

# INTERSEDES

REVISTA ELECTRÓNICA DE LAS SEDES REGIONALES  
DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



---

Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental,  
utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz  
(oryza sativa), en Bagaces, Guanacaste

*Jorge Claudio Vargas Rojas*

*Juan Ramón Navarro Flores*

**WWW.INTERSEDES.UCR.AC.CR**

**Vol. XV, N°31 (2014)**

**ISSN 2215-2458**

## **Consejo Editorial Revista InterSedes**

Director de la Revista:

**Dr. Edgar Solano Muñoz. Sede de Guanacaste**

**M.Sc. Jorge Bartels Villanueva. Sede del Pacífico. Economía**  
**M.L. Edwin Quesada Montiel. Abarca. Sede del Pacífico. Enseñanza del**  
**Inglés**

**Dra. Ethel García. Sede de Occidente. Historia.**

**Dra. Magdalena Vásquez Vargas. Sede Occidente. Literatura**

**M.L. Guillermo González. Sede Atlántico. Filología**

**M.Ph. Jimmy Washburn Calvo. Sede Atlántico. Filosofía. Bioética**

**M.L. Mainor González Calvo. Sede Guanacaste. Filología**

**Ing. Ivonne Lepe Jorquera. . Sede Limón. Administración. Turismo**

**Dra. Ligia Carvajal. Sede Limón. Historia**

Editor Técnico: Bach. David Alonso Chavarría Gutiérrez. Sede Guanacaste

Editora: Licda. Margarita Alfaro Bustos. Sede Guanacaste

## **Consejo Científico Internacional**

Dr. Raúl Fonet-Betancourt. Universidad de Bremen, Alemania.

Dra. Pilar J. García Saura. Universidad de Murcia.

Dr. Werner Mackenbach. Universidad de Potsdam, Alemania. Universidad de  
Costa Rica.

Dra. Gabriela Marín Raventós. Universidad de Costa Rica.

Dr. Mario A. Nájera. Universidad de Guadalajara, México.

Dr. Xulio Pardelles De Blas. Universidad de Vigo, España.

M.Sc. Juan Manuel Villasuso. Universidad de Costa Rica.

Indexación: Latindex / Redalyc / SciELO

Licencia de Creative Commons

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica,  
todos los derechos reservados.

Intersedes por [intersedes.ucr.ac.cr](http://intersedes.ucr.ac.cr) está bajo una licencia de Creative  
Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica  
License.



Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste

Determination of adequate plot size, using the maximum curvature method, for rice (*oryza sativa*) trials, in bagaces, Guanacaste

Jorge Claudio Vargas- Rojas<sup>1</sup>

Juan Ramón Navarro- Flores<sup>2</sup>

Recibido: 03.06.14

Aprobado: 10.08.14

*Resumen*

Se realizó un estudio con el objetivo de determinar el tamaño adecuado de unidad experimental para ensayos en arroz en el cantón de Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. Se sembró un ensayo de uniformidad y los datos obtenidos por este medio fueron empleados para aplicar el método de curvatura máxima. El punto de curvatura máxima -determinado por inspección visual- donde la curva producto de la asociación entre tamaño de parcela y coeficiente de variación deja de caer abruptamente y adquiere un comportamiento casi constante, estuvo ubicado entre 15 m<sup>2</sup> y 20 m<sup>2</sup>. Por medio de las pruebas de F entre el promedio de las variancias de los diferentes tamaños se estimó que el punto de curvatura máxima estuvo en 16 m<sup>2</sup>, por razones de confiabilidad se estableció como tamaño adecuado de unidad experimental 20 m<sup>2</sup>. Mediante el método que Fairfield Smith propuso en 1938 se obtuvo un valor de 0,83 para el índice de heterogeneidad del suelo, lo que indica que el suelo se puede clasificar como heterogéneo (el ámbito de la escala para esta medida va de 0 a 1, donde 0 indica total homogeneidad y 1 total heterogeneidad).

*Palabras clave:* tamaño de unidad experimental; arroz; curvatura máxima; heterogeneidad del suelo; índice de Smith.

*Abstract*

A study to determine an adequate plot size for rice trials was conducted in Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. A uniformity trial was planted, and the data collected were used to apply the maximum curvature method. The point of maximum curvature -determined by visual inspection- where the plotted curve for the relationship between plot size and variance coefficient stops falling drastically and becomes constant, was located between 15 m<sup>2</sup> and 20 m<sup>2</sup>. The point of maximum curvature was estimated, using F-tests between the mean variances of each plot size, to be 16m<sup>2</sup>. Nevertheless, for the sake of reliability, the adequate plot size was established at 20m<sup>2</sup>. Using the method that Fairfield Smith proposed in 1938, an index of soil heterogeneity value of 0,83 was obtained, indicating that the soil can be classified as heterogeneous (this measurement's scale goes from 0 to 1, where 0 indicates perfect homogeneity and 1 indicates perfect heterogeneity).

