

## Tamaño y forma de unidad experimental para ensayos de rendimiento de arroz (*Oryza sativa*), en Guanacaste, Costa Rica

Jorge Claudio Vargas Rojas<sup>1</sup> & Juan Ramón Navarro Flores<sup>2</sup>

1. Universidad de Costa Rica, Sede Regional de Guanacaste. Liberia, Costa Rica; jorgeclaudio.vargas@ucr.ac.cr,  <https://orcid.org/0000-0002-1139-2148>
2. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Protección de Cultivos, San José, Costa Rica; juan.navarro@ucr.ac.cr,  <https://orcid.org/0000-0001-9071-0804>

Recibido 03-V-2019 • Corregido 18-VII-2019 • Aceptado 30-VII-2019

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2653>

**ABSTRACT:** "Size and shape of experimental units for rice (*Oryza sativa*) yield trials, in Guanacaste, Costa Rica". **Introduction:** The size and shape of an experimental unit affect the accuracy of field trials. **Objective:** Finding the appropriate size and shape of an experimental unit for rice yield trials in Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. **Methods:** We applied a multiple regression analysis to data from an uniformity trial. The residual variability, measured as a coefficient of variation (and related to different sizes and forms of a replicable experimental unit), was modeled according to length and width. The next step was to determine partial derivatives per regressor and adjust them to -1. With the equation system it is possible to obtain a combination of width and length which decreases the coefficient of variation. **Results:** For this work, the resulting combination was 2,93m long by 7,95m wide. **Conclusion:** In practical terms, the size of the experimental unit that decreases the coefficient of variation is 3m long and 8m wide.

**Key words:** Plot size, plot shape, rice, multiple regression, experimental error.

**RESUMEN: Introducción:** El tamaño y forma de la unidad experimental afecta la precisión en los resultados de ensayos de campo. **Objetivo:** Determinar el tamaño y la forma de unidad experimental apropiados para ensayos de rendimiento en arroz en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. **Métodos:** Empleamos un análisis de regresión múltiple a los datos de un ensayo de uniformidad. La variabilidad residual, medida como coeficiente de variación (y relacionada a los diferentes tamaños y formas de unidad experimental replicable) fue modelada en función del largo y ancho. El siguiente paso fue estimar las derivadas parciales para cada regresora e igualarlas a -1. Al resolver este sistema de ecuaciones es posible obtener la combinación de ancho y largo de unidad de experimental que minimiza el coeficiente de variación. **Resultados:** Para este trabajo, esa combinación resultó ser de 2,93m de largo por 7,95m de ancho. **Conclusión:** En términos prácticos, el tamaño de unidad experimental que minimiza el coeficiente de variación es de 3m de largo por 8m de ancho.

**Palabras clave:** Tamaño de unidad experimental, forma de unidad experimental, arroz, regresión múltiple, error experimental.

La unidad experimental (parcela) es el área en la que se lleva a cabo la asignación aleatoria de los tratamientos en una prueba crítica (Gomez, 1972). Barros y Tavares (1995) la definen como la unidad básica que provee la información en la cual se basa la experimentación. Esta información, que se convertirá en los resultados del ensayo, proviene de pruebas de naturaleza probabilística y, por lo tanto, está ligada no solo al comportamiento que puede expresar un determinado tratamiento, sino que, a otros factores ajenos al mismo, que tienden a opacar su verdadero efecto, llamados en conjunto: error experimental (Barrientos-García, 1981).

