

Estimación del tamaño óptimo de parcela en experimentación con batata dulce

Humada González Guido Gustavo^{1,*}, Ramalho de Moraes Augusto¹, Caballero Mendoza César Arnaldo², Bortolini Juliano³, Rodrigues Liska Gilberto⁴

¹Universidade Federal de Lavras, CEP: 37200-000, Lavras, Brasil. Correo electrónico: gustavohumad@hotmail.com

²Universidad Nacional de Asunción, CEP: 2160, San Lorenzo, Paraguay

³Universidade Federal de Mato Grosso, CEP: 78060-900, Cuiabá, Brasil

⁴Universidade Federal Do Pampa, CEP: 97650-000, Itaqui, Brasil

Recibido: 13/07/2016 - Aceptado: 15/11/2016

Resumen

La determinación de tamaño óptimo de parcela, en cualquier cultivo, es una de las formas de aumentar la precisión experimental y maximizar las informaciones obtenidas en un experimento. Trabajos relacionados al dimensionamiento del tamaño óptimo de parcela con batata dulce datan del año 2006, entretanto, no se registran trabajos anteriores realizados con la variedad Morotí. Por tanto, con la finalidad de ofrecer y/o actualizar informaciones referentes al dimensionamiento adecuado de parcelas para el cultivo, el objetivo de este trabajo fue estimar el tamaño óptimo de parcela en experimento de campo con batata dulce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] utilizando tres métodos, el método de máxima curvatura modificada, el modelo lineal segmentado con respuesta plato y el modelo cuadrático segmentado con respuesta plato. Para ello se hizo un ensayo de uniformidad con batata dulce variedad Morotí. La unidad experimental básica fue definida en una planta (0,30 m²), posteriormente fueron simulados ocho diferentes tamaños de parcelas y se determinó el coeficiente de variación para cada uno de los tamaños simulados. Los métodos utilizados estimaron tamaños de parcela diferentes, siendo el método de máxima curvatura modificada el que estimó el menor valor relacionado al tamaño de parcela. Los métodos basados en modelos segmentados con plato estimaron tamaños adecuados de parcela. Se recomienda utilizar 13 a 16 plantas (3,90 a 4,80 m²) por parcela.

Palabras clave: *Ipomoea batatas* (L.) Lam., modelos segmentados, precisión experimental, productividad, regresión no lineal

Estimation of Optimum Plot Size in Experimentation with Sweet Potato

Summary

Optimum plot size determination, in any culture, is a method to increase experimental precision and maximize the information obtained in an experiment. Research of the optimal plot size for sweet potato date back to 2006, meanwhile, no previous work with the Morotí variety has been recorded. Therefore, in order to provide and/or update information regarding the adequate sizing of plots for the crop, the goal of this study was to estimate the optimum plot size in a field experiment with sweet potatoes [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. Three methods were considered: the modified maximum curvature, the segmented linear model with plateau response, and the segmented quadratic model with plateau response. For this purpose, a uniformity trial was conducted with variety Morotí of sweet potato. The basic experimental unit was defined as one plant (0,30 m²), then eight different plot sizes were simulated and the coefficient of variation for each of the simulated sizes was determined. The results showed that the three methods estimated different optimum plot sizes, the modified maximum curvature method being the one that estimated the smaller optimum plot size. The methods based on segmented models estimated the most appropriate optimum plot sizes. Methods based on dish-segmented models estimated adequate plot sizes. It is recommended to use 13 to 16 plants (3,90 to 4,80 m²) per plot.

Keywords: *Ipomoea batatas* (L.) Lam., segmented models, experimental precision, productivity, nonlinear regression

Introducción

Originaria y domesticada en América Latina hace más de 5000 años, la batata dulce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] es uno de los cultivos para consumo humano más importantes del mundo. La batata dulce es la única especie de la familia *Convolvulaceae* cultivada para fines alimentarios. Sin embargo, otras especies de la misma familia son cultivadas con fines ornamentales en Asia, África y Australia (Hall y Phatak, 1993). Según Figueiredo (1993) esta hortaliza se caracteriza por ser rústica, tolerante a condiciones de deficiencia hídrica en el suelo y de simple control cultural; este atributo, sumado a la cantidad de mano de obra generada y a la contribución como suplemento alimenticio en poblaciones de baja renta, hacen del cultivo de la batata dulce un rubro de gran importancia social principalmente en los países de tercer mundo.

Según Miranda et al. (1984), la batata dulce presenta gran diversidad fenotípica y genotípica. También de acuerdo con Miranda et al. (1984), la mayoría de los productores utilizan variedades regionales, siendo que gran parte de esas variedades son poco productivas y susceptibles a plagas y enfermedades. En Paraguay, la variedad Morotí presenta pulpa de color blanco y es una de las preferidas en la mesa familiar; esta variedad se caracteriza por poseer mayor contenido de almidón y menor contenido de azúcares en relación a otras variedades existentes en el mercado, tales como la de pulpa roja y de pulpa amarillo-anaranjada. Según FAO (2013), el riesgo alimentario se presenta como el problema más grande que enfrenta la humanidad. La escasez de alimentos obliga a producir más y mejor con el objetivo de alimentar a la creciente población mundial que cada vez dispone menos tierra para la siembra y consecuentemente de menos alimentos. En ese contexto, la batata es uno de los cultivos agrícolas que debe ser investigado con la finalidad de aumentar su productividad y satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos. Para ello, es estratégico optimizar el potencial productivo de las variedades existentes así como el estudio y desarrollo de nuevas variedades con caracteres agronómicos deseados. Para obtener resultados altamente confiables es necesario realizar experimentos bien planeados, con correcto dimensionamiento del tamaño de parcela, para obtener inferencias precisas de manera de detectar diferencias entre los tratamientos evaluados.

La estimación del tamaño óptimo de parcela es una de las maneras de aumentar la precisión experimental y maximizar las informaciones obtenidas en un ensayo. También,

experimentos con tamaños adecuados de parcela posibilitan la optimización de los recursos humanos y financieros disponibles y permiten al investigador ejercer mayor control y mejor manejo del experimento cuando el ensayo es realizado en áreas de menor tamaño (Silva et al., 2012).

