

# Tamaño de parcela y número de repeticiones para evaluar el rendimiento en pimentón cultivado en campo abierto, con láminas y frecuencias de riego

Plot size and number of replications to evaluate the yield in bell pepper cultivated in open-field with depths and irrigation frequencies

Tamanho de parcela e número de repetições para avaliar o rendimento do pimentão, cultivado em campo aberto com lâminas e frequências de irrigação

Richard A. Rodríguez-Padrón<sup>1\*</sup>, Sidinei José Lopes<sup>2</sup>, Alexandre Swarowsky<sup>3</sup> y Roxanna Rosales-Cerquera<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento del Agua, Universidad de la República Uruguay, Regional Norte. Correos electrónicos: rarpadron@unorte.edu.uy, rarpadron@gmail.com.

<sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciencia Rural, Universidad Federal de Santa Maria, Campus Camobi, Santa Maria, RS, Brasil. Correo electrónico: sjlopes@pq.cnpq.br.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad Franciscana, Santa Maria, RS, Brasil. Correo electrónico: aleswar@gmail.com.

<sup>4</sup>Colegio Politécnico de la Universidad Federal de Santa Maria, Curso de Agropecuaria, Santa Maria, RS, Brasil. Correo electrónico: roxannacerquera@gmail.com.

## Resumen

En ensayos agronómicos la precisión experimental se puede mejorar empleando parcelas con dimensiones y número de repeticiones apropiadas. El objetivo fue determinar el tamaño de parcela y número de repeticiones para evaluar el rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en campo abierto con láminas y frecuencias de riego. Los tratamientos consistieron en la aplicación de láminas de 50 y 100% de la evapotranspiración real (ETc), con las siguientes frecuencias de riego: diario, cada dos días y un testigo (sin riego). La densidad de plantación fue de 2,5 plantas m<sup>-2</sup>, separación entre plantas e hileras (0,4 × 1,0 m).

---

Recibido el 02-11-2015 • Aceptado el 22-04-2017

\*Autor de correspondencia. Correos electrónicos: rarpadron@unorte.edu.uy, rarpadron@gmail.com

Cada parcela fue conformada por 120 plantas, para un total de 600 plantas. Se estableció sistema de riego localizado (cintas de goteo), con espaciamento entre goteros de 0,2 m y caudal de 0,8 L·h<sup>-1</sup>. La evapotranspiración de referencia se calculó utilizando el método de Penman-Monteith/FAO. Para determinar el tamaño de parcela se utilizaron el Método de Máxima Cobertura Modificada y el Modelo Lineal Segmentado con Respuesta Plateau. Se estimó el número de repeticiones con base a la diferencia mínima significativa por el test de Tukey (P= 5%). Se determinó el coeficiente de heterogeneidad del suelo, a partir de la ley de la varianza y se calculó el error experimental. La variabilidad encontrada se podría atribuir a las láminas y las frecuencias de riego. El tamaño de parcela oscilo entre 5 a 17 plantas (2,4 a 6,8 m<sup>2</sup>). Fueron suficientes tres repeticiones para evaluar hasta 30 tratamientos para determinar 50% de diferencia.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, coeficiente de heterogeneidad, ensayo de uniformidad, parcela experimental, precisión experimental.

### Abstract

In agronomic trials, the experimental precision can be improved by using plots with appropriate dimensions and numbers of repetitions. This study aims to determine the plot size and number of repetitions to evaluate the yield in bell pepper crop (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field with depths and irrigation frequencies. The treatments consisted on the application of irrigation depths of 50 and 100% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), with irrigation frequencies: daily, every two days and control (no irrigation). The planting density was 2.5 plant m<sup>-2</sup>, spacing between the plant and row (0.4 × 1.0 m), each plot was composed of 120 plants for a total of 600 plants. Localized irrigation system (drip tape), emitter spacing of 0.2 m and flow rate of 0.8 L·h<sup>-1</sup> was established. The reference evapotranspiration was calculated based on Penman-Monteith/FAO method. The plot size was determined by Modified Maximum Curvature Method and Linear Response Plateau Model. The number of repetitions was estimated based on the minimum significant difference by Tukey's test (P= 5%). The soil heterogeneity coefficient was determined from the law of variance and the experimental error was calculated. The found variability can be attributed to the depths and irrigation frequencies. The plot size oscillates between 5-17 plants (2.4 to 6.8 m<sup>2</sup>). Three replications are sufficient to evaluate up to 30 treatments to determine 50% difference.

**Key words:** *Capsicum annuum*, heterogeneity coefficient, uniformity tests, experimental plot, experimental precision.

### Resumo

Em ensaios agronômicos a precisão experimental pode ser melhorada empregando-se parcelas com dimensões e número de repetições apropriadas.

O objetivo deste trabalho foi determinar o tamanho de parcela e número de repetições para avaliar o rendimento no cultivo de pimentão (*Capsicum annuum* L.), cultivado em campo aberto com lâminas e frequência de irrigação. Os tratamentos consistiram na aplicação lâminas de 50 e 100% da evapotranspiração do cultivo (ETc), com as seguintes frequências de irrigação: diariamente, a cada dois dias e a testemunha (sem irrigação). A densidade de plantas foi de 2,5 planta m<sup>-2</sup>, espaçamento entre planta e fileira (0,4 x 1,0 m), cada parcela foi constituída de 120 plantas, para um total de 600 plantas. O sistema de irrigação estabelecida foi gotejamento com espaçamento entre emissor de 0,2 m e vazão de 0,8 L.h<sup>-1</sup>. A evapotranspiração de referência foi calculada usando o método de Penman-Monteith/FAO. Para determinar o tamanho de parcela utilizou-se o método da máxima curvatura modificado e o modelo linear segmentada com resposta plateau. Estimou-se o número de repetições com base na diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (P= 5%). Determinou-se o coeficiente de heterogeneidade do solo, a partir da lei da variância e calculou-se o erro experimental. A variabilidade encontrada pode ser atribuída às lâminas e frequências de irrigação. O tamanho de parcela oscilou entre 5 e 17 plantas (2,4 a 6,8 m<sup>2</sup>). Assim, são suficientes três repetições para avaliar até 30 tratamentos para determinar 50% de diferença mínima significativa.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum*, coeficiente de heterogeneidade, ensaio de uniformidade, parcela experimental, precisão experimental.

## Introducción

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) pertenece a la familia Solanaceae, tiene su origen en México, Centroamérica y el Norte de América del Sur (Filgueira, 2003; Souza *et al.*, 2011). Se encuentra extendido por casi todo el mundo, es de gran importancia económica, ocupando el segundo lugar en la producción a nivel mundial y los principales países productores son: China, Turquía, México, Nigeria, España y Estados Unidos (FAO, 2012).

La insuficiencia generalizada de agua para la producción agrícola ha llevado a la necesidad de crear estrategias orientadas a optimizar la eficiencia de su uso. En consecuencia de esto se originó el riego localizado y algunas estrategias de manejo como es

## Introduction

Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) belongs to the family Solanaceae, and it originates in Mexico, Central America and the North of South America (Filgueira, 2003; Souza *et al.*, 2011). It is well extended around the world, and it has economic importance occupying the second place in the worldwide production, the main producing countries of pepper are: China, Turkey, Mexico, Nigeria, Spain and the United States (FAO, 2012).

The lack of water for the agriculture production has motivated the need of creating strategies oriented to optimize its efficiency. Consequently, localized irrigation originated as well as some handling strategies such as deficit irrigation that based on

el riego deficitario, que se fundamenta en reducir el agua de riego aplicada con el mínimo impacto sobre la producción (Rodríguez-Padrón *et al.*, 2014).

Los experimentos conducidos en áreas grandes son injustificables desde el punto de vista económico, estadístico y práctico. Además, la heterogeneidad ambiental es una característica inherente en los ensayos en campo, debiendo ser considerada en la interpretación de los resultados y la falta de uniformidad e información han originado técnicas para obtener resultados consistentes, como son la determinación del tamaño de parcela y número de repeticiones. En consecuencia se obtiene un mejor análisis de datos, maximizando la información, con mejor aprovechamiento del área, en procura de reducir el error experimental y el aumento en la precisión. En este contexto Lúcio *et al.* (2008), señalaron que cuando se realiza un experimento, el investigador espera que la variabilidad entre las parcelas sea consecuencia del efecto de los tratamientos, y para que esto ocurra, el error experimental debe reducirse al mínimo. También, el dimensionamiento adecuado del número de plantas por parcela, tamaño de la muestra, número de repeticiones y diseño experimental, entre otros, son formas de minimizar el error (Storck *et al.*, 2006a). Además Cargnelutti Filho *et al.* (2012), mencionó que a partir del punto en que el aumento del tamaño de la parcela no resultó una mayor precisión, los aumentos adicionales en la precisión se podrían

reducing irrigation water with the minimal impact on the production (Rodríguez-Padrón *et al.*, 2014).

The experiments carried out in big areas are unjustified from different points of view: economic, statistical and practical. Besides, the environmental heterogeneity is a characteristic inherent to field trials; thus, must be considered in the interpretation of the results; also, the lack of uniformity and information has generated techniques to obtain consistent results, such as the determination of the plot size and number of replications. Consequently, a better data analysis is obtained, maximizing the information with better utilization of the area, with the intention of reducing the experimental error and increment the accuracy. In this sense, Lúcio *et al.* (2008) mentions that when an experiment is carried out the investigator expects that the variability among the plots would be the consequence of the effect of the treatments, and in order for this to happen the experimental error must be reduced to its minimum. Also, the adequate dimension of the number of plants per plot, size of the sample, number of replications and experimental design, among others, are ways to minimize the error (Storck *et al.*, 2006a). Additionally, Cargnelutti Filho *et al.* (2012) mentioned that at the time that the increment of the plot size does not provide more accuracy, the additional increments in accuracy could be obtained through higher number of replications.

