

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

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA
AGRONÓMICA CON ÉNFASIS EN FITOTECNIA

ESCUELA DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

2013

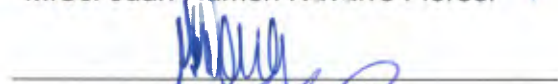
Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*Oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste

Jorge Claudio Vargas Rojas


TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERIA AGRONOMICA
CON ENFASIS EN FITOTECTIA


M.Sc. Juan Ramón Navarro Flores.

DIRECTOR DE TESIS.


M.Sc. María Isabel González Lutz.

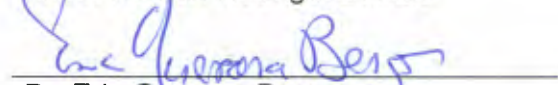
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.


Ph.D. Rafael Salas Camacho.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL.


M.Sc. Hernán Rodríguez Arias

MIEMBRO DEL TRIBUNAL.


Dr. Eric Guevara Berger

DIRECTOR DE ESCUELA


Jorge Claudio Vargas Rojas

SUSTENTANTE.

2013

Índice

Índice	3
Agradecimientos	5
Resumen.....	6
Introducción	7
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos	11
Revisión de literatura	12
Materiales y métodos.....	18
Generalidades.....	18
Labores de campo.....	19
Análisis de datos.....	20
Método de curvatura máxima	20
Mapa de contorno.....	24
Índice de heterogeneidad del suelo.....	24
Coeficiente de variación	27
Método de curvatura máxima para la variable rendimiento (g).....	29
Pruebas de F.....	30
Precisión deseada	33
Heterogeneidad del suelo	34
Índice de Smith para medir la heterogeneidad del suelo.....	36

Discusión.....40

 Tamaño adecuado.....40

 Aumento en la precisión y ahorro de recursos41

 Alcances de la investigación.....43

 Consideraciones finales44

Conclusiones.....45

Recomendaciones.....46

Bibliografía citada47

Anexos.....53

Agradecimientos

Primero que nada quiero agradecer a mi abuelo por ser mi guía y mi ejemplo desde niño, sin él probablemente no estaría donde estoy.

Debo agradecer de manera profunda al profesor Juan Ramón Navarro por aceptar ser el director de esta tesis que tantos conocimientos me dejó; a los profesores Rafael Salas y María Isabel González por sus aportes tan valiosos a este trabajo; también a la hacienda Mujica y especialmente a Don Hernán Rodríguez por toda la colaboración brindada, a mis hermanos, primos y a todas las personas que me colaboraron en las labores de campo.

De igual manera agradecer a todos mis amigos que me acompañaron durante los años de universidad y a mi novia Tatiana por todo el apoyo que me brindó.

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. Para esto se sembró un ensayo de uniformidad; los datos obtenidos por este medio fueron utilizados para aplicar el método de curvatura máxima, que es el método que se utiliza con mayor frecuencia para definir el tamaño de unidad experimental en diversos cultivos. 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 m² y 20 m². 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 m² no obstante, por razones de confiabilidad se estableció como tamaño adecuado de unidad experimental 20 m², sin embargo, se podría hacer uso de tamaños cercanos a este valor según sean las condiciones del sitio experimental. Se estimó además el coeficiente de heterogeneidad del suelo, mediante la aplicación del método que Fairfield Smith propuso en 1938; se obtuvo un valor de 0,83, lo que indica que el suelo en el área experimental utilizada para este trabajo se puede clasificar como heterogéneo (el ámbito para esta medida es de 0 a 1 donde 0 indica total homogeneidad y 1 total heterogeneidad). También se elaboró un mapa de contorno del sitio, para esto se utilizó la variable producción correspondiente a cada unidad básica del ensayo de uniformidad.

Introducción

El arroz es el principal alimento para gran parte de la población mundial, algunas proyecciones estiman que para el año 2025 esta población 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; Custódio da Silva 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 (Alvarez et al. 1986).

Un 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, 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 (parcelas secundarias) se les cuantifica el rendimiento correspondiente mediante la adición de los rendimientos de las unidades básicas. Una determinada agrupación de unidades básicas produce una cantidad de parcelas secundarias que se ajustan al área total del ensayo blanco, con el rendimiento de las unidades secundarias para un tamaño determinado se calcula el error probable, el error típico o el coeficiente de variación, uno de ellos será el insumo fundamental del método de curvatura máxima (Rosselló y Fernández 1986; Kavitha 2010).

El método de curvatura máxima asocia en un grafico 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 por inspección visual el punto de curvatura máxima 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 (Gomez y Gomez 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 (textura, estructura, capacidad de retención de humedad, etc.); químicos (pH, contenido de materia orgánica, contenido de fósforo, potasio, calcio, etc.); o biológicos (microflora, microfauna, etc.), algunos ligados a procesos de génesis del suelo mientras que otros derivados de las prácticas de manejo agronómico 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 (Centro Internacional de Agricultura Tropical 1982; Box et al. 2008)”.¹

Todos estos factores que originan heterogeneidad en los suelos se expresan a través de una serie de indicadores agronómicos, que en ocasiones podrían ser observados a simple vista, por ejemplo cambios en el color del suelo, cambios en el tipo de vegetación y por cambios en el crecimiento del cultivo, sin embargo, en la mayoría de las ocasiones la heterogeneidad del suelo se pone de manifiesto por cambios en la producción del cultivo (Centro Internacional de Agricultura Tropical 1982).

