

RELACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA CALIDAD DE LOS EXPERIMENTOS DE CAÑA DE AZÚCAR

Relation of the Efficiency of the Experimental Design in the Quality of the Experiments of Sugarcane

Juan Ruiz Ramírez^{1,2‡}, Gabriela Eréndira Hernández Rodríguez¹,
Romeo Ruiz Bello² y Gabriela Sánchez Viveros²

¹ Facultad de Economía, ² Cuerpo Académico "Manejo Sustentable de Recursos Hortofrutícolas" UV-CA-323 de la Fac. de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Av. Xalapa s/n esquina con Av. Ávila Camacho. 91020 Xalapa, Veracruz, México.

[‡] Autor responsable (jruizuv@gmail.com)

RESUMEN

Un problema recurrente en la experimentación agrícola, es la elección subjetiva del diseño de bloques al azar (DBA) y la falta de evaluación de la eficiencia relativa (ER), así como la calidad del experimento. Este estudio tuvo como objetivo evaluar si la aplicación correcta o incorrecta del diseño de bloques al azar, influye en la calidad de los experimentos en el cultivo de caña de azúcar. Para ello, se utilizó información de la Eficiencia Relativa y la calidad de 12 experimentos de fertilización establecidos mediante un diseño de bloques al azar, en los años 2002-2004 en los estados de Veracruz y Oaxaca, México. Para evaluar la relación de la eficiencia del diseño experimental y la calidad de los experimentos, se empleó el coeficiente de correlación (r) de Kendall, por otro lado, para probar la hipótesis de independencia de la eficiencia del DBA y la calidad de los experimentos, se utilizó la prueba exacta de Fisher para tablas dicotómicas, ambos métodos se analizaron con el programa STATISTICA. En los resultados se observó baja correlación ($r = 0.09759$) y con la prueba exacta de Fisher ($P = 1.00000$) se obtuvo que son independientes la eficiencia del diseño de bloques al azar y la calidad de los experimentos. Se concluye que la eficiencia del diseño experimental es independiente de la precisión de la calidad de los experimentos en el cultivo de caña de azúcar.

Palabras clave: *eficiencia relativa; bloques al azar; prueba exacta de Fisher; coeficiente de correlación de Kendall.*

SUMMARY

A recurring problem in agricultural experimentation is the subjective selection of the randomized complete block design and the lack of evaluation of its relative efficiency (RE) and of measurement of experimental quality. This study aimed to determine whether the correct or incorrect application of an experimental design influences experiment quality by evaluating the relationship between the selection of the randomized block design (RBD) and the quality of experiments on sugarcane cultivation. Twelve fertilization experiments using RBD were established during the period 2002-2004 in the states of Veracruz and Oaxaca, Mexico. To evaluate the relationship between the efficiency of the experimental design and the quality of the experiments, the Kendall correlation coefficient (r) was used, while to test the hypothesis of independence of DBA efficiency and experiment quality, Fisher's exact test was used for dichotomous tables. Both methods were analyzed with STATISTICA software. In the results, low correlation ($r = 0.09759$) was observed, and Fisher's exact test ($P = 1.00000$) determined that efficiency of the randomized block design and quality of the experiments are independent. It was concluded that the efficiency of the experimental design is independent of the precision of the quality of the sugarcane cultivation experiments evaluated.

Index words: *relative efficiency; random block; Fisher's exact test; coefficient of Kendall's correlation.*

INTRODUCCIÓN

En la experimentación agrícola se realiza una secuencia de pasos planeados para probar o verificar una hipótesis (Steel y Torrie, 1992), si ésta falla, entonces se incrementa el error experimental, por consecuencia, el experimento no tiene la confiabilidad ni la calidad esperada (Kuehl, 2001).

Para conocer la aplicación de los diseños experimentales, Ruiz-Ramírez *et al.* (2012) realizaron una revisión de literatura y encontraron que los diseños experimentales más utilizados fueron: bloques al azar (53%) y completamente al azar (45%), y aunque no lo mencionaron, también se utilizó el diseño de cuadro latino (1%) y el de bloques incompletos o látices (1%).