The experimental planning, the size, shape and number of replications

obtener mediante el uso de un mayor número de repeticiones.

La planificación experimental, el tamaño, la forma y el número de repeticiones de cada escenario conlleva a obtener una mejor precisión experimental, esto se hace con la finalidad de definir o planificar adecuadamente la precisión esperada. Además de conocer la estadística apropiada para evaluar la precisión experimental, por consiguiente aumenta el número de grados de libertad del residuo obteniendo la estimación fidedigna del efecto de los tratamientos. La realización de ensayos de uniformidad, definidos como ensayos sin tratamientos (Storck *et al.*, 2011; Ramalho *et al.*, 2012), donde son realizadas las mismas prácticas culturales en toda el área experimental, es posible evaluar la heterogeneidad del área en estudio.

Generalmente la unidad experimental se selecciona sin ninguna base estadística ya que son muchos los factores responsables de la variación (Pimentel, 2009). El método tradicional para definir la unidad experimental es usar parcelas pequeñas con mayor número de repeticiones, consecuentemente esto aumenta la precisión y las parcelas grandes están relacionadas a la adopción de pocas repeticiones, ocasionando riesgo para la precisión experimental; por lo tanto, es importante la determinación del tamaño de parcela (Cochran y Cox, 1975; Rossetti y Pimentel, 1983). Además, en todo caso el tamaño siempre está íntimamente relacionado a la variabilidad del suelo, consideraciones prácticas, material experimental, condiciones ambientales,

of each scenario allow obtaining a better experimental accuracy, with the aim of defining or planning adequately the expected accuracy. Also, knowing the appropriate statistics for evaluating the experimental accuracy it increases the number of waste degrees by obtaining the reliable estimation of the treatment effects. The performance of uniformity essays, defined as essays without treatment (Storck *et al.*, 2011; Ramalho *et al.*, 2012), in which the cultural practices are carried out in all the experimental area, making possible to evaluate the heterogeneity of the area under research.

Generally, the experimental unit is selected without any statistical basis since there are a lot of factors responsible of the variation (Pimentel, 2009). The traditional method to define the experimental unit is to use small plots with more number of replications, which increases the accuracy; and the big plots related to the adoption of few replications, cause risk for the experimental accuracy; therefore, the determination on the plot size is very important (Cochran and Cox, 1975; Rossetti and Pimentel, 1983). In all cases, the size is always closely related to the soil variability, practical considerations, experimental design, environmental conditions, among others, without considering the influence of the depths and the irrigation frequency.

Currently, among the traditional methods used to determine the plot size is the Modified Maximum Curvature Method developed by Lessman and Atkins (1963), which

entre otras, sin considerar como influye la lámina y frecuencia de riego.

Actualmente, entre los métodos tradicionalmente utilizados para determinar el tamaño de parcela, se encuentra el Método de Máxima Curvatura Modificado, desarrollado por Lessman y Atkins (1963), que es la relación entre los coeficientes de variación y los respectivos tamaños de parcelas. Basados en este método, se encuentran ejemplos para diferentes cultivos: *Sorghum bicolor* (Lopes *et al.*, 2005), *Solanum tuberosum* (Storck *et al.*, 2006a), *C. annuum* L. (Lorentz y Lúcio, 2009), *Vitis* sp. (Morais *et al.*, 2014), *Phaseolus vulgaris* (Smiderle *et al.*, 2014). Por otra parte, métodos fundamentados en ajustes de modelos de regresión segmentados vienen siendo utilizados con éxito, entre ellos se encuentra el Modelo Lineal Segmentado con Respuesta Plateau propuesto por Paranaíba *et al.* (2009a), utilizando en diferentes cultivos como: *Triticum* spp. y *Manihot esculenta* (Paranaíba *et al.*, 2009b), *Ananas comosus* (Leonardo *et al.*, 2014), *Helianthus annuus* (Sousa *et al.*, 2015).

La carencia de información referente a la influencia que puede ejercer la lámina y frecuencia de riego en las técnicas experimentales, con la finalidad de tornar los ensayos económicamente viables y facilitando la comparación de los tratamientos eficientemente. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar el tamaño óptimo de parcela experimental y número de repeticiones para evaluar el rendimiento en el cultivo de pimentón (*Capsicum*

is the relation between the variation coefficients and the corresponding plot sizes. There are examples for the different crops based on this method: *Sorghum bicolor* (Lopes *et al.*, 2005), *Solanum tuberosum* (Storck *et al.*, 2006a), *C. annuum* (Lorentz and Lúcio, 2009), *Vitis* sp. (Morais *et al.*, 2014), *Phaseolus vulgaris* (Smiderle *et al.*, 2014). On the other hand, Methods based on Segmented Regression adjustment models are being used with success, among these methods is the Linear Segmented Method with Plateau Response proposed by (Paranaíba *et al.*, 2009a), used in different crops such as: *Triticum* spp. and *Manihot esculenta* (Paranaíba *et al.*, 2009b), *Ananas comosus* (Leonardo *et al.*, 2014), *Helianthus annuus* (Sousa *et al.*, 2015).

There is little information about the influence that the depths and irrigation frequency may have in the experimental techniques, with the aim of easing the viability of essays and providing the comparison of efficient treatments. In this sense, the aim of this research was to determine the optimal size of the experimental plot and the number of replications to evaluate the yield in the crop of bell pepper, cultivated in open-field with depths and irrigation frequency.

## Materials and methods

The experiment was carried out from November to March in 2013-2014 and 2014-2015, in the experimental field of Universidad Federal de Santa Maria, located at 29°43'23" S and 53°43'15" W at 110 meters of height.

*annuum*), cultivado en campo abierto con láminas y frecuencia de riego.

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo durante los meses de noviembre a marzo en los años 2013-2014 y 2014-2015, en el área experimental del Colegio Politécnico de la Universidad Federal de Santa Maria, ubicado a 29°43'23" S y 53°43'15" O a 110 metros de altitud. El clima de la región según la clasificación de Köppen-Geiger es subtropical húmedo (Cfa). El suelo es clasificado como Paleudult según Soil Taxonomy (USDA, 1999) y las características físico hídrica descritas por Rodríguez-Padrón *et al.* (2015).

Los tratamientos consistieron en la aplicación de láminas de riego de 50 y 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) con frecuencias de riego diario, cada dos días y un tratamiento testigo (sin riego). Las parcelas fueron constituidas por cuatro hileras de 12 m de largo (4 × 12 m), con área útil de 48 m<sup>2</sup>, resultando una densidad de 120 plantas parcela<sup>-1</sup>, para un total de 600 plantas en 240 m<sup>2</sup>, sin incluir las plantas de bordadura. La distancia de siembra fue de 0,4 m entre plantas y 1,0 m entre hileras para una densidad de 2,5 plantas m<sup>-2</sup>.

El material vegetal de pimentón utilizado fue el híbrido 'Impacto', el ciclo vegetativo del cultivo constó de 126 días después del trasplante. Se evaluó el rendimiento comercial del fruto fresco en todas las plantas de cada tratamiento (600 plantas) y se estableció la planta como una unidad básica (UB: 0,4 m<sup>2</sup>), todas las plantas

The weather of the region is subtropical humid (Cfa) according to the Köppen-Geiger classification. The soil is classified as Paleudult according to Soil Taxonomy (USDA, 1999) and the physical-hydrological characteristics described by Rodríguez-Padrón *et al.* (2015).

The treatments consisted on the application of depths irrigation of 50 and 100% of the crop evapotranspiration (ETc) with daily irrigation frequencies every two days and one control treatment (without irrigation). Plots were constituted by four rows of 12 m of length (4 x 12 m), with a useful area of 48 m<sup>2</sup>, and a plant density of 120 plants plot<sup>-1</sup> for a total of 600 plants in 240 m<sup>2</sup>, without including the bordering plants. The cultivated distance was of 0.4 m among plants and 1.0 m among rows for a density of 2.5 plant m<sup>-2</sup>.

The plant material of bell pepper used was the hybrid 'Impacto', the vegetative cycle of the crop required 126 days after the transplant. The commercial yield of the fresh fruit was evaluated in all plants of each treatment (600 plants) and the plant was established as a basic unit (BU: 0.4 m<sup>2</sup>), all plants to be harvested were identified on each row; fruits weighting was done using an accuracy balance. Harvests were done at 60, 67, 77, 87, 94, 102, 113, 120 and 126 days after the transplant. Agronomic practices used were phytosanitary control, unrooting, stringing and weed control.

A local irrigation system was established (dripping), drip tapes inserted with emitter spacing of

a cosechar fueron debidamente identificadas en cada hilera, el pesaje de los frutos se realizó por medio de balanza de precisión. Las cosechas fueron realizadas a los 60, 67, 77, 87, 94, 102, 113, 120 y 126 días después del trasplante. Las prácticas agronómicas empleadas fueron: control fitosanitario, desbrote, tutorado y control de malezas.

Se estableció un sistema de riego localizado (goteo), cinta de góteros insertados con espaciamiento entre góteros de 0,2 m y caudal de 0,8 L h<sup>-1</sup>. La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) se calculó con base al método de Penman-Monteith/FAO y la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) utilizando los coeficientes de cultivo (kc: 0,6; 1,15 y 0,8) para cada etapa fenológica (Allen *et al.*, 2006). Según Rodríguez-Padrón *et al.* (2014), se asumió como estrategia de riego la aplicación del 100% de la ET<sub>c</sub> hasta 20 días después del trasplante a todos los tratamientos con riego, posteriormente se aplicó las láminas y frecuencias de riego.