*Keywords:* plot size; rice; maximum curvature method; soil heterogeneity; Smith's index

<sup>1</sup> Nacionalidad. Docente Universidad de Costa Rica, Sede Guanacaste. Email: jorgeclaudio.vargas@ucr.ac.cr

<sup>2</sup> Nacionalidad. Docente Centro de Investigación en Protección de Cultivos Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

### *Introducción*

El arroz es el principal alimento para gran parte de la población mundial, algunas proyecciones estiman que para el año 2025 la población mundial será de 8300 millones de personas y que por lo menos la mitad de ellas consumirá arroz como alimento esencial de su dieta (Martínez et al. 1998). Según Franquet (2004) es el cultivo más importante del mundo actualmente debido a la superficie sembrada y a la cantidad de personas que dependen directa o indirectamente de su cosecha.

La producción mundial de arroz para el año 2012, según FAO (2012) fue de 732,2 millones de toneladas (488,2 millones de toneladas de arroz elaborado) y se prevé que esta producción va a tener que aumentar en los años venideros para satisfacer la demanda mundial por este cereal.

El mejoramiento de la producción agrícola de un cultivo debe fundamentarse en la obtención de prácticas que permitan elevar los rendimientos con una menor inversión, sin embargo, estas prácticas deben provenir de información confiable, para que tanto las empresas como los agricultores puedan acogerlas con seguridad (Barrientos, 1981).

Por esta razón Chandler (1984) menciona la importancia de realizar investigación con el propósito principal de determinar la bondad de prácticas e insumos para el aumento de la producción de un cultivo y que, además, la información que se obtenga a través de esta investigación sea confiable. Asimismo, se refiere a los elementos esenciales de un programa de investigación en arroz, donde señala la utilidad de ciertos métodos y prácticas dentro de los cuales se encuentra la determinación de un tamaño óptimo de unidad experimental. Para determinar el tamaño óptimo de parcela existen métodos estadísticos muy variados, la mayoría parten de un ensayo blanco o ensayo de uniformidad (Rodríguez et al. 1993; Custodio, 2010; Santos et al. 2012), si bien existen otros métodos, éste es el más preciso, con el inconveniente de que requiere de una inversión considerable de tiempo y recursos (Álvarez et al. 1986).

Los ensayos blancos son parcelas 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). Posteriormente, 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. La comparación de cada tipo de parcela se hace recurriendo al error probable, error típico o al coeficiente de variación (Rosselló y Fernández, 1986; Kavitha, 2010).

El método de curvatura máxima asocia en un gráfico de dispersión la variable independiente que sería el tamaño de parcela - producto de la combinación de unidades básicas -

contra la variable dependiente que sería el coeficiente de variación calculado para cada tamaño. En la grafica resultante se localiza el punto de curvatura máxima por inspección visual y ese punto corresponde al tamaño óptimo de unidad experimental (Escobar, 1981).

Los ensayos de uniformidad también permiten el estudio de la heterogeneidad del suelo (Gómez y Gómez, 1984), factor que está muy ligado a la definición del tamaño adecuado de unidad experimental. Esta variabilidad de los suelos puede deberse a factores físicos, químicos o biológicos y que, junto con otros factores como la genética del cultivo y las características del sitio, introducen variación en variables como la producción de un cultivo y que se conoce como error experimental (Box et al. 2008).

La uniformidad del suelo puede ser estimada por medio del índice de Smith (1938); este índice relaciona por medio de una regresión, los tamaños de parcela obtenidos por agrupación de unidades básicas provenientes de un ensayo blanco y la variancia unitaria asociada a cada tamaño; el valor absoluto de la pendiente obtenida en la regresión se emplea como índice de homogeneidad del suelo, si es cercano a cero se considera que el suelo es homogéneo y si es cercano a uno heterogéneo.

El objetivo general de este trabajo fue determinar un tamaño adecuado de parcela para ensayos en arroz en la zona de Bagaces, Guanacaste, mediante el método de curvatura máxima; asimismo, calcular el índice de heterogeneidad de Smith y generar un mapa de heterogeneidad del suelo utilizando la variable producción.

### *Materiales y métodos*

#### *Generalidades*

El ensayo se llevó a cabo durante los meses de junio a noviembre del año 2012, en la Hacienda Mojica, situada en el cantón de Bagaces, distrito homónimo de la provincia de Guanacaste, la cual se encuentra a 80 msnm, con una precipitación que oscila entre 1500 a 2500 ml/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 et al. (1993). De acuerdo con este método se seleccionó de la plantación comercial de la finca una parcela de 20m X 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; esto para que no fuera afectada por el agua procedente de otras áreas que pudiera acarrear fertilizantes u otros agroquímicos que

intervienen con el tratamiento uniforme que la misma recibió; además, 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 17,6 cm y una cantidad de semilla entre 100 y 115 kg/ha. Este método es empleado en aproximadamente el 80% de las plantaciones arroceras de la región. Antes de sembrar la semilla en el campo, se hizo pruebas de germinación, con el objetivo de garantizar una buena calidad de semilla, según el INTA (2008) un porcentaje de germinación superior al 80% se considera adecuado. La semilla que se utilizó en el ensayo alcanzó un 85% de germinación.

#### *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 identificarán claramente las 400 microparcels (unidades básicas), de 1 m<sup>2</sup> cada una. Además, cada microparcels recibió coordenadas cartesianas que la ubicaran y la identificaran en el terreno; ambas coordenadas estuvieron dadas por distancias en metros a ejes cartesianos (X será el ancho y Y el largo de la parcela) que coincidieron con los bordes de la parcela.