¹ Definición de heterogeneidad del suelo utilizada para este trabajo

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

La variabilidad del suelo es el factor que más influencia tiene sobre el error experimental, pero si se conoce su magnitud se puede seleccionar un tamaño de parcela que permita reducirlo y así tener un mayor grado de confiabilidad en los resultados de investigación que se obtengan (Mayor et al. 2012).

Objetivo general

Determinar un tamaño adecuado de parcela para ensayos en arroz en la zona de Bagaces, Guanacaste.

Objetivos específicos

- a) Establecer una parcela experimental de arroz bajo el formato de ensayo de uniformidad o ensayo blanco.
- b) Cuantificar la producción de cada una de las unidades básicas del ensayo blanco.
- c) Calcular el tamaño adecuado de parcela utilizando la técnica de curvatura máxima.
- d) Generar un mapa de heterogeneidad del suelo utilizando la variable producción.
- e) Calcular el Índice de heterogeneidad de Smith.

Revisión de literatura

La unidad experimental (parcela) es el área en la que se lleva a cabo la asignación aleatoria de los tratamientos en una prueba crítica; es decir, no es exclusivamente el área que se cosecha sino que también incluye toda el área que recibe un determinado tratamiento (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 1981).

Idealmente, las unidades experimentales deberían ser homogéneas, de modo que la diferencia que se produzca luego de adicionarles distintos tratamientos pueda ser atribuible exclusivamente a estos. Sin embargo, conseguir una unidad experimental totalmente homogénea cuando se realiza ensayos en el campo resulta sumamente difícil, por lo que si se desea que los resultados obtenidos sean confiables y realmente reflejen los efectos de los tratamientos, se debe aplicar técnicas experimentales adecuadas, como utilizar un tamaño adecuado de unidad experimental (Párraga y Chacín 2000).

La bibliografía especializada señala dos razones de primordial importancia para justificar la necesidad de estimar un tamaño óptimo de unidad experimental (Rodríguez et al. 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. Por ejemplo, en ensayos donde se va a probar variedades nuevas, es frecuente el problema de la poca disponibilidad de semilla (Rosselló y Fernández 1986), por lo que la definición del tamaño óptimo de unidad experimental es de suma importancia para hacer un uso racional de este insumo.

Como se apuntó, la primera razón para buscar un tamaño óptimo de unidad experimental es porque el tamaño de la misma puede tener un efecto considerable sobre la magnitud de la variabilidad de los datos no atribuible a causas conocidas (Box et al. 2008), esto es el error experimental en un ensayo de campo; lo que comúnmente se conoce como la variabilidad natural de un sitio sumada a la variabilidad genética del material y que si no se controla o se cuantifica podría distorsionar la estimación del verdadero efecto de los tratamientos, lo que afectaría las conclusiones del trabajo (Barrientos 1981).

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 óptimo de unidad experimental (Vallejo y Mendoza 1992).

Vallejo y Mendoza (1992), interesados en la eficiencia de un diseño de campo para estimar efectos de tratamientos en un cultivo como el camote, encontraron que se puede llegar a tener coeficientes de variación (esto es: error experimental) muy elevados. Dentro de las principales fuentes que afectan la magnitud del error experimental están: las condiciones ambientales, variación propia del cultivo, utilización de parcelas de tamaño inadecuado en el campo, utilización de técnicas experimentales inadecuadas y la heterogeneidad del suelo (Oliveira et al. 2005; Bisognin et al. 2006). Según Harris (1920) citado por Kavitha (2010), la heterogeneidad del suelo es la fuente que más contribuye al error experimental de un ensayo a nivel de campo.

Por lo tanto, es claro el beneficio de tratar de controlar el efecto de factores como la heterogeneidad del suelo, la variabilidad genética y las distintas formas de cultivo, con el fin de aumentar la confiabilidad del ensayo. Se ha realizado varias investigaciones relacionadas con las fuentes de error experimental y la aplicación de técnicas para disminuir ese error (Homrich et al. 2010), donde se menciona que el recurso más práctico y accesible para este fin es el tamaño de la parcela que recibirá el tratamiento, puesto que adecuando su tamaño se logra acopiar la variabilidad, bien sea esta inducida por heterogeneidad del suelo, por variabilidad intrínseca del material genético o por las características del entorno del cultivo; en cualquier caso, las parcelas adecuadamente seleccionadas serán homogéneas en el tanto que cada una de ellas contenga la mayoría de las variantes locales del cultivo por lo que las diferencias significativas encontradas se pueden entonces atribuir al efecto de los tratamientos (Rodríguez et al. 1993; Weinhold et al. 2000; Oliveira et al. 2005; Kavitha 2010; Santos et al. 2012).

Cuando se va a realizar un ensayo de cualquier tipo, el tamaño adecuado de unidad experimental ha sido siempre un tema muy discutido entre los investigadores, algunos se inclinan por parcelas grandes mientras que otros por parcelas pequeñas (Calero 1965); lo que es cierto es que en el establecimiento de cualquier tipo de ensayo el investigador debe definir adecuadamente el tamaño de unidad experimental o parcela en busca de aumentar la eficiencia del experimento, mediante la reducción del error experimental (Ferreira et al. 2009).

