

Eficiencia relativa del diseño de bloques completos al azar para ensayos de arroz en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica

Relative efficiency of the randomized complete block design for rice trials in
Bagaces, Guanacaste, Costa Rica

*Juan Ramón Navarro Flores*¹
*Jorge Claudio Vargas Rojas*²

Recibido 21/V/2015	Aprobado 20/VI/2015
--------------------	---------------------

Resumen:

La elección de un diseño experimental adecuado es uno de los aspectos de mayor importancia en investigación científica. Existen varios tipos de diseño experimental que se pueden emplear según sean las condiciones del entorno donde se ejecute la prueba crítica, sin embargo, para este trabajo se consideró únicamente los dos diseños más simples, diseño totalmente irrestricto y bloques completos al azar. En Costa Rica basta que el ensayo se vaya a ejecutar en condiciones de campo para justificar el diseño de bloques completos al azar, su uso se ha generalizado sin evaluar la eficiencia del mismo. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia del diseño de bloques completos al azar frente al diseño totalmente irrestricto para ensayos de arroz en la zona de Guanacaste. Existen dos métodos para estimar la eficiencia de un diseño experimental, ambos utilizan el cuadrado medio del error. El análisis se concentró en los ensayos con materiales promisorios del programa de producción de variedades e híbridos de arroz de CoopeLiberia RL correspondientes al período entre el 2010 y el 2014, también se empleó los datos de un ensayo blanco, realizado en la misma zona, para simular ambos diseños. Los datos de eficiencia obtenidos muestran que el aporte del diseño de BCA no fue significativo, en las condiciones de la zona arrocería de Guanacaste, donde las condiciones -en su mayoría- no ameritan el empleo de bloques completos al azar. La selección del diseño de BCA sobre la base de que el ensayo se va a ejecutar en el campo no es suficiente razón para escoger este diseño. El empleo erróneo del BCA puede representar una pérdida en la precisión de un ensayo para estimar el efecto de tratamientos.

¹ Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio juan.navarro@ucr.ac.cr

² Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, Sede Guanacaste jorgeclaudio.vargas@ucr.ac.cr

Palabras clave: diseño irrestricto al azar, diseño bloques completos al azar, arroz, eficiencia de diseño.

Abstract

Selecting the appropriate experimental design is one of the most relevant aspects in scientific research. There are various types of experimental designs that can be used depending on the environmental conditions where the trial is conducted; however, for this research only the two most simple designs were considered: unrestricted design and randomized complete blocks (RCB). In Costa Rica, executing the trial under field conditions is enough to justify a randomized complete block design since its use has spread without assessing its efficiency. The objective of this paper was to assess the efficiency of the randomized complete block design compared to the unrestricted design for rice trials in the Guanacaste area. There are two methods to assess efficiency of an experimental design and both use the mean square error. The analysis was focused on trials with promising materials of the rice varieties and hybrids production program from CoepeLiberia RL between 2010 and 2014. Data from a blank test from the same area was also used to simulate both designs. Efficiency data obtained show that the RCB design contribution was not significant for the conditions in the Guanacaste rice area, where, in most cases, conditions do not require the use of randomized complete blocks. Choosing the RCB design based on the fact that the trial is going to be conducted in the field is not enough reason to select this design. The incorrect use of RCB may represent losing accuracy to estimate the effect of treatments.

Keywords: unrestricted random design, randomized complete block design, rice, efficiency of the design.

Introducción

Sobre todos los ensayos que se ejecutan en el campo, actúa una serie de factores que afectan las unidades experimentales, lo que causa variabilidad adicional extra de la que se introduce en la prueba por medio de tratamientos y error. Generalmente, a esta variabilidad adicional se le conoce como “ruido” y la causa de este ruido puede ser la dinámica de la micro flora y micro fauna del suelo, la interacción con poblaciones de plantas arvenses, residuos de agroquímicos remanentes de cosechas anteriores, la pendiente del suelo, la dirección del viento, el sombreado de la vegetación del entorno, etc. Según Núñez (2013) el “ruido” se puede presentar en tres formas posibles en el sitio seleccionado para un ensayo:

a) Que la causa de “ruido” sea **desconocida y no controlable**, la solución es la aleatorización que tiende a distribuir este “ruido” entre todas las unidades experimentales; en términos prácticos lo recomendado sería el diseño completamente al azar o irrestricto (IRA) con suficientes repeticiones.

b) Que el factor causante de “ruido” sea **conocido y no controlable**, pero que al menos se puede cuantificar en cada una de las unidades experimentales, en este caso lo indicado es emplear el diseño irrestricto y utilizar la estimación del “ruido” como covariable.

c) Que el factor causante de variabilidad adicional sea **conocido y controlable**, en este caso se utiliza el diseño de bloques completos al azar (BCA) para eliminar su efecto en la comparación estadística de los tratamientos.