La mayoría de los métodos utilizados para la estimación del tamaño óptimo de parcela están basados en ensayos de uniformidad (experimentos en blanco). Consisten en el cultivo de un área experimental en toda su extensión con una determinada especie, en la cual se realizan los manejos culturales de la manera más uniforme posible manteniendo así la mayor parte de las fuentes de variabilidad constantes. Luego, esa área es dividida en unidades básicas (sub-parcelas) en las cuales la producción de cada sub-parcela es medida separadamente, de manera que la productividad de cada una de las unidades básicas adyacentes pueda ser sumada para formar parcelas de diferentes tamaños y formas (Storck, Bisognin y Oliveira, 2006).

Los principales métodos utilizados para el dimensionamiento de parcelas experimentales se fundamentan en modelos de regresión no lineal. Esos métodos, mediante regresión, determinan una ecuación que relaciona el coeficiente de variación entre las parcelas con el tamaño de parcela. El método de máxima curvatura modificada, y más recientemente los modelos bi-segmentados (modelo lineal segmentado con respuesta plato y modelo cuadrático segmentado con respuesta plato) están siendo utilizados con éxito en el dimensionamiento de la unidad experimentación básica (Paranaíba, Ferreira y Morais, 2009; Brito et al., 2012).

Existen en la literatura numerosos estudios con diversos cultivos para la determinación del tamaño óptimo de parcela: Peixoto, Faria y Morais (2011) realizaron ensayos con maracuyá; Silva et al. (2012) con rabanito; Brito et al. (2012) experimentos con mamón; Cipriano et al. (2012) con café; Dias et al. (2013) trabajaron con *Uruchloa ruziziensis*; Smiderle et al. (2014) con fejoiro; Cargnelutti Filho et al. (2014a) con avena negra; Cargnelutti Filho et al. (2014b) con mucuna ceniza; Morais et al. (2014) con uva y Sousa et al. (2015) con girasol.

El tamaño de parcela a ser adoptado depende directamente de la variabilidad del material experimental, la cual generalmente es medida utilizado el coeficiente de variación que asume comportamiento decreciente a medida que aumenta el tamaño de parcela; pero a partir de un determinado tamaño de parcela la ganancia en precisión es muy pequeña (Ramalho, Ferreira y Oliveira, 2012). Así, parcelas pequeñas están relacionadas con el uso de mayor

número de repeticiones, y consecuentemente con un aumento de precisión; parcelas grandes están asociadas a la adopción de pocas repeticiones, lo cual puede representar un riesgo para la precisión experimental (Pimentel-Gomes, 2009).

Trabajos recientes relacionados al dimensionamiento del tamaño óptimo de parcela con batata dulce datan del año 2006. Sin embargo, no se registran trabajos anteriores realizados con la variedad Morotí. Por tanto, con la finalidad de ofrecer y/o actualizar las informaciones referentes al dimensionamiento adecuado de parcelas para el cultivo, el objetivo de este trabajo fue estimar el tamaño óptimo de parcela en un experimento de campo con batata dulce utilizando tres métodos: el método de máxima curvatura modificada, el modelo lineal segmentado con respuesta plato y el modelo cuadrático segmentado con respuesta plato.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), ubicado en el Campus Universitario de San Lorenzo, Departamento Central, entre los meses de marzo a julio de 2009. El Campus

de San Lorenzo se encuentra ubicado a una altitud de 125 metros sobre el nivel del mar, 25°27' latitud sur y 57°27' longitud oeste.

El suelo de la parcela donde se realizó el experimento está clasificado como Rhodic paleudult, o sea un suelo con horizonte argílico clasificado como Ultisol con régimen de humedad údico y de coloración rojiza, de textura franco arenosa y muy bajo en materia orgánica. (López, González y Llamas, 1995). El clima de la zona está caracterizado como subtropical continental donde la temperatura media oscila entre 22 °C y 23 °C y, con una precipitación anual de 1270 mm, presentando viento predominante del noreste.

El experimento en blanco fue instalado el 16 de octubre de 2011. El método de plantación fue en camellones de 0,30 m de altura, el espaciamiento utilizado fue de 1,00 m entre camellones y 0,30 m entre plantas, totalizando 10 camellones de tres metros de largo, lo que representa 30 m² de área útil. No fueron realizados encalado ni fertilización con el objetivo de simular el ambiente que prevalece en las áreas de siembra de batata en las pequeñas y medianas propiedades agrícolas de la región. Antes de la plantación, las ramas semillas de batata dulce variedad Morotí fueron seleccionadas, padronizadas y cortadas en 0,20 m de

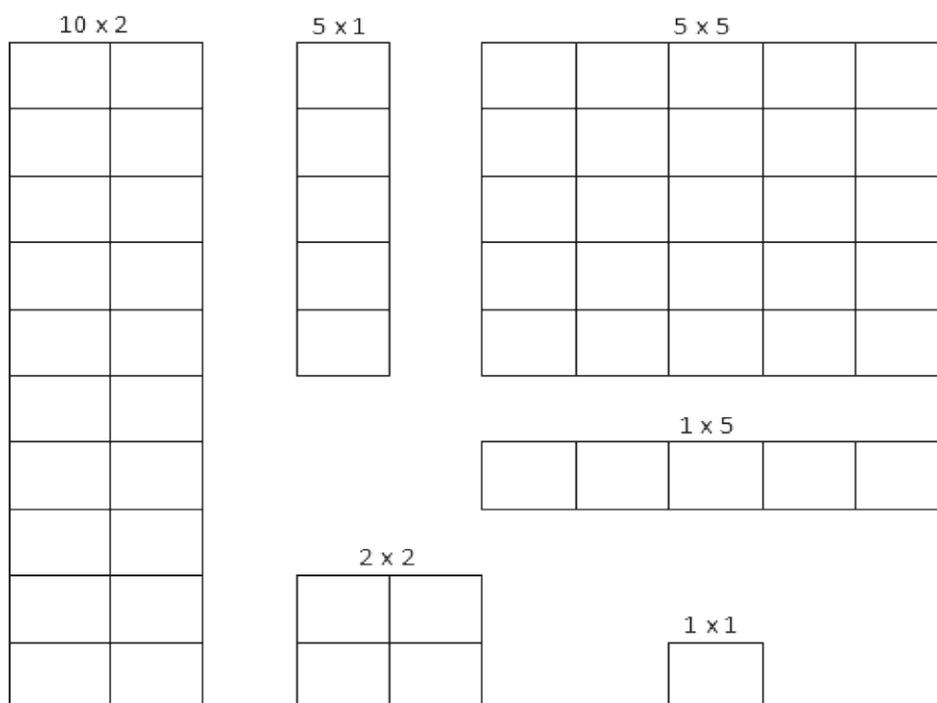


Figura 1. Ilustración de un ensayo en blanco con 10 líneas y 10 columnas representando algunos de los tamaños de parcela posibles.

