Determinación del tamaño óptimo de parcela experimental en el cultivo de rucula (*Eruca sativa* mill*)* conducido en sistema hidropónico NFT

Determinação do tamanho ótimo de parcela experimental no cultivo de rúcula (*Eruca sativa* mill) conduzido em sistema hidropônico NFT

Determination of optimal experimental plot size in arucula (*Eruca sativa* mill) cultivation conducted in NFT hydroponic system

DOI: 10.34188/bjaerv8n1-032

Submetido: 16/08/2024
Aprovado: 15/01/2025

Guido Gustavo Humada González
Doctor en Estadística y Experimentación Agropecuaria por la Universidad Federal de Lavras
Universidad San Carlos, Docente investigador
Asunción. Paraguay
guido.humada@usc.edu.py

Aristide Paul Andre Bringand
Graduando de la carrera de Ingeniería Agronómica
Universidad San Carlos, Estudiante
Asunción. Paraguay
aristide.andre@usc.edu.py

Cindy Naomi Medina Santacruz
Graduanda de la carrera de Ingeniería en Zootecnia
Universidad San Carlos, Estudiante
Asunción. Paraguay
cindy.medina@usc.edu.py

RESUMEN
Uno de los factores fundamentales para el correcto planeamiento de ensayos de investigación con vista a minimizar el error experimental es el dimensionamiento de la parcela experimental que es el área en la que se lleva a cabo la asignación aleatoria de los tratamientos en una prueba crítica y se la define como la unidad básica que provee la información en la cual se basa el ensayo. Debido a la escasa bibliografia disponible sobre el tema en rúcula surge la necesidad generar informacion útil para futuras investigaciones con el cultivo. Es así que con el objetivo de determinar el tamaño óptimo de parcela en experimento con rúcula var. Lorena conducido em sistema hidropónico NFT fue montado un experimento en el distrito de Paraguarí, en las coordenadas geográficas 25°38′00″S; 57°09′00″O. entre los meses de noviembre y diciembre del 2023. El estudio se baso en un ensayo de uniformidad conformado por 100 plantas (100 unidades experimentales básicas) que fueron cosechadas a los 55 días después de la siembra. Con los valores resultantes (peso individual de cada planta) se agruparon las parcelas vecinas de modo que cada agupamiento sea divisor exacto de la población y se determinó el coeficiente de variación de los ocho diferentes agrupamientos posibles y via modelo lineal segmentado con respuesta plato (MLSRP) fue determinado el tamaño óptimo de parcela para el cultivo, el cual es 11 plantas o área de 0,825 m^2. Se verifico además que a medida que aumenta el tamaño de parcela disminuye el coeficiente de variación.

Palabras clave: coeficiente de variación, ensayo de uniformidad, modelos de regresión.

RESUMO
Um dos fatores fundamentais para o correto planejamento dos ensaios de pesquisa visando minimizar o erro experimental é o dimensionamento da parcela experimental, que é a área na qual é realizada a atribuição aleatória dos tratamentos em um ensaio crítico e a define como a unidade básica que fornece as informações nas quais o ensaio se baseia. Devido à limitada bibliografia disponível sobre o tema rúcula, surge a necessidade de gerar informações úteis para futuras pesquisas com a cultura. Assim, com o objetivo de determinar o tamanho ótimo de parcela em um experimento com rúcula var. Lorena realizado no sistema hidropônico NFT, foi instalado um experimento no bairro de Paraguarí, nas coordenadas geográficas 25°38'00″S; 57°09'00"O entre os meses de novembro e dezembro de 2023. O estudo baseou-se em um ensaio de uniformidade composto por 100 plantas (100 unidades experimentais básicas) que foram colhidas 55 dias após a semeadura. Com os valores resultantes (peso individual de cada planta), as parcelas vizinhas foram agrupadas de forma que cada agrupamento fosse um divisor exato da população e o coeficiente de variação dos oito diferentes agrupamentos possíveis foi determinado via modelo linear segmentado com resposta em placa (MLSRP) foi determinado o tamanho ideal de parcela para cultivo, que é de 11 plantas ou área de 0,825 m^2. Verificou-se também que à medida que aumenta o tamanho da parcela, o coeficiente de variação diminui.