A través de la historia se ha realizado un gran número de pesquisas en varios cultivos y en varios países con el propósito de determinar un tamaño adecuado de unidad experimental (Pemejyantha y Gunasekara 1982). Las investigaciones para determinar el tamaño de unidad experimental se iniciaron en 1890 con el trabajo de Alwood y Prince: *Sugerencias con respecto al tamaño de la parcela* (citado por Barros y Tavares 1995) donde se indica algunas ideas para la estimación de un tamaño óptimo de parcela, con el propósito principal de reducir el error experimental.

Se considera que a mayor tamaño de la unidad experimental habrá un menor error experimental, lo que aumenta la precisión de la prueba crítica. Sin embargo, esta relación no es lineal; inicialmente, conforme aumenta el tamaño de la parcela se disminuye considerablemente el error experimental hasta un determinado punto, a partir del cual lo que se gana en la precisión es muy poco, por lo que no se justifica el aumento del tamaño de la unidad experimental más allá de este punto. De aquí, la importancia de los diferentes métodos para establecer un tamaño óptimo de parcela (Ferreira et al. 2009). Además, es precisamente de este comportamiento del error

experimental con respecto al tamaño de la parcela que se deriva el método de curvatura máxima, que es el resultado de asociar el coeficiente de variación con el tamaño de unidad experimental (Barrientos 1981).

Uno de los primeros y el más general de los métodos empleados para obtener un tamaño óptimo de unidad experimental es el de curvatura máxima (Barrientos 1981; Rodríguez et al. 1993; Custódio 2010) de muy amplia utilización. Algunos ejemplos son: Weinhold et al. (2000) que lo utilizó en un ensayo con estacas de achiote (*Bixa orellana* L.), autores como Leilah y Al-Barrak (2005) y Sánchez et al. (2006) que lo emplearon en ensayos de trigo y calabaza respectivamente.

Smith (1938) realizó varios ensayos de uniformidad (o ensayos blancos) en trigo y por medio de algunas modificaciones del método de curvatura máxima creó el índice de Smith, el cual cuantifica la heterogeneidad del suelo en un sitio en específico. El método creado, luego de ser verificado por medio de su aplicación en treinta y nueve ensayos ejecutados por el mismo autor, llegó a conocerse como la “Ley de la Variancia de Smith”. El índice de Smith, con algunas variantes, fue ampliamente utilizado por varios autores, tanto para estimación de la heterogeneidad del sitio experimental como para determinar el tamaño óptimo de unidad experimental, por ejemplo, por Lapitan et al. (1979) en caña de azúcar, Pemejayantha y Gunasekara (1982) en papa, Párraga y Chacín (2000) en maíz y Leilah y Al-Barrak (2005) en trigo, entre otros.

Además de los métodos anteriormente mencionados, existen otros; por ejemplo, Mamani (1971) cita el del error probable y el de Hatheway y Williams que básicamente

son variantes del método original de curvatura máxima, mientras que Barrientos (1981) menciona el método de regresión múltiple. Sin embargo, para este trabajo el método que se utilizó para la determinación del tamaño adecuado de unidad experimental será únicamente el de curvatura máxima.

Internacionalmente, se ha realizado ensayos en diferentes cultivos para determinar el tamaño óptimo de unidad experimental mediante el método de curvatura máxima, sin embargo en Costa Rica existen pocos estudios relacionados con este tema, dentro de la bibliografía se encuentra el trabajo de Calero (1965) y el de Mamani (1971), ambos en frijol, y el de Páez (1963) (citado por Rodríguez et al. 1993) para unidades experimentales en café. Sin embargo, para ensayos de arroz no se ha realizado este tipo de estudio en el país.

En Costa Rica, el tamaño de la mayoría de unidades experimentales que se utiliza para diferentes ensayos en arroz se encuentra en el ámbito de 30 m² a 50 m² que se emplean como parcela útil. Empero, estos tamaños de unidad experimental no han sido evaluados desde el punto de vista de eficiencia y confiabilidad como elemento fundamental de un ensayo.²

² Navarro, JR. 2012. CIPROC (comunicación personal). San José, CR. Universidad de Costa Rica.

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 de Bagaces, 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 20 m X 20 m, por lo que la parcela total fue de 400m². 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 intervinieran 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 hicieron 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 85% de germinación.

Labores de campo

Veinte días después de la siembra se diseñó una cuadrícula sobre la parcela; para esto se emplearon estacas de bambú y cuerdas, de modo que se identificarán claramente las 400 microparcels (unidades básicas), de 1 m² cada una (anexo 1). 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. Todas las plantas de arroz procedentes de cada unidad básica se cortaron a nivel de suelo y se colocaron en un saco previamente identificado con el número correspondiente a la unidad básica cosechada, según el sistema de coordenadas cartesianas (anexo 2). Cada uno de los 400 sacos obtenidos fueron aporreados de manera tal que cada

espiga desprendiera todos los granos de arroz (anexo 3), que luego se trasladaron a bolsas de papel, igualmente identificadas. Los granos contenidos en cada bolsa fueron secados al sol (anexo 4), hasta que alcanzaran un promedio de humedad de 13% a 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 ©), donde se introdujeron 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. A todas las formas y tamaños posibles a los cuales se les calculó el coeficiente de variación (C.V) y sus respectivas variancias (ver cuadro 1).