largo. La unidad experimental básica (UEB) fue constituida por una planta (0,30 m²). Durante el ciclo del cultivo, los controles culturales se limitaron a carpidas y riego, según la necesidad del cultivo. El 26 de marzo de 2012, 160 días después de la siembra, fue realizada la cosecha manual e inmediatamente evaluada la productividad del cultivo. Para ello, cada una de las 100 UEB cosechadas fueron identificadas por fila y por hilera, posteriormente fueron pesadas individualmente utilizando una balanza de precisión cuyos resultados fueron expresados en gramos por planta. Las UEB fueron ordenadas en una grilla formada por 10 líneas y 10 columnas, identificando la posición individual de cada planta (UEB) por fila y por hilera (columnas).

Utilizando las 100 UEB fueron simulados ocho diferentes tamaños de parcela (Figura 1), formados por x_1 UEB de largo (columnas) y x_2 UEB de ancho (filas). Los tamaños de parcela fueron simulados agrupando las UEB adyacentes de modo que x_1x_2 correspondan a X (tamaño de la parcela, en número de UEB). Posteriormente fueron establecidos los siguientes parámetros: número de parcelas (N), con x UEB de tamaño, calculado por $N = 100/X$; el tamaño de la UEB para la productividad de batata y el coeficiente de variación entre las parcelas [$CV_{(x)}$] de X (Cuadro 1). Los ocho tamaños de parcela utilizados fueron 1, 2, 4, 5, 10, 20, 25 y 50 UEB.

cientemente de variación entre las parcelas [$CV_{(x)}$] de X (Cuadro 1). Los ocho tamaños de parcela utilizados fueron 1, 2, 4, 5, 10, 20, 25 y 50 UEB.

Métodos de estimación del tamaño óptimo de parcela

En esta sección se describen los tres métodos utilizados para estimar el tamaño óptimo de parcela en el ensayo de uniformidad con batata dulce variedad Morotí.

Método de máxima curvatura modificada (MMCM)

Propuesto por Lessman y Atkins (1963) relaciona el coeficiente de variación (CV) con el tamaño de parcela con X_i UEB. Es modelo es dado por:

$$CV_{(x)} = aX^{-b} + \varepsilon_i \quad (1)$$

en donde $CV_{(x)}$ es el coeficiente de variación entre los totales para parcelas con X_i UEB, a y b son los parámetros a ser estimados y ε_i es el error asociado al $CV_{(x)}$ asumiendo normalidad e independientemente distribuido con media 0 y variancia σ_ε^2 constante. A partir de la función de curvatura dada por el modelo, fue determinado el valor de la abscisa en el punto de máxima curvatura, luego la estima-

Cuadro 1. Número de simulaciones, tamaño de parcela en unidad experimental básica (UEB), número total de plantas y parcelas, área de parcela (m²), coeficiente de variación expresado en porcentaje (CV %) y estadísticas de media y desvío padrón para cada tamaño de parcela simulado en experimento en blanco con batata dulce variedad morotí.

Simulaciones	Tamaño (UEB)	Forma	N° de plantas	Total de parcelas	Área (m ²)	CV (%)	Media	Desvío estándar
1	1	1x1	1	100	0,30	9,78	729,61	71,35
2	2	1x2	2	50	0,60	6,46	1459,22	94,34
3	2	2x1	2	50	0,60	6,36	1459,22	92,80
4	4	2x2	4	25	1,20	4,76	2918,44	138,99
5	5	1x5	5	20	1,50	4,25	3648,04	155,14
6	5	5x1	5	20	1,50	4,03	3648,04	146,93
7	10	2x5	10	10	3,00	2,76	7296,09	201,54
8	10	5x2	10	10	3,00	2,73	7296,09	199,30
9	10	1x10	10	10	3,00	3,07	7296,09	224,12
10	10	10x1	10	10	3,00	3,23	7296,09	235,45
11	20	2x10	20	5	6,00	2,56	14592,18	374,18
12	20	10x2	20	5	6,00	2,03	14592,18	296,27
13	25	5x5	25	4	7,50	0,98	18240,22	178,46
14	50	5x10	50	2	15,00	0,92	36480,44	336,18
15	50	10x5	50	2	15,00	0,01	36480,44	1,84

tiva del tamaño óptimo de parcela (X_0), definido por Meier y Lessman (1971) es dada por:

$$X_0 = [a^2 b^2 (2b + 1) / (b + 2)]^{1/(2+2b)} \quad (2)$$

Modelo lineal segmentado con respuesta plato (MLSRP)

Propuesto por Paranaíba et al. (2009), este modelo consta de dos segmentos. El primero describe una recta decreciente hasta una determinada constante P , que es el plato, y el segundo segmento se refiere al plato, que a partir de un determinado valor del coeficiente de variación (CV) asume un valor constante. El modelo es representado por:

$$CV_{(X_i)} \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i & \text{si } X_i \leq X_0 \\ CVP + \varepsilon_i & \text{si } X_i > X_0 \end{cases} \quad (3)$$

en que $CV_{(X_i)}$ es el coeficiente de variación entre los totales para parcelas con X_i UEB, X_0 es el tamaño óptimo de parcela, CVP es el coeficiente de variación en el punto de unión entre el segmento lineal y el plato, y β_0 y β_1 los parámetros del segmento lineal y ε_i es el error asociado al $CV_{(X_i)}$ asumiendo normalidad e independientemente distribuido con media 0 y variancia σ_ε^2 constante.

