




# Comparación de medias con técnicas de agrupamiento

Ramírez-Valverde, Gustavo<sup>1</sup> ; Ramírez-Valverde, Benito<sup>2\*</sup> ; Vaquera-Huerta Humberto<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla, No. 205. Momoxpan municipio de San Pedro Cholula, Puebla. C.P. 72760.

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

\* Autor para correspondencia: bramirez@colpos.mx

## Problema

En el análisis de experimentos agrícolas, tradicionalmente se utiliza la prueba de F (Análisis de varianza, ANOVA) cuando se tienen más de dos tratamientos, sin embargo, esta metodología solo nos indica la existencia de un efecto de los tratamientos. Una vía para determinar qué medias de tratamientos difieren entre sí, después de que en el ANOVA la prueba de F es estadísticamente significativa, son las pruebas de medias por pares o simplemente prueba de medias, por ejemplo: *Diferencia Media Significativa (DMS) de Fisher*, *prueba de Duncan* y *prueba de Tukey*, entre otras. A pesar de que el uso de estas pruebas es controversial, por basarse más en la prueba de hipótesis que en la estimación, es el enfoque más usado.

Otra de las críticas a estos métodos es que no cumplen en su totalidad con el propósito de la investigación, al realizar solo comparaciones no planeadas por pares con todos los tratamientos. Además, en estas pruebas la interpretación de los resultados se hace sin atender con la propiedad matemática de transitividad (existe transitividad si se cumple que  $a=b$  y  $b=c$ , entonces  $a=c$ ). Por ejemplo, en un experimento reportado por Di Rienzo *et al.* en su libro “Estadística para las Ciencias Agropecuarias”, donde se compara el efecto de seis diferentes cepas de inoculantes (CI...CVI) de la bacteria *Rhizobium* sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo, el resultado de la prueba de Tukey (Cuadro 1) muestra que si se sigue la transitividad, la media de la CI es igual a la CII, la media de la CII es igual a las medias de las cepas CIV y CVI, y la media de esta última igual a la media de la CV, entonces todas las medias son iguales. Como no se debe utilizar la transitividad, no se puede interpretar de esa manera, y los resultados muestran que los mejores tratamientos son: CI y CII.

La dificultad en la interpretación se ve acrecentada a medida que aumenta el número de tratamientos, provocando que en muchas ocasiones pensemos que estos métodos nos llevan a conclusiones ilógicas.

**Cómo citar:** Ramírez-Valverde, G., Ramírez-Valverde, B., & Vaquera-Huerta Humberto. (2022). Comparación de medias con técnicas de agrupamiento. *Agro-Divulgación*, 2(3).

**Editores académicos:** Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

*Agro-Divulgación*, 2(3). Mayo-Junio. 2022. pp: 7-11.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



**Cuadro 1.** Efecto de seis diferentes cepas de inoculantes de *Rhizobium*, sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo con la prueba de Tukey.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.71417

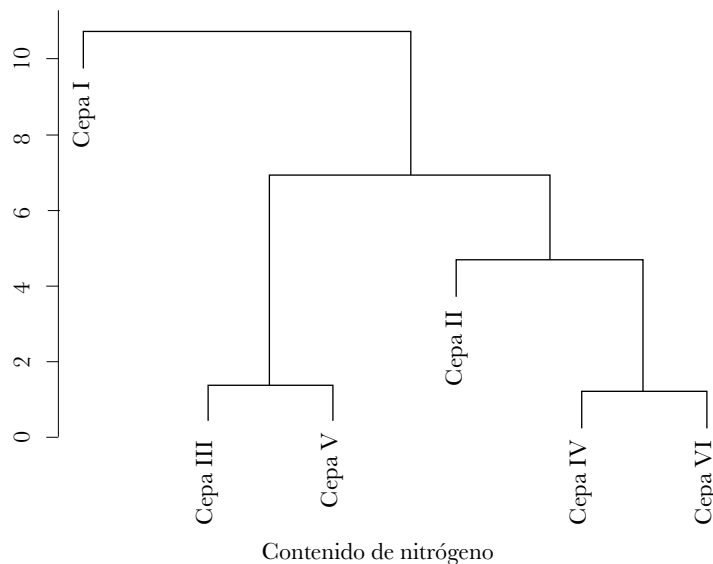
Error: 11.7887 gl: 24

Cepa	Medias	n	E.E.			
Cepa I	28.82	5	1.54	A		
Cepa II	23.98	5	1.54	A	B	
Cepa IV	19.92	5	1.54		B	C
Cepa VI	18.70	5	1.54		B	C
Cepa III	14.64	5	1.54			C
Cepa V	13.26	5	1.54			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

