

Ejercicio 1

Dos investigadores estudiaron el efecto de los reguladores del crecimiento de las plantas sobre el alargamiento de los tallos en los espárragos. La tasa de elongación de los tallos es un factor importante que determina el rendimiento final de los mismos en distintas condiciones climáticas templadas. El experimento consistió en recolectar tallos de plantas de espárragos de un tipo particular cultivadas en una plantación comercial en Bulls, Nueva Zelanda. Los tallos se recolectaron al azar y se transportaron al laboratorio donde después de ser recortados a 80 mm de longitud, fueron sumergidos completamente durante 1 hora en 4 distintas soluciones acuosas: ácido indol-3-acético (IAA), ácido abscísico (ABA), GA3 o CPPU. Los tallos de control se sumergieron en agua destilada durante 1 hora. Se realizaron cinco réplicas por tratamiento. Los datos resultantes (longitud de tallo final en mm) se muestran a continuación.

Control	IAA	ABA	GA3	CPPU
94.7	89.9	96.8	99.1	104.4
96.1	94.0	87.8	95.3	98.9
86.5	99.1	89.1	94.6	98.9
98.5	92.8	91.1	93.1	106.5
94.9	99.4	89.4	95.7	104.8

- Indique cual es la unidad experimental, cual es la variable respuesta, y cuál es el factor.
- Escriba el modelo que exprese el largo final del tallo en función de tratamiento de crecimiento empleado.
- ¿Existen diferencias en la efectividad promedio de las soluciones acuosas estudiadas con respecto al grupo control? ¿Resulta mejor alguna de las soluciones estudiadas? Fundamente su respuesta.
- De un intervalo de confianza del 95% para la longitud promedio de cada una de las soluciones.
- Verifique el cumplimiento de los supuestos del modelo planteado.
- ¿Cómo se deberían haber realizado las pruebas de modo de no invalidar alguno de los supuestos del modelo planteado?

Lawson, J. (2014). *Design and Analysis of Experiments with R* (Vol. 115). CRC press.
Capítulo 2. Ejercicio 5

Ejercicio 2

Se llevó a cabo un experimento para evaluar el efecto de 4 dosis diferentes (0, 4, 8 y 12 Qm/acre) de un abono complejo sobre el rendimiento en azúcar (Qm/acre). Se sembraron 5 parcelas con cada dosis y se obtuvieron los rendimientos que se presentan a continuación.

0 Qm/a	4 Qm/a	8 Qm/a	12 Qm/a
37	39	45	42
35	42	41	44
33	41	44	40
34	43	43	43
32	40	42	41

- Plantee un modelo que expresa el rendimiento en azúcar en función de la dosis de abonado empleada.
- ¿La dosis afecta el rendimiento medio en azúcar?
- ¿Hay efecto lineal de la dosis? ¿Y cuadrático?

Ejercicio 3

Un fabricante supone que existe diferencia en el contenido de calcio en lotes de materia prima que le son suministrados por su proveedor. Actualmente hay una gran cantidad de lotes en la bodega. Cinco de

estos son elegidos aleatoriamente. Un químico realiza cinco pruebas sobre cada lote y obtiene los siguientes datos:

Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5
23,46	23,59	23,51	23,28	23,29
23,48	23,46	23,64	23,40	23,46
23,56	23,42	23,46	23,37	23,37
23,39	23,49	23,52	23,46	23,32
23,40	23,50	23,49	23,39	23,38

- ¿Hay variación significativa en el contenido de calcio de un lote a otro?
- Estime las componentes de variancia del modelo.

Montgomery, D. (1998). Diseño y análisis de experimentos. 589 p. Grupo Editorial Iberoamericana SA, Segunda Edición, México.

Capítulo 3. Ejercicio 3-8

Ejercicio 4

En un estudio sobre el proceso de obtención de penicilina interesa comparar el efecto de 4 tratamientos sobre la producción de la misma. Se sabe además que una materia prima importante, licor de maíz, es muy variable (de acuerdo a la forma de preparación) y esa variabilidad podría afectar la variable respuesta que se considera. Por lo tanto, se ensayan los 4 tratamientos en cada una de las 5 mezclas de licor de maíz. Los tratamientos se ensayaron en orden aleatorio para cada una de las mezclas. La tabla 3 contiene los valores de producción registrados.

Mezcla de Licor de Maíz	A	B	C	D
M1	89	88	97	94
M2	84	77	92	79
M3	81	87	87	85
M4	87	92	89	84
M5	79	81	80	88

- Escriba el modelo que considere adecuado, para expresar el rendimiento de la producción en función de las fuentes de variación consideradas.
- ¿Existen diferencias en la producción promedio de los tratamientos?
- ¿Hay algún tratamiento mejor? Fundamente su respuesta.
- ¿Considera que la forma en la que fue conducido el experimento era necesaria? Un diseño completamente aleatorizado, ¿hubiese sido suficiente para la detección del efecto del factor?
- Compruebe si se verifican los supuestos establecidos en el modelo planteado.

Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery* (Vol. 2). New York: Wiley-Interscience.

Ejemplo del Capítulo 4

Ejercicio 5

Una industria química desea probar el efecto que tienen cuatro agentes químicos sobre la resistencia de un tipo particular de tela. Dado que puede haber variabilidad entre un rollo de tela y otro, los investigadores deciden utilizar un diseño aleatorizado por bloques, considerando los rollos de tela como bloques. El diseño consiste entonces en seleccionar 5 rollos y aplicarles los cuatro agentes químicos en orden aleatorio. A continuación, se proporcionan los resultados de la resistencia a la tensión. Analice los datos y obtenga conclusiones.