La cosecha 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*

Se programó una hoja electrónica utilizando el programa Office Excel (Microsoft Corporation<sup>®</sup>), donde se ingresaron todos los datos correspondientes a la producción de cada unidad básica y se calculó: la variancia y el coeficiente de variación (C.V.) para cada una de las posibles formas y tamaños de unidades experimentales (llamadas también: unidades secundarias) que se obtuvieron por medio de la combinación de las unidades básicas. Se partió de una sola unidad básica hasta llegar a una parcela del tamaño de todas las unidades básicas unidas.

Posteriormente, en un sistema cartesiano, los distintos tamaños de parcela se colocaron en el eje X, mientras que Y fue el eje para los coeficientes de variación; el conjunto de puntos XY generó una dispersión a la que se le ajustó una curva que relaciona tamaño de parcela con variación (Mamani, 1971). Cabe mencionar que se utilizaron únicamente las combinaciones que resultaban en tamaños de parcela que se ajustaran exactamente al área total de 400 m<sup>2</sup>, es decir, que la multiplicación del número posible de unidades secundarias por su respectivo tamaño debe ser igual al área total, ya que la metodología así lo establece (Gómez y Gómez, 1984).

Para poder cuantificar la heterogeneidad del suelo, se utilizó el método que Smith (1938) propuso; este se basa en la relación empírica entre el tamaño de unidad experimental y la variancia para la variable rendimiento (g) asociada a cada tamaño, expresada por la siguiente ecuación:

$$\log V(x) = \log V_1 - b \log X \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

$V_x$ = variancia del rendimiento entre unidades secundarias de “x” unidades.

$V_1$ = variancia del rendimiento entre parcelas unitarias.

X= área de las parcelas secundarias en los diferentes arreglos.

b= coeficiente de heterogeneidad del suelo

El coeficiente b mide el grado de relación entre el tamaño de unidades experimentales y sus variancias (Mamani 1971); este coeficiente es conocido como índice de heterogeneidad del suelo o índice de Smith (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982) y cuyo valor brinda una medida cuantitativa de cuan variable es el suelo en un área determinada (Gómez y Gómez, 1984).

### *Resultados*

#### *Coefficiente de variación*

Los coeficientes de variación provenientes de la variable producción en gramos que corresponde a cada tamaño de unidad experimental, conformado por la agrupación de unidades básicas, se presentan en el cuadro 1, en el cual se observa que el mayor coeficiente de variación fue el correspondiente a un tamaño de unidad experimental de 1 m<sup>2</sup> que es el menor tamaño posible, mientras que el menor coeficiente de variación estuvo asociado a un tamaño de unidad secundaria de 200 m<sup>2</sup> que es el mayor tamaño que se puede obtener capaz de generar una medida de variabilidad para este ensayo de uniformidad. Se nota que conforme aumenta el tamaño de unidad experimental disminuye el promedio del coeficiente de variación, sin embargo, esta disminución del coeficiente de variación se hace cada vez más pequeña conforme aumenta el tamaño de la unidad experimental.

Cuadro 1 Variancias y coeficiente de variación para cada una de las posibles formas y tamaños de unidades secundarias, correspondientes al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

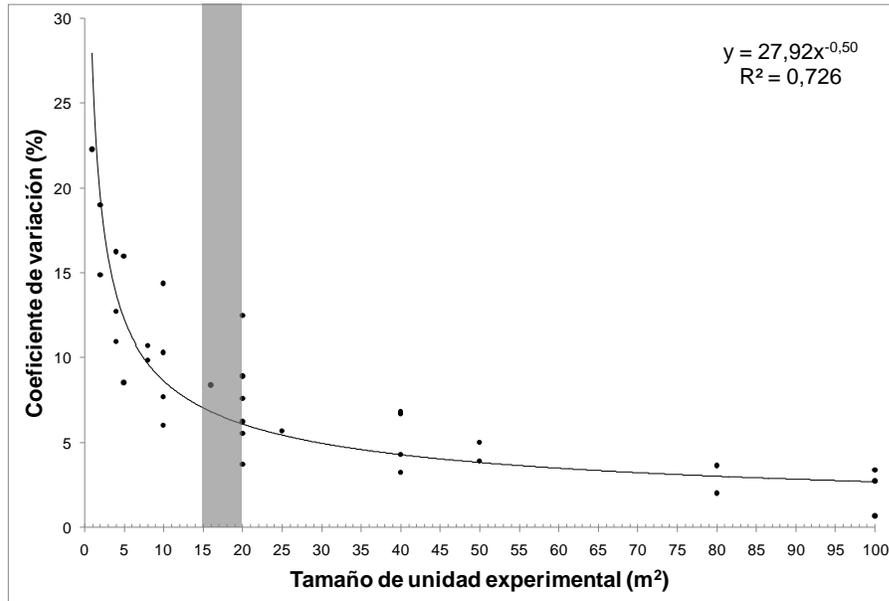
Coord. 1	Coord. 2	Unidades Básicas	Combinaciones	Variancia Unidades Secundarias	C.V.
1	1	1	400	9156,55	22,27
1	2	2	200	16353,83	14,88
2	1	2	200	26626,31	18,99
2	2	4	100	47696,49	12,71
4	1	4	100	77798,56	16,23
1	4	4	100	35311,93	10,93
5	5	5	80	33468,14	8,52
5	1	5	80	117801,31	15,98
2	4	8	50	113845,59	9,82
4	2	8	50	135032,53	10,69
5	2	10	40	195158,11	10,28
2	5	10	40	108533,50	7,67
10	1	10	40	381202,42	14,37
1	10	10	40	66603,65	6,01
4	4	16	25	331371,49	8,37
10	2	20	20	585081,94	8,9
2	10	20	20	224219,62	5,51
5	4	20	20	424643,20	7,58
4	5	20	20	284942,15	6,21
20	1	20	20	1147550,99	12,47
1	20	20	20	100603,20	3,69
5	5	25	16	371433,87	5,67
10	4	40	10	1309772,62	6,66
4	10	40	10	539091,73	4,27
20	2	40	10	1356236,62	6,78
2	20	40	10	304890,84	3,21
10	5	50	8	1153318,86	5
5	10	50	8	700172,57	3,9
4	20	80	5	466584,80	1,99
20	4	80	5	1553958,80	3,63
10	10	100	4	2076226,67	3,35
20	5	100	4	1362872,00	2,72
5	20	100	4	77184,00	0,65
20	10	200	2	1008200,00	1,17
10	20	200	2	139392,00	0,43