Como se puede observar en la categorización del “ruido” de Núñez (2013) sólo en un caso se recomienda el empleo del diseño de BCA: cuando existe un criterio de clasificación perfectamente identificable y que a la vez permite hacer grupos de unidades experimentales homogéneas entre sí, lo que deja la diferencia inducida por el ruido como diferencia entre grupos o bloques y esta variabilidad entre bloques se convierte en una nueva fuente de variación en el análisis de variancia, en lugar de que el “ruido” termine como parte del error experimental que afectaría directamente la comparación entre tratamientos; hay que recordar que el valor de "F" (estadístico de prueba del análisis de variancia) se calcula con el error experimental como denominador y a mayor denominador menor valor de "F" lo que eventualmente podría convertirse en un enmascaramiento del efecto de tratamientos.

No obstante, en nuestro medio el empleo del diseño de bloques completos al azar no se cuestiona para realizar un ensayo de campo, ni siquiera se profundiza en la importancia de el o los criterios de clasificación que se identifiquen en el sitio donde se va a realizar la prueba crítica; basta y sobra el hecho de que el ensayo se ejecutará en condiciones de campo para justificar el diseño de BCA con el consecuente perjuicio estadístico que conlleva para cualquier prueba el empleo de un diseño incorrecto.

Existen dos formas básicas para estimar la eficiencia del diseño BCA, una es por comparación con una prueba similar pero que haya sido ejecutada por medio del diseño irrestricto, que es el diseño que se considera más eficiente pues es el que siempre va a tener mayor número de grados de libertad para el error (Steel y Torrie 1980); esta eficiencia se estima por medio de la razón entre el cuadrado medio del error obtenido con el diseño de BCA dividido entre el cuadrado medio del error obtenido con el diseño IRA:

Fisher (1960), citado en varios textos (de Mendiburu 2008; Castejón 2011; Núñez 2013) explica que la eficiencia estimada por medio de la fórmula anterior debe ser corregida puesto que los grados de libertad para los cuadrados medios del error de ambos diseños son diferentes y sugiere que se utilice en sustitución la fórmula:

Donde: n_1 es los grados de libertad del error en
el diseño IRA

n_2 Es los grados de libertad del error en
el diseño BCA

Un valor de 1 (o 100, dependiendo de la escala con que se le mida) indicaría que ambos diseños son iguales; valores mayores de la unidad indicarán mayor eficiencia del BCA y menores a la unidad indicarán mayor eficiencia del IRA. Esta estimación podría realizarse por medio de ensayos blancos en que se simulan tanto el diseño IRA como el BCA y se comparan sus cuadrados medios del error. Los ensayos blancos son parcelas de extensión relativamente grande que son tratadas en toda su superficie uniformemente en cuanto a fertilización, aplicación de agroquímicos y demás labores de cultivo, y que a la hora de la cosecha se subdivide en parcelas pequeñas (unidades básicas) (Rosselló y Fernández 1986; Kavitha 2010). Posteriormente estas unidades básicas se agrupan de varias formas y se asignan aleatoriamente a tratamientos ficticios según el diseño IRA o BCA.

La segunda forma de estimar la eficiencia del diseño BCA se basa en cuantas repeticiones de cada tratamiento se necesitarían en un diseño IRA para obtener la misma precisión que tiene el BCA para estimar las medias de los tratamientos. Esta estimación se fundamenta básicamente en el número hipotético de repeticiones que se requerirían en un IRA para “diluir” el efecto control que en teoría debería estar ejerciendo el diseño de BCA. En este caso no se hace el ensayo con ambos diseños, sino que se calcula el efecto real de los bloques y por medio de la ecuación 3 se estima cuantas repeticiones adicionales se requerirían para que el cuadrado medio del error no se vea “aumentado” por la variabilidad inducida por los bloques. (de Mendiburu 2008; Ott y Longnecker 2010).

Donde: r Es el número de bloques empleado en la prueba
 t Es el número de tratamientos

Si este valor es 1 o muy cercano a 1 querría decir que el diseño BCA en realidad no ofrece ninguna ganancia en la precisión para estimar medias de tratamientos, si el valor obtenido es

relevantemente superior a 1, entonces se dice que el aporte del diseño de BCA fue importante (Ott y Longnecker 2010).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia del diseño de bloques completos al azar para ensayos de arroz en la zona de Guanacaste.