Montgomery, D. (1998). Diseño y análisis de experimentos. 589 p. Grupo Editorial Iberoamericana SA, Segunda Edición, México.

Capítulo 5. Ejercicio 5-1

Rollo de tela	Agente 1	Agente 2	Agente 3	Agente 4
1	73	73	75	73
2	68	67	68	71
3	74	75	78	75
4	71	72	73	75
5	67	70	68	69

Ejercicio 6

Parte 1. Un equipo de investigación estudia el efecto que tienen cuatro métodos de ensamble de un componente sobre el tiempo de realización de la tarea. El ensamble es realizado por 4 operadores distintos y en la tabla 4 se presentan los tiempos según método y operador.

Operador	Método A	Método B	Método C	Método D
1	6	7	10	10
2	9	10	16	13
3	7	11	11	11
4	8	8	14	9

- ¿En qué se forma se debería haber realizado la asignación aleatoria de los tratamientos a las unidades experimentales? Explique su respuesta.
- Analice los datos de acuerdo al diseño experimental realizado.

Parte 2. El equipo de investigación sabe que el método de ensamble produce fatiga, por lo que el tiempo que se tarda en el último ensamble puede ser mayor que en el primero independientemente del método. Para controlar esta posible fuente de variabilidad se utiliza un diseño de cuadrados latinos. A continuación se presentan los resultados obtenidos. Realice el análisis de datos correspondiente y concluya acerca del efecto del factor estudiado.

Orden de montaje	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4
1	C=10	D=14	A=7	B=8
2	B=7	C=18	D=11	A=8
3	A=5	B=10	C=11	D=9
4	D=10	A=10	B=12	C=14

Montgomery, D. (1998). Diseño y análisis de experimentos. 589 p. Grupo Editorial Iberoamericana SA, Segunda Edición, México.
Capítulo 5. Ejercicio 5-15

Parte 3. El equipo sospecha que el lugar de trabajo usado por los cuatro operadores puede representar una fuente adicional de variabilidad. Es posible introducir el lugar de trabajo como un cuarto factor utilizando un diseño en cuadrado greco-latino. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6. ¿Qué puede concluir acerca del efecto de los diferentes métodos de ensamble sobre el tiempo de realización de la tarea?

Orden de montaje	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4
1	$C\beta=11$	$B\gamma=10$	$D\delta=14$	$A\alpha=8$
2	$B\alpha=8$	$C\delta=12$	$A\gamma=10$	$D\beta=12$
3	$A\delta=9$	$D\alpha=11$	$B\beta=7$	$C\gamma=15$
4	$D\gamma=9$	$A\beta=8$	$C\alpha=18$	$B\delta=6$

Montgomery, D. (1998). Diseño y análisis de experimentos. 589 p. Grupo Editorial Iberoamericana SA, Segunda Edición, México.
Capítulo 5. Ejercicio 5-23

Ejercicios Propuestos

Ejercicio 1

Se desea comparar la resistencia a la tensión del cemento Portland producido mediante cuatro técnicas de mezclado. Se recolectaron los datos presentados en la Tabla 1. Pruebe la hipótesis de que al menos una de las técnicas de mezclado tiene un efecto sobre la resistencia del cemento diferente del resto.

Técnica 1	Técnica 2	Técnica 3	Técnica 4
3129	3200	2800	2600
3000	3300	2900	2700
2865	2975	2985	2600
2890	3150	3050	2765

Ejercicio 2

En una forja se utilizan varios hornos para calentar muestras de metal. Se supone que todos los hornos operan a la misma temperatura, aunque se sospecha que quizás esto probablemente no es cierto. Se seleccionan aleatoriamente tres hornos y se anotan sus temperaturas en tres calentamientos sucesivos. Los datos se muestran a continuación. ¿Existe variación significativa en la temperatura de los hornos? Estime las componentes de variancia del modelo.

Horno 1	Horno 2	Horno 3
491,50	488,50	490,10
498,30	484,65	484,80
498,10	479,90	488,25
493,50	477,35	473,00
493,60		471,85
		478,65

Montgomery, D. (1998). Diseño y análisis de experimentos. 589 p. Grupo Editorial Iberoamericana SA, Segunda Edición, México.

Capítulo 3. Ejercicio 3-9

Ejercicio 3

En un naranjal en Valencia se llevó a cabo un experimento de irrigación con un diseño en bloques completos aleatorizado en el que se usaron seis métodos de irrigación en ocho bloques de árboles. Se registró el peso promedio en libras de la fruta cosechada en cada parcela.

Bloque	Goteo	En canal	Rocío	Aspersor	Aspersor + rocío	Anegado
1	450	358	331	317	479	245
2	469	512	402	423	341	380
3	249	281	183	379	404	263
4	125	58	70	63	115	62
5	280	352	258	289	182	336
6	352	293	281	239	349	282
7	221	283	219	269	276	171
8	251	186	46	357	182	98

- Escriba el modelo que considere adecuado, para expresar el peso de la fruta en función las fuentes de variación consideradas.
- ¿Existen diferencias en el peso de la fruta promedio de los métodos de irrigación?
- ¿Considera que la forma en la que fue conducido el experimento era necesaria? Un diseño completamente aleatorizado, ¿hubiese sido suficiente para la detección del efecto del factor?
- Compruebe si se verifican los supuestos establecidos en el modelo planteado.