



Determinación del tamaño y de las dimensiones de unidades experimentales para ensayos de maíz

Determination of the size and dimensions of experimental units for corn trials

Autores

 ^{1*}*Freddy Carlos Gavilánez Luna* 

 ²*Judith Josefina García Bolívar* 

¹Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador.
Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador.

²Universidad Politécnica Estatal del Carchi,
Tulcán, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

Por la importancia del maíz para Ecuador, cuya mejora productiva viene dada por los resultados de los distintos experimentos que se realizan con esta gramínea, se desarrolló este estudio; el cual tuvo como objetivo definir del tamaño y dimensiones de la parcela experimental. Para ello se realizó un experimento de uniformidad con 676 unidades básicas (UB) de 1,0 m², abarcando 5 plantas de maíz por cada una de ellas, con distanciamiento de siembra de 1,0 m entre hileras y 0,2 m entre plantas. Se simularon 81 combinaciones de UB, desde 1 x 1 hasta 9 x 9. Para cada combinación (parcela simulada) se determinó el rendimiento (g·parcela⁻¹) y, simultáneamente, el coeficiente de variación (CV). Complementariamente se aplicó el método de curvatura máxima, apoyado por el test F de Fisher, así como el de regresión múltiple y su correspondiente superficie de respuesta, para definir el tamaño y las dimensiones de la parcela experimental. Adicionalmente se valoró la heterogeneidad del suelo, mediante el índice de Smith. De un análisis integral de las metodologías indicadas, al final se determinó un tamaño de parcela de 6,0 m², con dimensiones recomendadas de 2,0 m x 3,0 m; dejando a libertad del investigador la consideración de al menos 1,0 m para controlar el efecto de borde en las parcelas definitivas.

Palabras clave: diseño, estadística, experimento, fertilidad del suelo, investigación agrícola.

Abstract

Due to the importance of corn for Ecuador, whose productive improvement is given by the results of the different experiments carried out with this grass, this study was developed; which had as objective the definition of the size and dimensions of the experimental plot. For this, a uniformity experiment was carried out with 676 basic units (BU) of 1.0 m², covering 5 maize plants for each one of them, with a planting distance of 1.0 m between rows and 0.2 m between plants. So, 81 BU combinations were simulated, from 1 x 1 to 9 x 9. For each combination (simulated plot) the yield (g·plot⁻¹) and, simultaneously, the coefficient of variation (CV) were determined. Complementarily, the maximum curvature method was applied, supported by Fisher's F test, as well as the multiple regression method and its corresponding response surface, to define the size and dimensions of the experimental plot. Additionally, soil heterogeneity was assessed using the Smith index. From an integral analysis of the indicated methodologies, at the end a plot size of 6.0 m² was determined, with recommended dimensions of 2.0 m x 3.0 m; leaving the researcher free to consider at least 1.0 m to control the edge effect in the final plots.

Keywords: agricultural research, design, experiment, soil fertility, statistics.



Introducción

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia para Ecuador. Constituye el 37,12% de los cultivos transitorios a nivel nacional y ocupa una superficie de 373.587 ha (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), 2022). Su demanda mayoritaria se encuentra en la elaboración de balanceados para pollos y cerdos, además de su importante uso directo en la alimentación de la población (Caviedes et al., 2022); de allí que sea uno de los alimentos fundamentales para la seguridad alimentaria del país. La demanda significativa y permanente de este cereal, permite entrever el recurrente requerimiento de la experimentación agrícola, dadas las necesidades de mejorar continuamente sus niveles de producción.

Si bien desde los procesos de la experimentación agrícola se han podido establecer alternativas de mejoramiento productivo de muchas especies en donde se incluye el maíz, también existen casos en donde los experimentos no logran detectar los efectos de las variadas propuestas de mejoramiento que continuamente se han venido probando en los ensayos agronómicos. Lo último, debido a una falta de control interno de los ensayos que hace que el error experimental no solo obedezca a una variabilidad aleatoria, sino también a errores sistemáticos (Vargas-Rojas et al., 2020).

