Diseño factorial con bloques

Martín Elizondo Norambuena
Carlos Osses Alfaro
Profesora: Carolina Marchant

Universidad Católica del Maule
Curso: Diseño de Experimentos

03 de julio de 2025

Indice

Introducción

- El diseño factorial con bloques es una herramienta clave en la planificación de experimentos con múltiples factores.
- Permite estudiar la influencia de dos o más factores simultáneamente, mejorando la eficiencia experimental.
- Incorpora bloques para controlar la variabilidad no explicada por los factores principales.
- Se utiliza cuando existen fuentes de variación conocidas que no son de interés, pero que deben ser controladas.
- Es fundamental verificar los supuestos del modelo para garantizar la validez del análisis.

Orígenes del diseño factorial con bloques

- Este diseño fue desarrollado por el estadístico Ronald A. Fisher a principios del siglo XX.
- Fisher buscaba mejorar los experimentos agrícolas, donde las condiciones del suelo variaban en distintas zonas.
- Propuso dividir las parcelas en bloques, agrupando unidades experimentales similares, para reducir la variabilidad no controlada.
- La idea principal era **aislar el efecto de los tratamientos** eliminando el ruido causado por otras fuentes de variación.
- Esta innovación permitió obtener conclusiones más precisas con menos recursos.

Supuestos del diseño factorial con bloques

- **Independencia de los errores:** los errores deben ser independientes entre sí.
- **Normalidad:** los errores deben seguir una distribución normal con media cero.
- **Homocedasticidad:** la varianza de los errores debe ser constante en todos los tratamientos y bloques.
- **Ausencia de interacción bloque-tratamiento:** el efecto del tratamiento se mantiene constante en todos los bloques.
- **Bloques bien definidos:** los bloques agrupan unidades experimentales similares para controlar una fuente conocida de variación.

Importancia

Cumplir estos supuestos permite realizar inferencias válidas y mantener controlados los errores tipo I y tipo II.

Modelo estadístico en diseño factorial con bloques

En un diseño factorial con bloques, el modelo estadístico incorpora los efectos de los factores y el efecto del bloqueo.
Supongamos un diseño con dos factores:

- **Factor A** con a niveles,
- **Factor B** con b niveles,
- y un conjunto de r bloques.

El modelo lineal aditivo que representa esta estructura es:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \delta_k + \varepsilon_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \ldots, a \\ j = 1, 2, \ldots, b \\ k = 1, 2, \ldots, r \end{cases}$$

Significado de las variables en el modelo

- y_{ijk}: observación para el nivel i del Factor A, nivel j del Factor B, y bloque k.
- μ: media general.
- τ_i: efecto del nivel i del Factor A.
- β_j: efecto del nivel j del Factor B.
- $(\tau\beta)_{ij}$: interacción entre el nivel i del Factor A y el nivel j del Factor B.
- δ_k: efecto del bloque k.
- ε_{ijk}: error aleatorio, normalmente distribuido con media cero y varianza constante.

Restricciones de estimabilidad

Para que los efectos sean estimables, se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0, \quad \sum_{j=1}^{b} \beta_j = 0, \quad \sum_{k=1}^{r} \delta_k = 0,$$

$$\sum_{i=1}^{a} (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \forall j, \quad \sum_{j=1}^{b} (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \forall i.$$

¿Por qué estas restricciones?

- Estas condiciones eliminan la redundancia y garantizan que los efectos sean únicos y no colineales.
- Evitan la confusión entre efectos principales, interacción y media general.
- Facilitan la interpretación clara de cada efecto.
- Son una práctica estándar en modelos lineales con efectos categóricos.

Tabla ANOVA para diseño factorial con bloques

A continuación se presenta la tabla ANOVA utilizada para analizar un diseño factorial con bloques completos aleatorizados.