Elaboración propia

*Método de curvatura máxima para la variable rendimiento (g)*

Con los datos que se muestran en el cuadro 1 se construyó un gráfico de dispersión (figura1) donde los puntos colocados en la abscisa fueron los correspondientes al tamaño de unidad experimental, mientras que los puntos colocados en la ordenada fueron los correspondientes a los coeficientes de variación para cada tamaño.

Figura 1 Tamaño adecuado de parcela, determinado por el método de curvatura máxima, correspondiente al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012



Elaboración propia

El gráfico resultante es una curva que cae abruptamente al principio y luego se convierte en una línea casi paralela al eje de las X, lo que es un resultado típico de los ensayos de uniformidad utilizados para determinar un tamaño óptimo de unidad experimental (Álvarez et al. 1986). A este método se le denomina curvatura máxima y ha sido utilizado en diversos cultivos para estimar el tamaño óptimo de unidad experimental (Kavitha, 2010). Se utilizó una línea de mejor ajuste de tipo potencial, ya que es la línea de tendencia que mejor se ajusta al conjunto de datos, con un  $R^2$  de 72,6%, lo que quiere decir que el tamaño de parcela explica en un 72,6% la variabilidad en el coeficiente de variación; además, es la que se presenta con mayor frecuencia en este tipo de ensayos (Kavitha, 2010).

En la figura 1, se observa que en el ámbito de 15 m<sup>2</sup> a 20 m<sup>2</sup>, se encuentra la región donde la curva deja de caer abruptamente y adquiere un comportamiento casi constante.

Según lo establece la metodología, el punto de la curva (figura 1), donde un aumento de unidad experimental no genera un cambio significativo en el coeficiente de variación, es donde se encuentra el tamaño óptimo de unidad experimental y se establece por inspección visual de la curva (Mamani 1971; Álvarez et al. 1986; Ferreira et al. 2009). Sin embargo, varios autores señalan que éste método posee una gran desventaja, ya que establecer el punto de curvatura máxima mediante

inspección visual puede generar cierto grado de error debido a subjetividad y además, va a depender en alto grado de la escala del gráfico que se examine (Mamani, 1971; Ferreira et al. 2009).

Para realizar una selección más objetiva del tamaño de unidad experimental se decidió introducir una modificación al método original de curvatura máxima; dicha modificación consiste en utilizar la prueba de F para seleccionar aquel punto en donde el incremento en el tamaño de parcela no signifique un decrecimiento significativo en la disminución de la variabilidad.

Previo a las pruebas de F, las variancias de las diferentes formas para un mismo tamaño de unidad experimental se promediaron para así obtener un sólo valor de variancia asociado a cada tamaño, independientemente de su forma. La prueba de F consistió en comparar las variancias de parcelas de diferente tamaño y seguidas en la secuencia definida en el cuadro 2. Sí se dividen dos variancias y su resultado es uno o un valor cercano a uno es porque estas son similares; conforme se obtengan resultados alejados de uno es porque una variancia es más grande que la otra, de este modo se obtuvo un valor F (correspondiente a la división de variancias) y se calculó la probabilidad (“p”) de dicho valor.

Cuadro 2 Variancias asociadas a cada tamaño de unidad básica, comparación entre variancias de tamaño distinto, su valor F y su respectiva probabilidad, correspondientes al ensayo de uniformidad.