Palavras-chave: coeficiente de variação, ensaio de uniformidade, modelos de regressão

ABSTRACT
One of the fundamental factors for the correct planning of research trials with a view to minimizing experimental error is the sizing of the experimental plot, which is the area in which the random assignment of treatments is carried out in a critical test and is defined as the basic unit that provides the information on which the trial is based. Due to the scarce bibliography available on the subject of arugula, the need arises to generate useful information for future research with the crop. Thus, with the aim of determining the optimal plot size in an experiment with arugula var. Lorena conducted in an NFT hydroponic system, an experiment was set up in the Paraguarí district, at the geographic coordinates 25°38′00″S; 57°09′00″W. between the months of November and December 2023. The study was based on a uniformity test consisting of 100 plants (100 basic experimental units) that were harvested 55 days after sowing. With the resulting values (individual weight of each plant) the neighboring plots were grouped so that each grouping is an exact divisor of the population and the coefficient of variation of the eight different possible groupings was determined and via a segmented linear model with plate response (MLSRP) the optimal plot size for the crop was determined, which is 11 plants or an area of 0,825 m^2. It was also verified that as the plot size increases, the coefficient of variation decreases.

Keywords: coefficient of variation, regression models, uniformity test.

1 INTRODUCCIÓN

La rúcula *(Eruca sativa* Mill*),* originaria del sur de Europa y de Asia occidental, es en la actualidad una hortaliza cultivada prácticamente en todo el mundo bajo diferentes sistemas de producción, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y últimamente en sistemas hidroponícos. Dada la situación en que dia a día la disponibilidad de suelo para la producción de hortalizas son cada vez menores y en contrapartida, la población mundial va aumentando de manera acelerada el auge de los cultivos hidropónicos ha crecido de manera exponencial dado que para cultivar en este sistema

no se necesita de grandes extensiones de superficie. La hidroponía puede definirse entonces como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte, siendo este medio el agua o incluso un sustrato distinto del suelo. Actualmente la hidroponía la utilizan principalmente países que disponen de poca superficie como el caso de Japón y algunos países de europa. En Paraguay, aun es poco explorado situaciones de manejo diferentes a lo recomendado en literatura extranjera, es por ello la importancia de generar información de base, mediante experimentaciones en campo, que pueda contribuir a generar información local en busca de maximizar la producción de rúcula. La fiabilidad de las inferencias resultantes de una investigación está fuertemente relacionada con la precisión experimental. En general, todo investigador reconoce la existencia del error experimental, pero no siempre está dispuesto a invertir el esfuerzo y tiempo requeridos para su cuantificación. El error experimental es la medida de variación existente entre las observaciones de las unidades experimentales básicas tratadas igualmente. Una alternativa para reducir el error experimental es la utilización de un planeamiento experimental adecuado basado en tamaño de parcela acordes al cultivo. (Morais et al., 2014; Cargnelutti Filho et al., 2015). El tamaño de parcela experimental, es una variable que puede controlar el investigador, y es uno de los factores que más perjudican la precisión experimental (Gomez & Gomez, 1984). El investigador debe al mismo tiempo, por razones de orden práctico, tener experimentos de un tamaño tal que le permitan dar un uso eficiente a los recursos de toda índole de que dispone. En resumen, para seleccionar el tamaño óptimo de la unidad experimental hay que tener en cuenta criterios de orden económico, estadístico y práctico (Voysest, 1985). Desde el punto de vista estadístico, parcelas con un tamaño inferior al óptimo pueden dar resultados poco confiables, por otro lado, parcelas grandes pueden incurrir en gastos innecesarios de tiempo y recursos (Gomez 1972). Así pues, la mayor eficiencia de un ensayo se fundamenta en un tamaño óptimo de unidad experimental (Vallejo y Mendoza 1992). El desarrollo de los métodos para la estimación del tamaño óptimo de parcela tiene una base importante con el trabajo pionero de Smith (1938), quien encontró una relación asintótica negativa entre la varianza y el tamaño de la parcela. Son muchas las propuestas hechas desde entonces, por citar, el de la máxima curvatura y los mas recientes basados en modelos de regresión bi segmentados (Paranaíba et al., 2009).

