

PROGRAMA QUE CALCULA LA EFICIENCIA RELATIVA DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES

Program Used to Calculate the Relative Efficiency of Experimental Designs

Juan Ruiz-Ramírez^{1‡}, Christian Pérez-Salazar², Luis Cruz-Kuri³
y Gabriela Eréndira Hernández-Rodríguez¹

RESUMEN

En la experimentación agrícola, comúnmente se selecciona el diseño experimental, de acuerdo al criterio del investigador y no se realiza la prueba de eficiencia relativa (ER) para evaluar si el diseño empleado es más eficiente con respecto a otro menos complejo. Al evaluar 12 experimentos de fertilización en caña de azúcar y calcular la ER, se obtuvo que el 42% de los experimentos aplicaron incorrectamente el diseño experimental. Debido a lo anterior, y para evitar aplicar las fórmulas para calcular la ER, se elaboró el programa de uso libre “eficiencia relativa versión 1”, desarrollado en la plataforma Java SE 6. Esta aportación complementa a los programas estadísticos, los cuales no realizan esta prueba estadística, por lo que se plantea como objetivo mostrar la importancia y uso del programa que calcula la eficiencia relativa de los diseños experimentales. Con este propósito, se realizaron los cálculos de la ER a través de sus correspondientes fórmulas y se compararon con los resultados del programa propuesto, por lo que se concluye que el programa eficiencia relativa versión 1 es preciso y confiable en la evaluación de la eficiencia relativa de los diseños experimentales.

Palabras clave: *eficiencia relativa, programa estadístico, diseños experimentales.*

¹ Facultad de Economía, ² Instituto de Investigaciones Multidisciplinarias, ³ Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Av. Xalapa s/n esquina con Av. Ávila Camacho. 91020 Xalapa, Veracruz, México.

‡ Autor responsable (jruiuv@gmail.com)

Recibido: agosto de 2011. Aceptado: enero de 2012.
Publicado como nota de investigación en
Terra Latinoamericana 30: 97-100.

SUMMARY

In agricultural experimentation, frequently an experimental design is chosen according to particular criteria of the investigator. However, a test of relative efficiency (RE) is often not conducted to assess whether the used design is more efficient than another less complex design. For each of 12 sugarcane fertilization experiments, RE was calculated. It was found that for a substantial proportion (42%) of these experiments, the experimental design used was not the appropriate one. Because of this and to make calculation of ER easier and thereby avoiding the more cumbersome direct application of the corresponding formula, we developed free software “relative efficiency version 1” in the Java platform SE 6. Because of the importance of having a program that facilitates the calculation of the RE of experimental designs, we performed calculations of the RE through their corresponding formulae. We conclude that the “relative efficiency program version 1” is accurate and reliable for assessing RE of experimental designs. This contribution complements regular statistical software (which do not perform this more specialized statistical method).

Index words: *relative efficiency, statistical program, experimental designs.*

INTRODUCCIÓN

En la experimentación agrícola comúnmente se utilizan los diseños experimentales para verificar una hipótesis, al evaluar los efectos de las variedades, dosis de fertilización, control químico, biológico o cultural de las plagas y enfermedades, etc. Sin embargo, la mayoría de los artículos publicados en congresos, revistas o libros sobre experimentación agrícola

o diseños experimentales, no evalúan si el diseño experimental empleado es el correcto. Para ello, se calcula la eficiencia relativa de ese diseño experimental con respecto a uno menos complejo (Steel y Torrie, 1988).

Al realizar una revisión de literatura en el periodo 2005 a 2010, sobre la aplicación de los diseños experimentales publicados de las revistas Terra Latinoamericana, Agricultura Técnica en México y Avances en Investigación Agropecuaria, se encontró que de los 219 artículos publicados que aplicaron los diseños experimentales, los más utilizados fueron el diseño de bloques al azar (53%) y el diseño completamente al azar (45%).

Es importante mencionar que no se reportan estudios en los que se evalúe la eficiencia relativa en experimentos en el cultivo de caña de azúcar, aunque sí para el cultivo del algodón (Martínez, 1970); a excepción del artículo que realizó Ruiz-Ramírez (2010) en el que probó la eficiencia relativa del diseño de bloques al azar (DBA) aplicado en 12 experimentos, donde encontró que el 42% de ellos se utilizaron de manera incorrecta.