Dentro de los elementos que rigen la eficacia de la experimentación agrícola y que, de alguna manera, también brindan eficiencia a los diseños experimentales, están los tamaños óptimos de las unidades experimentales (parcelas). Parcelas demasiado reducidas tienen una fuerte influencia de la heterogeneidad del suelo y, por tanto, tienden a incrementar el error experimental y a reducir la precisión de los ensayos (Castro et al., 2021). Desde el otro lado, parcelas excesivamente grandes, si comprobadamente hacen que el error experimental se reduzca (Dinon et al., 2019), esta reducción tiene un límite práctico a partir del cual los incrementos en el tamaño de parcela no tienen una incidencia significativa sobre la varianza interna del ensayo; más bien, lo hacen ineficiente desde el punto de vista económico (Humada et al., 2018).

Otra de las problemáticas son los escasos reportes de tamaños óptimos de parcela para experimentos como los que se realizan con maíz y que, además, la aplicabilidad de los resultados de estos pocos ensayos se restringe por el hecho de que están circunscritos a zonas o regiones bajo unas condiciones agro-climáticas dadas (Viloria et al., 2017; Castro et al., 2021). En este sentido, es importante indicar que, publicaciones de tamaños óptimos de parcela experimental con este cereal, a nivel nacional, no existen o en las revisiones realizadas no fue posible ubicarlas. En el contexto internacional, dentro de esos contados reportes para definir tamaños de parcela experimental para maíz se encuentra el de Escobar (1981), quien, a través de un modelo basado en la

metodología de superficie de respuesta, calculó tamaños entre 28,8 y 56,0 m² para coeficientes de variación (CV) que oscilaron entre 5 y 26%. Así también se tiene lo publicado por Masood y Javed (2003), quienes desde Pakistán, reportaron un tamaño óptimo de parcela para maíz de 14,0 m², definido a través de un experimento de uniformidad con 1.600 unidades básicas de 0,56 m² y aplicando la metodología de curvatura máxima. Mientras que, un resultado de mayor actualidad, es el divulgado por Vargas-Rojas y Navarro-Flores (2020) en Costa Rica; los mismos que, a través de la aplicación de regresión múltiple, lograron definir un tamaño óptimo de 32 m², con dimensiones de 4,0 m de ancho y 8,0 m de largo.

El conocimiento del tamaño óptimo de parcela experimental contribuye al incremento de la sensibilidad de los diferentes ensayos que se desarrollan con esta gramínea; es decir, permitirá aumentar la precisión, por cuanto ofrece la oportunidad de tener un mejor control sobre la heterogeneidad del suelo y, por ende, del error experimental (Barrantes et al., 2020). De manera consecuente, este conocimiento redundará en una mejor estimación de los efectos de los tratamientos que se valoran en una experiencia, además de lograr una mayor eficiencia en los recursos empleados en los programas de investigación.

Bajo el contexto mencionado, se desarrolló este estudio con el fin de establecer el tamaño y las dimensiones correspondientes de la parcela experimental para ensayos con maíz; de tal forma que se tenga información para las distintas investigaciones que se llevan a efecto con esta especie dentro de zonas locales como la del cantón Simón Bolívar, en la provincia del Guayas, en Ecuador, que fue en donde se desarrolló este estudio.

Metodología

Características del sitio de estudio

Este experimento se desarrolló entre los meses de mayo a agosto de 2022, en el cantón Simón Bolívar de la provincia del Guayas en Ecuador, en un sitio de coordenadas UTM (17M) 676063E, 9776797N. La zona se encuentra ubicada bajo condiciones climáticas medias de 25,2 °C de temperatura, 82% de humedad relativa, 1,2 m·s⁻¹ de velocidad del viento, 3,2 horas·día⁻¹ de insolación y 1210 mm·año⁻¹ de precipitación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022). En la zona se cultivan predominantemente especies de ciclo corto, siendo el maíz una de ellas. El suelo es de tipo arcilloso y, de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2022), este suelo se encasilla en el orden de los Mollisoles, suborden Udolls.

Detalles del experimento

El experimento de uniformidad tuvo las dimensiones de un cuadrado con 30 m de lado, definiendo un área total de 900 m².

De esta superficie, se delimitó un ancho de borde de 2,0 m en todo su contorno, con lo que el área final se redujo a 676 m², con 26 m de lado. Dada la distancia de siembra de 1,0 m entre hileras y de 0,2 m entre plantas, se definieron unidades básicas (UB) de 1,0 m² (con una sola hilera), dentro de las cuales se contabilizaban 5 plantas por cada una de ellas.