Se constituyó el tamaño de parcela por X unidades básicas en las hileras, agrupando las unidades básicas adyacentes, obteniendo el producto de X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> correspondiendo a X tamaños de parcelas en número de unidades básicas. proyectando 15 tamaños de parcela en cada tratamiento (0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; 3,2; 4,0; 4,8; 6,0; 8,0; 9,6; 12,0; 16,0 y 24,0 m<sup>2</sup>), seleccionando el número de unidades básicas que originaron tamaños de parcelas capaces de utilizar el área útil por parcela. En cada tamaño de parcela estimada se calculó: la media,

0.2 m and a flow of 0.8 L h<sup>-1</sup>. The evapotranspiration of reference (ET<sub>o</sub>) was calculated based on Penman-Monteith/FAO method and the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) using the crop coefficients (kc: 0.6, 1.15 and 0.8) for each phenologic stage (Allen *et al.*, 2006). According to Rodríguez-Padrón *et al.* (2014) it was assumed as irrigation strategy 100% of the ET<sub>c</sub> until 20 days after the transplant to all treatments with irrigation; later, were applied the depths y irrigation frequencies.

The experimental plot size per X basic units in the rows were constituted, grouping the adjacent basic units and obtaining the product X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> corresponding to X sizes of the plots in number of basic units; projecting 15 sizes of the plot on each treatment (0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 4.0, 4.8, 6.0, 8.0, 9.6, 12.0, 16.0 and 24.0 m<sup>2</sup>), and selecting the number of basic units that originated sizes of plots capable of using the useful area per plot. On each size of the estimated plot was calculated: the mean, standard deviation (S), variance (S<sup>2</sup>) and coefficient of variation (CV). In this essay was considered the plot size and the unshaped, estimating the mean of the plots in different ways and with the same size.

The optimum plot size was determined by the Modified Maximum Curvature Method proposed by Lessman and Atkins (1963), this method consists on the graphic representation of the coefficients of variation of each estimated plot with its corresponding size in basic units, represented by Eq. 1, where: CV is



la desviación estándar (S), la varianza (S<sup>2</sup>) y el coeficiente de variación (CV). En este ensayo se consideró el tamaño de parcela y no la forma, estimando la media de las parcelas de variada forma con el mismo tamaño.

El tamaño óptimo de parcela fue determinado por el Método de Máxima Curvatura Modificada, propuesto por Lessman y Atkins (1963), este método consiste en la representación gráfica de los coeficiente de variación de cada parcela estimada, con su respectivo tamaño en unidades básicas, representado por la Ec. 1, donde: (cv) es el coeficiente de variación entre las parcelas, (x) corresponde al tamaño de parcela en unidad básica y los parámetros (A y B) son estimados por la función de regresión potencial, con estos parámetros se obtiene la valoración del tamaño óptimo de parcela, donde el valor de las abscisas corresponde al punto de máxima curvatura (X<sub>MC</sub>) representado por la Ec. 2, donde: (A) es la constante de regresión (intercepto) y (B) es el coeficiente de regresión (inclinación).

$$CV_x = \frac{A}{X^B} \quad (1)$$

$$X_{MC} = \left\{ \frac{A^2 B^2 (2B + 1)}{B + 2} \right\}^{\frac{1}{(2B+2)}} \quad (2)$$

El Modelo Lineal Segmentado con Respuesta Plateau, propuesto por Paranaíba *et al.* (2009a) es representado en la Ec. 3, donde: CV(x) es el coeficiente de variación entre las parcelas, (x) corresponde al tamaño de parcela en unidad básica, (x<sub>o</sub>) es el tamaño óptimo de parcela para la cual el modelo lineal se

the coefficient of variation among the plots, X corresponds to the plot size in basic unit and the parameters (A and B) are estimated by the function of potential regression, with these parameters is obtained the value of the optimum plot size, where the value of the abscissa corresponds to the point of maximum curvature (X<sub>MC</sub>) represented by Eq. 2, where: A is the regression constant (intercept) and B is the regression coefficient (inclination).

$$CV_x = \frac{A}{X^B} \quad (1)$$

$$X_{MC} = \left\{ \frac{A^2 B^2 (2B + 1)}{B + 2} \right\}^{\frac{1}{(2B+2)}} \quad (2)$$

The Linear Response Plateau Model (LRP) proposed by Paranaíba *et al.* (2009a) is represented in Eq. 3, where: CV(x) is the coefficient of variation among the plots, (x) corresponds to the plot size in the basic unit, (x<sub>o</sub>) is the optimal plot size for which the lineal model is transformed into a plateau in relation to the abscissa (cvp) is the coefficient of variation in the point corresponding to plateau, β<sub>0</sub> y β<sub>1</sub> is the intercept and angle coeficiente, respectively of the linear segment and ε<sub>x</sub> is the associated error to CV(x), supposedly independent and normal distribution with zero mean and constant variance S<sub>x</sub><sup>2</sup>. For the continuity of linear and plateau segments the points must be equaled (X<sub>o</sub>), as well as β<sub>0</sub> y β<sub>1</sub> = CVP, the optimum plot size was estimated by Eq. 4. For the adjustment of the

transforma en un Plateau en relación a las abscisas,  $(cvp)$  es el coeficiente de variación en el punto correspondiente a Plateau,  $\beta_0$  y  $\beta_1$  es el intercepto y coeficiente angular, respectivamente del segmento lineal y  $\mathcal{E}_x$  es el error asociado a  $CV(x)$ , supuestamente independiente y distribución normal de media cero y varianza  $S_x^2$  constante. Para la continuidad de los segmentos, lineal y Plateau, debe ser igualado los puntos ( $X_0$ ), al igual que  $\beta_0$  y  $\beta_1 = CVP$ , el tamaño óptimo de parcela fue estimado por la Ec. 4. Para ajuste del modelo fue utilizado el método de los mínimos cuadrados, para modelos no lineales.

$$CV(x) = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_x & X \leq X_0 \\ CVP + \varepsilon_x & X > X_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$X_0 = \frac{(CVP - \beta_0)}{\beta_1} \quad (4)$$

El método para calcular el número de repeticiones es la diferencia mínima significativa ( $d$ ) del test de Tukey, expresada en porcentaje de la media del experimento por la Ec. 5, donde:  $q_{\alpha}(i; GL_E)$  es el valor crítico del test de Tukey en el nivel de probabilidad del error,  $i$  es el número de tratamientos,  $GL_E$  es el número de grados de libertad del error, considerando para el cálculo de  $GL_E$  los diseños completamente aleatorizados ( $i(r-1)$ ) y diseño de bloques completos al azar ( $(i-1)(r-1)$ ),  $CM_E$  es el cuadrado medio del error,  $r$  el número de repeticiones y  $m$  la media del tratamiento. De esta forma, sustituyendo en la Ec. 5 el coeficiente de variación experimental en porcentaje

model, the minimum squared method was used for non-linear models.

$$CV(x) = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_x & X \leq X_0 \\ CVP + \varepsilon_x & X > X_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$X_0 = \frac{(CVP - \beta_0)}{\beta_1} \quad (4)$$

The method to calculate the number of replications is the minimum significance difference ( $d$ ) of Tukey test, expressed in the mean percentage of the estimated by Eq. 5, where:  $q_{\alpha}(i; GL_E)$  is the critical value of Tukey test in the probability level of the error,  $i$  is the number of treatments,  $GL_E$  is the degree of freedom of the error, considering for the calculus of  $GL_E$  the randomized designs ( $i(r-1)$ ) and Split plot randomized designs ( $(i-1)(r-1)$ ),  $CM_E$  is the mean square of the error,  $r$  is the number of replications and  $m$  is the mean of the treatment. Likewise, substituting in Eq. 5 the experimental coefficient of variation in percentage (Eq. 6), by calculating of  $d$  and isolating  $r$  is obtained Eq. 7. The determination of the  $r$  was done by the interactive process until relating the values.

To calculate the number of replications was assumed the highest plot size obtained from the determination methods, projecting the randomized designs and considering the probable error level  $\alpha = 5\%$ ,  $i = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20$  and  $30$  and  $d = 10, 20, 30$  and  $50\%$ ; thus, when the lowest value of  $d$  is obtained, higher will be the experimental accuracy. This methodology has been implemented

(Ec. 6), para el cálculo de  $d$  y aislando  $r$  se obtiene la Ec. 7. La determinación de  $r$  se efectuó por el proceso interactivo hasta que convergen los valores.

Para el cálculo del número de repeticiones se asumió el mayor tamaño de parcela obtenido de los métodos de determinación, proyectando los diseños completamente aleatorizados y bloques completos al azar, considerando el nivel de probabilidad de error  $\alpha = 5\%$ ,  $i = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20$  y  $d = 10, 20, 30$  y  $50\%$ , de esta forma cuando se obtenga el menor valor de  $d$  será mayor la precisión experimental. Esta metodología ha sido implementada por Nesi *et al.* (2010) y Cargnelutti Filho *et al.* (2014).

$$d = \frac{q_{\alpha(i;GLE)} \sqrt{\frac{CM_E}{r}}}{m} \times 100 \quad (5)$$

$$CV = \frac{\sqrt{CM_E}}{m} \times 100 \quad (6)$$

$$r = q_{\alpha(i;GLE)} \frac{CV}{d^2} \quad (7)$$

Se determinó el coeficiente de heterogeneidad del suelo, a partir de la ley de varianza de Smith (1938) sobre la base de las parcelas ya establecidas, mediante la Ec. 8, donde:  $V_1$  es la varianza del rendimiento en parcelas de la unidad básica,  $V_x$  es la varianza del rendimiento entre parcelas de  $X$  unidades básicas,  $X$  es el tamaño de parcela en unidades básicas y  $b$  el coeficiente de heterogeneidad del suelo. El estimador de  $V_x$  se define como la relación presentada en la Ec. 9, donde:  $S^2$  es la varianza entre

by Nesi *et al.* (2010) and Cargnelutti Filho *et al.* (2014).

$$d = \frac{q_{\alpha(i;GLE)} \sqrt{\frac{CM_E}{r}}}{m} \times 100 \quad (5)$$

$$CV = \frac{\sqrt{CM_E}}{m} \times 100 \quad (6)$$

$$r = q_{\alpha(i;GLE)} \frac{CV}{d^2} \quad (7)$$

The heterogeneity coefficient of the soil was determined after Smith variance level (1938) on the base of established plots through Eq. 8, where:  $V_1$  is the variance of the yield in plots of the basic unit,  $V_x$  is the variance of the yield among plots of  $X$  basic units,  $X$  is the plot size in basic units and  $b$  is the heterogeneity coefficient of the soil.