Bagaces, Guanacaste. 2012

Tamaño de unidad experimental (m <sup>2</sup> )	Variancia asociada a cada tamaño	Comparación de variancias entre tamaños consecutivos	Valor de F entre variancias de tamaños consecutivos	Probabilidad (F)	Significancia
1	9156,55				
2	21490,07	1 vs 2	2,35	2,4E-17	*
4	53602,33	2 vs 4	2,49	1,2E-17	*
5	75634,72	4 vs 5	1,41	0,00583	*
8	124439,06	5 vs 8	1,65	0,00266	*
10	187874,42	8 vs 10	1,51	0,01392	*
16	331371,49	10 vs 16	1,76	0,01984	*
20	461173,52	16 vs 20	1,39	0,17633	ns
25	371433,87	20 vs 25	1,24	0,33041	ns
40	877497,96	25 vs 40	2,36	0,05332	ns
50	926745,71	40 vs 50	1,06	0,42564	ns
80	1010271,80	50 vs 80	1,09	0,42360	ns
100	1172094,22	80 vs 100	1,16	0,42235	ns
200	573796,00	100 vs 200	2,04	0,17842	ns

Elaboración propia

\* significativo, ns = no significativo

La regla de decisión que se estableció para esta prueba fue la del valor “p”, que es la probabilidad correspondiente al resultado de la división de las variancias. Las hipótesis para esta prueba fueron:

$$H_0: Var_1 = Var_2 \quad \text{Ec. 2}$$

$$H_A: Var_1 \neq Var_2 \quad \text{Ec. 3}$$

Así, si el valor “*p*” es mayor a 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y se rechaza la alternativa, entonces se concluye que ambas variancias son estadísticamente iguales; pero si el valor “*p*” es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula, de manera que se acepta que existe diferencia estadística entre ambas variancias.

En el cuadro 2 se encuentra la variancia asociada a cada tamaño de unidad experimental, la comparación de variancias de tamaños consecutivos con sus respectivos valores de F, así como su probabilidad correspondiente; se puede observar que todas las comparaciones antes de la comparación de la unidad experimental de 16 m<sup>2</sup> con la de 20 m<sup>2</sup> tienen una probabilidad menor a 0,05 y que las comparaciones siguientes a la comparación de 20 m<sup>2</sup> con la de 25 m<sup>2</sup> tienen una probabilidad mayor a 0,05.

Según la regla de decisión establecida, las comparaciones donde la probabilidad fue menor de 0,05 son significativas, lo que quiere decir que las variancias en comparación son distintas entre sí, entonces aumentar el tamaño de parcela sí tiene un efecto significativo sobre las variancias; mientras que las comparaciones donde la probabilidad fue mayor a 0,05 no son significativas y se concluye que las variancias en comparación son similares, por lo que aumentar el tamaño de unidad experimental no tiene efecto estadístico sobre las variancias. Estos resultados demuestran que un aumento de tamaño de unidad experimental después de los 16 m<sup>2</sup> no tiene efecto significativo sobre las variancias; 16 m<sup>2</sup> viene a ser el punto de curvatura máxima definido por medio de métodos estadísticos objetivos.

#### *Precisión deseada*

Otra manera de establecer un tamaño adecuado de unidad experimental se basa en la precisión deseada por el investigador, o sea: qué tanto error se está dispuesto a aceptar en los resultados de un ensayo (Álvarez et al. 1986), así pues, el investigador puede seleccionar el tamaño de unidad experimental en función del coeficiente de variación (Barrientos 1981). En ensayos de arroz lo ideal es que los resultados obtenidos no sobrepasen 8% en el coeficiente de variación.<sup>3</sup>

Según esta premisa y los coeficientes de variación para la variable producción que se observan en el cuadro 1, la media armónica para el tamaño de unidad experimental de 20 m<sup>2</sup> generó un coeficiente de variación de 6,40%, valor menor a lo deseable en ensayos de arroz –que es 8%- y

---

<sup>3</sup>Salas, R. 2012. Centro de Investigación Agronómica. (comunicación personal). San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

que se encuentra dentro del ámbito del tamaño adecuado de unidad experimental dado por el método de curvatura máxima

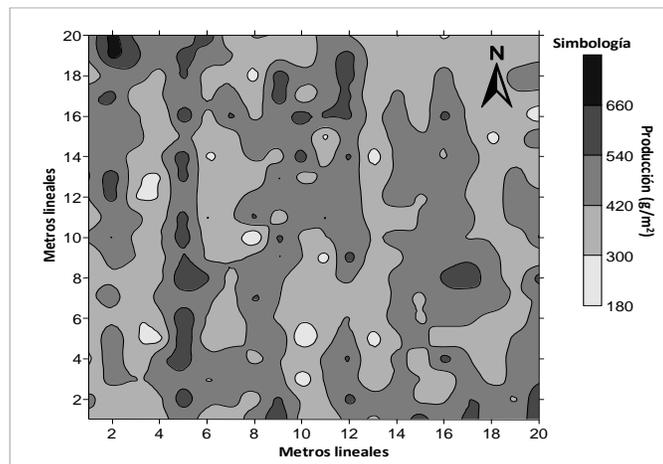
### *Heterogeneidad del suelo*

En el trópico, a diferencia de otras latitudes, uno de los principales problemas que se presenta en experimentación agrícola es la heterogeneidad del suelo, este es muy variable en espacios de terreno relativamente pequeños. Esta variabilidad es un problema común para los investigadores agrícolas, lo que obliga al experimentador a buscar un tamaño adecuado de unidad experimental que logre encerrar toda la variabilidad presente en el suelo, de manera que la única variabilidad que se exprese entre parcelas sea producto de los tratamientos que se aplican (Asif y Anver, 2003).