Idealmente, las unidades experimentales deberían ser homogéneas de modo que luego de aplicarles distintos tratamientos se pueda decir que la diferencia (si existe) es exclusivamente producto del efecto de los tratamientos aplicados y no debido a otros factores que en conjunto se denominan "ruido". No obstante, conseguir un conjunto de unidades experimentales totalmente homogéneas resulta imposible, particularmente, cuando se realizan ensayos en un campo agrícola, debido a la variabilidad espacial de las características fisicoquímicas del suelo (Stroup, 2002). La falta de homogeneidad genera un efecto considerable sobre la magnitud de la

variabilidad de los datos no atribuible a causas conocidas (Box, Hunter, & Hunter, 2005), esto es: el error experimental. La variabilidad entre unidades experimentales de un ensayo agrícola se conoce como la variabilidad natural de un sitio y si no se controla o se cuantifica podría distorsionar la estimación de las medias de los tratamientos y su comparación. Por lo tanto, si se desea que los resultados de un ensayo sean confiables se debe aplicar técnicas experimentales adecuadas, entre las que se recomienda utilizar un tamaño y una forma adecuados de unidad experimental (Párraga & Chacín, 2000).

La bibliografía especializada señala dos razones de primordial importancia para justificar la necesidad de estimar un tamaño y una forma óptimos de unidad experimental (Rodríguez, Sánchez, & Pacheco, 1993; Sánchez et al., 2006). La primera es reducir el error experimental del ensayo; la segunda se basa en aspectos económicos y prácticos, como ahorro de semilla, espacio, recursos económicos y trabajo. Parcelas con un tamaño inferior al óptimo pueden dar resultados poco confiables, por otro lado, parcelas grandes pueden incurrir en gastos innecesarios de tiempo y recursos (Gomez, 1972). Así pues, la mayor eficiencia de un ensayo se fundamenta en un tamaño y una forma óptimos de unidad experimental (Vallejo & Mendoza 1992).

Para determinar el tamaño y la forma de parcela existen métodos estadísticos muy variados, la mayoría parten de un ensayo blanco o ensayo de uniformidad (Rodríguez, Sánchez, & Pacheco, 1993; Da Silva, 2010; Santos, Haesbaert, Lúcio, Storck, & Cargnelutti, 2012). Si bien existen otros métodos, este es el más preciso, con el inconveniente de que requiere de una inversión considerable de tiempo y recursos (Álvarez, Soto, & Gómez, 1986). El ensayo blanco es una parcela de extensión relativamente grande que es tratada 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 & Fernández, 1986), a partir de esta información existen diversos métodos para estimar el tamaño de unidad experimental.

Uno de los más utilizados, debido a su eficiencia, es el de regresión múltiple. En este las unidades básicas se agrupan de manera que formen parcelas de diferentes formas y tamaños, a estas parcelas resultantes se les cuantifica el rendimiento correspondiente mediante la adición de los rendimientos de las unidades básicas. Luego, para el total de unidades experimentales formadas con una combinación particular se estima la variabilidad residual, medida como coeficiente de variación (CV), que quedará en función de la combinación del largo y

del ancho de cada unidad experimental. Esto permite modelar el CV en función de largo y el ancho, lo que genera una superficie de respuesta en tres dimensiones, sobre la cual se puede estudiar los cambios en el CV debido a las variaciones del largo y del ancho y se puede obtener la combinación de estos que hagan que la superficie tenga una curvatura determinada. Usualmente, la curvatura que se busca es cuando la pendiente es -1; es decir, después de este punto añadir una nueva unidad básica en la variable independiente resultará en una reducción de la variable dependiente (CV) menor que la unidad, por lo que el incremento del tamaño ya no justifica la disminución en la variabilidad. Para minimizar la función se deben calcular las derivadas parciales del coeficiente de variación con respecto al largo y al ancho e igualar ambas a -1. Este método permite encontrar no solo el tamaño, sino también, la forma de parcela que minimice la variabilidad del ensayo (Álvarez, Soto, & Gómez, 1986; Barrientos-García, 1981).

El objetivo de este trabajo fue determinar el tamaño y la forma de unidad experimental para ensayos de rendimiento con arroz en la zona de Bagaces, Guanacaste, mediante el método de regresión múltiple.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Generalidades:** El ensayo se llevó a cabo durante los meses de junio a noviembre del año 2017, en la hacienda Mojica (N 10° 40' 79" y W 85° 19' 74), situada en el cantón de Bagaces, distrito de Bagaces, provincia de Guanacaste, la cual se encuentra a 80msnm, con una precipitación que oscila entre 1 500 a 2 500ml/año y temperatura promedio anual de 29°C; cuya actividad económica es principalmente el arroz.