The estimator of  $V_x$  is defined as the relation presented in Eq. 9 where:  $S^2$  is the variance among the plot of the  $X$  area. It can also calculate through the determination of a simple linear regression among the variance logarithm of the plot size in basic units, Eq. 10; in this equation the regression coefficient estimates the heterogeneity coefficient that shows the relation between the variance logarithm of the plot and the size logarithm of the plot, which is linear.

$$V_x = \frac{V_1}{X^b} \quad (8)$$

$$V_x = \frac{S^2}{X^2} \quad (9)$$

parcela de área X. También se puede calcular mediante la determinación de una regresión lineal simple entre el logaritmo de la varianza de cada parcela y el logaritmo del tamaño de parcela en unidades básicas (Ec. 10); en esta ecuación, el coeficiente de regresión estima el coeficiente de heterogeneidad que demuestra la relación entre el logaritmo de la varianza de la parcela y el logaritmo del tamaño de la parcela la cual es lineal.

$$V_x = \frac{V_1}{X^b} \quad (8)$$

$$V_x = \frac{S^2}{\bar{X}^2} \quad (9)$$

$$\log V_x = \log V_1 - b \log X \quad (10)$$

Además, se calculó el error experimental para observar la variabilidad del rendimiento y el desempeño del híbrido, se determinó la media de cada tratamiento y se efectuó el mapa por medio del software Surfer® versión 10. Para estimar los tamaños de parcela y los análisis estadísticos respectivos, se diseñó una planilla de cálculos en Microsoft Excel® versión 2010. El análisis del modelo lineal segmentado con respuesta plateau, fue realizado con el software SAEG®. Los análisis de regresión fueron realizados en el software SigmaPlot® versión 12.0.

## Resultados y discusión

La evapotranspiración del cultivo y la lámina de riego aplicada en las

$$\log V_x = \log V_1 - b \log X \quad (10)$$

Also, the experimental error was calculated to observe the variability of the yield and the performance of the hybrid, the mean of each treatment was determined and the map was done using Surfer® software version 10. Excel, version 2010 was used to estimate the plot size and the corresponding statistical analysis. The analysis of the linear model segmented with plateau response was performed using SAEG®. The regression analyses were carried out using SigmaPlot® version 12.0.

## Results and discussion

The crop evapotranspiration and the depths irrigation applied during 2013-2014 and 2014-2015 was 385.4-263.8 mm and 401.8-281.5 mm, respectively. These results agree to the ones of Rodríguez-Padrón *et al.* (2016), which estimated the water needs for bell pepper in the area under research, obtaining the maximum evapotranspiration and the mean depths irrigation for 15 years of the analysis of 548.16 and 365.61 mm, respectively.

The variance and the coefficient of variation obtained from the statistical data of the yield for the different sizes of the plot are shown on table 1. The coefficient of variation reduces when the basic units increase (BU), this is an expected tendency because the experimental accuracy increases. Oliveira *et al.* (2011) agree with the fact that CV reduces when the BU increases. In relation to the plot with

temporadas 2013-2014 y 2014-2015 fue de 385,4-263,8 mm y 401,8-281,5 mm, respectivamente. Estos resultados coincidieron con los reportados por Rodríguez-Padrón *et al.* (2016), la cual efectuó la estimación de las necesidades hídricas para el cultivo de pimentón en la zona en estudio, obteniendo la evapotranspiración máxima y la lámina de riego media para 15 años de análisis de 548,16 y 365,61 mm, respectivamente.

La varianza y el coeficiente de variación, obtenidos de los datos estadísticos de la variable rendimiento para los diversos tamaños de parcela, se muestra en el cuadro 1. El CV disminuyó al aumentar las unidades básicas (UB), la misma fue una tendencia esperada porque aumentó la precisión experimental. También Oliveira *et al.* (2011) coincidieron que el CV disminuyó al aumentar las UB. En relación a la parcela de mayor (24 m<sup>2</sup>) y menor tamaño (0,4 m<sup>2</sup>), el tratamiento testigo sin riego (T0) presentó la mayor reducción del CV de 89,54% y la menor fue el tratamiento con lámina de 50% de ETc y frecuencia de riego cada dos días (T4) con 55% de reducción. Los valores máximos del CV oscilaron entre 37,94 y 68,24% y los mínimos entre 7,14 y 18,81% con diferencia de 30,3 y 11,67%, respectivamente. Los tratamientos con riego mostraron CV entre 37,94 y 42,69%, en comparación a T0 que obtuvo CV de 68,24%. Este resultado demostró que T0 presentó mayor heterogeneidad en los valores de la variable rendimiento; comparado con los tratamientos con riego que presentaron menor CV mayor homogeneidad en los valores en la

high (24 m<sup>2</sup>) and low size (0.4 m<sup>2</sup>), the control treatment without irrigation (T0) presented the highest reduction of the CV of 89.54% and the lowest was the treatment with the depths of 50% of ETc and irrigation frequency every two days (T4) with 55% of reduction.

The maximum values of CV oscillated from 37.94 and 68.24% and the minimum from 7.14 to 18.81% with a difference of 30.0 and 11.67%, respectively. The treatments with irrigation showed a CV from 37.94 to 42.69%, compared to T0 that obtained CV 68.24%. This result shows that T0 had more heterogeneity in the values of the yield; compared to the treatments with irrigation that presented lower CV and higher homogeneity in the values of the yield.

The relationship between the coefficient of variation and the sizes of the plot by the Modified Maximum Curvature Method (MCM) is shown in figure 1. In all the treatments, the determination coefficients (R<sup>2</sup>) showed superior values to 0.90, which indicates that the data is well adapted to the equation. The frequency treatments of daily irrigation presented similar determination coefficients (R<sup>2</sup>= 0.95); thus, the every-two day irrigation frequency oscillated from 0.93 to 0.97, being T3 the one with the best adjustment. On the other hand, T0 presented the lowest adjustment (R<sup>2</sup>= 0.91). This might indicate that the potential regression model is adequate to describe the relationship between the variation coefficient and the yield.

The relation between the coefficient of variation and the sizes of the plot by the Linear Response

**Cuadro 1. La varianza ( $S^2$ ), el coeficiente de variación (CV%), obtenidos de datos estadísticos del rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, con láminas de riego de 50% ETc (T2; T4), 100% ETc (T1; T3), frecuencias de riego: diario (T1; T2), cada dos días (T3; T4) y testigo sin riego (T0).**

**Table 1. Variance ( $S^2$ ), coefficient of variation (VC%), obtained from statistical data of the yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field, with depths irrigation of 50% ETc (T2; T4), 100% ETc (T1; T3), irrigation frequencies: daily (T1; T2), every two days (T3; T4) and control without irrigation (T0).**

UB	Área (m <sup>2</sup> )	T0		T1		T2		T3		T4	
		S <sup>2</sup>	CV	S <sup>2</sup>	CV	S <sup>2</sup>	CV	S <sup>2</sup>	CV	S <sup>2</sup>	CV
1	0,4	0,85	68,24	0,56	37,94	0,71	38,28	0,76	42,69	0,60	38,34
2	0,8	1,49	51,15	0,94	31,54	1,13	30,37	1,26	35,45	0,88	27,86
3	1,2	1,97	43,43	1,20	26,98	1,38	24,68	1,53	28,67	1,15	24,38
4	1,6	2,63	43,33	1,54	25,89	1,71	23,01	2,13	30,04	1,42	22,62
5	2,0	2,87	28,64	1,70	22,99	1,65	17,77	2,43	27,38	1,60	20,34
6	2,4	3,64	34,00	2,15	24,19	2,30	20,58	2,86	26,93	2,10	22,30
8	3,2	4,51	30,24	2,46	22,06	2,41	17,35	3,44	25,84	2,19	18,52
10	4,0	5,24	25,43	2,74	19,32	2,45	13,91	3,87	22,85	2,33	15,56
12	4,8	5,97	28,60	3,29	19,11	3,05	14,40	4,64	22,44	3,12	17,06
15	6,0	6,51	22,65	3,47	16,59	3,32	12,81	5,34	21,17	3,48	15,65
20	8,0	7,69	19,06	4,31	15,98	2,86	8,62	6,62	20,36	3,53	12,31
24	9,6	8,08	17,64	4,08	12,06	4,27	10,32	8,37	20,53	3,75	10,44
30	12,0	10,73	10,49	6,12	14,73	4,34	8,59	9,47	18,92	4,73	10,76
40	16,0	12,75	5,84	6,28	11,70	3,88	5,97	13,29	20,44	4,98	8,76
60	24,0	13,60	7,14	3,75	7,73	8,26	8,93	17,64	18,81	7,05	8,70

UB: unidades básicas.

variable rendimiento.