Gómez y Gómez (1984) señalan que la caracterización adecuada de la heterogeneidad del suelo en el sitio experimental es una buena guía para la escogencia de un tamaño adecuado de unidad experimental. Por la naturaleza del ensayo de uniformidad todas las fuentes de variación a excepción de la variación del suelo se mantienen constantes, por lo que es esta heterogeneidad del suelo la que explica la variación de la producción de una unidad básica a otra, a mayor variabilidad en la producción entre unidades básicas mayor variabilidad del suelo y viceversa, lo que provee una idea de la heterogeneidad del suelo en el sitio del experimento, factor que está directamente relacionado con la definición de un tamaño adecuado de unidad experimental (Gómez y Gómez 1984; Machado et al. s.f.).

Con el programa de cómputo Golden Software Surfer<sup>®</sup> se construyó un mapa de contorno (figura 2) para lo que se utilizó la variable producción en gramos.

Figura 2 Mapa de contorno para la variable producción en gramos, correspondiente al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012



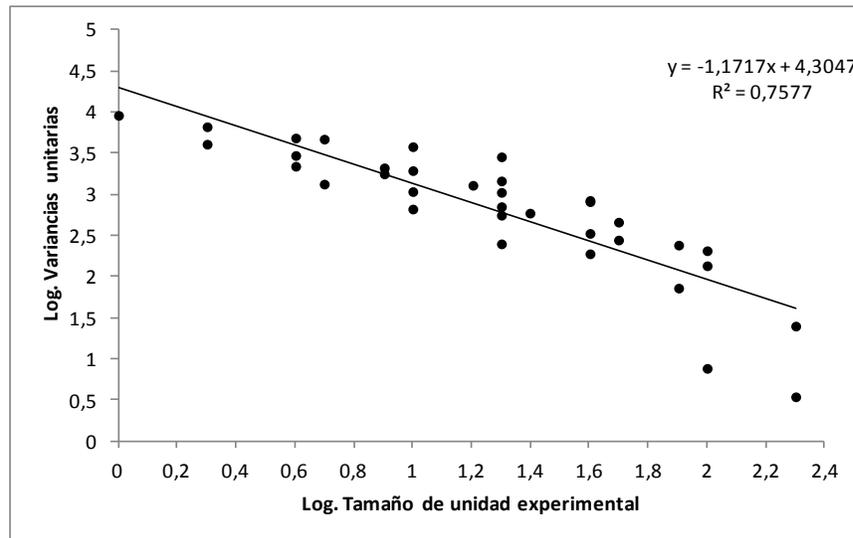
Elaboración propia

En la figura 2 se observa como varió la producción dentro del sitio del ensayo, donde los colores más claros están asociados a producciones menores y los más oscuros a producciones mayores. Esta variabilidad en la producción se relacionó con una variabilidad en el suelo del sitio experimental.

*Índice de Smith para medir la heterogeneidad del suelo.*

El mapa de contorno si bien proporciona una idea de la variabilidad del sitio no provee de un valor con el cual se pueda cuantificar dicha variabilidad. Por lo que se calculó el índice de Smith. La regresión entre los logaritmos de los tamaños de parcela contra los logaritmos de las variancias unitarias derivó en el siguiente gráfico (figura 3).

Figura 3. Regresión entre el logaritmo de los tamaños de unidad experimental y el logaritmo de las variancias unitarias correspondiente al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012



Elaboración propia

Según el método propuesto por Smith (1938), la pendiente de la ecuación de la recta (“b”) correspondiente al gráfico anterior (figura 3) es el índice de Smith para la heterogeneidad del suelo (Barrientos 1981), para este caso dicho valor fue de: -1,17. El valor de la pendiente en este tipo de relaciones inversas, siempre va a tomar valores negativos, sin embargo, el signo es una indicación de la dirección de la regresión entre las variables relacionadas y el valor de la pendiente indica la intensidad de esta relación (Moya, 2009). El índice de Smith para su correcta interpretación debe tomar valores entre 0 y 1 porque omite el signo y toma en cuenta únicamente el valor absoluto de la correlación (Barrientos, 1981; Mayor et al. 2012).

En este caso, el índice de Smith sobrepasa la unidad, para estas situaciones-donde el índice de Smith es mayor a uno- Federer (1963) mencionado por Mayor et al. (2012), recomienda estimar el coeficiente de heterogeneidad del suelo de manera que se ponderen los logaritmos de las variancias unitarias por sus respectivos grados de libertad. Para calcular el coeficiente de heterogeneidad del suelo ponderado se utilizó la siguiente ecuación:

$$b = \frac{\sum(W_i Q_i P_i) - \left[ \sum(W_i Q_i) * \frac{\sum(W_i P_i)}{\sum W_i} \right]}{\sum W_i P_i^2 - \left[ \frac{\sum(W_i P_i)^2}{\sum W_i} \right]} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$Q_i$ = logaritmo de la varianza unitaria

$P_i$ = logaritmo del tamaño de unidad experimental

$W_i$ = grados de libertad correspondientes a cada varianza (número de parcelas de tamaño  $X_i-1$ )

Como se mencionó anteriormente, el índice de Smith puede tomar valores entre 0 y 1 donde valores cercanos a 0 indican que el suelo es homogéneo, mientras que valores cercanos a 1 indican suelos heterogéneos; mayoritariamente los valores de este índice se encuentran en un ámbito de 0,20 y 0,90 (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982; Gomez y Gomez, 1984). Una vez aplicada la fórmula (Ec. 4) se obtuvo que el valor ponderado correspondiente al índice de Smith es de 0,83, lo que indica que el suelo donde se ejecutó el experimento es heterogéneo y respalda la variabilidad que muestra el mapa de contorno (figura 2).