Una vez realizados los cálculos, los coeficientes de variación que se obtuvieron para cada combinación posible de unidades básicas se emplearon para el procedimiento de la curvatura máxima; el método se describe en la siguiente sección.

Método de curvatura máxima

Para aplicar este método la parcela grande de 400 m² se dividió en microparcels, llamadas unidades básicas, cada una de 1 m². Estas unidades básicas

se combinaron en parejas, tríos, cuartetos, etc. de manera que se obtuvieron parcelas de forma y tamaño distinto.

Cuadro 1. Formas y tamaños de unidades secundarias por combinación de unidades básicas, correspondientes al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

Coord. 1	Coord. 2	Unidades Básicas	Combinaciones
1	1	1	400
1	2	2	200
2	1	2	200
2	2	4	100
4	1	4	100
1	4	4	100
1	5	5	80
5	1	5	80
2	4	8	50
4	2	8	50
5	2	10	40
2	5	10	40
10	1	10	40
1	10	10	40
4	4	16	25
10	2	20	20
2	10	20	20
5	4	20	20
4	5	20	20
20	1	20	20
1	20	20	20
5	5	25	16
10	4	40	10
4	10	40	10
20	2	40	10
2	20	40	10
10	5	50	8
5	10	50	8
4	20	80	5
20	4	80	5
10	10	100	4
20	5	100	4
5	20	100	4
20	10	200	2
10	20	200	2

Para el total de unidades secundarias de una combinación particular se calculó un coeficiente de variación. 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^2 , 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 (Gomez y Gomez 1984).

En el cuadro 2 se presenta el número posible de unidades secundarias que se pueden formar si se utiliza un determinado tamaño, incluye todas las combinaciones que se utilizaron en este trabajo.

Todos los tamaños de unidad experimental que aparecen en el cuadro 1, a excepción del tamaño de 9 m^2 y el de 15 m^2 , se ajustan exactamente al área empleada, de manera que la multiplicación de su tamaño por el número posible de unidades experimentales que se pueden conformar resulta en un área de 400 m^2 . Se hicieron 44 unidades secundarias de 9 m^2 y 27 de 15 m^2 para un área total de 396 m^2 en el primer caso y 405 m^2 en el segundo, ninguno de estos casos se ajustó a la regla de que el resultado debe ser el área exacta, razón por la cual estos tamaños no fueron utilizados.

Todos los tamaños de unidad experimental que presentaron ese comportamiento no se utilizaron.

Cuadro 2. Número posible de unidades experimental que se pueden conformar según su tamaño, correspondientes al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

Tamaño de unidad experimental (m ²)	Número de unidades experimentales posibles	Área utilizada (m ²)
1	400	400
2	200	400
4	100	400
5	80	400
8	50	400
9	44	396*
10	40	400
15	27	405*
16	25	400
20	20	400
25	16	400
40	10	400
50	8	400
80	5	400
100	4	400
200	2	400

*estos tamaños no fueron utilizados para aplicar el método de curvatura máxima

Para la definición del tamaño óptimo de parcela con el método de curvatura máxima se realizó una modificación: en lugar de utilizar la inspección visual, la selección del punto de curvatura máxima se hizo por medio de pruebas de F entre las variancias promedio, correspondientes a cada tamaño de parcela.

Mapa de contorno

Para estudiar la heterogeneidad del sitio donde se llevó a cabo este trabajo se realizó un mapa de contorno con las producciones en gramos correspondientes a cada unidad básica, para esto se utilizó el programa Surfer 8 de Golden Software Inc. para Windows.

Índice de heterogeneidad del suelo

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:

$$V_x = \frac{V_1}{X^b} \quad \text{Ec. 1}$$

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.

Para poder aplicar este método, al igual que en el método de curvatura máxima, las unidades básicas se combinaron en parejas, tríos, cuartetos, etc. de manera que se obtuvieran parcelas de forma y tamaño distintos, solo que en lugar de calcular el

coeficiente de variación para el total de las parcelas de una combinación particular se calculó su respectiva variancia.

Para este procedimiento, según Gomez y Gomez (1984), se necesita únicamente un valor de variancia asociado a cada tamaño, independientemente de su orientación. Entonces, en los casos donde un determinado tamaño podía provenir únicamente de dos formas se recomienda realizar una prueba F para la homogeneidad de variancias: si el resultado de la prueba F es significativo se debe tomar la variancia menor para asociarla al tamaño, pero si el resultado de la prueba F no es significativo las dos variancias se promedian. En los casos donde existe más de dos formas de un mismo tamaño (igual número de unidades básicas) se debe realizar la prueba de homogeneidad de variancias de Bartlett y al igual que en la prueba anterior, si el resultado de la prueba es significativo se tomaba la variancia menor para asociarla al tamaño, pero si el resultado de la prueba no era significativo las variancias se promedian.

No obstante, en este trabajo se decidió utilizar todas las variancias disponibles sin promediar por tamaño, con el fin de mostrar toda la variabilidad existente y a la vez la consistencia del resultado que confiere una mayor confiabilidad.

Una vez que se obtuvieron las variancias correspondientes a cada tamaño de unidad secundaria, se calculó su variancia unitaria, por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{X_i} = \frac{S_i^2}{X_i^2} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

S_i^2 = Es la variancia asociada a una parcela secundaria específica.