El diseño de bloques al azar (DBA), es generalmente utilizado en experimentación agrícola y comúnmente no se evalúa si este diseño experimental fue eficiente con respecto al diseño completamente al azar. Para ello, el método apropiado es la eficiencia relativa (Steel y Torrie, 1992).

Ante la escasa aplicación de la eficiencia relativa en la investigación agrícola, Ruiz-Ramírez (2010) evaluó 12 experimentos en el cultivo de caña de azúcar y calculó que el 58.33% de los experimentos emplearon correctamente el diseño de bloques al azar; también determinaron que el 75% de los 12 experimentos tuvieron buena calidad, pero se desconoce si la selección correcta o incorrecta del diseño experimental influye en la calidad del experimento.

Una manera de verificar la calidad de un experimento es a través del coeficiente de variación, Martínez (1994) indica que no debe exceder del 20% para experimentos en el cultivo de caña de azúcar, sin embargo, Ruiz-Ramírez (2010), presentó ejemplos de experimentos en el cultivo de caña de azúcar donde el CV varía desde 1.22 hasta 261%.

No obstante, tanto el CV y la ER se les ha otorgado poca importancia, aunado a que en la mayoría de las publicaciones agrícolas sólo registran el valor del CV sin evaluar la calidad del experimento (Salgado-García *et al.*, 2000).

Con base en que no existen trabajos donde se evalúe la relación entre la eficiencia del diseño de bloques al azar y la calidad de los experimentos del cultivo de caña de azúcar, se plantea la siguiente hipótesis: el uso correcto o incorrecto del diseño

experimental de bloques al azar influye en la precisión de la calidad de los experimentos del cultivo de caña de azúcar. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la relación que existe entre la correcta aplicación del diseño de bloques al azar y la precisión de la calidad de los experimentos del cultivo de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar si la aplicación correcta o incorrecta del diseño de bloques al azar en experimentos con el cultivo de caña de azúcar, influye en la calidad de los experimentos en dichos cultivos, se empleó la información de la eficiencia relativa y la calidad de doce experimentos de fertilización establecidos en los estados de Veracruz y Oaxaca, México, que publicó Ruiz-Ramírez (2010), con esta información se generaron dos variables dicotómicas, una de ellas fue la selección del diseño de bloques al azar, la cual fue correcta, si la eficiencia relativa fue mayor al 100%, en caso contrario, se consideró incorrecta (Steel y Torrie, 1992). La otra variable fue la calidad del experimento y esta se clasificó como buena si el CV fue menor o igual al 20%, o fue mala si es mayor al 20% (Martínez, 1994). De esta manera se tienen dos variables cualitativas, las cuales se presentan en el Cuadro 1.

A continuación se presentan las hipótesis estadísticas:

H_0 : La calidad de los experimentos es independiente de la correcta o incorrecta aplicación del diseño de bloques al azar.

H_1 : La calidad de los experimentos depende de la selección correcta o incorrecta del DBA.

Se utilizó el nivel de significancia (α) del 5%.

Las variables Selección del DBA y Calidad de los experimentos mostrados en el Cuadro 1 se capturaron en el programa STATISTICA, Versión 7 (McCallum, 1999) y se analizaron con el módulo de tablas y banners, se seleccionó la opción de la Prueba Exacta de Fisher para realizar la prueba de independencia para dos variables cualitativas, dicotómicas con la característica de tener muestras pequeñas. Así mismo, se calculó la correlación de Kendall para explicar si existe relación entre ambas variables, tal como se indica en la Figura 1.

Cuadro 1. Eficiencia relativa del diseño de bloques al azar y calidad de los experimentos de caña de azúcar.