Para la siembra se utilizó el híbrido Advanta 9313, con un potencial máximo de rendimiento de 10,0 t·ha⁻¹. Se aplicó una fertilización a base de 120 kg N·ha⁻¹, 60 kg P2O5·ha⁻¹ y 50 kg CIK·ha⁻¹, considerando lo reportado por el análisis de suelo (bajo para amonio, medio para fósforo y potasio); mientras que, para el control de plagas, se utilizaron los insecticidas Methomyl (900 g·kg⁻¹ de i.a.) y Benfuracarb (212 g·L⁻¹ de i. a.), en dosis de 0,50 kg·ha⁻¹ y 0,50 L·ha⁻¹, respectivamente. El control de malezas se desarrolló de forma manual. La cosecha se realizó a los 135 días después de la siembra, considerando un sistema coordenado de filas y columnas mediante piolas, que facilitaron la demarcación de las UB. La variable medida fue el rendimiento de granos (kg·UB⁻¹); con una humedad promedio del 23%, la misma que fue determinada con un medidor portátil, marca KETT, modelo PM-410, en 30 muestras (UB) seleccionadas de forma aleatoria.

Procesamiento estadístico de los datos

Tomando en cuenta las 676 UB que fue posible establecer en el ensayo, se consideraron 81 combinaciones de éstas, cuyas dimensiones fueron desde 1 x 1 UB (1,0 m x 1,0 m) hasta 9 x 9 UB (9,0 m x 9,0 m); de esta forma, se probaron las referencias de tamaños de parcela experimental para el cultivo de maíz verificados en la literatura. Para cada una de las combinaciones se calculó el CV, que sirvió como medida de variabilidad para el establecimiento del tamaño adecuado.

Como una primera aproximación se aplicó el método de máxima curvatura, cuya área de mínima variabilidad fue definida con el apoyo del test de F de Fisher para comparación de varianzas (Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2014). Este es un procedimiento que relacionó, a través de una gráfica, el tamaño de parcela con la variabilidad que se generó en cada uno de estos tamaños, según los valores de CV obtenidos (Dos Santos et al., 2019).

Subsecuentemente, se aplicó un modelo de regresión múltiple que incluyó tanto el ancho como la longitud de las 81 combinaciones antes indicadas. En este caso, se obtuvo el modelo incluyendo todos sus efectos (modelo completo) definido por la expresión siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon \quad (1)$$

Siendo y el coeficiente de variación (%), β_0 el intercepto (efecto constante); β_1 y β_2 los efectos lineales del ancho (x_1) y de la longitud (x_2) de parcela, respectivamente; mientras que, β_{11} y β_{22} , los efectos cuadráticos de x_1 y de x_2 , en su orden. Por último, β_{12} representó al efecto de interacción entre x_1 y de x_2 ; y finalmente, el efecto aleatorio del modelo estuvo dado por ε . La bondad del

modelo se verificó, previa diagnosis de los residuos, a través del análisis de varianza, del coeficiente de determinación y de pruebas de hipótesis basadas en la distribución de probabilidad t de Student para cada componente del mismo; así como su definición por el método backward (Montgomery et al., 2006).

Al final, se generó la gráfica respectiva de superficie de respuesta y de contorno para que, junto al modelo de regresión y lo establecido en el método de máxima curvatura, definir el área adecuada de parcela para los ensayos de maíz.

Considerando que la heterogeneidad del suelo es una característica consustancial y decisiva en los ensayos experimentales que debe evaluarse (Rodríguez et al., 2018), se realizó su verificación mediante la ley de varianzas de Smith (Smith, 1938), la cual define un coeficiente de correlación que debe ubicarse en el rango de 0 a 1; interpretándose como suelos homogéneos aquellos cuyo valor tiendan al cero y como heterogéneos los que tiendan al uno. No obstante, para soslayar esta subjetividad en la valoración de este coeficiente, se aplicó una prueba de hipótesis basada en la distribución de probabilidad t de Student. Para los análisis cuantitativos de todo el proceso estadístico se combinó el uso de Microsoft Excel y la versión 18.0 del software Minitab (Minitab, LLC, 2017).