X_i^2 = Es el tamaño en metros cuadrados de la parcela secundaria.

Posteriormente, en un sistema cartesiano, los distintos tamaños de parcela se colocaron en el eje X mientras que Y fue el eje para las variancias unitarias; el conjunto de puntos XY generó una curva que relaciona tamaño de parcela con variancia, la forma de dicha curva se representa por medio de la ecuación 1.

Esta ecuación (Ec.1) puede convertirse en una línea recta si se transforma a logaritmos ambos lados de la ecuación, lo que da como resultado la siguiente ecuación:

$$\log V(x) = \log V_1 - b \log X \quad \text{Ec. 3}$$

Donde el coeficiente b en la ecuación 3, mide el grado de relación entre el tamaño de las 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 cuán variable es el suelo en un área determinada (Gomez y Gomez 1984).

Resultados

La producción de cada unidad básica se empleó como estimador de la heterogeneidad del suelo (ver definición de heterogeneidad del suelo en página 8).

En el cuadro 3 se presentan los coeficientes de variación y las variancias para cada forma y tamaño de unidad experimental obtenidas como resultado de la combinación de unidades básicas.

Coeficiente 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 3, en el cual se observa que el mayor coeficiente de variación fue el correspondiente a un tamaño de unidad experimental de 1 m² que es el menor tamaño posible, mientras que el menor coeficiente de variación estuvo asociado a un tamaño de unidad secundaria de 200 m² 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 3. 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
1	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

Método de curvatura máxima para la variable rendimiento (g)

Con los datos que se muestran en el cuadro 3 se construyó un gráfico de dispersión (ver 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.

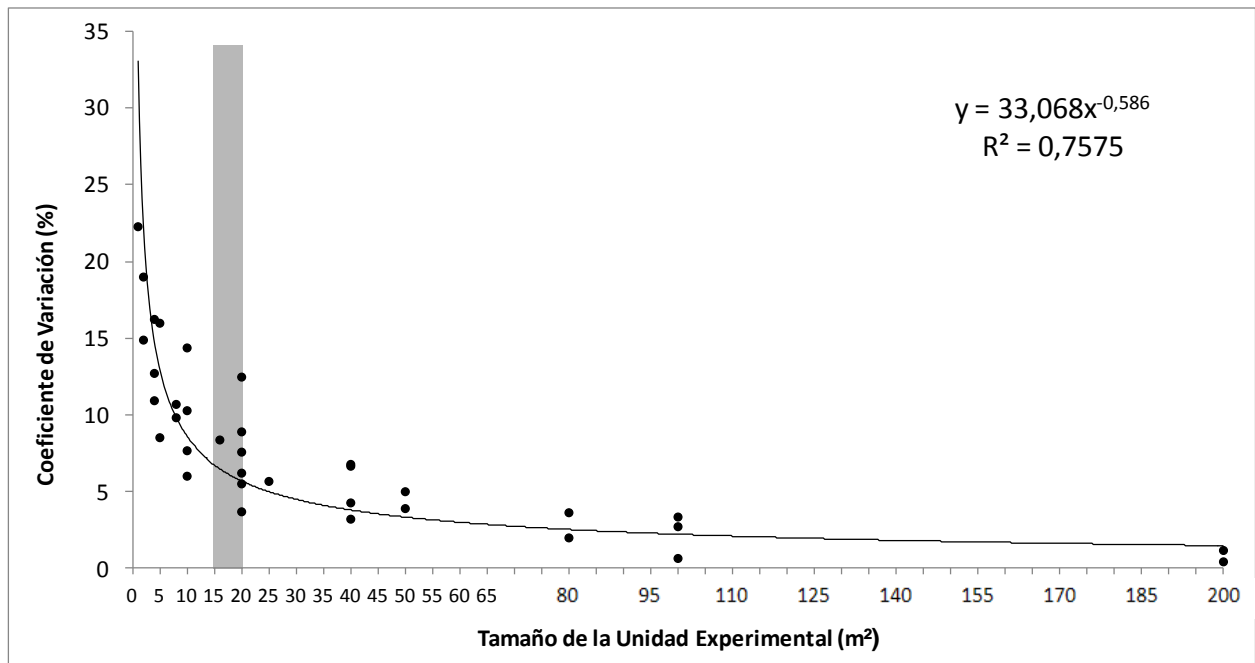


Figura 1. Tamaño adecuado de parcela, determinado por el método de curvatura máxima, correspondiente al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

El gráfico resultante (figura 1) 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 (Alvarez 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 75,8%, lo que quiere decir que el tamaño de parcela explica en 75,8% 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 m² a 20 m², se encuentra la región donde la curva deja de caer abruptamente y adquiere un comportamiento casi constante.

Pruebas de F

Según lo establece la metodología, el punto de la curva (figura 1) donde un aumento de unidad experimental no generó 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; Alvarez 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, vista ahora como variabilidad absoluta (variancia) y no

relativa (C.V), dado que el interés primordial en el diseño de un experimento es lograr el error experimental más bajo posible y el error experimental en todo ensayo es una variancia.

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 4. 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.

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:

$$H_0 : Var_1 = Var_2 \quad \mathbf{Ec. 4}$$

$$H_A : Var_1 \neq Var_2 \quad \mathbf{Ec. 5}$$

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.