Nombre del experimento	Rendimiento agrícola	Eficiencia relativa	Selección del DBA	Coefficiente de variación	Calidad del experimento
	Mg ha ⁻¹	%		%	
El Mango (ejido)	22.46	149.88	correcta	24.13	mala
Acatlán (ejido)	50.81	174.16	correcta	11.52	buena
Ingenio El Refugio. Acatlán (ejido)	62.44	134.15	correcta	8.83	buena
1° de Mayo	45.34	120.35	correcta	11.48	buena
Guadalupe de Reyes 1, Oaxaca (parcela)	76.80	92.35	incorrecta	8.03	buena
Guadalupe de Reyes 2, Oaxaca (parcela)	51.85	92.03	incorrecta	13.65	buena
Ingenio El Refugio Paso Nuevo, Veracruz (parcela)	66.89	88.62	incorrecta	13.90	buena
Ingenio Motzorongo	38.78	87.97	incorrecta	23.08	mala
Laguna Chica	100.21	92.75	incorrecta	12.34	buena
Lázaro Cárdenas	98.69	113.20	correcta	9.07	buena
Palenque	69.66	101.42	correcta	44.61	mala
Paso Nuevo	83.57	116.65	correcta	12.34	buena

Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos de Ruiz-Ramírez (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información del Cuadro 2, se calculó la tabla de contingencias 2×2 de las variables calidad de los experimentos y selección del diseño de bloques al azar.

Al realizar el cálculo de la prueba exacta de Fisher para tablas de contingencia 2×2 para muestras pequeñas (Aday *et al.*, 2014), se obtuvo que el valor

de probabilidad (para la prueba de hipótesis bilateral) fue de 1.00, el cual es mayor que $\alpha = 0.05$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y se concluye con un nivel de significancia del 5% la calidad de los experimentos son independientes de la selección correcta o incorrecta del diseño de bloques al azar. De igual manera se calculó el valor de la correlación de Kendall, el cual es de 0.09759, lo que corrobora que ambas variables cualitativas son independientes.

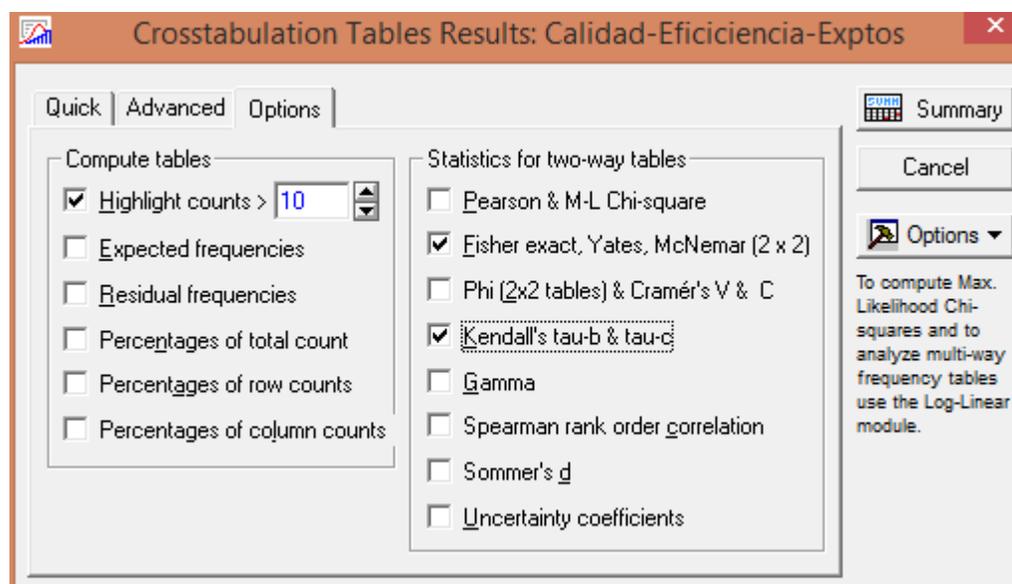


Figura 1. Tablas de contingencia para calcular la prueba exacta de Fisher y la correlación de Kendall de las variables Calidad de los experimentos y selección del diseño de bloques al azar.

