

Estimación del tamaño óptimo de parcela experimental en ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.)

Ricardo Viloría¹, Miriam Brito^{1*}, Judith García² y Mario J. Garrido¹

¹Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua. Venezuela

²Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua. Venezuela

RESUMEN

El ají dulce (*Capsicum chinense*) es una hortaliza muy utilizada en la cocina venezolana. Sus frutos son una buena fuente de fitoquímicos, tales como fenoles, flavonoides y capsaicinoides, los cuales son potentes antioxidantes. Para planificar ensayos agrícolas es importante conocer el tamaño de parcela experimental apropiado, que permita disminuir el error experimental y los costos. Sin embargo, en Venezuela no se dispone de este tipo de información para ají dulce. Con base en estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue determinar el tamaño óptimo de la unidad experimental para ají dulce 'Llanero'. Para ello, se realizó un ensayo de uniformidad de 3 000 m² (1,4 m entre hileras y 0,9 m entre plantas) en Montalbán, estado Carabobo, Venezuela. Se utilizaron los métodos de máxima curvatura y de regresión múltiple. La cosecha se realizó a los 90 días (d) después del trasplante y las variables evaluadas fueron longitud del fruto (cm), peso del fruto (g) y número de frutos por planta. El análisis de las variables estudiadas por ambos métodos permite concluir que el tamaño óptimo de la unidad experimental para ají dulce 'Llanero' cultivado bajo condiciones de campo es de 10 m².

Palabras clave: ensayo de uniformidad, máxima curvatura, regresión múltiple, solanáceas

Estimation of the optimum experimental plot size in sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.)

ABSTRACT

Sweet pepper (*Capsicum chinense*) is a vegetable widely used in the Venezuelan cuisine. Its fruits are a good source of phytochemicals, such as phenols, flavonoids and capsaicinoids, which are potent antioxidants. To establish agricultural trials is important to have the appropriate experimental plot size, which allows to reduce the experimental error and costs. However, in Venezuela there have not been done trials of this kind for sweet pepper. On the basis of these considerations, the objective of this study was to determine the optimal size of the experimental plot for sweet pepper 'Llanero'. To accomplish that, an uniformity trial of 3 000 m² (1.4 m between rows and 0.9 m between plants) was conducted in Montalban, Carabobo State, Venezuela. Maximum curvature and multiple regression methods were used. The harvest was performed at 90 days (d) after transplanting, and the evaluated variables were fruit length (cm), fruit weight (g), and number of fruits per plant. The analysis of the variables studied by both methods concluded that the optimum size of experimental unit for sweet pepper 'Llanero' grown under field conditions is 10 m².

Key words: maximum curvature, multiple regression, solanaceous, uniformity test.

*Autor de correspondencia: Miriam Brito

E-mail: miriambri@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* (*Solanaceae*) es originario del continente americano y comprende alrededor de 30 especies, de las cuales siete son cultivadas; entre éstas se encuentra *Capsicum chinense* (Mendoza, 2006), conocido en Venezuela como ají dulce (Andrade y Laurentin, 2015; Gil-Marín et al., 2012; Ohep, 1985). Sin embargo, es importante mencionar que en esta especie también se encuentran cultivares con alto grado de picor (Loizzo et al., 2015).

El ají dulce es una hortaliza muy utilizada en el arte culinario del venezolano. Su fragancia y sabor típicos lo hacen más preferido que el pimentón (*Capsicum annuum*) en la preparación casera de guisos, salsas y sopas. Además, se usa en la elaboración de salsas envasadas y potencialmente es un producto que se puede deshidratar y moler para aprovecharse como condimento (Gil-Marín et al., 2012; Ohep, 1985). Por otra parte, los frutos de *C. chinense*, así como los de otras especies de *Capsicum*, son una buena fuente de fitoquímicos, tales como fenoles, flavonoides y capsaicinoides. Estos compuestos son potentes antioxidantes y juegan un rol importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y desórdenes neurológicos (Loizzo et al., 2015).