Fuente de variación	**gl**	**SC**	**CM**	F_0
Tratamiento A	$a-1$	$SC_{\text{tr\_A}}$	$CM_{\text{tr\_A}}$	$\frac{CM_{\text{tr\_A}}}{CM_{\text{error}}}$
Tratamiento B	$b-1$	$SC_{\text{tr\_B}}$	$CM_{\text{tr\_B}}$	$\frac{CM_{\text{tr\_B}}}{CM_{\text{error}}}$
Interacción A×B	$(a-1)(b-1)$	$SC_{\text{int\_AB}}$	$CM_{\text{int\_AB}}$	$\frac{CM_{\text{int\_AB}}}{CM_{\text{error}}}$
Bloques	$n-1$	SC_{bl}	CM_{bl}	$\frac{CM_{\text{bl}}}{CM_{\text{error}}}$
Error	$ab(n-1)$	SC_{error}	CM_{error}	—
Total	$abn-1$	SC_{total}	—	—

Valores p de los Factores Evaluados

- **Tratamiento A:** $P(F_{a-1,\, gl_{\text{error}}} > F_0)$
- **Tratamiento B:** $P(F_{b-1,\, gl_{\text{error}}} > F_0)$
- **Interacción A×B:** $P(F_{(a-1)(b-1),\, gl_{\text{error}}} > F_0)$
- **Bloque:** $P(F_{n-1,\, gl_{\text{error}}} > F_0)$

Fórmulas de las sumas de cuadrados (SC)

- $\mathrm{SC}_{\mathrm{bl}} = \dfrac{1}{ab} \displaystyle\sum_k y_{..k}^2 - \dfrac{y_{...}^2}{abn}$
- $\mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_A}} = \dfrac{1}{bn} \displaystyle\sum_i y_{i..}^2 - \dfrac{y_{...}^2}{abn}$
- $\mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_B}} = \dfrac{1}{an} \displaystyle\sum_j y_{.j.}^2 - \dfrac{y_{...}^2}{abn}$
- $\mathrm{SC}_{\mathrm{int\_AB}} = \dfrac{1}{n} \displaystyle\sum_i \sum_j y_{ij.}^2 - \dfrac{y_{...}^2}{abn} - \mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_A}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_B}}$
- $\mathrm{SC}_{\mathrm{error}} = \text{Sustracción (residuo)}$
- $\mathrm{SC}_{\mathrm{total}} = \displaystyle\sum_i \sum_j \sum_k y_{ijk}^2 - \dfrac{y_{...}^2}{abn}$

Fórmulas de los cuadrados medios (CM)

- $\text{CM}_{\text{bl}} = \dfrac{\text{SC}_{\text{bl}}}{n-1}$
- $\text{CM}_{\text{tr\_A}} = \dfrac{\text{SC}_{\text{tr\_A}}}{a-1}$
- $\text{CM}_{\text{tr\_B}} = \dfrac{\text{SC}_{\text{tr\_B}}}{b-1}$
- $\text{CM}_{\text{int\_AB}} = \dfrac{\text{SC}_{\text{int\_AB}}}{(a-1)(b-1)}$
- $\text{CM}_{\text{error}} = \dfrac{\text{SC}_{\text{error}}}{ab(n-1)}$
- $\text{CM}_{\text{total}} = \dfrac{\text{SC}_{\text{total}}}{abn-1}$

Enunciado del ejercicio

Un ingeniero estudia métodos para mejorar la capacidad de detección de objetivos en el campo de acción de un radar. Dos factores que considera importantes son:

- La cantidad de ruido de fondo o "desorden de terreno".
- El tipo de filtro colocado sobre la pantalla del radar.

El ingeniero diseña un experimento con tres niveles de desorden de terreno y dos tipos de filtro. Ambos factores son considerados fijos. Se seleccionan aleatoriamente combinaciones de tratamientos (nivel de desorden y tipo de filtro), introduciendo una señal simulada. La variable de respuesta es la **intensidad mínima** en la que el operador detecta el objetivo.

Dado que la disponibilidad de operadores es limitada, se seleccionan **cuatro operadores aleatoriamente** como bloques. El orden de presentación de los tratamientos se aleatoriza para evitar sesgos.

A continuación se presentan los datos recopilados:

Datos recopilados del experimento

Cuadro 1: Niveles de intensidad mínima de detección según tipo de filtro y desorden de terreno

Tipo de filtro	**1**		**2**		**3**		**4**	
Operadores (bloques)	1	2	1	2	1	2	1	2
Desorden bajo	90	86	96	84	100	92	92	81
Desorden intermedio	102	87	106	90	105	97	96	80
Desorden alto	114	93	112	91	108	95	98	83

Hipótesis estadísticas de los supuestos del modelo

Para validar el modelo ANOVA aplicado al diseño factorial con bloque, se deben verificar los siguientes supuestos mediante contrastes de hipótesis:

1. Normalidad de los errores (Test de Shapiro-Wilk):

- H_0: Los errores se distribuyen normalmente.
- H_1: Los errores no se distribuyen normalmente.