Se empleó la técnica del ensayo blanco descrita por Rodríguez y colaboradores (1993). De acuerdo con este método se seleccionó de la plantación comercial de la finca una parcela de 20m × 20m, por lo que la parcela total fue de 400m<sup>2</sup>. Alrededor de esta parcela se dejó una franja de dos metros de borde para todo el perímetro. El manejo que recibió la parcela fue el mismo aplicado a las plantaciones comerciales de arroz de la finca en todo lo relativo a fertilización, combate de arvenses, plagas y enfermedades. La parcela seleccionada tuvo su propia entrada y salida de agua; para evitar que fuera afectada por el agua procedente de otras áreas que pudiera acarrear fertilizantes u otros agroquímicos que intervinieran con el tratamiento uniforme que la misma recibió. El suelo del sitio fue clasificado como un Vertic Ustropept.

Esta parcela se seleccionó pues representaba las condiciones de la mayoría de la finca en cuanto a topografía y tipo de suelo.

La siembra se realizó con semilla de arroz del cultivar Palmar 18, por medio de siembra directa, con una sembradora mecánica a chorro, en surcos separados 17,6cm y una cantidad de semilla entre 100 y 115kg/ha. Este método es empleado en aproximadamente el 80% de las plantaciones arroceras de la región.

**Labores de campo:** Veinte días después de la siembra se diseñó una cuadrícula sobre la parcela; para esto se empleó estacas de bambú y cuerdas, de modo que se identificaron claramente las 400 microparcels (unidades básicas), de 1m<sup>2</sup> cada una. A cada unidad básica se le asignó coordenadas cartesianas, de manera que todas fueran ubicadas e identificadas en el terreno; ambas coordenadas estuvieron dadas por distancias en metros a ejes cartesianos (X será el ancho e Y el largo de la parcela).

La cosecha (120 días después de siembra) se realizó por separado en cada una de las microparcels. Se cortó a nivel del suelo todas las plantas de arroz procedentes de cada unidad básica y se colocaron en un saco previamente identificado con el número correspondiente a la unidad básica cosechada, según el sistema de coordenadas cartesianas. Posteriormente el grano y la paja fueron separados y el grano trasladado a bolsas de papel, igualmente identificadas. Los granos contenidos en cada bolsa se secaron al sol hasta que alcanzaran un promedio de humedad entre 13% y 15%; para obtener dicho promedio se midió el porcentaje de humedad a 40 bolsas seleccionadas al azar con un medidor de humedad Motomco®. Finalmente se pesó cada una de las bolsas y se obtuvo la producción en gramos.

**Análisis de datos:** Con los datos ingresados (producción y coordenadas cartesianas de cada unidad básica) se conformó cada una de las posibles formas y tamaños de unidades experimentales que se obtuvieron por medio de la combinación de las unidades básicas y se calculó el coeficiente de variación CV respectivo. El CV se modeló en función del largo y el ancho de las unidades experimentales, según la Ecuación 1.

(1)

$$CV_{ijk} = \beta_0 + \beta_1\gamma_i + \beta_2\alpha_j + \beta_3\gamma_i^2 + \beta_4\alpha_j^2 + \beta_5(\gamma\alpha)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

$CV_{ijk}$  =  $k$ -ésimo coeficiente de variación correspondiente al  $i$ -ésimo largo y al  $j$ -ésimo ancho.

$\gamma_i$  =  $i$ -ésimo largo de parcela. Con  $i: 1, \dots, L$ .

$\alpha_j$  =  $j$ -ésimo ancho de parcela. Con  $j: 1, \dots, A$ .

$(\gamma\alpha)_{ij}$  = interacción del  $i$ -ésimo largo con el  $j$ -ésimo ancho.