Aunque es un cultivo de amplia tradición en el país, con posibilidades de exportación, sigue siendo sembrado en pequeñas superficies que solo cubren la demanda nacional. Asimismo, se evidencia en el campo una falta de desarrollo tecnológico, lo cual constituye una barrera para establecer manejos agronómicos apropiados que permitan aumentar tanto su producción como la calidad de los frutos cosechados (Jaimez, 2006). En Venezuela, los estados con mayor producción de esta hortaliza son Anzoátegui, Barinas, Bolívar, Monagas, Nueva Esparta y Sucre (Gil-Marín et al., 2012; Jaimez, 2006).

El tamaño de parcela experimental para los diferentes cultivos es una característica particular de los experimentos que puede variar según una serie de factores, siendo el principal la heterogeneidad del suelo. Por ello, cuando un investigador agrícola planifica sus ensayos, lo ideal sería conocer el tamaño de parcela experimental apropiado, que le permita disminuir al máximo el error experimental y los costos en semilla, espacio, recursos económicos y trabajo (Saste y Sananse, 2015; Chacín, 1977). Para determinar

el tamaño óptimo de la unidad experimental existen varios métodos, entre los cuales se encuentran: máxima curvatura, máxima curvatura modificado, regresión múltiple, índice de Smith, Hatheway, Koch y Rigney, siendo el de máxima curvatura y el índice de Smith los más utilizados (Saste y Sananse, 2015; Schwertner et al., 2015b).

El tamaño óptimo de parcela, la forma y el número de replicaciones han sido estudiados en numerosos cultivos en varios países (Saste y Sananse, 2015; Boyhan, 2013; Párraga y Chacín, 2000). Sin embargo, en Venezuela no se han realizado trabajos de este tipo para ají dulce, lo cual justifica este tipo de investigación, ya que el tamaño de parcela es una característica muy local, altamente influenciada por las características de la zona donde se desarrolla el experimento. Con base en estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue determinar el tamaño óptimo de la unidad experimental para ají dulce cv Llanero en Montalbán, estado Carabobo, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la Estación Experimental “Ing. Ricardo Araque” de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (UCV), en el municipio Montalbán, estado Carabobo, Venezuela, en un lote localizado en las coordenadas 10° 13' 00" N y 68° 19' 00" O, a una altitud de 654 msnm. El clima de la zona es del tipo bosque seco tropical, con una precipitación media anual de 1 100 mm y una temperatura media anual de 23,4 °C. Los suelos son Vertic Haplustolls de origen aluvial, con pendientes menores al 2%, de textura franco arcillosa, con reacción neutra a alcalina y fertilidad media (Gutiérrez, 2005).

La semilla utilizada en la siembra se obtuvo a partir de frutos de ají dulce cv Llanero colectados en una siembra ubicada en la localidad “Los Arenales” del municipio Zamora, estado Aragua. Los frutos fueron seleccionados con madurez fisiológica y sin alteraciones morfológicas, provenientes de plantas frondosas y sin síntomas visibles de enfermedades, con una longitud de 7 a 8 cm, de forma ovalada, color rojo uniforme, pericarpio liso y sin picor, lo cual caracteriza a este cultivar. Los frutos cosechados se llevaron al Laboratorio de Virología Vegetal de la Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, para extraerles las semillas. Con un bisturí estéril se le realizaron cortes longitudinales, las semillas se separaron cuidadosamente de la placenta y

se eligieron aquellas de color crema y bien desarrolladas. Se dejaron secar durante 2 d bajo sombra; finalmente, se trataron con una solución 1% carboxin + thiram durante 10 min para desinfectarlas.

Las semillas se sembraron en germinadores plásticos de 150 celdas, previamente desinfectados con NaClO al 10% durante 8 h, los cuales contenían una mezcla de arena + tierra + sustrato comercial, en la proporción 1:3:1 (v/v), respectivamente, esterilizada mediante calor húmedo. Finalmente, se colocaron en un invernadero para plantas sanas bajo condiciones parcialmente controladas (28 °C, 73% HR y 30 000 lx; valores promedios).