2. Homogeneidad de varianzas (Test de Bartlett):

- H_0: Las varianzas de los grupos son iguales.
- H_1: Al menos una varianza difiere.

3. Independencia de los errores (Test de Durbin-Watson):

- H_0: Los errores son independientes.
- H_1: Los errores presentan autocorrelación.

Verificación de supuestos del modelo ANOVA

Se aplican pruebas estadísticas para evaluar los supuestos del modelo, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0{,}05$.

Cuadro 2: Resumen de pruebas estadísticas para los supuestos

Supuesto	**Test aplicado**	**p-valor**
Normalidad de los errores	Shapiro-Wilk	0.9366
Homogeneidad de varianzas	Bartlett	0.9304
Independencia de errores	Durbin-Watson	0.2863

Modelo Estadístico

El modelo para este diseño en bloques completos aleatorizados con dos factores y un factor de bloqueo es:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \delta_k + \varepsilon_{ijk}$$

- y_{ijk}: Observación del nivel de intensidad
- μ: Media general del nivel de intensidad
- τ_i: Efecto del i-ésimo nivel de desorden de terreno
- β_j: Efecto del j-ésimo tipo de filtro

Explicación de Términos

- $(\tau\beta)_{ij}$: Interacción entre desorden de terreno y tipo de filtro
- δ_k: Efecto del k-ésimo operador $(k = 1, 2, 3, 4)$
- ε_{ijk}: Término de error aleatorio $\sim \mathrm{NID}(0, \sigma^2)$

Niveles de los factores:

- Desorden de terreno:
  - $i = 1$: Bajo
  - $i = 2$: Intermedio
  - $i = 3$: Alto
- Tipo de filtro:
  - $j = 1$: Filtro 1
  - $j = 2$: Filtro 2

Estructura del Diseño Experimental

- Factor A (Desorden de Terreno): $a = 3$ niveles
- Factor B (Tipo de Filtro): $b = 2$ niveles
- Bloques (Operador): $n = 4$ bloques
- Observaciones Totales: $N = a \times b \times n = 24$

Hipótesis Estadísticas

Diseño factorial 3×2 con bloques

Componente	**Hipótesis**
Factor A (Desorden de terreno)	$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$ $H_1 : \exists\ \tau_i \neq 0$ *(Al menos un nivel afecta la intensidad)*
Factor B (Tipo de filtro)	$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ $H_1 : \beta_j \neq 0$ para algún j *(Los filtros producen diferencias)*
Interacción A×B	$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \forall i, j$ $H_1 : \exists\ (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ *(El efecto del filtro depende del desorden)*
Bloques (Operadores)	$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = 0$ $H_1 : \exists\ \delta_k \neq 0$ *(Los operadores influyen en las mediciones)*

Análisis de Varianza Completo (ANOVA)

Diseño factorial con bloques

Fuente	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**Valor-p**
Bloque (Operador)	402.166	3	134.055	12.09	0.00027
Desorden (A)	335.583	2	167.792	15.13	0.00025
Filtro (B)	1066.666	1	1066.666	96.19	6.45e-08
A $\times$ B	77.084	2	38.542	3.47	0.0577
Error	166.334	15	11.089		
Total	2047.833	23			

Interpretación de Resultados

Bloque y Factor A; Nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$

1. **Bloque (Operadores)**
   Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ ($5\,\%$) se rechaza H_0 y se asume que existe suficiente evidencia muestral para afirmar que sí existe efecto bloque, ya que los operadores influyen en los resultados porque las diferencias entre ellos son significativamente diferentes.

2. **Factor A (Desorden del Terreno)**
   Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ ($5\,\%$) se rechaza H_0 y se asume que existe suficiente evidencia muestral para afirmar que al menos uno de los tratamientos difiere en promedio independientemente de si el terreno es con desorden bajo, intermedio o alto.

Factor B (Tipo de Filtro)

- Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ (5 %) se rechaza H_0 y se asume que existe suficiente evidencia muestral para afirmar que al menos un tipo de filtro difiere en promedio en comparación al resto.