La relación entre el coeficiente de variación y tamaños de parcela por el Método de Máxima Curvatura Modificada (MCM), se muestra en la figura 1. En todos los tratamientos los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) mostraron valores superiores a 0,90,

Plateau Model (LRP) is shown on figure 2. In all the treatment, the determination coefficients showed higher values to 0.68, lower than the ones found in the method MCM. The treatments with lower and higher adjustment of the determination coefficients were T0 and T1 with 0.68

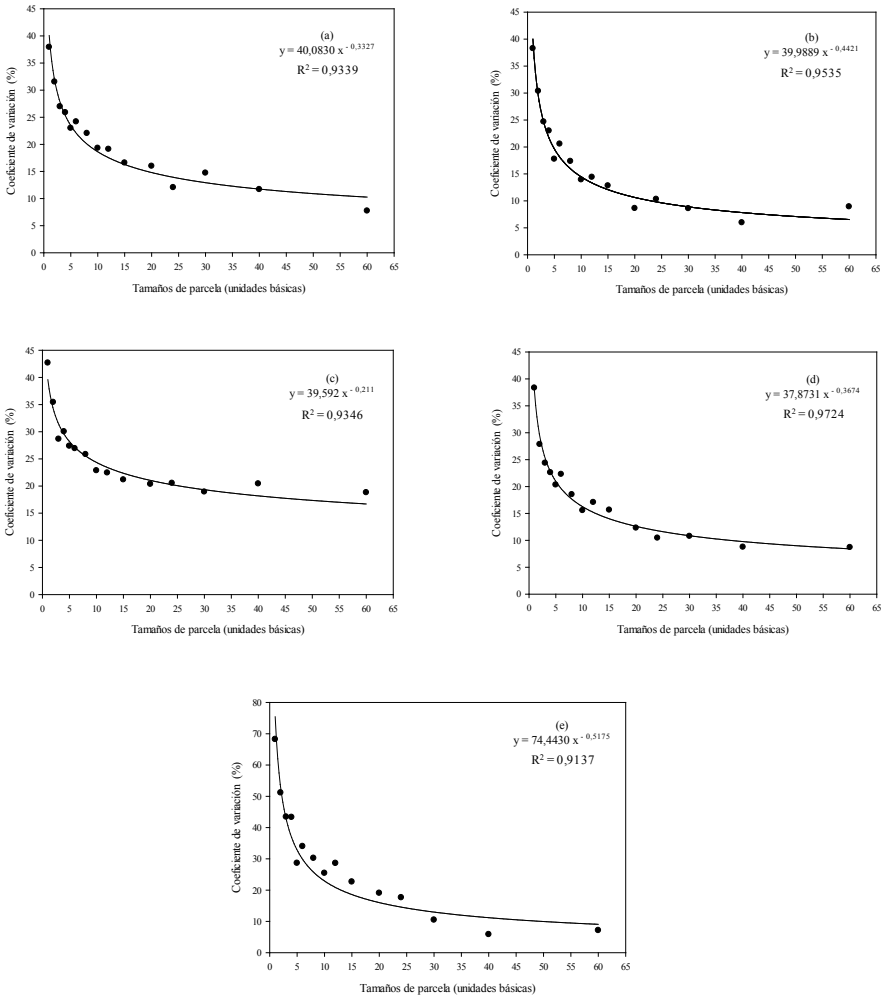


Figura 1. Relación entre el coeficiente de variación y tamaños de parcela del rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, con láminas de riego de 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), frecuencias de riego: diario (a; b), cada dos días (c; d) y testigo sin riego (e), por el método de máxima curvatura modificada.

Figure 1. Relation between the coefficient of variation and sizes of plot of the yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field, with depths irrigation of 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), irrigation frequencies: daily (a; b), every two days (c; d) and control without irrigation (e), by the method of modified maximum curvature.

lo que indicó que los datos tuvieron un buen ajuste a la ecuación. Los tratamientos de frecuencia de riego diario presentaron coeficientes de determinación ( $R^2$ ) mostraron valores superiores a 0,90, lo que indicó que los datos tuvieron un buen ajuste a la ecuación. Los tratamientos de frecuencia de riego diario presentaron coeficientes de determinación similares ( $R^2=0,95$ ), entretanto, la frecuencia de riego cada dos días osciló de 0,93 a 0,97, siendo T3 el que presentó el mejor ajuste. Por otra parte, T0 presentó el menor ajuste ( $R^2=0,91$ ). Pudiendo indicar que el modelo de regresión potencial fue adecuado para describir la relación que existió entre el coeficiente de variación y la variable rendimiento.

La relación entre coeficiente de variación y tamaño de parcela, por el Modelo de Regresión Lineal Segmentado con Respuesta Plateau (LRP) se muestra en la figura 2. En todos los tratamientos los coeficientes de determinación mostraron valores superiores a 0,68, menor que los encontrado en el método de MCM. Los tratamientos que presentaron menor y mayor ajuste de los coeficientes de determinación fueron T0 y T1 con 0,68 y 0,79, respectivamente. Los tratamientos T1 y T2 de frecuencia de riego diario presentaron coeficientes de determinación de 0,79 y 0,78, respectivamente, entretanto T3 y T4 de frecuencia de riego cada dos días de 0,71 y 0,70, respectivamente. Los coeficientes de determinación entre una misma frecuencia varió 0,1; sin embargo, entre las frecuencias varió 0,9.

El tamaño de parcela por el método

and 0.79, respectively. Treatments T1 and T2 with daily irrigation frequency presented determination coefficients of 0.79 and 0.78 respectively; thus, T3 and T4 with every-two day irrigation frequency presented 0.71 to 0.70, coefficients in the same frequency varied 0.1; but among the frequencies it varied 0.9.

The plot size by the MCM method and LRP model is shown on table 2. The plot size with the method MCM oscillated from 5 to 10 plants (2.4 to 4.0 m<sup>2</sup>), showing that the highest and lowest plot size corresponded to T0 to T3, respectively. The LRP model showed that the plot size oscillated from 9 to 17 plants (3.6 to 6.8 m<sup>2</sup>), likewise, it presented the same behavior of the method MCM, where the highest and lowest plot size was T0 and T3, respectively. The results were similar to the ones reported by Lorentz *et al.* (2012), who performed four experiments under greenhouse conditions, evaluating the fresh accumulated biomass using the method MCM and the model LRP, finding the plot size from 7 to 13 plants and from 10 to 13 plants, respectively.

Additionally, Lúcio *et al.* (2004); Lorentz and Lúcio (2009), using the MCM method determined the size of the plot under greenhouse conditions for fresh biomass in bell pepper, obtaining 10 plants per plot. On the other hand, Santos *et al.* (2014), carried out an essay under greenhouse conditions, evaluating the seed vigor and using Papadakis method, concluding the optimum plot size corresponds to 5 plants.

Comparing both methods used for determining the plot size, Lima



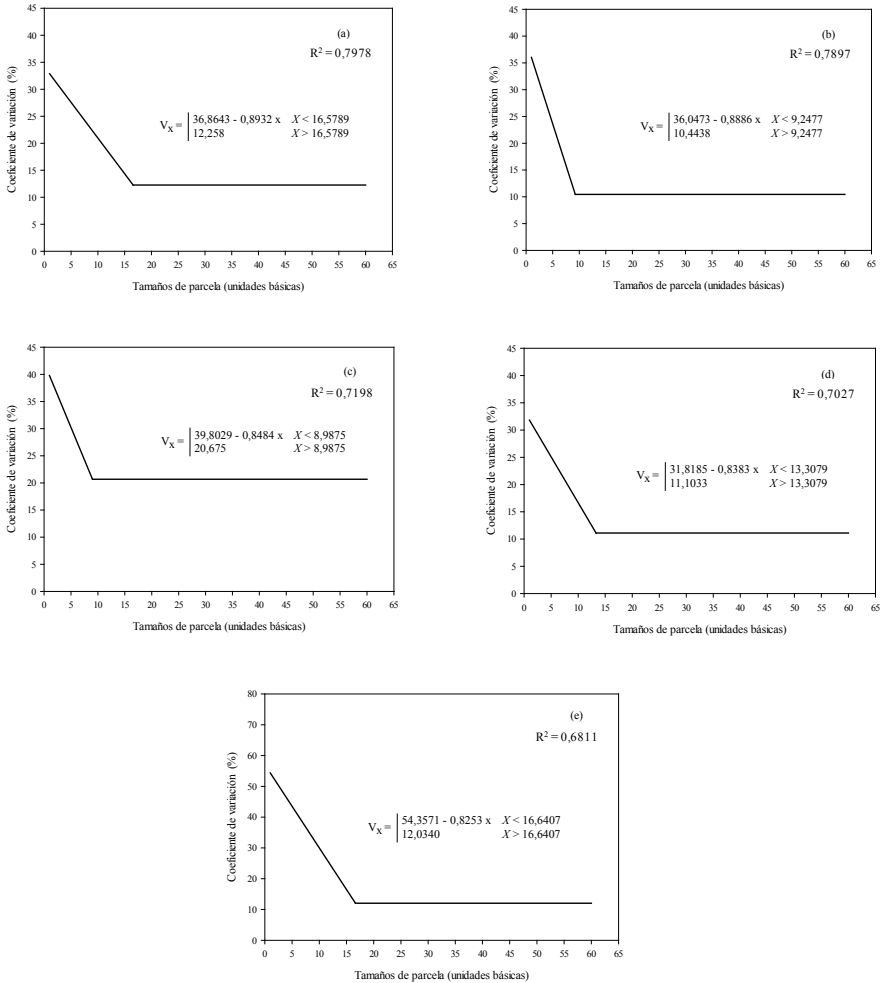


Figura 2. Relación entre coeficiente de variación y tamaños de parcela en el rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, con láminas de riego de 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), frecuencias de riego: diario (a; b), cada dos días (c; d) y testigo sin riego (e), por el Modelo de Regresión Lineal Segmentado con Respuesta Plateau.