$\varepsilon_{ijk}$  = error aleatorio de la  $k$ -ésima observación del  $i$ -ésimo largo y  $j$ -ésimo ancho

Para cada uno de los términos del modelo de la Ecuación 1 se hizo la prueba de hipótesis respectiva para establecer si el valor estimado es distinto de cero o no. En caso de que alguno no fuera significativo ( $p > 0,05$ ), este se excluyó del modelo. Todos los procedimientos se hicieron con el lenguaje R (R Core Team, 2017).

**Ética, conflicto de intereses y declaración de financiamiento:** los autores declaran haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en el manuscrito; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, están de acuerdo con la versión editada final del documento. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

## RESULTADOS

En la segunda columna del Cuadro 1 se presenta las estimaciones de cada uno de los términos del modelo y en la quinta columna se encuentra el valor de probabilidad asociado a cada término. Se observa que, a excepción de la interacción, todos los términos son significativos ( $p < 0,05$ ). Razón por la que este término se excluyó del modelo de la Ecuación 1 y se ajustó el modelo sin interacción, los resultados se presentan el Cuadro 2.

Todas las estimaciones del modelo sin interacción fueron significativas ( $p < 0,05$ ). El modelo estimado del coeficiente de variación en función del largo y del ancho se presenta en la Ecuación 2.

(2)

$$CV = 19,51 - 1,12L - 2,08A + 0,02L^2 + 0,07A^2$$

Al estimar las derivadas parciales de la Ecuación 2 e igualares a -1, se obtuvo el siguiente sistema de ecuaciones:

(3)

$$\begin{bmatrix} 0,04L & 0 \\ 0 & 0,14A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 + 1,12 \\ -1 + 2,08 \end{bmatrix}$$

CUADRO 1  
Coeficientes de regresión estimados y estadísticos asociados para el modelo con interacción

Coeficiente	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr(> t )
Ordenada	20,43	1,21	16,92	< 2e-16
Largo	-0,90	0,25	-3,62	< 0,01
Ancho	-2,25	0,25	-8,99	< 0,01
Largo <sup>2</sup>	0,02	0,01	2,22	0,03
Ancho <sup>2</sup>	0,07	0,01	6,82	< 0,01
Largo*Ancho	0,02	0,01	1,42	0,17

CUADRO 2  
Coeficientes de regresión estimados y estadísticos asociados para el modelo sin interacción

Coeficiente	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr(> t )
Ordenada	19,51	1,04	18,84	< 2e-16
Largo	-1,12	0,22	-3,29	< 0,01
Ancho	-2,08	0,22	-9,30	< 0,01
Largo <sup>2</sup>	0,02	0,01	1,90	0,07
Ancho <sup>2</sup>	0,07	0,01	6,56	< 0,01

Al resolver el sistema de la Ecuación 3 se obtuvo la combinación de largo y ancho en la cual se obtiene el punto de curvatura deseado. Para este caso esa combinación fue de 2,93m de largo y el ancho es de 7,95m; que para efectos prácticos se puede considerar como una unidad experimental de 3m de largo y 8m de ancho, correspondiente a un área de 24m<sup>2</sup>.

## DISCUSIÓN

El tamaño que aquí se define corresponde al tamaño de parcela útil y no al de parcela total. Por lo que a este tamaño se le deben agregar los bordes que se consideren pertinentes, según sean las necesidades del ensayo.

Se han realizado varias investigaciones relacionadas con las fuentes de error experimental y la aplicación de técnicas para disminuir ese error (Lorentz, Boligon, Storck, & Lúcio, 2010), donde se menciona que el recurso más práctico y accesible para este fin es el tamaño de la unidad experimental que recibirá el tratamiento. Empero, frecuentemente, se presenta el problema de que la selección del tamaño de unidad experimental a la hora de establecer un ensayo a nivel de campo se hace con base en criterios arbitrarios (Álvarez, Soto, & Gómez, 1986). Barrientos-García (1981) y Oliveira y colaboradores (2005) mencionan que la definición del tamaño adecuado de unidad experimental puede estar fundamentado en bases empíricas o en la propia experiencia del investigador y que si bien estos criterios son más o

menos válidos, no pueden sustituir los resultados derivados de los diferentes métodos estadísticos para obtener un tamaño adecuado de unidad experimental, ya que estos son objetivos. Chacín (1977) señala que otro criterio muy empleado para determinar un tamaño de unidad experimental es la revisión bibliográfica de trabajos realizados en otras localidades, con el inconveniente que el tamaño adecuado de unidad experimental es una característica muy regional y está fuertemente afectado por las características agroecológicas de la zona donde se desarrolló el estudio.