### *Discusión*

#### *Tamaño adecuado*

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 necesarios según sea el ensayo. Según la figura 1, el tamaño adecuado de unidad experimental se encuentra en el ámbito de 15 m<sup>2</sup> a 20 m<sup>2</sup>. Por medio de las pruebas F que se hicieron con las variancias de las unidades experimentales de diferente tamaño se encontró que no existe diferencia significativa entre las variancias de las unidades experimentales por encima del tamaño de 16 m<sup>2</sup>. Por su parte, el método de precisión deseada arrojó un tamaño de 20 m<sup>2</sup>, reafirmando los resultados obtenidos con la curvatura máxima.

El tamaño de 16 m<sup>2</sup> posee un coeficiente de variación de 8,37% cercano al de 8% deseado para ensayos en arroz, sin embargo, por la importancia de los ensayos en este cultivo, donde se requiere alta confiabilidad, es por lo que para efectos de este trabajo se prefiere definir como tamaño óptimo de unidad experimental una parcela de 20 m<sup>2</sup>, tamaño cuya variancia, en comparación con la de 16 m<sup>2</sup> presenta la primera F no significativa en la secuencia de pruebas de F; además, es un valor que está dentro del ámbito obtenido mediante el método de curvatura máxima y también cumple con los requisitos de precisión.

Sin embargo, el tamaño de 16 m<sup>2</sup> no se puede descartar para ser usado en otras condiciones. Las dimensiones de unidad experimental están condicionadas en gran medida por la heterogeneidad del suelo (Bueso, 1985), al ser esta cuantificable mediante el índice de Smith, es posible realizar comparaciones entre diferentes áreas experimentales (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982), así pues, en un sitio experimental donde el suelo sea más uniforme que en donde se efectuó este trabajo se podría utilizar un tamaño de unidad experimental de 16 m<sup>2</sup> o si por el contrario se está trabajando en un suelo con mayor grado de heterogeneidad o se quiere trabajar con mayor grado de precisión se puede hacer uso de una unidad experimental de 25 m<sup>2</sup>, ya que aunque el punto de curvatura máxima de la curva arroje un tamaño menor, es permisible seleccionar tamaños cercanos al óptimo según las condiciones bajo las que se trabaje (Barrientos, 1981).

#### *Aumento en la precisión y ahorro de recursos*

Aunque el sitio donde se realizó este ensayo blanco es bastante heterogéneo, tal y como lo demuestra la figura 2 y el índice de Smith calculado (0,83), si se utiliza un tamaño de unidad experimental de 20m<sup>2</sup> se puede abarcar toda la variabilidad del suelo, lo que contribuye con la precisión y la confiabilidad del ensayo sin necesidad de utilizar tamaños superiores. Entonces, al utilizar un tamaño de unidad experimental de 20 m<sup>2</sup> existe una disminución potencial de, al menos, 10 m<sup>2</sup> por unidad experimental con respecto a los tamaños de parcela útil que se utilizan tradicionalmente (30m<sup>2</sup>). Esta disminución es un tercio del área experimental en cualquier trabajo que se realice, lo que quiere decir que habría una reducción de un tercio de todos los costos involucrados en un ensayo.

En los diferentes tipos de ensayos que se realizan en arroz, donde se puede evaluar materiales promisorios, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, insecticidas o cualquier otra practica de manejo, uno de los recursos más costosos que se utiliza es la semilla, que inclusive, en algunas ocasiones es un recurso limitante, debido a su baja disponibilidad, por lo que un uso eficiente de este insumo es necesario. Además, al hacer uso de una parcela de tamaño mayor al necesario se va a incurrir en un gasto mayor del insumo que se evalúa, de otros insumos que se deben emplear y de

la mano de obra; lo que eleva los costos de experimentación, que de por sí ya son elevados (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982).

Este ahorro de recursos que deriva de una disminución en el tamaño de unidad experimental podría traer repercusiones importantes en todo el proceso de investigación. Un aumento en la precisión no solo se lograría debido a la utilización de un tamaño adecuado de parcela, sino también que al existir un ahorro importante de recursos las compañías o empresas que realizan investigación en arroz podrían utilizar estos recursos extra para aumentar el número de repeticiones de la prueba de interés, lo que daría mayor confiabilidad a los resultados obtenidos, Mamani (1971) menciona que un aumento en el número de repeticiones tienen un mayor efecto sobre la disminución del error experimental en una prueba crítica que aumentar el tamaño de parcela. También las empresas podrían destinar los recursos que se estarían ahorrando para desarrollar más proyectos de investigación, lo que redundaría en un mayor crecimiento de tecnología y conocimientos disponibles para el técnico y el agricultor.

#### *Alcances de la investigación*

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 recurriendo a un criterio personal (Álvarez et al. 1986), sin embargo, Barrientos (1981) y Oliveira et al. (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 sí 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.

Chacin (1977), señala que otro criterio muy empleado para determinar un tamaño de unidad experimental es la revisión de literatura extranjera, no obstante, esto tiene el inconveniente de 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. 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; cuyos resultados podrían ser extrapolables a otras zonas arroceras del país siempre y cuando se posea información adecuada de la heterogeneidad del suelo del sitio; así pues, 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 arroceras

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.