La mayoría de los métodos utilizados para estimar el tamaño de parcela se basa en los ensayos en blancos (o de uniformidad). Son parcelas tratadas en toda su extensión de manera uniforme en cuanto a fertilización, aplicación de agroquímicos y demás labores de cultivo y que a la hora de la cosecha se subdivide en parcelas pequeñas (unidades básicas). Posteriormente, las unidades básicas se agrupan de manera que formen subparcelas de diferentes formas y tamaños, a estas subparcelas resultantes se les cuantifica el rendimiento correspondiente mediante la adición de

los rendimientos de las unidades básicas. La comparación de cada tipo de parcela se hace recurriendo al error probable, error típico o al coeficiente de variación (Rosselló y Fernández, 1986; Kavitha, 2010). Derivado de lo expuesto, el objetivo de esta investigación fue determinar el tamaño óptimo de la parcela en experimento con rúcula conducido en el sistema hidropónico NFT y analizar el comportamiento del coeficiente de variación con relación al tamaño de parcela.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el distrito de Paraguari situado en las coordenadas 25°38′00″ S, 57°09′00″ O. en el periodo comprendido de noviembre a diciembre del 2023.

Población de unidades. Se montó un ensayo de uniformidad constituido por 100 plantas (unidades experimentales básicas, UEB) de rúcula var. Lorena distribuidas en 10 filas y 10 columnas.

Variables de medición. Se evaluó los tamaños de las sub parcelas agrupadas y sus respectivos coeficientes de variacion obtenidos mediante la determinación del rendimento de cada unidad experimental básica.

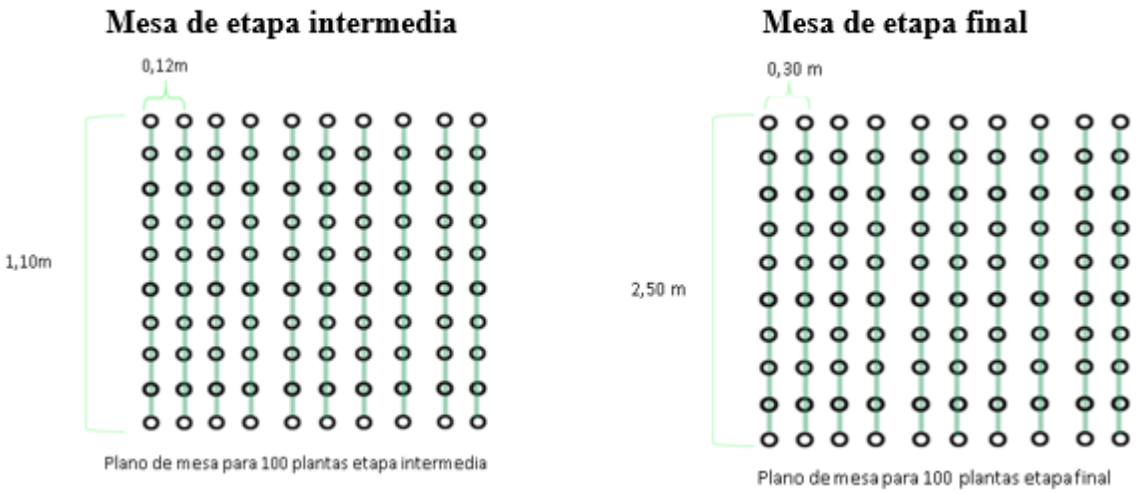
Diseño y descripción del proceso de recolección de datos primarios. Se montó un experimento en blanco con manejo uniforme de toda la población en estudio a modo que no exista efecto de tratamiento para la generación de los datos analizados (peso de cada planta).

La siembra de las semillas de rúcula se realizo en espumas fenólicas, para la germinación se introdujeron las semillas remojadas previamente con agua en un cuarto oscuro, por72 horas, con la finalidad de brindar las condiciones óptimas para la germinación Posteriormente las espumas fenólicas, fueron retiradas del cuarto oscuro y trasladadas a la mesa de maternidad durante 15 días, transcurridos dicho lapso fueron llevadas a la etapa intermedia (caños de 50mm de diametro) durante otros 15 días. Finalmente se colocaron las plantas de rúcula en la mesada final (caños de 75mm de diametro) hasta el momento de cosecha que se realizó a los 55 días posteriores a la siembra momento en el cual fue realizado la identificación individual de cada planta componente de la población por su posición (fila y columna respectiva) para el levantamiento de los datos (peso en gramos de cada planta).

Día a día se realizó el monitoreo del cultivo, el control de nivel del agua, conductividad eléctrica (C.E.) y pH, con instrumentos específicos de medición. La C.E. fue aumentada a medida que la planta se desarrollaba, en etapa de maternidad 0,8 mS/cm, etapa intermedia 1,2 mS/cm y etapa final 1,8 mS/cm. El pH se mantuvo en 6,0 durante todo el experimento.

El arreglo espacial en etapa intermedia fue de 0,11m entre plantas y 0,12m entre columnas (caños). Ya en etapa final el distanciamiento entre plantas fue de 0,25m entre plantas y 0,30m entre columnas, caños, (Figura 1).