A pesar de la importancia que tiene desarrollar conocimiento desde las condiciones locales, es poca la investigación que se ha realizado en esta área, el único trabajo encontrado en Costa Rica, para el cultivo de arroz, es el de Vargas y Navarro (2014), quienes en la misma zona de este trabajo establecieron un tamaño de 20m<sup>2</sup>. Otros trabajos como el Gomez y Gomez (1984), en Filipinas, determinaron un tamaño de 20m<sup>2</sup> y el de Asif - Masood, Raza, y Yaseen (2012), en Pakistán, que establecieron el tamaño en 72m<sup>2</sup>. Todos los casos mencionados anteriormente se basaron en el método de curvatura máxima para definir el tamaño de la unidad experimental.

Las variaciones de estos resultados, en menor o mayor medida, con los resultados encontrados en este trabajo pueden deberse a diferencias agroecológicas de las zonas donde se desarrollaron los estudios. Además de que el tamaño de unidad experimental presenta variaciones según el método de estimación empleado

(Barrientos-García, 1981). En comparación con el trabajo de Vargas y Navarro (2014), que fue desarrollado en la misma zona agroecológica la variación presentada es mínima en cuanto al tamaño de la unidad experimental, si bien este trabajo establece un mayor tamaño es debido a que el método de regresión múltiple genera unidades experimentales más grandes en comparación con el método de curvatura máxima, tal y como lo encontró Barrientos-García (1981). Sin embargo, por el método que utilizaron, Vargas y Navarro (2014) no brindan información acerca de la forma; en este trabajo sí se establece la forma, lo cual es una ventaja del método de regresión múltiple usado en este trabajo con respecto al método de curvatura máxima (Barrientos-García, 1981).

Este trabajo provee información experimental que se puede emplear como herramienta importante cuando se discute acerca del tamaño de unidad experimental en ensayos de arroz, en zonas agroecológicas similares a las de Bagaces, Guanacaste. De esta manera, cualquier técnico o institución encargados de desarrollar investigación en arroz pueden utilizar los resultados de este trabajo como punto de partida para definir el tamaño de unidad experimental. La importancia de esta información es que es producto de investigación realizada bajo las condiciones locales, dentro de las normas que la cultura arrocera local ha desarrollado; entonces utilizar estos resultados para establecer un tamaño adecuado de parcela sería más correcto que recurrir a la revisión de literatura extranjera o a criterios arbitrarios.

La heterogeneidad del suelo siempre va a estar presente en los ensayos realizados en el campo y es una de las principales causas del error experimental. Para minimizar este error, además de otras estrategias, se debe seleccionar el tamaño y la forma apropiados de la unidad experimental. Lamentablemente, a pesar de que el tamaño y la forma de unidad experimental se reporta como una herramienta valiosa para controlar el error experimental, su estudio ha perdido importancia en los últimos años, lo que se refleja en las escasas referencias bibliográficas de fechas recientes. Probablemente, debido al auge de tecnologías de cultivo intensivas donde grandes áreas son sometidas a los tratamientos. Sin embargo, en países pequeños, donde no existen estos sistemas de producción, donde hay limitantes de terreno y donde las labores de cultivo aún se realizan manualmente este tipo de investigación puede convertirse en una gran ayuda para los investigadores locales, en aras de maximizar los recursos y obtener resultados confiables. En el marco de las condiciones que fue realizado este trabajo y con base en los objetivos planteados, se considera que una unidad experimental de 3m de largo y 8m de ancho es suficiente para obtener resultados precisos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a Hacienda Mojica, quien financió la totalidad del experimento; en especial a su gerente general, el máster Hernán Rodríguez.