Para evaluar si el diseño experimental empleado fue el apropiado, se requiere primero haber realizado el experimento con el diseño experimental propuesto y posteriormente calcular la eficiencia relativa. Para ello se emplean dos fórmulas; una para estimar el cuadrado medio del error del diseño experimental alterno con el cual se compara el diseño experimental usado y éste valor se sustituye en la fórmula de la eficiencia relativa. Otra manera es utilizar el programa eficiencia relativa, versión 1, el cual fue desarrollado por los dos primeros autores de este artículo, y se encuentra disponible de manera gratuita en <http://www.uv.mx/agronomia/programa.html>.

La justificación del presente trabajo se enfoca a la escasa aplicación de la eficiencia relativa, aunado a que no existía un programa especializado para su cálculo; además, que para obtener un resultado de investigación, el mismo experimento se debe replicar en varios períodos o ciclos agrícolas y si se utilizó un diseño experimental inadecuado, se obtienen resultados y conclusiones incorrectas, y como consecuencia, pérdidas económicas significativas. Por lo anterior, se plantea como objetivo mostrar la importancia de calcular la eficiencia relativa de los diseños experimentales y la necesidad de un programa que apoye en dicho cálculo.

Ante la falta de difusión y escasa aplicación de la eficiencia relativa en la investigación agrícola, surge la pregunta ¿Cuántos experimentos han empleado correctamente el diseño experimental?, motivo por el cual se requiere calcular la eficiencia relativa, de preferencia con un programa específico que facilite su obtención.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este programa estadístico computacional se elaboró utilizando la plataforma Java SE 6 Update 23 6 (Java, 2011), el cual se descarga de forma gratuita de su página oficial (<http://java.com/es/>). Una vez instalado Java, se ejecuta el programa, el cual mostrará una ventana de bienvenida, al seleccionar aceptar, aparece la ventana principal, donde se selecciona la opción del cálculo que se desea realizar:

- calcular la ER para el DBA contra el DCA.
- calcular la ER para el DCL cuando las filas se consideren como bloques.
- calcular la ER para el DCL cuando las columnas se consideren como bloques.

Una vez ingresados los datos obtenidos del análisis de varianza del diseño experimental empleado, se selecciona la opción 'Calcular', y a continuación, el programa realiza la validación de los datos y calcula la eficiencia relativa mostrando un mensaje indicando el diseño experimental que se recomienda utilizar.

Para evaluar la precisión del programa, se realizó el cálculo de la eficiencia relativa del DBA contra el DCA de uno de los 12 experimentos de fertilización en caña de azúcar (Ruiz-Ramírez, 2010), obtenido a través de éste programa, el cual se comparó con el valor calculado a través de sus correspondientes fórmulas mostradas en el apartado de resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta como ejemplo los resultados del análisis de varianza del rendimiento en campo (Mg ha^{-1}) del experimento del Ingenio El Refugio, Ejido de Acatlán (Ruiz-Ramírez, 2010), los cuales fueron utilizados para el cálculo de la eficiencia relativa del diseño de bloques al azar contra el diseño completamente al azar a través de sustituir los valores requeridos en las fórmulas correspondientes y en el programa computacional (Figura 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento (Mg ha⁻¹) del experimento del Ingenio El Refugio, Ejido de Acatlán, Veracruz, México.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Probabilidad P
Bloques	3	547.0747	182.3582	6.00	0.0025
Tratamientos	10	578.6751	57.8675	1.90	0.0845
Error experimental	30	911.9647	30.3988		
Total corregido	43	2037.7145			

$$\hat{CM}_E(DCA) = \frac{f_b CM_{Bloq} + (f_t + f_e) CM_E}{f_b + f_t + f_e}$$

$$= \frac{3(182.3582) + (10 + 30)(30.3988)}{3 + 10 + 30}$$

$$= 41.00062093023256$$

E.R. (DBA contra DCA)

$$= \frac{(30 + 1)(33 + 3)(41.00062093023256)}{(33 + 1)(30 + 3)(30.3988)} \times 100 = 134.2\%$$

En el Cuadro 1 se observa que el valor de probabilidad para el efecto de bloques es de 0.0025, por lo se debe de rechazar la hipótesis nula de que el efecto de los bloques son iguales, lo cual indica que fue correcto emplear los bloques y por consecuencia el diseño de bloques al azar, lo cual coincide con el resultado de la prueba de eficiencia relativa; sin embargo, en la teoría de los diseños experimentales, es común que no se realicen pruebas de hipótesis sobre los bloques.