Resultados

Un primer acercamiento para establecer el tamaño adecuado de parcela experimental con el método de curvatura máxima, cuyo resultado se puede observar de forma gráfica, es el que se describe en la figura 1. En esta figura fue notoria la reducción de la variabilidad (CV) mientras el tamaño de parcela se incrementó; no obstante, también fue evidente que esta reducción dejó de ser importante a partir de cierta superficie. De allí que, por apreciación visual de la figura 1, podría decirse que dicho tamaño a partir del cual un incremento de éste no tuvo una importante incidencia en el CV, ocurrió cuando la parcela tuvo una superficie aproximada de 10 m² (véase la parte sombreada de la figura 1). Nótese también el importante ajuste de los datos a una función potencial, dado por su coeficiente de determinación ($r^2 = 0,6706$).

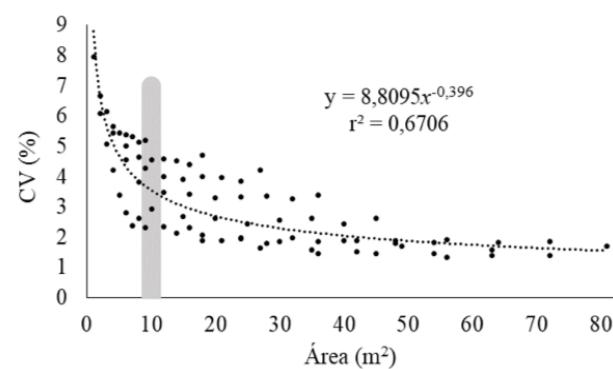


Figura 1. Dispersión y modelo aplicado en el método de máxima curvatura.



Para tratar de evitar la selección subjetiva del tamaño de parcela que se realizó con el método de curvatura máxima, se realizó la comparación de varianzas entre tamaños subsecuentes, cuyos resultados se detallan en la tabla 1, considerando como último valor el tamaño de 16 m². En este caso, según el test F de Fisher, hasta el tamaño de 6,0 m² se reportó una varianza significativa (0,031) respecto de su anterior de 5,0 m²; mientras que, a los 7,0 m², esta significancia fue de 0,074 (zona sombreada de la tabla 1). Es decir, tomando en cuenta de manera conjunta lo reportado entre el método de curvatura máxima y lo expuesto en la tabla 1, podría definirse preliminarmente que el tamaño adecuado de parcela experimental debe estar entre 6,0 y 7,0 m².

Los componentes lineales del modelo en cuanto a la anchura (x_1) y longitud (x_2) de parcela, presentaron efectos significativos ($p<0,05$), esto fue similar para los componentes de cuadratura (x_1^2 , x_2^2) y de la interacción (x_1x_2) que también incluyó el modelo; según el análisis de varianza que se describe en la tabla 2. Aun cuando todos los componentes del modelo establecido por la expresión 1 han reportado efectos significativos, algo que debe resaltarse fue el hecho de que la heterogeneidad del suelo en donde se llevó a efecto esta experiencia, tuvo una mayor influencia en el ancho antes que en el largo de la parcela, según las sumas de cuadrados que presentaron estas fuentes.

De manera similar al análisis de varianza de la tabla 2, todos los coeficientes del modelo (completo) de regresión múltiple presentaron efectos significativos ($p<0,05$), según la prueba

t de Student descrito en la tabla 3. En esta última, fue notoria la relación inversa (coeficientes negativos) entre el CV y las dimensiones de parcela, tanto para el ancho (x_1) como para el largo (x_2), en niveles de reducción de 1,304 y 0,573 por cada m² que se incrementó el tamaño de parcela, respectivamente. En el caso de los efectos cuadráticos y de interacción, la relación de éstos con el CV resultó ser directa (coeficientes positivos) con el incremento del tamaño de parcela; sin embargo, dichos incrementos que se producirían por cada m² fueron despreciables dada la magnitud de cada uno de los coeficientes (0,068; 0,036 y 0,019). En consecuencia, el modelo estructurado con todos los coeficientes detallados a través de la expresión 2, puede utilizarse con sentido de pronóstico para determinados tamaños de parcela; lo cual también fue respaldado por su elevado coeficiente de determinación (97,42%), el cual estableció un importante ajuste de los datos al modelo propuesto.