Interacción A×B (Desorden × Filtro)

- Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ (5 %) no se rechaza H_0 y se asume que existe suficiente evidencia muestral para afirmar que no hay evidencia suficiente para decir que exista interacción entre el desorden del terreno y el tipo de filtro.

DISEÑO FACTORIAL

con Dos Bloques

- Los supuestos fundamentales **no cambian** respecto al diseño con un bloque:
  - Normalidad de residuos
  - Homocedasticidad
  - Independencia

- **Consideración adicional:** el segundo bloque **reduce los grados de libertad** disponibles.
  - La inclusión del segundo bloque debe estar justificada: debe representar una fuente real de variación que podría enmascarar los efectos de interés.

Modelo del Diseño Factorial con Dos Bloques

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \delta_k + \gamma_l + \varepsilon_{ijkl}$$

- μ: media general
- τ_i: efecto del nivel i del factor A
- β_j: efecto del nivel j del factor B
- $(\tau\beta)_{ij}$: interacción entre A y B
- δ_k: efecto del k-ésimo bloque 1
- γ_l: efecto del l-ésimo bloque 2
- ε_{ijkl}: error aleatorio

Los supuestos de estimabilidad son condiciones fundamentales que deben cumplirse para que un parámetro sea estimable de manera adecuada en el contexto de modelos estadísticos, esto se aplica de igual forma asi sea un diseño factorial de uno o dos bloques.

$$\sum_{i=1}^{n} \hat{\gamma}_i = \sum_{j=1}^{a} \hat{\tau}_j = \sum_{k=1}^{b} \hat{\beta}_k = \sum_{j=1}^{a} \sum_{k=1}^{b} \widehat{(\tau\beta)}_{jk} = \sum_{l=1}^{n} \hat{\delta}_l = 0$$

Factor A:
$H_0 : \tau_j = 0$ para todos los j **vs** $H_1 : \tau_j \neq 0$ para al menos uno de los j

Factor B:
$H_0 : \beta_k = 0$ para todos los k **vs** $H_1 : \beta_k \neq 0$ para al menos uno de los k

Interacción A × B:
$H_0 : (\tau\beta)_{jk} = 0$ para todos los j, k **vs** $H_1 : (\tau\beta)_{jk} \neq 0$ para al menos una combinación j, k

Tabla ANOVA

Diseño Factorial con Dos Bloques (Formato Horizontal)

Fuente de variación	**gl**	**SC**	**CM**	F_0
Bloque 1	$n-1$	SC_{bl_1}	CM_{bl_1}	—
Bloque 2	$n-1$	SC_{bl_2}	CM_{bl_2}	—
Tratamiento A	$a-1$	$SC_{\text{tr\_A}}$	$CM_{\text{tr\_A}}$	$\frac{CM_{\text{tr\_A}}}{CM_{\text{error}}}$
Tratamiento B	$b-1$	$SC_{\text{tr\_B}}$	$CM_{\text{tr\_B}}$	$\frac{CM_{\text{tr\_B}}}{CM_{\text{error}}}$
Interacción A×B	$(a-1)(b-1)$	$SC_{\text{int\_AB}}$	$CM_{\text{int\_AB}}$	$\frac{CM_{\text{int\_AB}}}{CM_{\text{error}}}$
Error	$ab(n-1)$	SC_{error}	CM_{error}	—
Total	$abn-1$	SC_{total}	—	—

Valores p de los Factores Evaluados

- **Tratamiento A:** $P(F_{a-1,\, gl_{\text{error}}} > F_0)$
- **Tratamiento B:** $P(F_{b-1,\, gl_{\text{error}}} > F_0)$
- **Interacción A×B:** $P(F_{(a-1)(b-1),\, gl_{\text{error}}} > F_0)$

Sumas Cuadraticas (SC):

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_A}} = \frac{1}{bn}\sum_i y_{i\cdots}^2 - \frac{y_{\cdots\cdot}^2}{abn}$$

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_B}} = \frac{1}{an}\sum_j y_{\cdot j\cdot\cdot}^2 - \frac{y_{\cdots\cdot}^2}{abn}$$