La preparación del terreno se realizó mediante tres pases de rastra; la distancia entre hilera fue de 1,40 m y la distancia entre plantas de 0,90 m, lo que equivale a una densidad de siembra de 7 936 plantas/ha.

Para el trasplante se utilizaron plantas de 52 d después de la emergencia, las cuales fueron sembradas en hoyos de aproximadamente 70 cm³ que contenían 100% de hidrogel hidratado y luego se aporcaron ligeramente. En ausencia de lluvia, las plantas se regaron por goteo durante 1 h diaria (1 L/h/emisor) y fueron fertilizadas a través del riego con una frecuencia de 2 d. La fertilización se inició a los 15 d después del trasplante, usando la fórmula 82-61-46/28 (N-P-K/micronutrientes: 16% MgO; 6,5% Fe; 3,48% Mn; 1,02% Zn; 0,76% Cu; 0,24% B), a razón de 8 kg/ha para la fase inicial, duplicando la dosis en la floración y triplicándola en la fructificación. El manejo del cultivo fue similar al utilizado por los productores de la zona. La cosecha se efectuó en tres ocasiones: a los 90, 105 y 120 d después del trasplante. Para efectos de este trabajo, solo se utilizaron los datos de la primera cosecha.

Las variables evaluadas fueron longitud del fruto/planta (cm), peso del fruto/planta (g) y número de frutos/planta. Para determinar el tamaño óptimo de la unidad experimental fueron utilizados los métodos de la máxima curvatura y de regresión múltiple (Saste y Sananse, 2015; Párraga y Chacín, 2000). Cada método se describe brevemente a continuación.

Método de máxima curvatura: Este método hace uso de los llamados ensayos en blanco o de uniformidad, que consisten en sembrar un área relativamente grande de un solo cultivo aplicando el mismo manejo agronómico, tratando de que exista la

mayor uniformidad posible. Al momento de la cosecha se subdivide en parcelas pequeñas o unidades básicas para el análisis de las variables en estudio (Saste y Sananse, 2015; Chacín, 1977).

En esta investigación el área del ensayo de uniformidad fue de 3 000 m² (50 x 60 m) y el área de cosecha estuvo representada por 126 m², equivalente a 100 plantas, la cual se dividió en unidades básicas de 1,26 m² (1,40 x 0,90 m) para una planta, formando parcelas de 2,52; 3,78; 5,04; 6,30; 7,56; 8,82; 10,08; 11,34 y 12,60 m². Es decir, combinando en forma progresiva 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 plantas, respectivamente (unión de unidades básicas contiguas). Una vez realizadas las mediciones de cada variable a evaluar, para cada unidad básica, se les calculó la media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Luego, se plantearon en una curva los coeficientes de variación en el eje de ordenadas (variable dependiente) con los diferentes tamaños de parcela obtenidos en el eje de abscisas (variable independiente), se localizó el punto de curvatura máxima y se estimó el tamaño óptimo de parcela en la gráfica por inspección visual (Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2014; Chacín, 1977).

Método de regresión múltiple: Permite conocer el tamaño de la parcela experimental, tal como en el caso del método anterior, así como también la forma de la parcela. Con este método se trata prácticamente de encontrar mediante procedimientos matemáticos el punto de la máxima curvatura y se trata de eliminar la subjetividad y el efecto de escala que tiene el de máxima curvatura. El método es una extensión en tres dimensiones del método de curvatura máxima. El punto de máxima curvatura se consigue con el uso de derivadas parciales, las cuales se igualaron a cero para minimizar el coeficiente de variación, ya que solo se evaluó una parte del área de exploración (Chacín, 1977). Para implementar este método se utilizó el modelo siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_{11} X_i^2 + \varepsilon_i$$

Donde:

Y_i = coeficiente de variación

$\beta_0, \beta_1, \beta_{11}$ = coeficientes de regresión

X = número de unidades básicas

ε_i = error experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El punto de máxima curvatura se determinó en la curva que relaciona el tamaño de parcela (unidades básicas) y el coeficiente de variación (Figura 1). Las curvas resultantes para las variables número de frutos y peso del fruto, fueron similares a las señalados en otros ensayos de uniformidad utilizados para determinar un tamaño óptimo de unidad experimental, donde se evidencia que el coeficiente de variación decrece con el incremento en el tamaño de parcela (Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2014; Shitap y Darji, 2014). Para la variable longitud del fruto/planta los coeficientes de variación fueron similares, independientemente del tamaño de parcela (Figura 1). El tamaño a recomendar de la unidad experimental se consideró como aquel valor donde un aumento del tamaño de la unidad básica no producía un cambio marcado de los coeficientes de variación (Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2014; Chacín, 1977). Para las tres variables estudiadas, ese valor se alcanzó en el rango de 8,82 a 10,08 m² (Cuadro 1). Es decir, donde se observa el punto de curvatura máxima (punto de inflexión) y, a partir de allí, los coeficientes de variación se mantienen relativamente estables. Para la variable longitud del fruto/planta se podría utilizar un área mucho menor, si solo se evaluara esta variable, ya que los coeficientes de variación fueron similares, independientemente del tamaño de parcela (Figura 1).

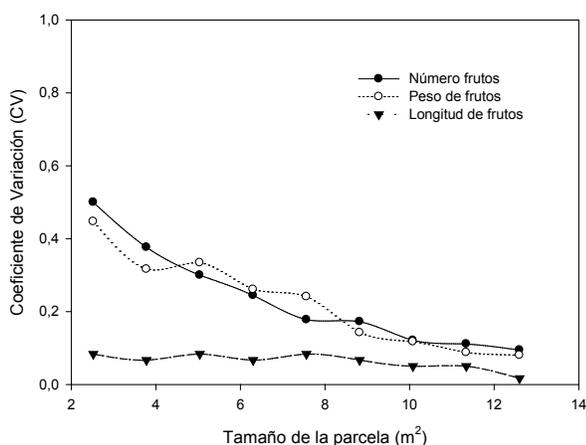


Figura 1. Coeficiente de variación y tamaño de parcela para las variables longitud del fruto/planta, peso del fruto/planta y número de frutos/planta de ají dulce cv Llanero.

Cuadro 1. Estimación del tamaño de la unidad experimental por el método de máxima curvatura para ají dulce ‘Llanero’ en campo abierto.

Variable	Tamaño de la unidad experimental (m ²)	Coefficiente de variación (%)
Longitud del fruto/planta	8,82 – 10,08	5 – 6
Peso del fruto/planta	8,82 – 10,08	12 – 14
Número de frutos/planta	8,82 – 10,08	12 – 17

Los resultados obtenidos por el método de regresión múltiple se presentan en el Cuadro 2. Las variables longitud del fruto/planta, número de frutos/planta y peso del fruto/planta presentaron un tamaño óptimo para la unidad experimental de 5, 12 y 20 m², respectivamente. Solo los valores de las variables longitud del fruto/planta y número de frutos/planta se ubicaron dentro del área de exploración de la curva. Por lo tanto, para establecer el tamaño óptimo de la unidad experimental para la variable peso del fruto/planta, se sustituyó en el modelo estimado (Cuadro 2) el valor de 20 m² por el mayor valor de X dentro del rango de exploración evaluado; es decir, 12,60 m², y con este valor se obtuvo un coeficiente de variación de 7%, el cual es un valor aceptable para experimentación bajo condiciones de campo (Chacín, 1977).

Del análisis de las tres variables estudiadas, y tomando en consideración tanto el método de la máxima curvatura como el de regresión múltiple, se concluye que el tamaño óptimo de la unidad experimental a recomendar para el ají dulce cv Llanero, cultivado en campo abierto bajo las condiciones antes descritas, es de 10 m². En este tamaño se estimaron coeficientes de variación aceptables para condiciones de campo, para los dos métodos utilizados y para las tres variables de mayor importancia para el cultivo de ají dulce, desde el punto de vista agronómico y económico.