Los dos segmentos, lineal y plato, son igualados en el punto de X_0 . Para obtener X_0 se toma $\beta_0 + \beta_1 X_0 = CVP$. Despejando X_0 de $\beta_0 + \beta_1 X_0 = CVP$ se tiene la expresión que determina el tamaño óptimo de parcela que es dado por

$$X_0 = (CVP - \beta_0) / \beta_1 \quad (4)$$

Modelo cuadrático segmentado con respuesta plato (MQSRP)

Es un modelo bisegmentado donde el primer segmento representa una curva decreciente y el segundo segmento es el plato, a partir del cual el CV deja de decrecer y asume valor constante. De manera análoga al método anterior, el modelo propuesto por Paranaíba, Ferreira y Morais (2009) es definido por:

$$CV_{(X_i)} \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i & \text{si } X_i \leq X_0 \\ CVP + \varepsilon_i & \text{si } X_i > X_0 \end{cases} \quad (5)$$

en que $CV_{(X_i)}$ es el coeficiente de variación entre los totales para parcelas con X_i UEB, X_0 es el tamaño óptimo de parcela, CVP es el coeficiente de variación en el punto de unión entre los dos segmentos, y β_0 , β_1 y β_2 los parámetros de un polinomio de 2° grado y ε_i es el error asociado al $CV_{(X_i)}$ asumiendo normalidad e independientemente distribuido con media 0 y variancia σ_ε^2 constante. El tamaño óptimo de parcela es dado por:

$$X_0 = \beta_1 / 2\beta_2 \quad (6)$$

Estimación de parámetros y selección de modelos

Para la estimación de los parámetros de los modelos fue utilizado el método de mínimos cuadrados ordinarios en conjunto con el algoritmo de Gauss-Newton. Tal método considera como estimativa de los parámetros los valores que minimizan la suma de cuadrados de los errores. Detalles adicionales sobre este método de estimación pueden ser obtenidos en Bates y Wattes (2007). Los criterios utilizados para la selección de modelos fueron el coeficiente de determinación ajustado y el criterio de información de Akaike.

Coficiente de determinación ajustado

Según Rencher y Schaalje, (2008) el coeficiente de determinación ajustado (R_a^2) es representado por:

$$R_a^2 = \frac{n-1}{n-p} \left(\frac{SQR}{SQT} \right) \quad (7)$$

donde n es el número de observaciones; p representa el número de parámetros del modelo; SQT es la suma de cuadrados total y SQR representa la suma de cuadrados de los residuos.

Cuanto mayor es el coeficiente de determinación ajustado, mejor es la calidad de ajuste del modelo.

Criterio de información de Akaike

Propuesto por Akaike (1974), el criterio de información de Akaike (AIC) es dado por:

$$AIC = -2 (\log \hat{\theta}) + 2p \quad (8)$$

donde $(\log \hat{\theta})$ es el valor máximo de la función de verosimilitud del modelo en $\hat{\theta}$; p es el número de parámetros del modelo. Cuanto menor es el valor referente a AIC , mejor es la calidad del modelo ajustado.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software R desarrollado por R Development Core Team, (2015).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los coeficientes de variación (CV) de los ocho diferentes tamaños de parcela simulados. Se verifica que conforme el número de plantas de la parcela (y consecuentemente el área experimental) aumenta, disminuye el CV . Esta relación inversa entre el tamaño de parcela y las medidas de variabilidad muestra una tendencia de comportamiento no lineal decreciente.

Se observa además en las simulaciones que parcelas de igual tamaño pero de diferente forma presentan la misma

media, lo que es lógico desde el punto de vista práctico, ya que la cantidad de datos utilizados para estimar la media es la misma independientemente de la forma en que se realizaron los agrupamientos. Este hecho no se detecta con el CV, el cual asume valores distintos en cada una de las simulaciones realizadas. Se verifica también que la menor variabilidad del experimento se registra en la simulación 15 ($CV = 0,01\%$), o sea, en el agrupamiento de las UEB en la forma 10×5 , las parcelas presentan mayor tamaño y menor variancia (Cuadro 1).

Desde el punto de vista estadístico, por ser más homogéneas, las parcelas grandes son más deseables que las parcelas pequeñas toda vez que no existan limitaciones de recursos para el montaje y conducción del experimento.

El tamaño óptimo de parcela estimado (\hat{X}_0) por el método de máxima curvatura modificada (MMCM) depende de las estimativas de A y B . Debido a que la UEB está compuesta por una planta, es necesario usar un valor entero para X_0 , y la aproximación se realizó al valor entero superior. Así, el tamaño óptimo de parcela estimado por el MMCM fue $2,76$ UEB $H \approx 3$ UEB, correspondiente a tres plantas o $0,90$ m^2 de área (Figura 2). Storck, Bisognin y Oliveira (2006) conduciendo un experimento con batata variedad Macaca, utilizando unidades experimentales básicas compuestas por tres plantas, concluyeron que el tamaño óptimo de parcela para el cultivo, utilizando el MMCM, es seis plantas, lo que equivale a $1,44$ m^2 de área.