Complementariamente, los efectos lineales y de cuadratura del modelo de regresión (ecuación 2) se pueden observar de forma gráfica a través de la figura 2. La superficie de respuesta de esta figura (2a) permitió entrever la condición de un valor mínimo respecto al CV para un tamaño determinado de parcela, que aparentemente correspondió a un valor menor del 2%; lo cual fue mucho más evidente en el gráfico de contorno (2b) que se incluyó en esta figura. De acuerdo a este último, se evidenció que, en el suelo en donde se realizó esta prueba, las parcelas presentaron una mayor variabilidad en el sentido transversal (x) antes que en el sentido longitudinal (y).

Tabla 1. Valores estadísticos para tamaños de hasta 16 m² con aplicación de prueba F de Fisher para comparación de varianzas contiguas.

Área (m ²)	Nº de plantas	Media (g)	Desviación estándar	Varianza	GL	CV (%)	F	P-valor
1	5	2.040,2	162,5	26.406,3	675	7,96		
2	10	4.078,2	272,5	74.256,3	337	6,68	2,812	0,000
3	15	6.129,4	377,1	142.204,4	224	6,15	1,915	0,000
4	20	8.170,2	463,3	214.646,9	168	5,67	1,509	0,002
5	25	10.212,0	556,3	30.9469,7	134	5,45	1,442	0,012
6	30	12.258,9	658,5	433.622,3	112	5,37	1,401	0,031
7	35	14.284,5	759,3	576.536,5	96	5,32	1,330	0,074
8	40	16.345,2	841,6	708.290,6	84	5,15	1,229	0,166
9	45	18.384,5	956,6	915.083,6	74	5,20	1,292	0,128
12	60	24.517,8	1.123,4	1.262.027,6	55	4,58	1,379	0,098
14	70	28.569,0	1.287,5	1.657.656,3	47	4,51	1,313	0,165
16	80	32.690,4	1.433,6	2.055.209,0	41	4,39	1,240	0,237

Abreviaturas: GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación.

Determinación del tamaño y de las dimensiones de unidades experimentales para ensayos de maíz

Tabla 2. Análisis de varianza del modelo de regresión múltiple.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor p
Modelo	5	178,16	35,63	605,14	0,000
Efecto lineal	2	160,53	80,27	1363,16	0,000
Ancho (x_1)	1	152,76	152,76	2594,34	0,000
Largo (x_2)	1	7,77	7,77	131,98	0,000
Efecto de cuadratura	2	16,37	8,19	139,03	0,000
Ancho*Ancho (x_1^2)	1	12,78	12,78	217,04	0,000
Largo*Largo (x_2^2)	1	3,59	3,59	61,01	0,000
Interacción (x_1x_2)	1	1,26	1,26	21,31	0,000
Error	75	4,42	0,06		
Total	80	182,58			

Tabla 3. Análisis estadístico para los componentes del modelo de regresión.

Término	Coeficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	8,813	0,1752	50,31	1,519E-59	8,464	9,162
x_1	-1,304	0,0514	-25,37	1,508E-38	-1,407	-1,202
x_2	-0,573	0,0514	-11,15	1,370E-17	-0,676	-0,471
x_1^2	0,068	0,0046	14,73	7,696E-24	0,059	0,077
x_2^2	0,036	0,0046	7,81	2,728E-11	0,027	0,045
x_1x_2	0,019	0,0040	4,62	1,581E-05	0,011	0,027

r^2 ajustado = 97,42%.

$$y = 8,813 - 1,304x_1 - 0,573x_2 + 0,068x_1^2 + 0,036x_2^2 + 0,019x_1x_2 \quad (2)$$

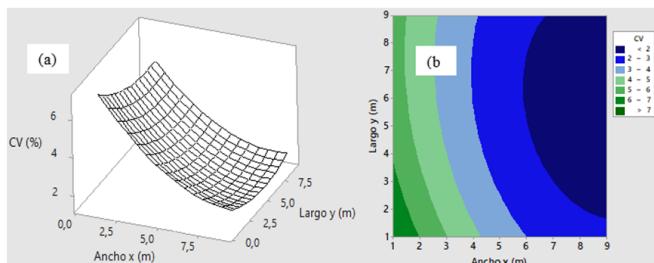


Figura 2. Superficie de respuesta (a) y de contorno (b) generadas por el modelo de regresión.