Cuadro 4. 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 ²)	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

* significativo ($p \leq 0,05$), ns = no significativo

En el cuadro 4 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 m² con la de 20 m² tienen una probabilidad menor a 0,05 y que las comparaciones siguientes a la comparación de 20 m² con la de 25 m² 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 m² no tiene efecto significativo sobre las variancias; 16 m² 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 (Alvarez *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.³

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

³ Salas, R. 2012. CIA (comunicación personal). San José, CR. Universidad de Costa Rica.

experimental de 20 m² generó un coeficiente de variación de 6,40%, valor menor a lo deseable en ensayos de arroz –que es 8%- y 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).

Gomez y Gomez (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 (Gomez y Gomez 1984; Machado et al. s.f.) (ver definición de heterogeneidad del suelo en página 8).

La figura 2 muestra el mapa de contorno resultante para la variable producción en gramos en metros lineales.

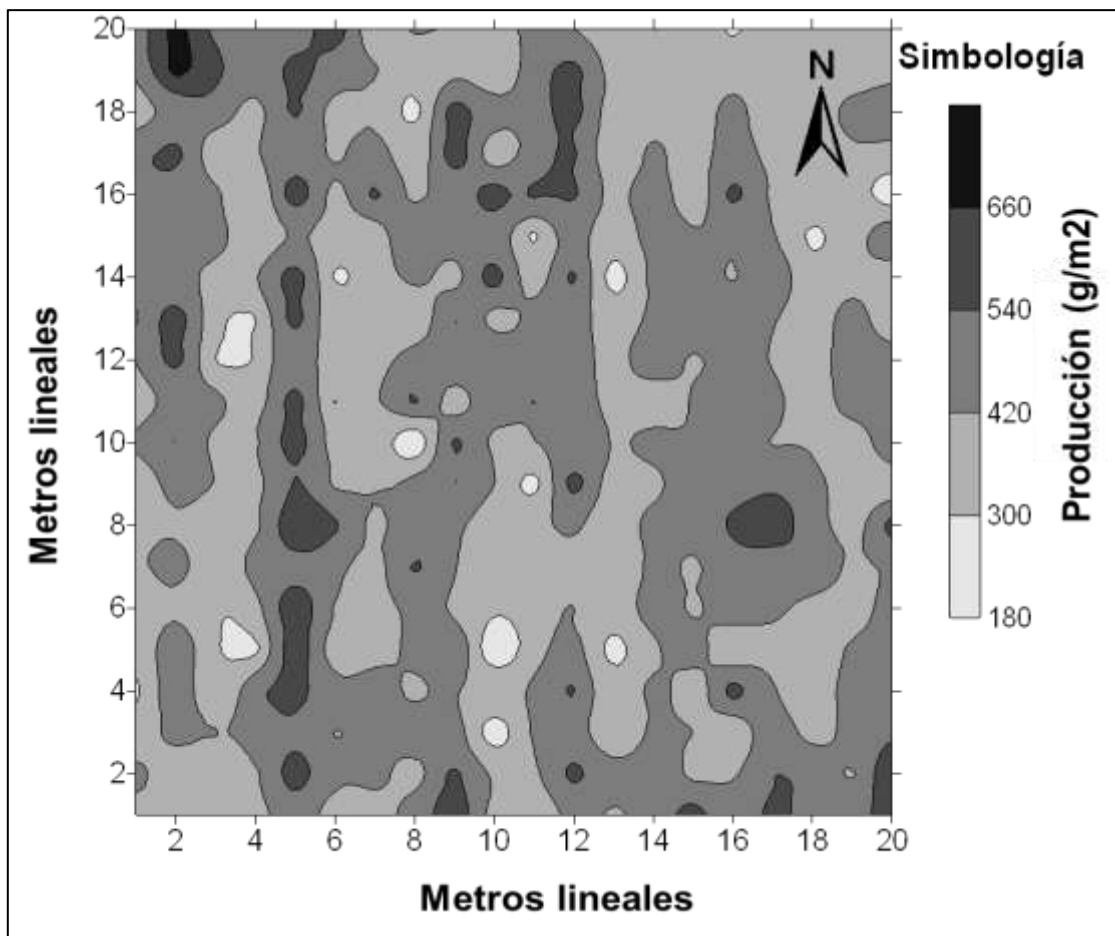


Figura 2. Mapa de contorno para la variable producción en gramos, correspondiente al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

En el mapa (ver 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.

Si bien el mapa de contorno proporcionó 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):