Figure 2. Relation between the coefficient of variation and plot size of plot of the yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field, with depths irrigation of 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), irrigation frequencies: daily (a; b), every two days (c; d) and control without irrigation (e), by Segmented Lineal Regression Model with Plateau Response.

de MCM y el modelo LRP, se muestra en el cuadro 2. El tamaño de parcela con el método MCM, osciló entre 5 a 10 plantas (2,4 a 4,0 m<sup>2</sup>), mostrando el mayor y menor tamaño de parcela fue T0 y T3, respectivamente. El modelo LRP mostró que el tamaño de parcela osciló entre 9 y 17 plantas (3,6 a 6,8 m<sup>2</sup>), igualmente presentó el mismo comportamiento que el método de MCM, donde el mayor y menor tamaño de parcela fue T0 y T3 respectivamente. Los resultados fueron similares a los reportados por Lorentz *et al.* (2012), realizaron cuatro experimentos en invernadero, evaluando biomasa fresca acumulada por los métodos de MCM y el modelo LRP, encontrando tamaño de parcela

*et al.* (2007) and Neto *et al.* (2009) mentioned that the MCM method tends to overestimate the number of plants per plot. However, Paranaíba *et al.* (2009b) indicate that using the LRP method for the plot size plot allows obtaining values according to the practical situations. Also, Oliveira *et al.* (2011) and Brito *et al.* (2012) mention that the plot size obtained by the LRP model has been higher compared to the ones determined by the MCM method, and according to Brito *et al.* (2012) the value of the abscissa of the maximum curvature tends to occur in smaller portions of the plot. Likewise, Lopes *et al.* (2005) and Donato *et al.* (2008) used different methods to determine the plot size, and also mention that the most

**Cuadro 2. Tamaño óptimo de parcela para evaluar el rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, con láminas de riego de 50% ETc (T2; T4), 100% ETc (T1; T3), frecuencias de riego: diario (T1; T2), cada dos días (T3; T4) y testigo sin riego (T0), por el Método de Máxima Curvatura Modificada (MCM) y el Modelo de Regresión Lineal Segmentado con Respuesta Plateau (LRP).**

**Table 2. Optimum plot size to evaluated the yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field, with depths irrigation of 50% ETc (T2; T4), 100% ETc (T1; T3), irrigation frequencies: daily (T1; T2), every two days (T3; T4) and control without irrigation (T0), using the Method of Modified Maximum Curvature (MMC) and Linear Segmented Regression Model with Plateau Response (LPR).**

Tratamiento	MCM (UB)	Área (m <sup>2</sup> )	LRP (UB)	Área (m <sup>2</sup> )
T0	10	4,0	17	6,8
T1	6	2,4	17	6,8
T2	7	2,8	10	4,0
T3	5	2,0	9	3,6
T4	6	2,4	13	5,2

UB: unidades básicas.

entre 7 a 13 plantas y entre 10 a 13 plantas, respectivamente. También Lúcio *et al.* (2004) y Lorentz y Lúcio (2009), empleando el método de MCM determinaron el tamaño de parcela en invernadero para biomasa fresca en pimentón, obteniendo 10 plantas parcela<sup>-1</sup>. Por otra parte, Santos *et al.* (2014) realizaron un ensayo con pimentón en invernadero, donde evaluaron el vigor de la semilla, por el método de Papadakis, concluyendo que el tamaño óptimo de parcela fue de 5 plantas.

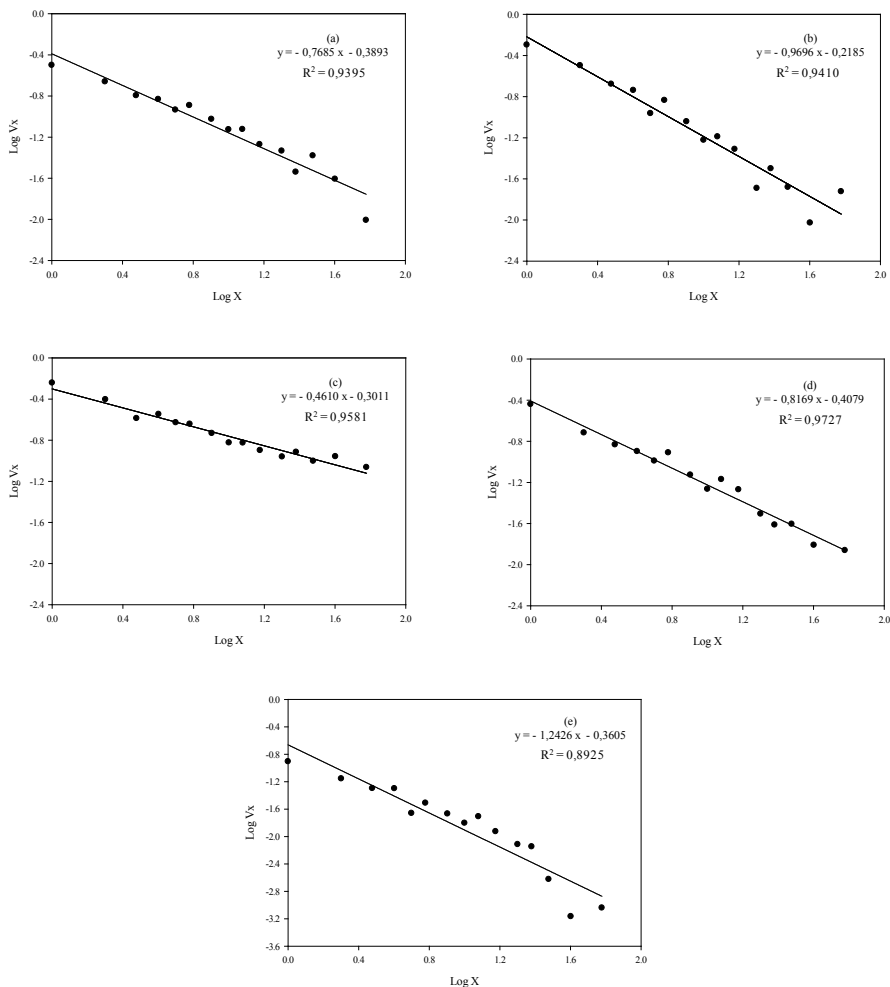
Comparando ambos métodos utilizados en relación a la diferencia al tamaño de parcela, Lima *et al.* (2007) y Neto *et al.* (2009) mencionaron que el método de MCM tuvo la tendencia a subestimar el número de plantas por parcela. Sin embargo, Paranaíba *et al.* (2009b) indicaron que con tamaños de parcelas por el modelo de LRP se obtuvieron valores más acordes con las situaciones prácticas. Además, Oliveira *et al.* (2011) y Brito *et al.* (2012) comentaron que el tamaño de parcelas obtenidas por el modelo LRP fue mayor en comparación con las determinadas por el método MCM, justificado según Brito *et al.* (2012) por que el valor de la abscisa del punto de máxima curvatura tendió a ocurrir en porciones más pequeñas de tamaños de parcelas. Asimismo, Lopes *et al.* (2005) y Donato *et al.* (2008) utilizaron varios métodos para determinar el tamaño de parcela y mencionaron que el método más adecuado fue MCM.

La regresión lineal del logaritmo de la varianza del rendimiento en función del logaritmo del tamaño de parcela, se muestra en la figura 3.

adequate method is MCM.

The linear regression of the variance logarithm of the yield in function of the logarithm related to the plot size is shown on figure 3. The heterogeneity coefficient of the soil oscillated from 0.461 to 1.243. The treatments with irrigation presented coefficient from 0.461 to 0.970, being T3 the lowest and T2 the highest, respectively. According to Donato *et al.* (2008), the values of the heterogeneity coefficient higher to 0.7 indicate little correlation among the adjacent units; meanwhile, values from 0.2 to 0.7 indicate intermediate variability. Likewise, treatments with irrigation that had more variability were (T2; T4), both with depths irrigation of 50% of ETc, and the ones with lowest variability were (T1, T3), both with depths irrigation of 100% of ETc. T3 presented the lowest variability ( $b= 0.4610$ ) among the adjacent BU. This indicates that the daily irrigation frequency provides more variability in the yield.

According to Rodríguez-Padrón *et al.* (2014) the bell pepper production is closely related to the depths and irrigation frequency. Generally, the water deficit reduces the yield in bell pepper (Dalla and Gianquinto, 2002; Sezen *et al.*, 2006). Treatment T0 showed a coefficient of 1.243, which means high soil heterogeneity or low correlation among adjacent plots, indicating that the experimental plots with this treatment must be with higher number of BU. Lorentz *et al.* (2012) in a greenhouse experiment with bell pepper found soil heterogeneity coefficient from 0.8



**Figura 3.** Regresión lineal del logaritmo de la varianza del rendimiento ( $\text{Log } V_x$ ) en función del logaritmo del tamaño de parcela ( $\text{Log } X$ ) en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, con láminas de riego de 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), frecuencias de riego: diario (a; b), cada dos días (c; d) y testigo sin riego (e), por el método de varianza de Smith (1938).

**Figure 3.** Linear regression of the variance logarithm of the yield ( $\text{Log } V_x$ ) in function of the logarithm of the plot size ( $\text{Log } V_x$ ) in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field, with depths irrigation of 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), irrigation frequencies: daily (a; b), every two days (c; d) and control without irrigation (e), using Smith variance method (1938).

El coeficiente de heterogeneidad del suelo osciló entre 0,461 a 1,243. Los tratamientos con riego presentaron coeficiente entre 0,461 y 0,970, siendo T3 el menor y T2 el mayor, respectivamente. Según Donato *et al.* (2008), comentaron que los valores del coeficiente de heterogeneidad mayores a 0,7 indicaron poca correlación entre las unidades adyacentes, mientras valores entre 0,2 y 0,7 indicaron variabilidad intermedia. De esta manera, entre los tratamientos con riego, los que presentaron mayor variabilidad fueron T2 y T4, ambos con lámina de riego de 50% de ETc y los que mostraron menor variabilidad fueron T1 y T3, ambos de lámina de riego de 100% de ETc. T3 presentó la menor variabilidad ( $b = 0,4610$ ) entre las UB adyacentes. Pudiéndose indicar que la frecuencia de riego diario proporcionó mayor variabilidad en la variable rendimiento.