Al observarse en la Figura 1 que los resultados de la eficiencia relativa fueron similares por ambos procedimientos, de igual manera ocurrió con los 11 experimentos restantes, los cuales coinciden con los obtenidos a través de las fórmulas correspondientes obtenidos por Ruiz-Ramírez (2010).

Figura 1. Eficiencia relativa obtenida con el programa aplicado a los datos del análisis de varianza del experimento del Ingenio El Refugio, Ejido Acatlán, Veracruz, México.

El presente trabajo suple la carencia de algún programa de cómputo en el cálculo de la eficiencia relativa de los diseños experimentales balanceados y sólo se encontraron aplicaciones en el cálculo de la eficiencia relativa a través de sus correspondientes fórmulas (Steel y Torrie, 1988), como ocurrió en la evaluación del diseño de látice con respecto al diseño de bloques al azar en experimentos en el cultivo de algodón (Martínez, 1970); en la evaluación de un ensayo de fertilización de maíz al comparar los diseños en bloques incompletos con los bloques completos en los diseños de superficie de respuesta compuestos de Box (González *et al.*, 2006); o en el cultivo de caña de azúcar con el diseño de bloques completos al azar con respecto al diseño completamente al azar (López, 2008; Ruiz-Ramírez, 2010).

Los programas estadísticos no presentan el valor de la eficiencia relativa en los resultados del análisis de varianza; aunque existe un estudio para calcular la eficiencia relativa de los diseños de superficie de respuesta denominados “A-óptimos” con el procedimiento OPTEX del SAS (Briones-Encinia y Martínez-Garza, 2002). Otra aplicación del cálculo de la eficiencia relativa se obtuvo al realizar la comparación teórica y práctica del diseño factorial 3^3 con el diseño de superficie de respuesta compuesto central rotatable, al estimar las varianzas en el con el PROC RSREG de SAS (Herrera y Fermín, 2000).

La limitación del criterio que se sigue para evaluar la eficiencia relativa del diseño experimental empleado con respecto a uno menos complejo, es que la ER sea mayor al 100% y no se especifican niveles de clasificación con respecto a si fue excelente, bueno o regular y sólo se puede considerar como no aceptable, cuando la ER es menor o igual al 100% y por consecuencia, se debe emplear el diseño experimental contra el cual fue comparado (Steel y Torrie, 1988; Ruiz-Ramírez, 2010).

CONCLUSIONES

- La prueba de la eficiencia relativa demuestra la eficacia de un diseño experimental propuesto, por lo que es muy importante realizar su cálculo de manera precisa para conocer si es necesario reanalizar un experimento determinado evitando así pérdidas económicas significativas. Asimismo, se concluye que el programa desarrollado ofrece una solución viable como apoyo en el cálculo de la eficiencia relativa.
- Se recomienda emplear la prueba de eficiencia relativa a los experimentos analizados y además, se sugiere que se apliquen en investigaciones futuras.

LITERATURA CITADA

- Briones-Encinia, F. y A. Martínez-Garza. 2002. Eficiencia de algunos diseños experimentales en la estimación de una superficie de respuesta. *Agrociencia* 36: 201-210.
- González, W, F. Chacin, J. García, M. Ascanio y M. Cobo. 2006. Bloques incompletos en los diseños de superficie de respuesta compuestos de Box y sus aplicaciones agronómicas. *Rev. Fac. Agron.* 23: 96-113.
- Herrera, R. y W. Fermín. 2000. Comparación teórica y práctica del diseño factorial 3^3 con el diseño de superficie de respuesta compuesto central rotatable. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela* 12: 60-65.
- Java SE Technical Documentation. <http://download.oracle.com/javase/index.html>. (Consulta: marzo 1, 2011).
- López B., E.A. 2008. Diseño y análisis de experimentos. Fundamentos y aplicaciones. Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. Disponible en <http://issuu.com/byrong/docs/disenoyanalisisexperimentos>. (Consulta: agosto 21, 2011).
- Martínez, R. O. 1970. Eficiencia de los diseños experimentales usados en algodón. *Agron. Trop.* 20: 81-95.
- 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.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie, 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw-Hill Interamericana, México, D. F.