## REFERENCIAS

- Álvarez, R., Soto, M., & Gómez, H. (1986). Tamaño de parcela y número de repeticiones para estimar una población de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y su daño en maíz. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 39(2), 6-16.
- Asif-Masood, M., Raza, I., & Yaseen, M. (2012). Estimation of optimum field plot size and shape in paddy yield trial. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 25(4), 280 - 287.
- Barrientos-García, M. (1981). *Evaluación de 4 métodos para la determinación de tamaño y forma óptimos de parcela para experimentación agrícola*. (Tesis inédita de licenciatura). Universidad de San Carlos, San Carlos, Guatemala.
- Barros, I., & Tavares, M. (1995). Estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais através de cálculos algébricos. *Bragantia*, 54(1), 209-215. DOI: 10.1590/s0006-87051995000100024
- Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for experimenters: design, innovation and discovery* (2nd ed.). Nueva Jersey, Estados Unidos: Wiley-Interscience.
- Chacín, F. (1977). Tamaño de parcela experimental y su forma. *Revista de la Facultad de Agronomía de Maracay*, 9(3), 55-74.
- Da Silva, C. W. (2010). *Comparacao de métodos para estimar o tamanho ótimo de parcela embananeira*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Federal de Vicosa, Vicosa, Brasil.
- Gomez, K. A. (1972). *Techniques for field experiments with rice: layout, sampling, sources of error*. La Laguna, Filipinas: International Rice Research Institute.
- Gomez, K., & Gomez, A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). Nueva York, Estados Unidos: Wiley-Interscience.
- Lorentz, L. H., Boligon, A. A., Storck, L., & Lúcio, A. D. (2010). Plot size and experimental precision for sunflower production. *Scientia Agricola*, 67(4), 408-413. DOI: 10.1590/s0103-90162010000400005
- Oliveira, S. J., Storck, L., Lopes, S. J., Lúcio, A. D., Feijó, S., & Damo, H. P. (2005). Plot size and experimental unit relationship in exploratory experiments. *Scientia Agricola*, 62(6), 585-589. DOI:10.1590/s0103-90162005000600012
- Párraga, C., & Chacín, F. (2000). Comparación de metodologías univariadas en la determinación de unidades experimentales de campo: renglón maíz (*Zea mays* L.). *Revista Facultad de Agronomía de Maracay*, 26(1), 175-190.
- Rodríguez, N., Sánchez, H., & Pacheco, P. (1993). Determinación de tamaño y forma óptimos de parcela para ensayos de

- rendimiento con café. *Revista Colombiana de Estadística*, 14(27), 50-64.
- Rosselló, J. M., & Fernández, M. (1986). *Guía técnica para ensayos de variedades de campo*. Roma, Italia: FAO.
- Sánchez Hernández, M., Mejía Contreras, A., Villanueva Verduzco, c., Castellanos, J., Sánchez Hernández, C., & Jiménez Rojas, C. (2006). Determinación del tamaño adecuado de parcela experimental en calabaza pipiána (*Cucurbita argyrosperma* hubervar. *stenosperma*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(4), 339-348.
- Santos, D., Haesbaert, F., Lúcio, A., Storck, L., & Cargnelutti, A. (2012). Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. *Revista Ciência Agronômica*, 43(1), 119-128. DOI: 10.1590/s1806-66902012000100015
- Stroup, W. W. (2002). Power analysis based on spatial effects mixed models: a tool for comparing design and analysis strategies in the presence of spatial variability. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 7(4), 491-511.
- Vallejo, R., & Mendoza, H. (1992). Plot technique studies on sweet potato yield trials. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3), 508-511.
- Vargas, J. C., & Navarro, J. R. (2014). Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*Oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste. *Revista Intersedes*, 15(31), 128-144.