Materiales y métodos

Para el contraste del diseño BCA e IRA desde el punto de vista de su eficiencia se seleccionó todos los ensayos efectuados entre el año 2010 y el año 2014 por el programa de evaluación de materiales promisorios para la producción de variedades y/o de híbridos de arroz de CoopeLiberia RL; se eligió el grupo de ensayos cuyo diseño fue el BCA y otro grupo más pequeño, con las mismas características del primero pero en los que se empleó un diseño de IRA; dichos ensayos se realizaron en las zonas de Bagaces, La Cruz y Cañas en la provincia de Guanacaste y Parrita en la provincia de Puntarenas; las tres primeras clasificadas como bosque seco tropical, transición a húmedo y la última catalogada como bosque húmedo tropical. Para la eficiencia del diseño de Bloques Completos al Azar estimada por la vía de la simulación se tomó los datos del ensayo blanco realizado por Vargas (2013), en la zona de Bagaces; para esta simulación se organizaron los datos en parcelas de 20 m² de acuerdo con la recomendación del mismo autor; el rayado del terreno en el lote donde se realizó el ensayo blanco se hizo de este a oeste lo que permitió simular bloques en dirección del rayado y perpendiculares al rayado del terreno. La extensión de este ensayo blanco alcanzó para simular un ensayo de cinco tratamientos y cuatro repeticiones o bloques, según fuera el diseño que se simulara. Por último, para el cálculo de la eficiencia relativa (ecuación 3) se empleó los resultados para el grupo de ensayos seleccionados entre el 2010 y 2014 en los que se empleó el diseño de BCA.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestra el cálculo de la eficiencia (ecuación 2) para tres variables mediante el contraste del mismo ensayo pero realizado con diseños distintos (IRA y BCA).

Cuadro 1. Eficiencia estimada por contraste de ensayos de arroz realizados con un diseño IRA y con un diseño BCA, Guanacaste.

Variables	Eficiencia
Rendimiento de molino	3,27
Grano quebrado (%)	0,23
Rendimiento (kg/ha)	1,48

En este caso, tanto para el rendimiento por hectárea como para el rendimiento de molino se obtuvo un valor por encima de la unidad para la eficiencia relativa del BCA vs IRA. Según Kuehl 2001 estos resultados se interpretan como que en efecto el diseño de BCA es un 227% más eficiente que el IRA desde el punto de vista del rendimiento de molino y 48% más eficiente para la variable rendimiento (kg/ha), mientras que el IRA es 77% más eficiente que BCA en la variable grano quebrado. Como se puede ver la variabilidad del cálculo por esta vía es grande y los ejemplos con que se cuenta son pocos para ser concluyentes respecto de la eficiencia de un diseño u otro. En estos casos no se conservó dirección u otro detalle de la construcción de los bloques; presumiblemente, se deben haber construido perpendicularmente a la dirección del rayado del terreno y esta suposición se hace porque esa era la práctica en la mayoría de los ensayos realizados en la Hacienda Mojica en el 2012 y a inicios del 2013, cuando aún no se contaba con la información generada por Vargas (2013).

En el cuadro 2 se presenta el resultado de una simulación de diseño donde se empleó los datos del ensayo blanco de Vargas (2013); se simuló un ensayo de cinco tratamientos y cuatro repeticiones o bloques, según fuera el diseño que se simulara; los tratamientos se distribuyeron al azar según las reglas de un diseño IRA y también de un diseño BCA con una variante para este último diseño que fue la dirección de los bloques: en dirección del rayado del terreno y perpendiculares al rayado del terreno; la estimación de la eficiencia se hizo por medio de la ecuación 2. Es evidente, según la información presentada en el cuadro 2 que la dirección en que se tracen los bloques con respecto al rayado del terreno induce algo de "ruido" que podría eliminarse mediante el empleo del diseño BCA.

Cuadro 2. Eficiencia estimada por el contraste de la simulación del diseño de Bloques Completos al Azar con la simulación del Irrestricto, para ensayos de arroz, Guanacaste.

Simulación	Eficiencia
Bloques en dirección del rayado	0,93
Bloques perpendiculares al rayado	1,28

En el cuadro 3 se muestra los valores de eficiencia del diseño de BCA estimados mediante el análisis de variancia de cuatro variables procedentes de cuatro ensayos distintos, efectuados entre enero de 2010 y julio de 2012; para este cálculo se empleó la ecuación 3.

Cuadro 3. Eficiencia del diseño de Bloques Completos al Azar empleado en ensayos de arroz en varias zonas de Guanacaste y en distintas fechas.