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{int\_AB}} = \frac{1}{n}\sum_{i,j} y_{ij\cdot\cdot}^2 - \frac{y_{\cdots\cdot}^2}{abn} - \mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_A}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_B}}$$

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{bl1}} = \frac{1}{ab}\sum_k y_{\cdot\cdot k\cdot}^2 - \frac{y_{\cdots\cdot}^2}{abn}$$

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{bl2}} = \frac{1}{ab}\sum_l y_{\cdots l}^2 - \frac{y_{\cdots\cdot}^2}{abn}$$

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{error}} = \mathrm{SC}_{\mathrm{total}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_A}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{tr\_B}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{int\_AB}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{bl1}} - \mathrm{SC}_{\mathrm{bl2}}$$

$$\mathrm{SC}_{\mathrm{total}} = \sum_{i,j,k,l} y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\cdots\cdot}^2}{abn}$$

Fórmulas de los Cuadrados Medios y Estadísticos F_0

Diseño Factorial con Dos Bloques

Cuadrados Medios (CM):

$$\text{CM}_{\text{tr\_A}} = \frac{\text{SC}_{\text{tr\_A}}}{a-1}$$

$$\text{CM}_{\text{tr\_B}} = \frac{\text{SC}_{\text{tr\_B}}}{b-1}$$

$$\text{CM}_{\text{int\_AB}} = \frac{\text{SC}_{\text{int\_AB}}}{(a-1)(b-1)}$$

$$\text{CM}_{\text{bl1}} = \frac{\text{SC}_{\text{bl1}}}{ab-1}$$

$$\text{CM}_{\text{bl2}} = \frac{\text{SC}_{\text{bl2}}}{ab-1}$$

$$\text{CM}_{\text{error}} = \frac{\text{SC}_{\text{error}}}{(ab-1)(n-1)}$$

Estadísticos F_0 Calculados:

$$F_0(A) = \frac{CM_{\text{tr\_A}}}{CM_{\text{error}}}$$

$$F_0(B) = \frac{CM_{\text{tr\_B}}}{CM_{\text{error}}}$$

$$F_0(AB) = \frac{CM_{\text{int\_AB}}}{CM_{\text{error}}}$$

Ejemplo: Diseño Factorial con Dos Bloques

Radar, tipo de filtro y desorden del terreno

En un experimento sobre detección de objetivos mediante radar, se evaluaron dos factores:

- **Tipo de filtro** (f_1, f_2) — 2 niveles
- **Desorden del terreno** (g_1, g_2, g_3) — 3 niveles

Debido a restricciones operativas, se identificaron dos bloques:

- **Operadores** (cada uno participa solo una vez por día)
- **Días** (máximo 6 corridas por día)

Para controlar ambas restricciones, se utilizó un **cuadrado latino doble** 6×6, ya que las 6 combinaciones del diseño factorial $2 \times 3 = 6$ coinciden con los niveles de los dos bloques. Cada combinación se aplicó exactamente una vez por operador y una vez por día.

Combinaciones de tratamientos (letras latinas):

$$A = f_1 g_1, \quad B = f_1 g_2, \quad C = f_1 g_3,$$
$$D = f_2 g_1, \quad E = f_2 g_2, \quad F = f_2 g_3.$$

Ejemplo: Disposición Experimental del Cuadrado Latino Doble

División de operadores en dos bloques

Operadores 1 a 4

Día	**Op. 1**	**Op. 2**	**Op. 3**	**Op. 4**
1	A ($f_1g_1 = 90$)	B ($f_1g_2 = 106$)	C ($f_1g_3 = 108$)	D ($f_2g_1 = 81$)
2	C ($f_1g_3 = 114$)	A ($f_1g_1 = 96$)	B ($f_1g_2 = 105$)	F ($f_2g_3 = 83$)
3	B ($f_1g_2 = 102$)	E ($f_2g_2 = 90$)	F ($f_2g_3 = 95$)	A ($f_1g_1 = 92$)
4	E ($f_2g_2 = 87$)	D ($f_2g_1 = 84$)	A ($f_1g_1 = 100$)	C ($f_1g_3 = 96$)
5	F ($f_2g_3 = 93$)	C ($f_1g_3 = 112$)	D ($f_2g_1 = 92$)	E ($f_2g_2 = 80$)
6	D ($f_2g_1 = 86$)	F ($f_2g_3 = 91$)	E ($f_2g_2 = 97$)	B ($f_1g_2 = 98$)