### Conclusiones

Con base en los objetivos planteados y luego de haber discutido los principales resultados se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Existe una relación inversa entre el coeficiente de variación y el tamaño de parcela, donde se muestra que al aumentar uno disminuye el otro hasta llegar a un punto de equilibrio, donde el aumento del tamaño de parcela no genera una disminución significativa en el coeficiente de variación.
2. Según el método de curvatura máxima el tamaño adecuado de unidad experimental para ensayos de arroz en la zona de Bagaces, Guanacaste se encuentra entre los 15 m<sup>2</sup> y los 20 m<sup>2</sup>.
3. Se considera que la modificación introducida de realizar pruebas de F para la estimación del punto de curvatura máxima agrega objetividad procedimental al método.
4. El índice de Smith ponderado fue de 0,83 lo que indica que el suelo donde se realizó el ensayo blanco es heterogéneo.
5. Según los resultados de este trabajo se puede reducir la unidad experimental de 30 m<sup>2</sup> - 50 m<sup>2</sup> de parcela útil que generalmente se utiliza para ensayos de arroz en Costa Rica.

### Bibliografía citada

- 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, M.; Anver, M. (2003). Variability in fields experiments in maize crop in Pakistan. **Pakistan Journal of Agriculture Science**, 40(3-4), 207-2.
- Barrientos, M. (1981). "Evaluación de 4 métodos para la determinación de tamaño y forma óptimos de parcela para experimentación agrícola". Tesis Licenciatura. San Carlos, Guatemala. Universidad de San Carlos. 79 p.
- Box, G.; Stuart, J.; Hunter, W. (2008). **Estadística para investigadores: diseño, innovación y descubrimiento**. Editorial Reverté, Barcelona, España. 639 p.
- Bueso, M. (1985). "Determinación del tamaño óptimo de parcela experimental en melón (*Cucumis melo*) para el departamento de Chiquimula, y en tomate (*Lycopersicon esculentum*) para el

- valle de La Fragua, Zacapa”. Tesis Licenciatura. San Carlos, Guatemala. Universidad de San Carlos. 33 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. (1982). La heterogeneidad del suelo y los ensayos de uniformidad: guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. CIAT, Colombia. 24 p.
- Chandler, R. (1984). **Arroz en los trópicos: guía para el desarrollo de programas nacionales**. IICA, Costa Rica. 304 p.
- Custódio Silva da, W. (2010). Comparacao de métodos para estimar o tamaño ótimo de parcela em bananeira. Tesis Mag.Sc. Vicosa, Brazil. Universidad Federal de Vicosa. 37 p.
- Escobar, C. 1981. Estimación del tamaño ótimo de parcela experimental para ensayos de rendimiento con maíz. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, (34)1, 31-36.
- FAO. (2012). Seguimiento del mercado del arroz. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/015/an891s/an891s00.pdf>
- Ferreira, P.; Furtado, D.; Ramalho, A. (2009). Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposicao de metodos de estimacao. **Revista Brasileira de Biometría**, 27(2), 255-268.
- Franquet, JM. (2004). **Variedades y mejoras del arroz** (Oryza sativa, L.). Universidad Internacional de Cataluña, España. 463 p.
- Gomez, K.; Gomez, A. (1984). **Statistical procedures for agricultural research**. 2da ed. John Wiley & Sons, Philippines. 680 p.
- INTA. (2008). **Manual de recomendaciones técnicas: Cultivo de arroz** (Oryza sativa). INTA, Costa Rica. 78 p.
- 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 p.
- Mamani, L. (1971). Determinación del tamaño, forma y repetición de la parcela para ensayos de rendimientos en frijol (Phaseolus vulagirs L.). Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R.CATIE.83 p.
- Machado, F.; Cabezas, M.; Bustio, S. s.f. El ensayo blanco y la precisión experimental. Disponible en:

- Martínez, C.; Tohme, J.; López, J.; McCouch, S.; Roca, W.; Chatel, M.; Guimaraes, E. (1998). Estado actual del mejoramiento del arroz mediante la utilización de especies silvestres de arroz en CIAT. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), 10- 17.
- Mayor, V.; Blair, M.; Muñoz, J. (2012). Metodología para estimar el coeficiente de heterogeneidad del suelo, el número de repeticiones y el tamaño de parcela en investigaciones con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Agronómica*, 61(1), 32-39.
- Moya, L. (2009). **Introducción a la estadística de la salud**. Editorial UCR, Costa Rica. 615 p.
- Oliveira, Sérgio de.; Storck, L.; Lopes, S.; Lúcio, A.; Feijó, S.; Damo, H. (2005). Plot size and experimental unit relationship in exploratory experiments. *Scientia Agricola*, 62(6), 585-589.
- Rosselló, J.M.; Fernández, M. (1986). **Guía técnica para ensayos de variedades de campo**. FAO. 144 p.
- 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.
- Santos, D.; Machado, F.; Dal'Col, A.; Storck, L.; Cargnelutti Filho. (2012). Plot size for the green beans crop. *Revista Ciencia Agronómica*, 43(1), 119-128.
- Smith, F. (1938). An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journal of Agriculture Science*, 28, 1-23.