MMCM

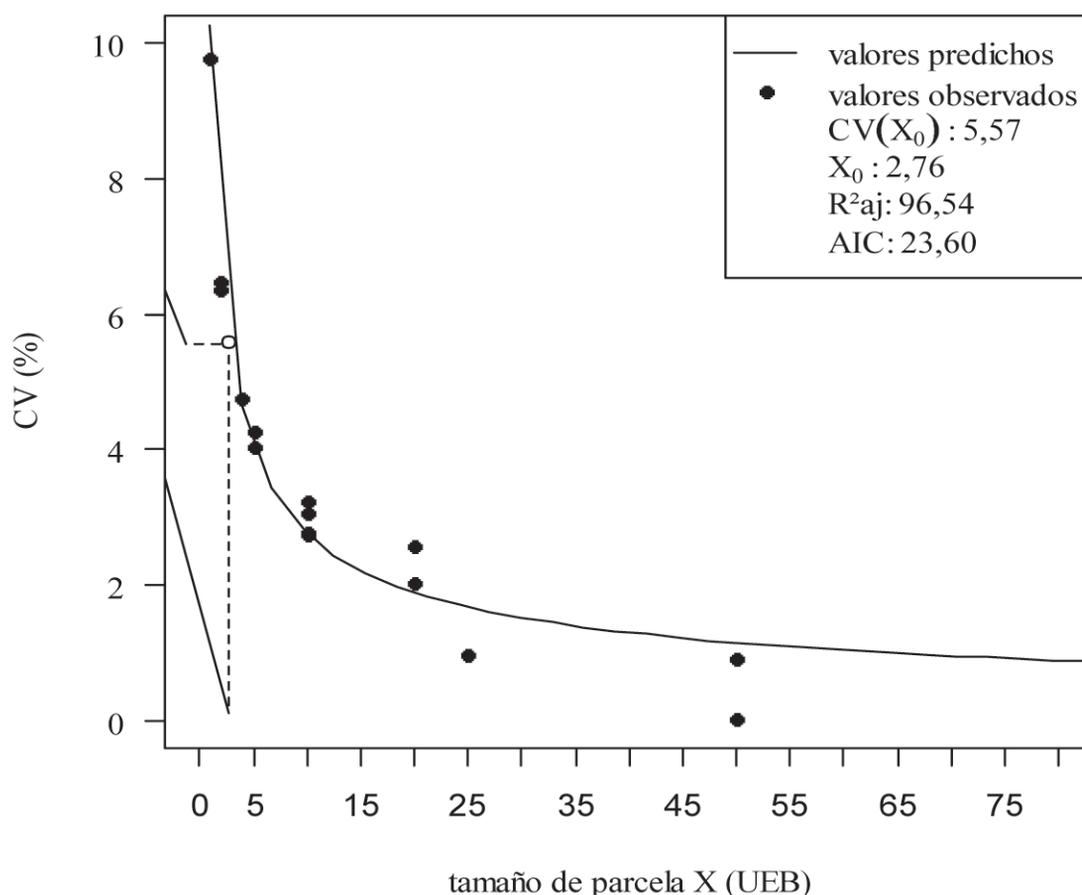


Figura 2. Relación entre el coeficiente de variación (CV) y el tamaño de parcela (X), en número de plantas, para la característica agronómica productividad de batata dulce, variedad Morotí, expresadas en gramos por planta con sus respectivos coeficientes de variación en el punto de tamaño óptimo [$CV(X_0)$], tamaño óptimo estimado (X_0), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y criterio de información Akaike (AIC) determinados por el método de máxima curvatura modificada (MMCM).

Esa conclusión difiere de los resultados de este trabajo, posiblemente debido a la diferencia de clima existente entre las localidades donde fueron realizados los ensayos. Storck, Bisognin y Oliveira (2006) realizaron el experimento en Julio de Castilhos, región con clima templado húmedo con verano caliente según clasificación climática de Köppen-Geiger. En contrapartida, como fue descrito anteriormente, el ensayo ejecutado en este trabajo fue realizado en San Lorenzo, ciudad que presenta clima tropical según Köppen-Geiger. Estos resultados refuerzan las afirmaciones de Oliveira y Estefanel (1995), que concluyeron que el tamaño óptimo de parcela no puede ser generalizado, ya que varía con el clima y con la variedad, debiendo ser estimado para cada

cultivo, variedad y localidad que presenten condiciones climáticas diferentes.

Considerando el modelo lineal segmentado con respuesta plato, MLSRP (Figura 3), el tamaño óptimo de parcela estimado según la fórmula en (4) fue 12,51, \approx UEB 13 UEB (13 plantas). Ese valor corresponde a 3,90 m² de área.

Este resultado es mayor a lo mostrado por Oliveira et al. (2006), quienes en 12 ensayos para estimar el tamaño óptimo de parcela en batata, utilizando el método de máxima curvatura modificada, determinaron que los valores de X_0 varían de 5 a 10 UEB (áreas de 1 m² a 2 m²). Esta divergencia en resultados se debe principalmente al método de estimación utilizado. Los métodos de estimación de