Operadores 5 y 6

Día	**Op. 5**	**Op. 6**
1	F ($f_2g_3 = 90$)	E ($f_2g_2 = 88$)
2	D ($f_2g_1 = 86$)	E ($f_2g_2 = 84$)
3	C ($f_1g_3 = 85$)	D ($f_2g_1 = 104$)
4	B ($f_1g_2 = 110$)	F ($f_2g_3 = 91$)
5	A ($f_1g_1 = 90$)	B ($f_1g_2 = 98$)
6	C ($f_1g_3 = 100$)	A ($f_1g_1 = 92$)

Hipótesis Evaluadas en el ANOVA

Diseño factorial 2×3 con dos bloques

Se asume que se cumplen los supuestos del ANOVA: independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas.

Tratamiento A (Desorden del terreno):

$$H_0^A : \mu_{1\cdot} = \mu_{2\cdot} = \mu_{3\cdot} \quad \text{(todas las medias del desorden son iguales)}$$
$$H_1^A : \exists\, i, j \text{ tal que } \mu_{i\cdot} \neq \mu_{j\cdot}$$

Tratamiento B (Tipo de filtro):

$$H_0^B : \mu_{\cdot 1} = \mu_{\cdot 2} \quad \text{(el tipo de filtro no afecta la media)}$$
$$H_1^B : \mu_{\cdot 1} \neq \mu_{\cdot 2}$$

Interacción A $\times$ B:

$$H_0^{AB} : \text{No hay interacción entre el tipo de filtro y el desorden del terreno}$$
$$H_1^{AB} : \text{Existe interacción entre los factores A y B}$$

Tabla ANOVA del Experimento

Diseño factorial 2×3 con dos bloques

Fuente de Variación	**SC**	**gl**	**CM**	**F Calculado**	**Valor-p**
Desorden (A)	571.5	2	285.7	28.864	$1{,}2 \times 10^{-6}$
Filtro (B)	1469.4	1	1469.4	148.429	$1{,}0 \times 10^{-10}$
Interacción (A $\times$ B)	126.7	2	63.4	6.400	0.007
Bloque (Operador)	428	5	85.6	8.646	—
Bloque (Día)	4.3	5	0.9	0.088	—
Error	198	20	9.9		—
Total	**2798.2**	**35**	—	—	—

Decisión e Interpretación de las Hipótesis

Nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$

- Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ ($5\,\%$), se **rechaza** H_0^A y se asume que existe suficiente evidencia muestral para asegurar que al menos uno de los niveles del factor A (desorden del terreno) difiere en promedio respecto a los otros. Esto sugiere que el desorden del terreno tiene un efecto significativo sobre la respuesta del radar.

- Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ ($5\,\%$), se **rechaza** H_0^B y se concluye que existe suficiente evidencia muestral para afirmar que el tipo de filtro influye significativamente, en promedio, en la respuesta. El tipo de filtro afecta de forma significativa la detección del objetivo.

- Con un nivel de significancia $\alpha = 0{,}05$ ($5\,\%$), se **rechaza** H_0^{AB}. Se concluye que hay suficiente evidencia muestral para indicar que existe una interacción significativa entre el tipo de filtro y el desorden del terreno. Esto implica que el efecto de un factor depende del nivel del otro.

- Los **bloques** en un diseño factorial permiten controlar fuentes conocidas de variabilidad que no forman parte del interés principal del estudio (como días, operadores, máquinas, etc.).
- Incorporar bloques mejora la **precisión** del experimento, al reducir la variabilidad dentro del error experimental y aislar mejor los efectos de los tratamientos.
- El diseño factorial con bloques permite estudiar simultáneamente los **efectos principales** y las **interacciones** entre factores, conservando eficiencia en el uso de recursos.
- Las conclusiones válidas del ANOVA requieren asumir que se cumplen los **supuestos fundamentales**: independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas.

Referencias I

Fuentes bibliográficas utilizadas

- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley.
- Lawson, J. (2014). *Design and Analysis of Experiments with R*. Chapman and Hall/CRC.

Acceso Rápido al Recurso

Escanea el código QR

Escanea el código con tu dispositivo móvil para acceder al recurso digital.