Aunque con este tamaño de parcela no se obtienen los mínimos valores del coeficiente de variación, los resultados serían confiables, ya que el aumento del coeficiente de variación para las variables número de frutos/planta y peso del fruto/planta fue relativamente bajo (Cuadro 2). Al fijar una ecuación cuadrática para la variable longitud del fruto/planta, el resultado fue una ecuación cóncava hacia abajo; por lo tanto, el punto crítico en esta variable no representa un mínimo.

Cuadro 2. Estimación del tamaño de la unidad experimental (UE) por el método de regresión múltiple para ají dulce 'Llanero' en campo abierto.

Variable	Modelo estimado	Punto crítico tamaño de UE (m ²)	CV estimado en el punto crítico (%)	CV estimado con UE de 10 m ² (%)
Longitud del fruto/planta	$\hat{Y} = 0,05552 + 0,00946X - 0,0009407X^2$	5	8	6
Número de frutos/planta	$\hat{Y} = 0,71133 - 0,10014X + 0,00410X^2$	12	10	12
Peso del fruto/planta	$\hat{Y} = 0,57624 - 0,06172X + 0,00171X^2$	12,60 *	7	13

* Valor real del tamaño óptimo de la unidad experimental para esta variable.

CV = coeficiente de variación.

En el caso del método de máxima curvatura este valor de 10 m² se ubica en el intervalo 8,82-10,08 m², en el cual los coeficientes de variación para las tres variables son igual o menores a 17% (Cuadro 1). Con el método de regresión múltiple, el menor tamaño de unidad experimental fue para la variable longitud del fruto/planta (5 m²), mientras el mayor valor fue para peso del fruto/planta (12,6 m²); el tamaño seleccionado (10 m²) está dentro de este rango de valores. Por ello, con este tamaño de unidad experimental se estima que se lograrían coeficientes de variación de 13% o menores para cualquiera de las variables evaluadas. Por lo tanto, se acepta este tamaño de unidad experimental como óptimo, bajo las condiciones en las cuales se realizó este ensayo.

No se puede afirmar que alguno de los dos métodos es mejor que el otro; simplemente son estrategias distintas y se pueden complementar. El método de máxima curvatura da resultados aproximados en un rango de valores; en cambio, el método de regresión múltiple da respuestas puntuales en las cuales se puede estimar el coeficiente de variación que le corresponde. Como en este caso se analizaron tres variables de respuesta, la selección del tamaño óptimo de la unidad experimental se hizo escogiendo el valor de la unidad experimental que originó coeficientes de variación aceptables para todas las variables.

En la literatura consultada no se encontró información relacionada con tamaño óptimo de parcela para ají dulce (*C. chinense*). Por lo tanto, es difícil relacionar el resultado de esta investigación con información disponible estrechamente relacionada con el tema, para tratar de valorar su significación y determinar

en qué medida reafirma o modifica el conocimiento sobre este aspecto. Sin embargo, el tamaño óptimo de parcela obtenido en este trabajo muestra cierta similitud con algunos de los valores señalados para otras solanáceas: 11,52 m² para tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv Grandeur (Schwertner *et al.*, 2015a); 7,2 m² para papa (*Solanum tuberosum* L.) cv Lowker (Bhatt *et al.*, 1998); 6 a 8 m² para ají picante (*Capsicum annuum* L.) var Jwala (Singh, 1989); 8,70 m² para pimentón (*Capsicum annuum* L.) cv Vidi (Schwertner *et al.*, 2015b); y 6,48 m² para berenjena (*Solanum melongena* L.) var JBGR-1 (Shitap y Darji, 2014), mientras que difiere de los valores citados por otros investigadores para algunas solanáceas (Boyhan, 2013).