MLSRP

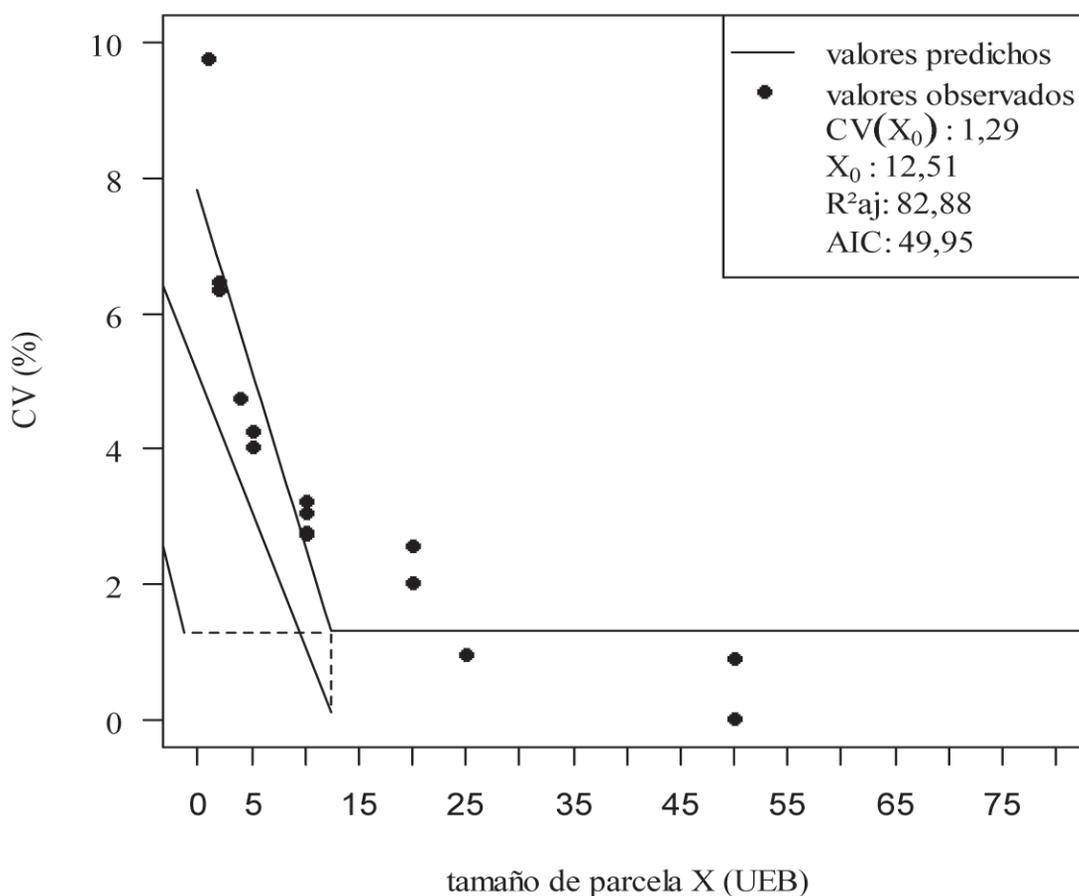


Figura 3. Relación entre el coeficiente de variación (CV) y el tamaño de parcela (X), en número de plantas, para la característica agronómica productividad de batata dulce, variedad Morotí, expresadas en gramos por planta con sus respectivos coeficientes de variación en el punto de tamaño óptimo ($CV_{(X_0)}$), tamaño óptimo estimado (X_0), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) y criterio de información Akaike (AIC) determinados por el método del modelo lineal segmentado con respuesta plato (MLSRP).

X_0 , inclusive utilizando el mismo conjunto de datos, pueden proporcionar resultados distintos. Por tal motivo, es conveniente utilizar más de un método y optar por aquel que determine resultados que se ajusten a las necesidades y a los recursos, financieros y humanos, disponibles para el investigador.

Resultados semejantes fueron observados por Brito et al. (2012) quienes en un experimento para estimar tamaño de parcela determinaron que el MLSRP estimó tamaños de parcela mayores que el método de máxima curvatura modificada; por lo tanto, este resultado refuerza lo afirmado por otros investigadores (Lima *et al.*, 2007; Henriques-Neto et al., 2009; Paranaíba, Ferreira y Morais, 2009) los cuales, al utilizar el MMCM, también encontraron problemas de

subestimación del tamaño óptimo de parcela. En la región inferior al punto de máxima curvatura todavía pueden ocurrir decrecimientos en los valores de CV con el aumento del tamaño de parcela; por tanto, el valor de la abscisa en el punto de máxima curvatura debe ser interpretado como el límite inferior del tamaño de parcela en vez de tamaño óptimo (Figura 2).

Ya por el modelo cuadrático segmentado con respuesta plato, MQSRP (Figura 4), la estimativa de X_0 obtenida de la expresión en (6) fue de aproximadamente 16 UEB, ese valor corresponde a 16 plantas de batata o área de 4,80 m². Conclusiones semejantes fueron encontradas por Cordeiro, Miranda y Campos (1982) quienes en ensayos para determinar el número de repeticiones y tamaño óptimo de

MQSRP

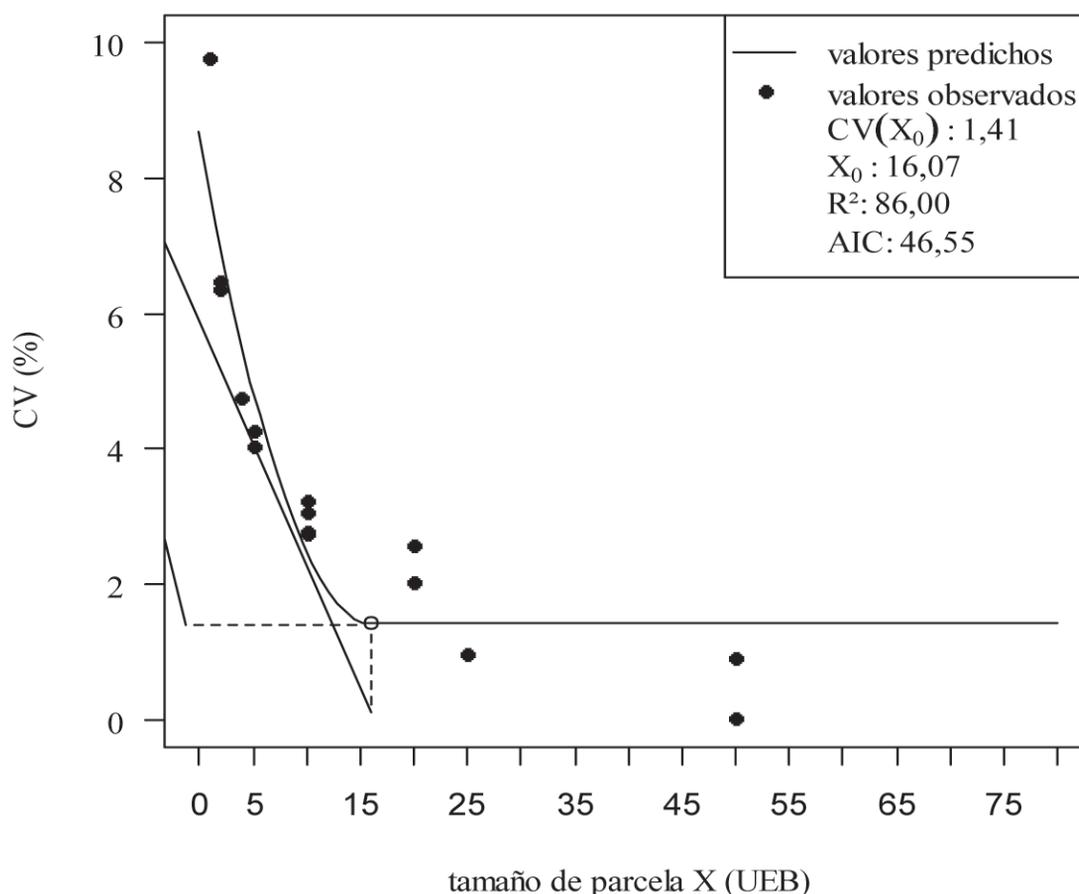


Figura 4. Relación entre el coeficiente de variación (CV) y el tamaño de parcela (X) en número de plantas, para la característica agronómica productividad de batata dulce, variedad Morotí, expresada en gramos por planta con sus respectivos coeficientes de variación en el punto de tamaño óptimo ($CV_{(x_0)}$), tamaño óptimo estimado (X_0), coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj) y criterio de información Akaike (AIC) determinados por el método del modelo cuadrático segmentado con respuesta plato (MQSRP).

parcela en experimentos con batata estimaron, vía método de inspección visual, que el tamaño óptimo recomendado para el cultivo es de 15 a 20 plantas (3,6 m² a 4,8 m² de área respectivamente).