Figura 1. Plano de la mesa de etapa intermedia y final para experimentación con rúcula



Fuente: Humada Gonzalez et al., (2024)

Los datos levantados fueron trabajados con el fin de agrupar las UEB adyacentes de modo que cada agrupamiento sea divisor exacto del total (100 UEB). Para cada agrupamiento posible se determinó el peso (expresado en kg.) y su respectivo coeficiente de variación (expresado en porcentaje). Es asi que se formaron 8 sub parcelas de tamaño 1, 2, 4, 5 10, 20, 25 y 50 UEB.

Modelo de análisis e interpretación de resultados. Los datos obtenidos fueron analizados en el programa R, y via modelo lineal segmentado con respuesta plato, se determinó el tamaño óptimo de parcela mediante la relación entre el tamaño de las sub parcelas agrupadas y sus respectivos coeficientes de variación.

Modelo linear segmentado con respuesta plato (MLSRP) propuesto por Paranaíba et al. (2009) esta formado por dos segmentos, el primero describe una recta decreciente hasta una determinada constante P, que es el plato, y el segundo segmento se refiere al plato, que a partir de un determinado valor del coeficiente de variación (CV) asume un valor constante. El modelo es representado por:

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

en que CV_{Xi} es el coeficiente de variación entre los totales para parcelas com X_i UEB, X_0es el tamaño óptimo de parcela, CVP es el coeficiente de variación en el punto de unión entre el

segmento lineal y el plato, β_0y β_1 son los parámetros del segmento lineal y ε_i es el error asociado al $CV_{(X|i)}$asumiendo normalidad e independientemente distribuido con media 0 y variancia σ_ε^2 constante.

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

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

3 RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento del coeficiente de variación (CV)

En la tabla 1 se observa los coeficientes de variación (CV) de cada tamaño de sub parcela formado mediante el agrupamiento de las unidades experimentales básicas vecinas. Existe una relación inversa entre el tamaño de sub parcela con el coeficiente de variación. Lo observado en esta investigación concuerda con lo afirmado por Humada González et al. (2019) que en experimento de campo con rabanito demostró que efectivamente cuando mayor es el tamaño de parcela menor es el valor del coeficiente de variación.

Tabla 1. Número de agrupamientos, tamaño de parcela en unidad experimental básica (UEB), número total de plantas y parcelas, área de parcela (m²), coeficiente de variación expresado en porcentaje (CV %) para cada tamaño de parcela simulado en experimento en blanco con rúcula.

Agrupamientos	Tamaño (UEB)	Forma	N° de plantas	Total de Parcelas	Área (m²)	CV (%)
1	1	1x1	1	100	0,075	12,38
2	2	1x2	2	50	0,150	6,65
3	2	2x1	2	50	0,150	9,50
4	4	2x2	4	25	0,300	5,53
5	5	1x5	5	20	0,375	3,95
6	5	5x1	5	20	0,375	5,82
7	10	2x5	10	10	0,750	3,15
8	10	5x2	10	10	0,750	3,37
9	10	1x10	10	10	0,750	2,38
10	10	10x1	10	10	0,750	4,93
11	20	2x10	20	5	1,500	2,07
12	20	10x2	20	5	1,500	3,31
13	25	5x5	25	4	1,875	0,95
14	50	5x10	50	2	3,750	0,15
15	50	10x5	50	2	3,750	0,34

Fuente: Humada Gonzalez et al., (2024)

Lo verificado en este estudio también coincide con lo observado por Humada González e Irala (2023) quienes analizando la relación coeficiente de variación y tamaño de parcela en el cultivo de cebollita de hoja afirmaron que el CV tiende a disminuir conforme aumenta el tamaño parcela, Por tanto, la relación inversa entre el CV y el tamaño de parcela independe del sistema de producción y del cultivo a ser evaluado permitiendo asi que este comportamento del tamaño de parcela com relación al CV se puedan generalizar.

Si bien, esta demostrado que a medida que aumenta el área de parcela el CV tiene a disminuir, esa disminución del valor de CV no presenta comportamiento estrictamente linear y es influenciado por diversos factores. La forma de la parcela es un factor que influye en el CV mismo que tengan el mismo tamaño. Por citar, forma de parcela 2x10 presenta diferente valor de CV al de forma 10x2 mismo que tengan el mismo tamaño (20 UEB o plantas), situación que se refleja en la tabla 1. Otros factores que pueden influir son la variabilidad genética del material experimental (semilla de rúcula), estrés producido a la planta por ausencia temporal de energía eléctrica en el caso de cultivo hidropónicos en sistema NFT, y aparición de plagas, enfermedades, entre otros.