Rodríguez-Padrón *et al.* (2014) concluyeron que la producción de pimentón estuvo estrechamente relacionada con la lámina y frecuencia de riego. En general el déficit de agua redujo el rendimiento en pimentón (Dalla y Gianquinto, 2002; Sezen *et al.*, 2006). El tratamiento T0 mostró coeficiente de 1,243 lo que significó una gran heterogeneidad del suelo o de baja correlación entre parcelas adyacentes, indicando que las parcelas experimentales con este tratamiento deberían ser de mayor número de UB. Lorentz *et al.* (2012) en experimentos en invernaderos con pimentón, encontraron coeficientes de heterogeneidad del suelo entre 0,8 y 1,0, indicando que la producción

to 1.0, indicating that the production of adjacent plants is not correlated. Determination coefficient showed values from 0.8925 to 0.9727, being T0 the one with lowest adjustment.

When comparing the coefficient of the soil heterogeneity with the effect of the experimental error on each plot with the corresponding mean of the yield of each treatment was shown that there was not any tendency/variability gradient in the experimental area (figure 4).

The number of replications in completely randomized designs (CRD) and randomized plots (RPD) is show non table 3. As observed, it is not practical with 10% of differences because it would require a greater number of replications, with economic and functional limitations independent to the experimental design; on the other hand, a reduced difference has limited utility. To carry out experiments in CRD, the number of replications varied from 1.93 with three treatments and accuracy of 50% (less accuracy) and 73.69 replications for 30 treatments and accuracy of 10% (more accuracy). For RPD, the number of replications oscillated from 2.60 (three treatments and accuracy of 50%) and 73.69 replications (30 treatments and accuracy of 10%).

An alternative that could be used is the increment of the plot with a reduction of the number of replications. In essays with depths irrigation few replications are used with more area per treatment, for example: Sezen *et al.* (2006) 14.4 m<sup>2</sup>; González *et al.* (2007) 72.0 m<sup>2</sup>; Silva *et al.* (2010) from 91.2 to 103.36 m<sup>2</sup> and

de las plantas adyacentes no estuvo correlacionada. Los coeficientes de determinación mostraron valores entre 0,8925 y 0,9727, siendo T0 el de menor ajuste.

Comparando el coeficiente de heterogeneidad del suelo con el efecto del error experimental en cada parcela con la respectiva media del rendimiento de cada tratamiento, se demostró que en el área experimental no hubo tendencias/gradientes de variabilidad (figura 4).

El número de repeticiones en diseños completamente aleatorizados

Rodríguez-Padrón *et al.* (2014) 99.0 m<sup>2</sup>. However, researchers prefer using big plots to work with lower coefficient of variation, without considering that big plots require lower number of replications, besides, these plots might represent risks and reduce the experimental accuracy. Using more number of replications is more efficient than the increment of the plot size.

According to these results, it can be observed that the plot size is influence by the depths irrigation, irrigation frequency and soil characteristics

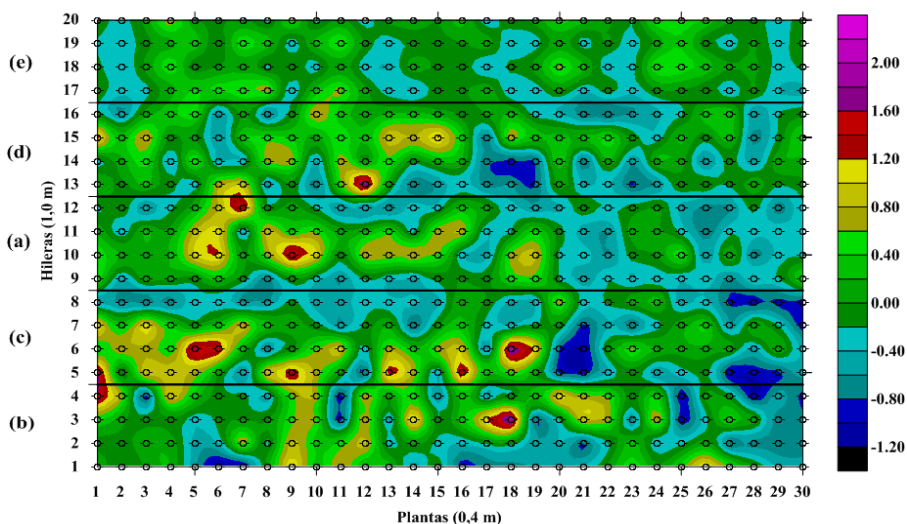


Figura 4. Error experimental por parcelas del rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, con láminas de 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), frecuencias de riego: diario (a; b), cada dos días (c; d) y testigo sin riego (e).

Figure 4. Experimental error in plots of the yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open field, with depths of 50% ETc (b; d), 100% ETc (a; c), irrigation frequencies: daily (a; b), every two days (c; d) and control without irrigation (e).

(DCA) y bloques al azar (DBA), se muestran en el cuadro 3. Como puede observarse con 10% de diferencia no fue práctico, debido a que tuvo que emplearse mayor número de repeticiones, lo cual tuvo limitaciones de tipo económicas y funcionales independientemente del diseño experimental; por otra parte, en este cultivo fue de poca utilidad una diferencia tan reducida. Para realizar experimentos en DCA, el número de repeticiones osciló entre 1,93 con tres tratamientos y precisión de 50%

(fertility or humidity retention). Other researchers have identified the magnitude inherent to some types of treatments and associations to the plot size; among these researchers is Martin (2003) who observed that with different corn hybrids the plot size varied among the different genotypes. Lopes *et al.* (2005) in sorghum obtained as a result difference in the plot size among the spacing treatments among plants from 0.5 to 0.8 m and sow density from 100, 160 to 200 thousand plants ha<sup>-1</sup>, concluding that the

**Cuadro 3. Número de repeticiones para evaluar el rendimiento en pimentón (*Capsicum annuum* L.), cultivado en campo abierto, en diseños completamente aleatorizado y bloques al azar, asumiendo el coeficiente de variación 16% y tamaño de parcela de 17 plantas (6,8 m<sup>2</sup>).**

**Table 3. Number of replications to evaluate the yield in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), cultivated in open-field, in completely randomized designs and blocks atrandom designs, assuming the coefficient of variation 16% and plot size of 17 plants (6.8 m<sup>2</sup>).**

i	Diseño completamente aleatorizado					Diseño de bloques completos al azar				
	10%	20%	30%	40%	50%	10%	20%	30%	40%	50%
	Diferencia mínima significativa entre la media del tratamiento									
3	29,23	7,97	4,04	2,50	1,93	29,66	8,53	4,64	3,01	2,60
4	34,37	9,29	5,02	2,82	2,10	34,95	9,59	4,73	3,11	2,46
5	38,74	10,24	5,09	3,06	2,21	38,74	10,45	5,09	3,25	2,45
6	42,41	11,17	5,26	3,23	2,31	42,41	11,16	5,41	3,37	2,47
7	45,16	11,77	5,56	3,39	2,39	45,16	11,84	5,66	3,49	2,51
8	47,89	12,36	5,81	3,50	2,46	47,89	12,45	5,91	3,59	2,55
9	50,35	12,90	5,94	3,63	2,52	50,35	12,99	5,99	3,70	2,59
10	52,19	13,22	6,15	3,72	2,57	52,19	13,33	6,20	3,78	2,63
20	66,06	16,52	7,39	4,39	2,94	66,06	16,52	7,43	4,42	2,96
30	73,69	18,42	8,19	4,85	3,18	73,69	18,42	8,19	4,74	3,11

i: número de tratamientos.

(menor precisión) y 73,69 repeticiones para 30 tratamientos y precisión de 10% (mayor precisión). Para DBA, el número de repeticiones osciló entre 2,60 (tres tratamientos y precisión de 50%) y 73,69 repeticiones (30 tratamientos y precisión de 10%).

Como alternativa a emplear se podría mencionar, incrementar el área de la parcela con disminución del número de repeticiones o viceversa. En ensayos con láminas de riego se emplean pocas repeticiones, con mayor área por tratamiento, por ejemplo: Sezen *et al.* (2006) 14,4 m<sup>2</sup>; González *et al.* (2007) 72,0 m<sup>2</sup>; Silva *et al.* (2010) entre 91,2 y 103, 36 m<sup>2</sup> y Rodríguez-Padrón *et al.* (2014) 99,0 m<sup>2</sup>. Sin embargo, en general los investigadores prefieren parcelas grandes, para trabajar con coeficientes de variación menores, sin considerar que las parcelas grandes requieren menor número de repeticiones, además pueden representar riesgos y reducen la precisión experimental. Utilizar mayor número de repeticiones es más eficiente que el aumento del tamaño de parcela.

Según los resultados de esta investigación, se podría mencionar que el tamaño de parcela fue influenciado por la lámina de riego, frecuencia de riego y las características del suelo (fertilidad o retención de humedad). Otros investigadores, han identificado la magnitud inherente a algunos tipos de tratamientos y sus asociaciones con el tamaño de parcela, entre ellos, Martin (2003) observó con varios híbridos de maíz que el tamaño de parcela varió entre los diferentes genotipos. Lopes *et al.* (2005) en

increment in the number of plants per row originates lower plots.

On the other hand, Storck *et al.* (2006b) and Ramalho *et al.* (2012) inform that the sources of experimental error in the experiments carried out in the soil are normally observed in the differences of the soil fertility, the slope, supply of irrigation water, incidence of diseases, population of the plants, intra and inter-plot competence, bordering effect, genetic heterogeneity of the experimental material and treatments applied in the previous experiments.

## Conclusions

The optimum experimental plot size to evaluate the yield in bell pepper, cultivation in open-field, considering the irrigation condition is 6.8 m<sup>2</sup> and with irrigation 5.2 m<sup>2</sup>. Three replications are enough to evaluate 30 treatments in a completely randomized design and random blocks to determine 50% of minimum significant differences under irrigation conditions and without irrigation, using Tukey test (P= 5%).