Este método estima tamaños de parcela mayores que el MLSRP porque el primer segmento del MQSRP es una curva, a diferencia del MLSRP, que es una recta; la curva suaviza el decrecimiento del primer segmento hasta en punto de intersección con el plato, considerado X_0 ; ese comportamiento del primer segmento mejora el ajuste del MQSRP y permite estimar tamaños de parcelas mayores en comparación al MLSRP (Figura 3, Figura 4).

Los resultados presentados en este trabajo concuerdan con los determinados por Peixoto, Faria y Morais (2011) quienes en un ensayo con mburucuyá afirmaron que el MQSRP estima mayores tamaños de parcela que el MLSRP. Afirmaciones semejantes a las encontradas en este experimento fueron realizadas por Silva et al. (2012), quienes en un experimento para estimar el tamaño óptimo de parcela con rabanito concluyeron que los modelos segmentados estimaron mayores valores referentes a tamaños de parcela en relación al método de máxima curvatura modificada.

En varios experimentos conducidos con el cultivo de batata se evidencia gran variabilidad en relación al tamaño de parcela adoptado por los investigadores, los cuales son generalmente mayores a los determinados en este trabajo. Cardoso et al. (2005) en ensayos para evaluar clones de batata dulce utilizaron parcelas de 2,25 m², Echer et al. (2009) trabajaron con parcelas de 20 m² de área cuando evaluaron la fertilización de cobertura con boro y potasio en la nutrición y productividad de batata. Henriques, Moreira y Monteiro (2010) realizaron ensayos en parcelas de 8 m² de área para evaluar el efecto de la fertilización fosfatada en el cultivo de batata. Figueiredo et al. (2012) condujeron un experimento para evaluar el ensilaje de ramas de batata y utilizaron tamaños de parcela igual a 4,5 m² de área.

Ante lo expuesto podemos aseverar que cada método de estimación de tamaño óptimo de parcela proporciona resultados distintos; en el caso de la batata dulce las estimativas de X_0 varían de 0,90 a 4,8 m² según la metodología utilizada.

Evaluadores de la calidad de ajuste y selección de modelos

Analizando el coeficiente de determinación ajustado se observa que el método de máxima curvatura (MMCM) permite explicar el 96,78 % de la variación total de los datos (Figura 1). Los modelos segmentados también presenta-

ron buen ajuste a los datos; el modelo cuadrático segmentado con respuesta plato (MQSRP) presentó coeficiente de determinación ajustado igual a 86 % (Figura 3). A su vez, el modelo lineal segmentado con respuesta plato (MLSRP) consigue explicar el 82,88 % de la variación total de los datos (Figura 2).

Basados en estos resultados podemos concluir que los métodos MMCM y MQSRP se ajustaron mejor a los datos de productividad de batata en comparación con el MLSRP, concordando así con lo afirmado por Silva et al. (2012), quienes en un experimento para determinar el tamaño óptimo de parcela en rabanito utilizando los tres métodos comparados en este trabajo (MMCM, MLSRP e MQSRP) concluyeron que el método de máxima curvatura modificada se ajustó mejor a los datos, seguido por el MQSRP y posteriormente por el MLSRP.

Considerando el criterio de información de Akaike (AIC) podemos verificar en las Figuras 1 y 3 que los métodos MMCM y MQSRP presentaron los menores valores de AIC (23,60 y 46,55 respectivamente). El AIC determinado para el MLSRP fue 49,95 (Figura 2). Por definición, según el criterio de Akaike, el modelo más adecuado es el que presenta el menor valor de AIC. Por tanto, basado en el coeficiente de determinación ajustado y en el criterio de información Akaike podemos afirmar que el método de MMCM es estadísticamente el más adecuado para el conjunto de datos analizado; pero estima tamaños de parcela muy pequeños, lo que puede afectar la precisión experimental y el número de repeticiones a ser utilizado en el experimento. Analizando desde el punto de vista práctico, los modelos segmentados ofrecen estimativas más acordes a los utilizados en trabajos de investigación con el cultivo.

Conclusiones

El método de máxima curvatura modificada se ajusta mejor a los datos de productividad de batata dulce variedad Morotí, pero subestima el tamaño óptimo de parcela. Los modelos segmentados presentan buen ajuste a los datos y muestran resultados coherentes en relación al tamaño de parcela estimado para el cultivo. Dependiendo del modelo segmentado utilizado, se recomiendan parcelas de 3,90 a 4,80 m² de área (13 a 16 plantas) por parcela. Se sugiere utilizar más de un método para dimensionar el tamaño óptimo de parcela en batata dulce, posibilitando así optar por el método que mejor se ajuste a las necesidades y recursos del investigador.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Biotecnología Agrícola Paraguay (INBIO), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) y al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por las becas de estudios y de investigación.

