017). *Relajación Lagrangiana, métodos heurísticos y metaheurísticos en algunos modelos de Localización e Inventarios*. Valladolid, España: Máster en investigación en Matemáticas, Universidad de Valladolid.
- Prawda, W. J. (2004). *Métodos y modelos de investigación de operaciones Vol. I: Modelos determinísticos*. Ciudad de México, México: Limusa. Noriega Editores.
- Quintana, S. F. (octubre 2016/marzo 2017). Dinámica, escalas y dimensiones del cambio climático. *Tla-Melaua, revista de Ciencias Sociales. Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, año 10, núm. 41, 180-200 Pp.*
- Ravindran, A., & Garg, D. P. (2018). *Meta-heuristics for optimization*. New Jersey, U.S.A.: Springer.
- Rodríguez, C. E. (11 de Octubre de 2023). *La competencia imperfecta*. Obtenido de Biblioteca digital de la Universidad Católica Argentina: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/contribuciones/competencia-imperfecta-carlos-rodriguez.pdf>
- Rodríguez, V. A. (2007). Cambio climático, agua y agricultura. *Desarrollo Rural Sostenible, N° 1, II Etapa, 13-23 Pp.*
- Rojas, C. L., & Rojas, C. L. (2000). *Exploración al diseño experimental*. Granada, España: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 9, 51–59. Universidad Militar Nueva Granada.
- Romero, C., & Ventura, S. (2013). *Metaheuristics: Applications to optimization and machine learning*. New Jersey, U.S.A.: Springer.
- 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*. Barcelons, 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.

- Salas, F. V. (2009). Modelos de negocio y nueva economía industrial. *Universia Business Review* | Tercer Trimestre, 1-24 Pp.
- Sampayo, M. S. (2019). *Apuntes de economía del medio ambiente*. Iztacala, D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Sarasa, C. A. (2017). *Gestión de la información web usando Python*. Rambla del Poblenou, 156. Barcelona, España.: Editorial UOC (Oberta UOC Publishing, SL).
- 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., Henet, 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.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones*. Fayetteville, Arkansas, USA: PEARSON EDUCACIÓN DE MÉXICO, S.A. de C.V.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones*. Fayetteville, Arkansas, USA: PEARSON EDUCACIÓN DE MÉXICO, S.A. de C.V.
- Toledo, T. R. (2009). *El riesgo en la agricultura*. Quilamapu, Chillán, Chile: TRAMA Impresores S. A.
- Triola, M. F. (2004). *Estadística*. Col. Industrial Atoto, Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación de México, S. A. de C. V.
- Trívez, B. F. (2004). Economía Espacial: una disciplina en auge. *Estudios de Economía Aplicada*, Vol. 22-3, 409-429 Pp.

- 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).
- Vanegas, C. J. (2018). *Metodología para la planeación de requerimientos de materiales-MRP*. Bogotá, Colombia: Facultad de Ingeniería. Especialización en Gerencia Integral de Proyectos. Universidad Militar Nueva Granada.
- Vásquez, A. V. (2014). *Diseños Experimentales con SAS*. Cajamarca, Perú: CONCYTEC FONDECYT.
- Vega, G. C. (05 de Mayo de 2021). *IESIP*. Obtenido de [iesip.edu.ve: https://virtual.iesip.net/mod/page/view.php?id=5933](https://virtual.iesip.net/mod/page/view.php?id=5933)
- Velásquez, S., & Velásquez, R. (2012). Modelado con variables aleatorias en simulink utilizando simulación Montecarlo. *Universidad, Ciencia y Tecnología, Vol. 16, No. 64*, 203-211 Pp.
- Vercher, G. E. (2015). Soft Computing approaches to portfolio selection. *Boletín de Estadística e Investigación Operativa. Vol. 31. No. 1*, 23-46.
- Vicéns, O. J., Herrarte, S. A., & Medina, M. E. (2005). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Distrito Federal, México: Trillas, S. A.
- Villota, C. E. (2010). *Control moderno y óptimo (MT 227C)*. Lima, Perú: Departamento Académico de Ingeniería Aplicada, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Wackerly, D. D., Mendenhall III, W., & Scheaffer, R. L. (2010). *Estadística matemática con aplicaciones*. Col. Cruz Manca, Santa Fé. México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.
- Wasserstein, R. L., & Lazar, N. A. (2016). *Advance online publication The American Statistician* .

World, H. O. (2016). *Global technical strategy for malaria 2016-2030*. Geneva, Switzerland: Geneva, Switzerland: World Health Organization.

Zill, D. G., & Wright, W. S. (2011). *Cálculo. Trascendentes tempranas*. Delegación Álvaro Obregón, México, D. F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.



EDITORIAL ANDES COGNITO



### **Moisés Arreguín Sámano**

Moisés Arreguín Sámano Profesor e investigador de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB), Ecuador.



### **Milton Gabriel Del Hierro Mosquera**

Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales, con Maestría en Redes de Computadoras y once años de experiencia en educación superior. Se desempeña como docente universitario y participa activamente en proyectos de investigación, vinculación. Trabaja en áreas relacionadas con redes de comunicaciones, automatización, matemáticas, y tecnologías educativas.



### **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.



### **Pamela Rosa Taco Hernández**

Ingeniera Civil con Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción, con experiencia en el ámbito profesional y académico. Actualmente trabaja en el sector público y se desempeña como investigadora independiente, ha participado en proyectos de investigación, vinculación y desarrollo de infraestructura. Su trabajo se orienta a áreas como el diseño y análisis estructural, gestión de proyectos de construcción, matemáticas aplicadas y modelamiento en ingeniería.

ISBN: 978-9907-9504-6-5



9 789907 950465