Esta situación también fue registrada por Humada González et al., (2019), Humada González et al., (2022), Humada González e Irala (2023) que, en cultivos de rabanito, mandioca y cebollita de hoja, respectivamente, concluyeron que la forma de las parcelas influye en el valor del CV.

Determinación del tamaño óptimo de parcela

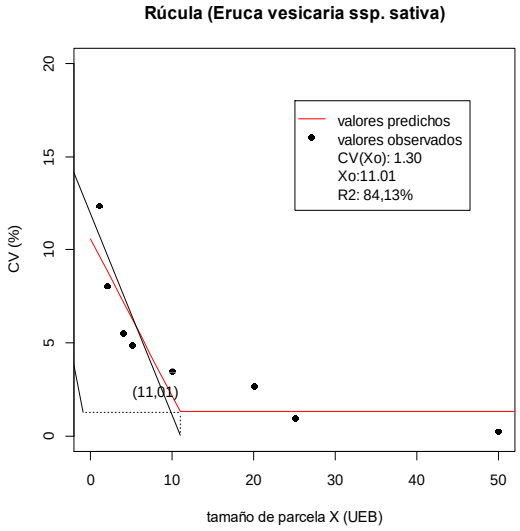
El tamaño óptimo de parcela en experimento de campo con rúcula var. Lorena estimado vía MLSRP es 11,01 ≈11 UEB, equivalentes a 11 plantas o 0,825 m² de área (figura 2) valor que se sitúa dentro de los tamaños de parcela utilizados normalmente con el cultivo en sistemas no hidropónicos. En trabajos recientes, con rúcula en suelo agrícola, fueron utilizados dimensiones que varían de 0,36m^2 a 2m^2 de área. Arriola, (2021) y Miciukiewicz (2022) en ensayos con rúcula utilizaron tamaños de parcela equivalentes a siete plantas, cantidades menores a lo determinado en este experimento (11 plantas). Ya Talavera (2020), utilizo parcelas experimentales con 36 plantas de rúcula (equivalente a 2m^2 de área).

El tamaño de parcela estimado en esta investigación difiere con lo utilizado por Carvalho et al., (2022) quienes analizando el comportamiento de rucula variedad roka sometido a diferentes concentraciones de sales en sistema de producción hidropónico, utilizaron apenas cinco plantas en cada unidad experimental básica.

Ante los hechos expuestos queda evidenciado la necesidad de contar con información referente al tamaño optimo de parcela para experimentación con rúcula para evitar situaciones

contrastantes como incurrir en posibles casos de poca representabilidad de datos (pocas observaciones a ser analizados) o incurrir en gastos innecesarios debido a la utilización de parcelas innecesariamentes grandes. Si bien, el tamaño de parcela no debe ser padronizado, pues varia según el cultivo, cultivar utilizado, sistema de producción (suelo o hidropónico) e inclusive densidad de siembra adoptado alguna información de base es necesario para evitar comprometer la precisión experimental.

Figura 2. Relación entre el coeficiente de variación (CV) y el tamaño de parcela X, en números de plantas, para la característica agronómica productividad de rúcula expresadas en gramos por planta con sus respectivos coeficientes de variación en el punto de tamaño óptimo y el tamaño óptimo determinado por el método del modelo segmentado lineal con respuesta plato (MLSRP).



Fuente: Humada Gonzalez et al., (2024)

En general, debido a la necesidad de minimizar el error experimental y al no existir estudios específicos de dimensionamiento de tamaños adecuados de parcela para determinadas variedades y cultivos, los investigadores optan realizar sus ensayos con parcelas de mayor tamaño al que se necessita, situación que puede ser un inconveniente cuando se trabaja con limitados recursos de área, mano de obra y financiero.

4 CONCLUSIÓN

Basado en sistema de producción aplicado y en las condiciones nutricionales proporcionadas al cultivo de rúcula var. Lorena se concluye:

El tamaño óptimo de unidad experimental básica (UEB) estimado para rúcula var. Lorena conducido en sistema hidropónico NFT es de 11 plantas o un área de 0,825 m² estimado vía modelo lineal segmentado con respuesta plato.

El tamaño de parcela estimado en esta investigación es próximo a los utilizados en experimentacion com rúcula en suelo agrícola.