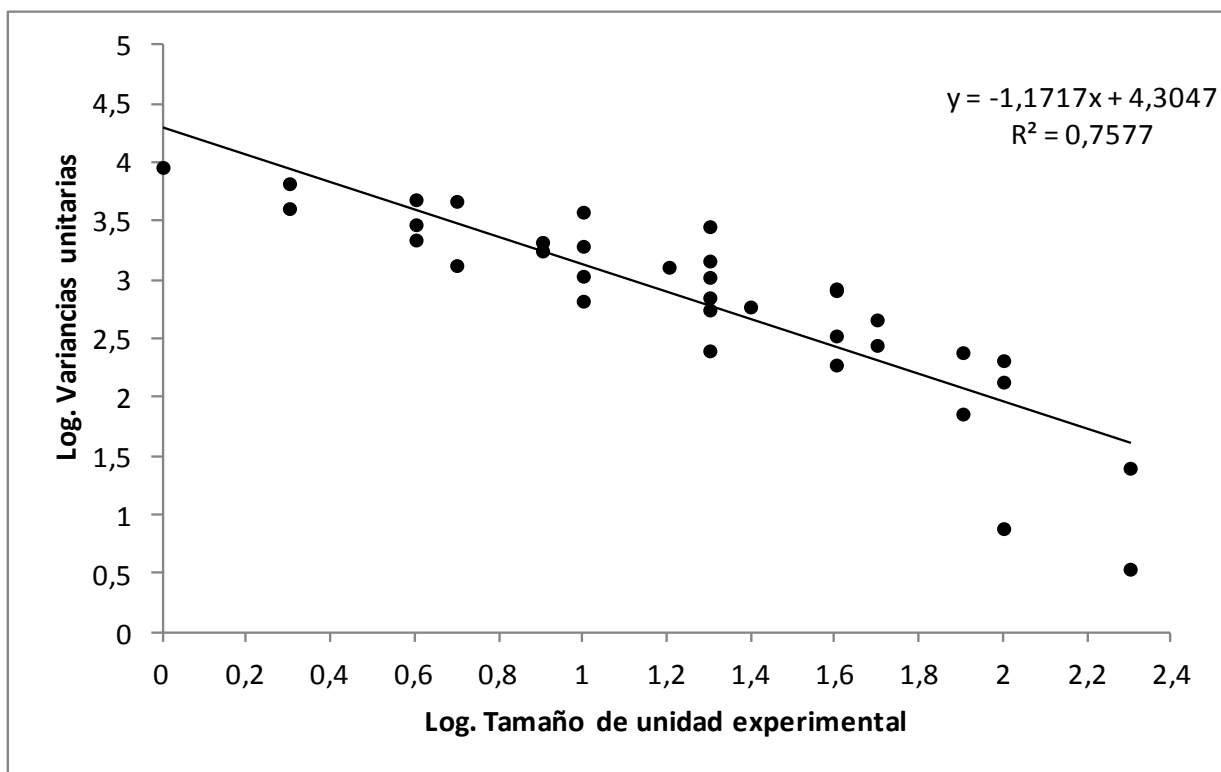


Figura 3. Regresión entre el logaritmo de los tamaños de unidad experimental y el logaritmo de las variancias unitarias correspondiente al ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

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), cuyo valor fue: -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 sea 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 fórmula:

$$b = \frac{\sum(W_i Q_i P_i) - \left[\sum(W_i Q_i) * \frac{\sum(W_i P_i)}{\sum W_i} \right]}{\sum W_i P_i^2 - \left[\frac{\sum(W_i P_i)^2}{\sum W_i} \right]} \quad \text{Ec. 6}$$

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. 6) se obtuvo que el valor ponderado correspondiente al índice de Smith fue de 0,83, lo que indica

que el suelo donde se ejecutó el experimento fue 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 m² a 20 m². Por medio de las pruebas F que se hicieron con las variancias de las unidades experimentales de diferente tamaño, se encontró que no existió diferencia significativa entre las variancias de las unidades experimentales por encima del tamaño de 16 m². Por su parte, el método de precisión deseada arrojó un tamaño de 20 m², reafirmando los resultados obtenidos con la curvatura máxima.

El tamaño de 16 m² 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, se prefiere definir como tamaño óptimo de unidad experimental una parcela de 20 m², tamaño cuya variancia, en comparación con la de 16 m² 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 m² 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 ésta 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^2 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^2 , 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 20 m^2 se puede abarcar la mayoría de la variabilidad presente en el 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^2 existe una disminución potencial de, al menos, 10 m^2 por unidad experimental con respecto a los tamaños que se utilizan tradicionalmente (30 m^2). 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 tiene 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 (Alvares 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, pero que, sin embargo, 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.

Consideraciones finales

Debido a la importancia que tiene este tipo de trabajos en investigación científica a nivel de campo y en extensión (Santos et al. 2012), se hace necesario repetir este trabajo para así poder validar los resultados obtenidos con otras variedades, bajo otras condiciones climáticas e inclusive en una zona agroecológica distinta, ya que los factores ambientales son un punto considerable a tomar en cuenta en investigación agrícolas (Barrientos 1981; Párraga y Chacín 2001).

Asimismo, es importante tomar en cuenta que en Costa Rica existen otros cultivos además del arroz, en los cuales también se desarrollan investigaciones importantes y donde probablemente el establecimiento del tamaño de unidad experimental se hace por medio de revisión de literatura procedente de otros países o por medio del criterio particular de investigadores con experiencia, lo cual no es lo más indicado. Es importante recalcar la necesidad de realizar trabajos de esta índole en otros cultivos para de esta manera contar con información estadística válida para las condiciones propias del país.

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 m² y los 20 m².
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 m² - 50 m² que generalmente se utiliza para ensayos de arroz en Costa Rica.