### Solución planteada

Una alternativa para evitar el problema es utilizar un análisis multivariado para tratar de conformar grupos homogéneos y diferentes entre sí. Jolliffe *et al.* (1989), proponen el uso análisis de agrupamiento (*cluster analysis*) para ayudarse a interpretar la formación de grupos homogéneos con las medias de los tratamientos, con un uso descriptivo solamente. Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra el análisis de agrupamiento que ayuda a interpretar la salida de la prueba de Tukey expuesta en el Cuadro 1. Los tratamientos podrían conformar 2 o 3 grupos homogéneos, si fueran 2 grupos homogéneos, uno sería solo con la cepa I y en el grupo 2 las cepas II, III, IV; V y VI. Si fueran 3 grupos, en el primer grupo estarían solo la cepa I, en el segundo grupo las cepas II, IV y VI, mientras que las cepas III y V en el tercer grupo.

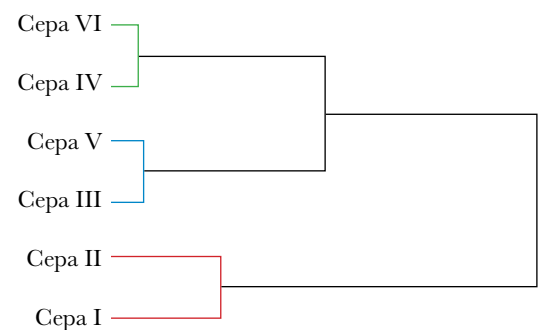


**Figura 1.** Dendrograma construido con las medias de los tratamientos del experimento el efecto de seis diferentes cepas de inoculantes de *Rhizobium* sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo.

Con base en técnicas de agrupamiento, también se han propuesto pruebas para comparación de medias, que tratan de mantener un nivel de significancia dado, sin embargo, los estudios de simulación han mostrado ser sensibles a la precisión del experimento, por lo que serían métodos recomendables en experimentos bien conducidos y con poca variabilidad. Estos métodos dividen el conjunto de tratamientos en grupos homogéneos con relación a la media de la variable respuesta, pero diferentes entre sí, con la característica de que ningún tratamiento pertenece a 2 grupos diferentes, esto es, corrigen el problema provocado por la no transitividad. Algunas de las pruebas propuestas son las siguientes:

- **Prueba de Scott y Knott (1974).** Es la primera prueba propuesta con base en el análisis de agrupamiento. La prueba inicia con un solo grupo que contiene todos los casos, y a través de divisiones binarias sucesivas basadas en la suma de cuadrados entre grupos, se forman grupos más pequeños. La decisión hasta donde subdividir los grupos conformados se realiza mediante una prueba de razón de verosimilitud, que termina siendo un criterio para juzgar la importancia de las diferencias entre los grupos resultantes. El nivel de significancia conjunto para decidir hasta donde subdividir es mayor al nivel de significancia nominal y crece al aumentar el número de divisiones, por lo que el nivel podría tomarse como un índice para ayudarse en la decisión (Figura 2).
- **Prueba de Jolliffe (1975).** Esta prueba utiliza el análisis de agrupamiento con encadenamiento simple, tomando como medida de similaridad el valor  $p$  obtenido en la prueba SNK para comparar todos los tratamientos por pares. Es quizás la prueba más conservadora basada en técnicas de agrupamiento (Figura 3).
- **Prueba de Bautista *et al.* (1997).** Combina la técnica de agrupamiento recursivo con un análisis de varianza jerárquico que considera como factores los grupos y los tratamientos anidados en grupos, sin embargo, no logran mantener el nivel de significancia de la familia de comparaciones, sin embargo, Di Rienzo *et al.* (2002) mostraron mediante simulación que el comportamiento de esta prueba fue satisfactorio en experimentos bien conducidos.

Test: Scott & Knott Alfa=0.05					
Error: 11.7887 gl: 24					
Cepa	Medias	n	E.E.		
Cepa I	28.82	5	1.54	A	
Cepa II	23.98	5	1.54	A	
Cepa IV	19.92	5	1.54		B
Cepa VI	18.70	5	1.54		B
Cepa III	14.64	5	1.54		C
Cepa V	13.26	5	1.54		C



**Figura 2.** Resultado de la prueba de Scott y Knott y el dendrograma para el experimento del efecto de seis diferentes cepas de inoculantes de *Rhizobium* sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo.