Existe una relación inversa entre el coeficiente de variación y el tamaño de parcela. El CV tiene a disminuir con el aumento del tamaño de parcela.

El tamaño de parcela no puede ser padronizado, depende, entre otros factores, del cultivo, variedad y de las condiciones nutricionales en que se desarrollo el cultivo, por tanto, se recomenda repetir el ensayo en caso de utilizar otra variedad de rúcula, un sistema de producción diferente al NFT y conductividades electricas dispares a la aplicada en este experimento.

REFERENCIAS

Arriola, B. 2021. Diferencia entre cultivares y variedades de rucula (Eruca vesicaria ssp. sativa). Tesis. (Ing. Agr.) Asunción, PY: Carerra de Ingeniería Agronómica. FIA.USC. 51p.

Carvalho Maia, H., Ribeiro, V., Barreto, T., Martins, R., Araujo, K. 2022 Cultivo de rúcula (Eruca sativa L.) em ambiente protegido sob diferentes concentrações de solução nutritiva. Rev. Agr. Acad., v.5, n.1

Cargnelutti Filho, A., Toebe, M., Alves, B. M., Burin, C., Santos, G. O. D., Facco, G. & Neu, I. M. M.2015. Sample size to evaluate morphological and productive characters in black oat in evaluation times. Ciência Rural, 45(1), 9-13.

Gomez, K. 1972. Techiques for field experiments with rice. International Rice Research Institute, Philippines: John Wiley&Sons

Gomez, K. A. & Gomez, A. A.1984. Statistical procedures for agricultural research. 2. ed. New York: J. Wiley, 680 p.

Humada González, G. G., Morais, A. R., Caballero, C. A., Bortolini, J. & Liska, G. R. 2018. Estimación del tamaño óptimo de parcela en experimentación con batata dulce. Agrociencia (Uruguay), 22(2), 7-12.

Humada González, G. G., Núñez, A. S. L., & Gaete Humada, B. 2022. Dimensionamiento de parcela experimental en lechuga (*lactuca sativa)* variedad veneranda conducida en sistema hidropónico recirculante de nutrientes. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, *5*(4), 3983–3991.

Humada González, G. G., & Irala, J. 2023. Determinación del tamaño óptimo de parcela en experimento con cebollita de hoja (*Allium fistulosum.* l) Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 6(4), 3475–3483.

Humada Gonzalez, G. G., Cardozo, N., Moreira, J. & Nacimiento, A. 2019. Dimensionamento da parcela experimental em experimento com rabanete. Pubvet, 13(10), 1-5.

Kavitha, B. 2010. Study on optimum plot size and optimum plot shape of soybean crop. Tesis Mag.Sc. Dharwad, India. University of Agricultural Sciences. 58 p.

Miciukiewicz, I. 2022. Comparación del rendimiento de tres variedades en el cultivo de rúcula (Eruca vesicaria ssp. Sativa Mill) en hidroponía. Tesis. (Ing. Agr.) Asunción, PY: Carerra de Ingeniería Agronómica. FIA.USC. 56p.

Morais, A. R., Araújo, A. G., Pasqual, M. & Peixoto, A. P. B. 2014. Estimação do tamanho de parcela para experimento com cultura de tecidos em videira. Semina: Ciências Agrárias, 35(1), 113-123.

Paranaíba, P. F., Ferreira, D. F., Morais, A. R. 2009. Tamanho ótimo de parcela experimental: proposição de métodos de estimação. Revista Brasileira de Biometria, v.27, n.2, p. 255-268.

Rosselló, J. M.; Fernández, M. 1986. Guía técnica para ensayos de variedades de campo. FAO. 144 p.

Smith, H. F. 1938. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. J. Agric. Sci. 28(1):1-23.

Talavera, P. 2020. Efectos de fertilizacion (quimico y orgánico) en el rendimiento de la rucula (Eruca vesicaria ssp. Sativa). Tesis. (Ing. Agr.) Asunción, PY: Carerra de Ingeniería Agronómica. FIA.USC. 40p.

Vallejo, R. L.; Mendoza, H. A. 1992. Plot technique studies on sweetpotato yield trials. Journal of the American Society for Horticultural Science, v.117, p.508-511.

Voysest, O. 1985. Tamaño de parcela. In: López Genes, Marceliano; Fernández O., Fernando O.; Schoonhoven, Aart van (eds.). Frijol: Investigación y producción. Programa de las Naciones Unidas (PNUD); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. p. 409-417.