Bibliografía

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723.
- Bates, D. M. y Watts, D. G. (2007). *Nonlinear regression analysis and its applications*. Nueva York: Wiley.
- Brito, M. C., Faria, G. A., Morais, A. R., Souza, E. M. y Dantas, J. L. (2012). Estimación del tamaño óptimo de parcela via regresión antitónica. *Revista Brasileira de Biometria*, 30(3), 353-366.
- Cardoso, A. D., Viana, E. A., Ramos, P. A., Matsumoto, S. N., Amaral, C. L., Sedyama, T. y Morais, O. M. (2005). Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. *Horticultura Brasileira*, 23(4), 911-914.
- Cargnelutti Filho, A., Alves, B. M., Toebe, M., Burin, C., Santos, G. O., Facco, G., ... y Stefanello, R. B. (2014a). Tamanho de parcela e número de repetições em aveia preta. *Ciência Rural*, 44(10), 1732-1739.
- Cargnelutti Filho, A., Toebe, M., Alves, B. M., Burin, C., Neu, I. M. y Facco, G. (2014b). Tamanho de parcela para avaliar a massa de plantas de mucuna cinza. *Comunicata Scientiae*, 5(2), 196-204.
- Cipriano, P. E., Cogo, F. D., Campos, K. A., Almeida, S. L. S. y Morais, A. R. (2012). Suficiência amostral para mudas de cafeeiro cv. Rubi. *Revista Agroambiental*, 4(1), 61-66.
- Cordeiro, C. M. T., Miranda, J. E. C. y Campos, J. (1982). Tamanho de parcelas e número de repetições em experimento de batata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17(9), 1341-1348.
- Dias, K. O. G., Gonçalves, F. M. A., Sobrinho, F. S., Nunes, J. Á., Teixeira, D. H. L., Moraes, B. F. y Benites, F. R. G. (2013). Tamanho de parcela e efeito de bordadura no melhoramento de *Urochloa ruziziensis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(11), 1426-1431.
- Echer, F. R., Dominato, J. C., Creste, J. E. y Santos, D. H. (2009). Fertilização de cobertura com boro e potássio na nutrição e produtividade da batata-doce. *Horticultura Brasileira*, 27(2), 171-175.
- FAO. (2013). *Sistemas alimentarios para una mejor nutrición*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/018/i3301s/i3301s.pdf>
- Figueiredo, A. F. (1993). Armazenamento de ramas, tipos de estacas, profundidade de plantio e análise do crescimento de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) (Tesis doctoral). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Figueiredo, J. A., Andrade Júnior, V. C., Pereira, R. C., Ribeiro, K. G., Viana, D. J. y Neiva, I. P. (2012). Avaliação de silagens de ramas de batata-doce. *Horticultura Brasileira*, 30(4), 708-712.
- Hall, M. R. y Phatak, S. C. (1993). Sweet potato *Ipomoea batatas* (L.) Lam. En G. Kalloo y B. O. Bergh (Eds.). *Genetic improvement of vegetable crops* (pp. 693-708). Nueva York: Pergamon Press.
- Henriques, I. C., Moreira, I. y Monteiro, A. (2010). Efeito da fertilização fosfatada na cultura da batata (*Solanum Tuberosum* L.) no planalto do huambo (Angola). *Revista de Ciências Agrárias*, 33, 201-210.
- Henriques-Neto, D., Sedyama, T., Souza, M. A., Leite, L. F. C. y Blanco, F. F. (2009). Tamanho de parcela para avaliação da produção em trigo irrigado sob dois sistemas de plantio. *Revista Ciência Agronômica*, 40(1), 86-89.
- Lessman, K. J. y Atkins, R. E. (1963). Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield test. *Crop Science*, 3, 477-481.
- Lima, J. F., Peixoto, C. P., Ledo, C. A. y Faria, G. A. (2007). Tamanho ótimo de parcela para experimentos com plantas de mamoeiro em casa de vegetação. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(5), 1411-1415.
- López, G. O., González, E. y Llamas, P. (1995). *Mapa de reconocimiento de suelos en la región oriental*. Asunción: William & Heintz Map Corporation.
- Meier, V. D. y Lessman, K. J. (1971). Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. *Crop Science*, 11, 648-650.
- Miranda, J. E. C., França, F. H., Carrijo, O. A., Souza, A. F. y Aguiar, J. A. E. (1984). *Cultivo da batata-doce (Ipomoea batatas (L.) Lam.)*. Brasília: Embrapa.
- Morais, A. R., Araujo, A. G., Pasqual, M. y Peixoto, A. P. (2014). Estimación del tamaño de parcela para experimento con cultura de tecidos em videira. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1), 113-124.
- Oliveira, P. H. y Estefanel, V. (1995). Tamanho e forma da parcela para avaliação do rendimento em experimentos com batata. *Ciência Rural, Santa Maria*, 25(1), 205-220.
- Oliveira, S. R., Storck, L., Lúcio, A. D., Lopes, S. J. y Martini, L. F. D. (2006). Índice de heterogeneidade, coeficiente de variação e tamanho ótimo de parcela em batata. *Ciência Rural*, 36(6), 1710-1716.
- Paranaíba, P. F., Ferreira, D. F. y Morais, A. R. (2009). Tamanho ótimo de parcela experimentais: proposição de métodos de estimação. *Revista Brasileira de Biometria*, 27(2), 255-268.
- Peixoto, A. P., Faria, G. A. y Morais, A. R. (2011). Modelos de regressão com plato na estimativa do tamanho de parcelas em experimento de conservação in vitro de maracujazeiro. *Ciência Rural*, 41(11), 1907-1913.
- Pimentel-Gomes, F. (2009). *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Fealq.
- R development core team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <http://www.r-project.org>
- Ramallo, M. A. P., Ferreira, D. F. y Oliveira, A. C. (2012). Experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: Editora Ufla.
- Rencher, A. C. y Schaali, G. C. (2008). *Additional models*. En *Linear models in statistics* (2nd ed. pp. 507-517). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Silva, L. F. O., Campos, K. A., Morais, A. R., Cogo, F. D. y Zambon, C. R. (2012). Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanete. *Revista Ceres*, 59(5), 624-629.
- Smiderle, E. C., Botelho, F. B. S., Guilherme, S. R., Arantes, S. A. M., Botelho, R. T. C. y Arantes, K. R. (2014). Tamanho de parcelas experimentais para a seleção de genótipos na cultura do feijoeiro. *Comunicata Scientiae*, 5(1), 51-58.
- Sousa, R. P., Silva, P. S. L., Assis, J. P., Silva, J., Oliveira, V. R. y Oliveira, A. M. (2015). Tamanho ótimo de parcela para avaliação do rendimento do girassol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(1), 21-26.
- Storck, L., Bisognin, D. A. y Oliveira, S. J. R. (2006). Dimensões dos ensaios e estimativas do tamanho ótimo de parcela em batata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(6), 903-909.