Por otra parte, en este trabajo no se consideró determinar la forma de la parcela. No obstante, se conoce que generalmente la forma tiene menos influencia que el tamaño de la parcela en la disminución de los coeficientes de variación; es decir, en la detección de diferencias entre tratamientos (Chacín, 1977). Numerosos trabajos sobre la forma de parcela en experimentos agrícolas han revelado que para parcelas de tamaño pequeño la forma tiene muy poco efecto, mientras que en parcelas grandes el efecto de la forma es mucho mayor (Saste y Sananse, 2015).

CONCLUSIONES

El tamaño óptimo de la unidad experimental para ají dulce cv Llanero cultivado en campo abierto bajo las condiciones descritas es de 10 m², y representa el primer aporte sobre este parámetro para esta solanácea en Venezuela.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su gratitud al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico-UCV por la subvención parcial de esta investigación a través del proyecto PI-01-7340-2008/1. Al Prof. Humberto Moratinos (UCV, Facultad de Agronomía) por sus sugerencias y recomendaciones, y al Ing. Agr. Arístides Campos (Estac. Exp. Ricardo Araque) por el apoyo en las labores de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, S.; H. Laurentin. 2015. Efecto del nitrato de potasio sobre la germinación de semillas de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.). Rev. Unell. Cienc. Tec. 33: 25-29.
- Bhatt, H.M.; P.R. Vasihnav; V.B. Darji. 1998. Plot technique in potato (*Solanum tuberosum* L.) Gujarat Agr. Univ. Res. J. 24: 67-72.
- Boyhan, G.E. 2013. Optimum plot size and number of replications for determining watermelon yield, fruit size, fruit firmness, and soluble solids. HortScience 48: 1200-1208.
- Chacín, F. 1977. Tamaño de parcela experimental y su forma. Rev. Fac. Agron. (UCV) 9: 55-74.
- Gil-Marín, J.A.; N.J. Montaña-Mata; R. Plaza. 2012. Efecto del riego y la cobertura del suelo sobre la productividad de dos cultivares de ají dulce. Bioagro 24: 143-148.
- Gutiérrez, O. 2005. Variabilidad espacial de suelos de la Estación Experimental "Ing. Agr. Ricardo Araque", Municipio Montalbán, Edo. Carabobo. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 134 p.
- Jaimez, R.E. 2006. Estudios ecofisiológicos del ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de temperatura y radiación. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 136 p.
- Loizzo, M.R.; A. Pugliese; M. Bonesi; F. Menichini; R. Tundis. 2015. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. LWT-Food Sci. Tech. 64: 623-631.
- Mendoza, R. 2006. Sistemática e historia del ají *Capsicum* Tourn. Universalia 11(2): 80-88.
- Ohep, J.C. 1985. La producción de ají dulce en el Oriente del país. Fonaiap Divulga. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd18/texto/producciondeaji.htm [Consultado: 15/07/2016].
- Párraga, C.E.; F. Chacín. 2000. Comparación de metodologías univariadas en la determinación de unidades experimentales de campo: renglón maíz (*Zea mays* L.). Rev. Fac. Agron. (UCV) 26:175-190.
- Saste, S.V.; S.L. Sananse. 2015. Soil heterogeneity to determine size and shape of plots: A review. Int. J. Adv. Sci. Tech. Res. 6: 201-209.
- Schwertner, D.V.; A.D. Lúcio; A. Cargnelutti. 2015a. Size of uniformity trials for estimating the optimum plot size for vegetables. Hort. Bras. 33: 388-393.
- Schwertner, D.V.; A.D. Lúcio; A. Cargnelutti. 2015b. Uniformity trial size in estimates of plot size in restrict areas. Rev. Ciên. Agron. 46: 597-606.
- Shitap, M.S.; V.B. Darji. 2014. On optimum plot size and shape for field experimentation on brinjal (*Solanum melongena* L.) under middle Gujarat condition. Internat. Res. J. Agric. Eco. Stat. 5: 148-152.
- Singh, R.P. 1989. Optimum plot size for yield trials on chillies. Indian J. Hortic. 46: 404-406.
- Vargas-Rojas, J.C.; J.R. Navarro-Flores. 2014. Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*Oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste. InterSedes 15: 128-144.