Cuadro 2. Frecuencias y porcentajes de la eficiencia relativa y la calidad con respecto a 12 experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar de los estados de Veracruz y Oaxaca, México.

Calidad de los experimentos	Selección del diseño de bloques al azar		Total de la Calidad
	Correcta	Incorrecta	
	%		
Buena	5 (41.67)	4 (33.33)	9 (75.00)
Mala	2 (16.67)	1 (8.33)	3 (25.00)
Total selección DBA	7 (58.34)	5 (41.66)	12 (100.00)

Fuente: Elaboración propia con datos del Cuadro 1.

Se esperaría que al emplear de manera incorrecta el diseño de bloques al azar, este influya en la calidad del experimento, ya que la eficiencia relativa emplea el cuadrado medio del error (CME) del diseño de bloques al azar y el coeficiente de variación, a la raíz cuadrada del CME.

Nótese que no existen estudios donde se evalúe si la correcta selección del diseño de bloques al azar influye en la calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar y sólo se muestra lo que reportó Martínez (1994), quien indica que el CV no debe exceder del 20% para experimentos uniformes que se realizan en cultivos tales como maíz, trigo y caña de azúcar; sin embargo, existen otros cultivos con mucha variabilidad como ocurre con las hortalizas, los árboles frutales y los maderables, donde es normal que el CV exceda el 50%. Sin embargo, (Martínez, 1970) realizó la clasificación de la calidad a experimentos en cultivos de algodón, a través del coeficiente de variación. Existe el reporte de Ruiz-Ramírez (2010) que calculó la eficiencia relativa y la calidad de 12 experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, Ruiz-Ramírez *et al.* (2012) elaboraron un programa *ex profeso* para el cálculo de la eficiencia relativa.

CONCLUSIONES

Se concluye que la eficiencia relativa del diseño de bloques al azar es independiente de la precisión de la calidad de los experimentos del cultivo de caña de azúcar evaluados. Se mostró la importancia de realizar la evaluación de los experimentos debido a que si el diseño experimental de bloques al azar fue inapropiado, se puede realizar el análisis con el diseño completamente al azar y de esta manera obtener conclusiones apropiadas. Además, se determinó que la calidad de los experimentos fue buena en un alto porcentaje de ellos, lo que indica que el establecimiento y desarrollo de los experimentos analizados fue apropiado.

LITERATURA CITADA

- Aday Díaz, O. de la C., M. L. La O-Hechavarría, M. Á. Zardón Navarro, E. Rodríguez Lema, J. M. Mesa López, Y. Puchades Izaguirre, J. Delgado Padrón y F. R. Díaz Mujica. 2014. Distribución del virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar en Cuba. *Rev. Protec. Veg.* 29: 177-184.
- Kuehl, R.O. 2001. *Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación.* Thomson. Australia.
- Martínez, G. A. 1994. *Experimentación agrícola. Métodos estadísticos.* Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Martínez, R. O. 1970. Eficiencia de los diseños experimentales usados en algodón. *Agron. Trop.* 20: 81-95.
- McCallum, B. 1999. A carnival of stats. *Science* 284: 1291-1292.
- Ruiz-Ramírez, J. 2010. Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar en los estados de Veracruz y Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana* 28:149-154.
- Ruiz-Ramírez, J., C. Pérez-Salazar, L. Cruz-Kuri, G. E. Hernández-Rodríguez. 2012. Programa que calcula la eficiencia relativa de los diseños experimentales. *Terra Latinoamericana* 30: 97-100.
- Salgado-García, S., R. Núñez-Escobar, J. J. Peña-Cabriales, J. D. Etchevers-Barra, D. J. Palma-López y R. M. Soto-Hernández. 2000. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia* 34: 689-698.
- Steel, D. R. G. y J. H. Torrie. 1992. *Bioestadística. Principios y procedimientos.* McGraw-Hill. España.