Recomendaciones

1. Se hace necesario repetir este trabajo en la misma zona, pero bajo condiciones climáticas distintas (ciclo verano), para así determinar si existe algún cambio en el tamaño de parcela según la época.
2. También es de importancia repetir el trabajo utilizando otras variedades comerciales, para así determinar si existe algún cambio en el tamaño de parcela según la variedad y de ser así poder contar con más información que contribuya a la confiabilidad de los ensayos.
3. Así mismo, el trabajo se debe realizar en una zona agroecológica diferente, para así determinar si existe algún cambio en el tamaño de parcela según la zona arrocera y de ser así contar con tamaños de unidad experimental por zona.
4. Es importante recalcar que este método no toma en cuenta ni la forma de unidad experimental, ni los costos asociados, por lo que se podrían realizar trabajos utilizando otros métodos estadísticos que si tomen en cuenta esos rubros.

Bibliografía citada

Alvarez, 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 García, 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.

Barros, I.; Tavares, M. 1995. Estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais através de cálculos algébricos. Revista Bragantia 54(1):209-215.

Bisognin, D.; Storck, L.; Costa.; Bandinelli, M. 2006. Plot size variation to quantify yield of potato clones. Horticultura Brasileira 24(4): 485-488.

Box, G.; Stuart, J.; Hunter, W. 2008. Estadística para investigadores: diseño, innovación y descubrimiento. Editorial Reverté, Barcelona, España. 639 p.

Bueso Campos, 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.

Calero, E. 1965. Estudio del tamaño y forma de la parcela experimental para ensayos de campo en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 36 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.

Chacín, F. 1977. Tamaño de parcela experimental y su forma. Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay, Universidad Central de Venezuela) 9(3): 55-74.

Chandler, R. 1984. Arroz en los trópicos: guía para el desarrollo de programas nacionales. IICA, Costa Rica. 304 p.

Custódio da Silva, W. 2010. Comparacao de métodos para estimar o tamaño ótimo de parcela em bananeira. Tesis Mag.Sc. Vicosá, Brazil. Universidad Federal de Vicosá. 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 Biometria 27(2): 255-268.

Franquet, JM. 2004. Variedades y mejoras del arroz (*Oryza sativa*, L.). Universidad Internacional de Cataluña, España. 463 p.

Gomez, K. 1972. Techiques for field experiments with rice. International Rice Research Institute, Philippines.48 p.

Gomez, K.; Gomez, A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2da ed. John Wiley & Sons, Philippines. 680 p.

Homrich, L.; Augusti, A.; Storck, L.; Lúcio, A. 2010. Plot size and experimental precision for sunflower production. Scientia Agricola 67(4):408-413.

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.

Lapitan, R.; Viña, A.de la; Rosario, E. 1979. Optimum size of sampling units and number of replications for sugarcane field experimets. Philippine Journal of Crop Science 4(1): 42-47.

Leilah, A.; Al-Barrak, M. 2005. Estimation of Optimum Field Plot Size and Shape and Number of Replicates in Sorghum Yield Trials. Journal of King Saud University 17(2):101-116.

Mamani Arias, 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:

http://www.revistamendive.rimed.cu/nfuentes/num5/pdf/Art_5_Fermin.pdf

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.

Párraga, C.; Chacín, F. 2000. Métodos multivariados para determinar el número de réplicas, la forma y el tamaño óptimo de unidad experimental en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Revista de la Facultad de Agronomía de Maracay. 26:163-173.

Párraga, C.; Chacín, F. 2001. Determinación del coeficiente de heterogeneidad del suelo para ensayos de campo con el rubro maíz. Revista de la Facultad de Agronomía de Maracay. 27:17-29.

Pemejyantha, V.; Gunasekara. A. 1982. A study on the optimum plot size for potato experiments. Tropical Agriculturist 138: 45-57.

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.

Sánchez, M.; Mejía, A.; Villanueva, C.; Castellanos, J.; Sánchez, C.; Jiménez, C. 2006. Determinación del tamaño adecuado de parcela experimental en calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma huber* var. *Stenosperma*). Revista Fitotecnia Mexicana. 29(004):339-348.

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.

Vallejo, R.; Mendoza, H. 1992. Plot technique studies on sweetpotato yield trials. Journal of the American Society for Horticultural Science. 117(3):508-511.

Weinhold, V.; Michelangeli, C.; Chacín, F.; Trujillo, A.; Machado, W. 2000. Determinación del tamaño de la unidad experimental para ensayos en potes con estacas de onoto. Agronomía Tropical 50(4):553-566.

Anexos



Anexo 1. Cuadrícula sobre la parcela de arroz para identificar cada unidad básica del ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.



Anexo 2. Labores de cosecha del ensayo de uniformidad, donde cada unidad básica cosechada fue colocada en un saco identificado con las coordenadas cartesianas correspondientes. Bagaces, Guanacaste. 2012.



Anexo 3. Labor de aporreo de las plantas cosechadas de cada unidad básicas. de Bagaces, Guanacaste. 2012.



Anexo 4. Secado de las bolsas que contenían la producción de cada unidad básica. Bagaces, Guanacaste. 2012.

Anexo 5. Estadística descriptiva de algunas de las mediciones realizadas en cada una de las unidades básicas del ensayo de uniformidad. Bagaces, Guanacaste. 2012.

Estadístico	Numero de tallos iniciales	Numero de tallos finales	Producción (g)
Promedio	28,37	133,15	266,31
Valor máximo	68,00	213,00	426,00
Valor mínimo	3,00	72,00	144,00
Desviación estándar	10,96	24,72	49,44
Coeficiente de variación (%)	38,63	18,57	18,57
Mediana	28,00	133,00	266,00
Media-Mediana	0,37	0,15	0,31