*End of English version*

---

el cultivo de sorgo obtuvo como resultado diferencia en el tamaño de parcela entre los tratamientos de espaciamiento entre planta de 0,5 y 0,8 m y densidad de siembra de 100, 160 y 200 mil plantas ha<sup>-1</sup>, concluyendo que el aumento del número de plantas



por línea originó parcelas menores. Por otra parte, Storck *et al.* (2006b) y Ramalho *et al.* (2012) informaron que las fuentes de error experimental en los experimentos realizados en el suelo, entre ellos: se encuentra las diferencias de fertilidad del suelo, la pendiente del terreno, el suministro de agua de riego, la incidencia de las enfermedades, la población de plantas, la competencia intra e interparcelar, el efecto de borde, la heterogeneidad genética del material experimental y tratamientos aplicados en los experimentos anteriores.

## Conclusión

El tamaño óptimo de parcela experimental para evaluar el rendimiento de pimentón cultivado en campo, considerando la condición de seco es de 6,8 m<sup>2</sup> y con riego de 5,2 m<sup>2</sup>. Son suficiente tres repeticiones para evaluar hasta 30 tratamientos en diseño completamente aleatorizado y bloques al azar para determinar 50% de diferencia mínima significativa en condiciones de seco y con riego, por el test de Tukey (P= 5%).

## Literatura citada

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma. 323 p.

Brito, M.C.M., G.A. Faria, A.R. Morais, E.M. Souza e J.L.L. Dantas. 2012. Estimación do tamanho ótimo de parcela via regressão antitônica. Rev. Bras. Biom. 30(3):353-366.

Silva e M. Toebe. 2012. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipo de arroz irrigado. Pesq. Agropec. Bras. 47(3):336-343.

- Cargnelutti Filho, A., L. Storck, M. Toebe, C. Burin, B.M. Alves, G. Facco e I.M.M. Neu. 2014. Precisão experimental relacionada a tamanhos de parcelas, números de tratamentos e repetições em nabo forrageiro. Pesq. Agropec. Bras. 49(6):428-439.
- Cochran, W.G. and G.M. Cox. 1975. Experimental design. 2 Ed. New York. John Wiley. 611 p.
- Dalla, C.L. and G. Gianquinto. 2002. Water stress and water table depth influence yield, water use efficiency, and nitrogen recovery in bell pepper: lysimeter studies. Crop Pasture Sci. 53(2):201-210.
- Donato, S.L.R., D.L. Siqueira, S.D.O. Silva, P.R. Cecon, J.A. Silva e L.C.C. Salomão. 2008. Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira. Pesq. Agropec. Bras. 43(8):957-969.
- FAO. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The Statistics Division of FAO, FAOSTAT*. Available in: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>. Date of consultation: mayo 2014.
- Filgueira, F.A.R. 2003. Solanáceas: Agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela e jiló. Viçosa, MG: UFV. 333 p.
- González, D.V., F. Orgaz and E. Fereres. 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. Sci. Hortic. 114(2):77-82.
- Leonardo, F.D.A.P., W.E. Pereira, S.D.M. Silva, R.D.C. Araújo and R.M.N. Mendonça. 2014. Optimum size of the experimental plot of pineapple Victory. Rev. Bras. Frutic. 36(4):909-916.
- Lessman, K.J. and R.E. Atkins. 1963. Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield test. Crop Sci. 3(6):477-481.
- Lima, J.F., C.P. Peixoto, C.A.D.S. Ledo e

- G.A. Faria. 2007. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com plantas de mamoeiro em casa de vegetação. *Ciênc. Agrotec.* 31(5):1411-1415.
- Lopes, S.J., L. Storck, A.D. Lúcio, L.H. Lorentz, C. Lovato e V.D.O. Dias. 2005. Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. *Pesq. Agropec. Bras.* 40(6):525-530.
- Lorentz, L.H. e A.D. Lúcio. 2009. Tamanho e forma de parcela para pimentão em estufa plástica. *Cienc. Rural* 39(8):2380-2387.
- Lorentz, L.H., R. Erichsen e A.D. Lúcio. 2012. Proposta de método para estimação de tamanho de parcela para culturas agrícolas. *Ceres* 59(6):772-780.
- Lúcio, A.D., R.M. Mello, L. Storck, R.H. Carpes, A.A. Boligon e B. Zanardo. 2004. Estimativa de parâmetros para o planejamento de experimentos com a cultura do pimentão em área restrita. *Hortic. Bras.* 22(4):766-770.
- Lúcio, A.D.C., R.H. Carpes, L. Storck, S.J. Lopes, L.H. Lorentz, e A.L. Paludo. 2008. Variância e média da massa de frutos de abobrinha-italiana em múltiplas colheitas. *Hortic. Bras.* 26(3):335-341.
- Martin, T.N. 2003. Contribuição das bases genéticas de milho para o plano experimental. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal de Santa Maria. 86 p.
- Morais, A.R., A.G. Araújo, M. Pasqual e A.P.B. Peixoto. 2014. Estimação do tamanho de parcela para experimento com cultura de tecidos em videira. *Semin: Cien. Agrar.* 35(1):113-124.
- Nesi, C.N., H.C. Dal Bó, A.L. Guidoni e C. Bringhenti. 2010. Número mínimo de repetições em experimentos de competição de híbridos de milho. *Rev. Ciênc. Agrovet.* 9(1):74-81.
- Neto, D.H., T. Sediya, M.A. Souza, L.F.C. Leite e F.F. Blanco. 2009. Tamanho de parcela para avaliação da produção em trigo irrigado, sob dois sistemas de plantio. *Rev. Ciênc. Agron.* 40(1):86-93.
- Oliveira, G.M.V., J.M. Mello, R.R. Lima, J.R.S. Scolforo e A.D. Oliveira. 2011. Tamanho e forma de parcelas experimentais para *Eremanthus erythropappus*. *Cerne* 17(3):327-338.
- Paranaíba, P.F., D.F. Ferreira e A.R. Morais. 2009a. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: Proposição de métodos de estimação. *Rev. Bras. Biom.* 27(2):255-268.
- Paranaíba, P.F., A.R. Morais e D.F. Ferreira. 2009b. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: comparação de métodos em experimentos de trigo e mandioca. *Rev. Bras. Biom.* 27(1):81-90.
- Pimentel, G.F. 2009. *Curso de estatística experimental*. 15 Ed. Piracicaba. Fealq. 464 p.
- Ramallo, M.A.P., D.F. Ferreira e A.C. Oliveira. 2012. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. 3 Ed. Lavras M.G. (Ed.). UFLA. 305 p.
- Rodríguez-Padrón, R.A., H.M. Camilo de Moraes Nogueira, R. Rosales Cerquera, G. Dauala Albino, C. Urbanetto Nogueira. 2015. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. *Acta Iguazu* 4(1):36-47.
- Rodríguez-Padrón, R.A., H.M. Camilo de Moraes Nogueira, R. Rosales Cerquera, L.H. Bahú Ben, L.M. Kopp y F. de Vargas Arigony Braga. 2016. Estimación de las necesidades hídricas del pimentón (*Capsicum annuum* L.) en cinco municipios de Rio Grande do Sul-Brasil. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 33:162-180.
- Rodríguez-Padrón, R.A., L. Rázuri Ramírez, A. Swarowsky y J. Rosales Daboín. 2014. Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. *Interciencia* 39(8):591-596.
- Rossetti, A.G. e G.F. Pimentel. 1983. Determinação de tamanho de parcelas em ensaios agrícolas. *Pesq. Agropec. Bras.* 18(5):477-487.
- Santos, D., A.D.C. Lúcio, A. Cargnelutti Filho, L. Storck, L.H. Lorentz e D.E. Schabarum. 2014. Efeito de

- vizinhança e tamanho de parcela em experimentos com culturas olerícolas de múltiplas colheitas. *Pesq. Agropec. Bras.* 49(4):257-264.
- Sezen, S.M., A. Yazar and S. Eker. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agric. Water Manag.* 81(1):115-131.
- Silva, P.I.B., M.Z. Negreiros, K.K.C.F. Moura, F.C.L. Freitas, G.H.S. Nunes, P.S.L. Silva e L.C. Grangeiro. 2010. Crescimento de pimentão em diferentes arranjos espaciais. *Pesq. Agropec. Bras.* 45(2):132-139.
- Smiderle, É.C., F.B.S. Botelho, S.R. Guilherme, S.A.C.M. Arantes, R.T.C. Botelho e K.R. Arantes. 2014. Tamanho de parcelas experimentais para a seleção de genótipos na cultura do feijoeiro. *Com. Sci.* 5(1):51-58.
- Smith, H.F. 1938. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *J. Agric. Sci.* 28(1):1-23.
- Sousa, R.P., S.L. Paulo, J.P. Silva, J. Silva, V.R. Oliveira e A.M.D.P. Oliveira. 2015. Tamanho ótimo de parcela para avaliação do rendimento de grãos do girassol. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 19(1):21-26.
- Souza, V.F., W.A. Marouelli, E.F. Coelho, J.M. Pinto e F.M.A. Coelho. 2011. Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças. *EMBRAPA (Informação Tecnológica)*. 721-736 p.
- Storck, L., D.C. Garcia, S.J. Lopes e V. Estefanel. 2006a. Experimentação vegetal. 2. Ed. Santa Maria: UFSM. 198 p.
- Storck, L., D.A. Bisognin e S.J.R. Oliveira. 2006b. Dimensões dos ensaios e estimativas do tamanho ótimo de parcela em batata. *Pesq. Agropec. Bras.* 41(6):903-909.
- Storck, L., S.J. Lopes, A.D.C. Lúcio and A. Cargnelutti Filho. 2011. Optimum plot size and number of replications related to selective precision. *Cienc. Rural* 41(3):390-396.
- USDA, Soil Taxonomy. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture, *Agricultural Handbook*. 436 p.