Fecha	Variable	Eficiencia
ene-12	Yeso (%)	1,00*
jul-12	Yeso (%)	0,88
ene-10	Grano quebrado (%)	0,98
mar-10	Grano quebrado (%)	0,95
ene-12	Grano quebrado (%)	1,86*
jul-12	Grano quebrado (%)	0,81
ene-10	Rend. de molino	1,01*
mar-10	Rend. de molino	1,00*
ene-12	Rend. de molino	1,19*
jul-12	Rend. de molino	0,99
ene-12	Rend. (kg/ha)	0,9
jul-12	Rend. (kg/ha)	0,82

Es importante resaltar de este cuadro que la eficiencia del diseño de BCA en ningún caso presentó valores notoriamente distintos a 1; el valor más alto obtenido fue de 1,86 para la variable "porcentaje de grano quebrado". Según Ott y Longnecker (2010) un valor mayor a 1 indica que el bloqueado diseñado para un ensayo tuvo el efecto deseado: extraer las diferencias entre los bloques y evitar que esas diferencias pasaran a ser parte del error experimental; por otra parte, un valor de 1 o menos de 1 indica todo lo contrario: el bloqueado no fue efectivo y en la mayoría de los casos esto se debe a que se sobrevalora alguna diferencia presente en el campo y se utiliza como criterio para construir bloques cuando en realidad son innecesarios. No obstante, esta afirmación de ningún modo quiere decir que el diseño de BCA es un diseño incorrecto, sino que ha sido empleado de manera incorrecta en experimentos de campo.

Once de los doce cálculos de la eficiencia relativa del BCA, que se muestran en el cuadro 3, sugieren que el sitio donde se realizó estos ensayos no presenta ninguno de los argumentos principales que generalmente se utilizan como criterio de clasificación para la construcción de bloques como por ejemplo: pendiente, sombreado o alguna gradiente en el tipo de suelo o en la química del suelo. El valor de 1,86 para la variable "grano quebrado, julio 2012" quizás refleje la condición que se muestra en el cuadro 2.

Conclusiones

- a) De acuerdo con los resultados obtenidos, es evidente que ha habido un empleo inadecuado del diseño de BCA en la zona arrocera de Guanacaste.
- b) La precisión de los ensayos realizados según el protocolo del diseño de BCA se ve comprometida por la reducción en los grados de libertad del error que se da por el empleo de este diseño en comparación con el diseño IRA.
- c) No debe interpretarse que el uso del diseño de BCA en el campo esté mal, sino que debe evaluarse con cuidado cada sitio en el que se va a realizar un ensayo con el fin de analizar la posibilidad de que alguna de estas fuentes de variación pueda ser lo suficientemente importante como para que se convierta en criterio de clasificación para un BCA.
- d) La estadística ofrece herramientas suficientes para las diversas condiciones en la que se tiene que trabajar, por lo tanto, no es necesario el empleo exclusivo de una de ellas en un medio tan diverso como el campo.

Literatura citada

Castejón Sandoval, O. 2011. Diseño y análisis de experimentos con "Statistix". Universidad Rafael Urdaneta, Fondo Editorial Biblioteca, Venezuela. 213 pp.

Kavitha, B. 2010. Study on optimum plot size and optimum plot shape of soybean crop. Tesis Mag.Sc. Dharwad, India. University of Agricultural Sciences. 58 pp.

Kuehl, R. 2001. Diseño de experimentos. Segunda edición. Thomson Learning, México, D.F. 666 p.

Marín, J.M. 2005. Tema 0: Introducción al diseño de experimentos. Notas curso Diseño de experimentos y teoría del muestreo. Universidad Carlos III, Madrid, España. 19 pp.

<http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Diseno/IntroDE.pdf>

Mendiburu de, F. 2008. Diseños experimentales avanzados (notas de curso) Unidad I: Eficiencia de los diseños y estimación de una unidad perdida. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. (<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/index-filer/academic/design/Eficiencia.pdf>)

Navarro, J.R. 1983. Error control of mechanically harvested maize experiments. M.Sc. Thesis, Iowa State University. Ames, Iowa, 65 pp.

Núñez, A. 2013. Métodos de investigación científica y técnica aplicada a ingeniería de telecomunicación (notas de curso) Tema 3: Diseño de experimentos, Diseño de bloques al azar. Instituto

Universitario de Microelectrónica Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.

Disponible en:

http://www.iuma.ulpgc.es/~nunez/mastertecnologiasteleccion/Tema3DisenodeExperimentos/doe-4-bloques_al_azar.pdf

Ott, R.L.; Longnecker, M. 2010. An introduction to statistical methods and data analysis. 6th ed. Texas A & M Books/Cole. 1290 pp.

Rosselló, J.M.; Fernández, M. 1986. Guía técnica para ensayos de variedades de campo. FAO. 144 pp.

Ruiz-Ramírez, J. 2010. Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar. Terra Latinoamericana 28(2):149 – 154.

Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. 2th ed. McGraw-Hill, USA. 633 pp.

Vargas, J.C. 2013. Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*Oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste. Tesis Licenciatura, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 57 pp