Test: Jollife Alfa=0.05 PCALT=0.9500

Error: 11.7887 gl: 24

Cepa	Medias	n	E.E.		
Cepa I	28.82	5	1.54	A	
Cepa II	23.98	5	1.54		B
Cepa IV	19.92	5	1.54		B
Cepa VI	18.70	5	1.54		B
Cepa III	14.64	5	1.54		B
Cepa V	13.26	5	1.54		B

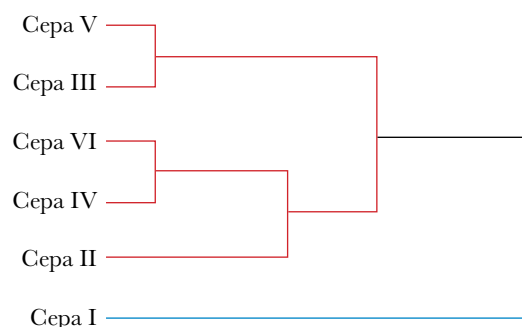


Figura 3. Resultado de la prueba de Jollife y el dendograma para el experimento del efecto de seis diferentes cepas de inoculantes de *Rhizobium* sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo.

Test: BSS Alfa=0.05

Error: 11.7887 gl: 24

Cepa	Medias	n	E.E.			
Cepa I	28.82	5	1.54	A		
Cepa II	23.98	5	1.54		B	
Cepa IV	19.92	5	1.54		B	
Cepa VI	18.70	5	1.54		B	
Cepa III	14.64	5	1.54			C
Cepa V	13.26	5	1.54			C

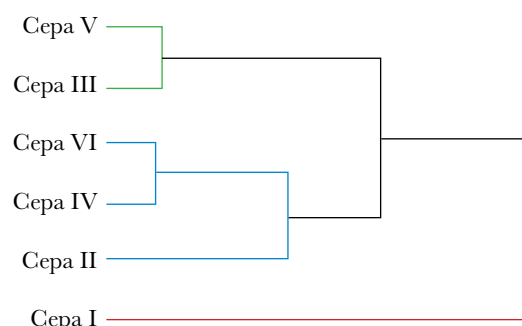


Figura 4. Resultado de la prueba de Bautista *et al.* y el dendograma para el experimento del efecto de seis diferentes cepas de inoculantes de *Rhizobium*, sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo.

- **Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (2002).** Proponen una prueba con base en el análisis de agrupamiento con encadenamiento promedio realizado con las medias y la utilización de un nivel de significancia obtenido con base en simulación sobre las distancias al nodo raíz. Esta prueba presenta error tipo I de la familia mayor al nominal, sin embargo, mantiene el error tipo I por comparación con una potencia aceptable en experimentos con bajo coeficiente de variación, mejorando su comportamiento general conforme aumenta el número de tratamientos.

Test: DGC Alfa=0.05 PCALT=4.7600

Error: 11.7887 gl: 24

Cepa	Medias	n	E.E.			
Cepa I	28.82	5	1.54	A		
Cepa II	23.98	5	1.54		B	
Cepa IV	19.92	5	1.54		B	
Cepa VI	18.70	5	1.54		B	
Cepa III	14.64	5	1.54			C
Cepa V	13.26	5	1.54			C

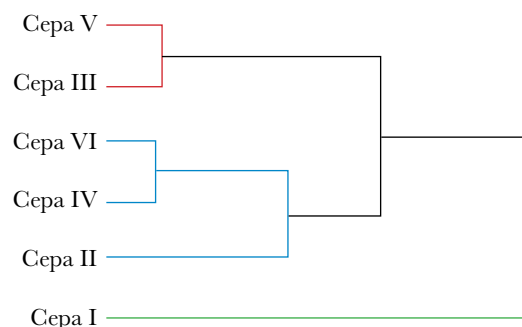


Figura 5. Resultado de la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves y el dendograma para el experimento del efecto de seis diferentes cepas de inoculantes de *Rhizobium* sobre el contenido de nitrógeno de plantas de trébol rojo.

Nótese que todos estos procesos de comparación de medias logran dividir el conjunto de tratamientos en subconjuntos homogéneos sin el problema de la falta de transitividad esto es, no hay traslape entre grupos. Entonces, estas pruebas para la separación de medias, basadas en técnicas de agrupamiento, pueden ser muy útiles para el uso de investigadores con poca experiencia o para la interpretación del análisis de experimentos complicados.

Los métodos aquí descritos pueden ser obtenidos mediante el software InfoStat, paquete estadístico generado en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina y puede ser descargado en la dirección <https://www.infostat.com.ar>. Este software es de bajo costo, aunque, puede ser usado en forma gratuita con algunas limitaciones.