Se tuvo la intención de lograr un tamaño de parcela optimizado desde la perspectiva económica y de mínima variabilidad, igualando a -1 y a cero, respectivamente, la primera derivada de la expresión 2; no obstante, se definieron dimensiones irreales para el primer caso e imprácticas para el segundo. Debido a esto, para llegar a la definición del tamaño y dimensiones adecuadas de parcela experimental, se trató de compaginar lo resuelto por el método de máxima curvatura (figura 1 y tabla 1) y lo establecido con el modelo de regresión múltiple, con su correspondiente superficie de respuesta de la figura 2. Bajo este análisis integral, se definieron las dimensiones de parcela que se indicaron en la tabla 4, las mismas que, de acuerdo al modelo de regresión estructurado, generaron un CV menor al 6%.

Tabla 4. Dimensiones y coeficiente de variación (CV) para la parcela experimental.

Ancho (m ²)	Largo (m ²)	CV (%)
2,0	3,0	5,20
3,0	2,0	4,63

Es importante resaltar que este ensayo se desarrolló en un suelo heterogéneo, según el coeficiente de Smith detallado en la tabla 5, cuyo valor, en términos absolutos, tuvo cercanía a la unidad. Este coeficiente fue ponderado siguiendo el criterio de Federer (1955) debido a los distintos tamaños de parcela que se simularon, con lo que al final se mantuvo un índice de heterogeneidad de 0,73, cuyo efecto significativo ($p<0,05$) fue establecido mediante una prueba de hipótesis.

Tabla 5. Valoración de la heterogeneidad del suelo.

Coef. Heterogeneidad	Valor	Significación
Smith	0,79	
Ponderado por Federer	0,73	0,000



Discusión

Este estudio mostró la reducción que se produjo en el CV cuando el tamaño de la parcela aumentó (figura 1), concordando con lo publicado por varios autores (Vargas y Navarro, 2017; Abdalla et al., 2022) respecto de la reducción del error probable que puede lograrse si las dimensiones de parcela crecen; situación que, además, fue conseciente con el hecho de que la heterogeneidad de un suelo pueda ser controlada con el tamaño de la parcela (Castro et al., 2021). Si bien se ha advertido una relación inversa entre el tamaño de parcela y la variabilidad del suelo, también se ha corroborado que esta tendencia no fue lineal y puede ser representada por un modelo potencial que comúnmente se adapta al método de máxima curvatura (Escobar, 1981); cuya magnitud del ajuste fue verificable a través del coeficiente de determinación, el mismo que presentó un valor aceptable (0,6706) para los datos generados en este estudio (Gutiérrez y De La Vara, 2008).

Debido al procedimiento subjetivo que se aplicó en el método de máxima curvatura, éste debe ser complementado con alguna medida de carácter objetiva que tome en cuenta la variabilidad de los datos (Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2014); de allí que el test F de Fisher haya permitido determinar, en una primera instancia, un tamaño de parcela entre 6,0 a 7,0 m² que se indicó en la tabla 1.

El comportamiento no lineal del CV observado a través del método de curvatura máxima, también se hizo evidente al analizar las dimensiones de ancho y largo de parcela mediante el modelo de regresión múltiple descrito en la expresión 2; resultando significativos ($p<0,05$) los efectos de linealidad, de curvatura y de interacción (tabla 2), así como todos los coeficientes del modelo obtenido (tabla 3). Efectos similares con significancia en todos los componentes de regresión múltiple para definir tamaños óptimos de parcela fueron reportados por algunos autores (Viloria et al., 2017; Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2020; Gavilánez et al., 2022), lo cual obedeció al hecho de que la heterogeneidad del suelo, representado a través del CV, se minimizó con el incremento del tamaño de parcela en una proporción de $1/x^b$ (siendo x la unidad de área) según el método de máxima curvatura; es decir, con reducciones proporcionales de la variabilidad a incrementos de área iniciales que, subsecuentemente, tendió a estabilizarse a partir de cierto tamaño de parcela (Escobar, 1982).

Es importante mencionar que se buscó definir un modelo de regresión múltiple parsimonioso (García, 2004), retirando los componentes cuadráticos y de interacción (x_1^2, x_2^2, x_1x_2) dada la magnitud del valor de sus coeficientes (tabla 3); no obstante, esto afectó al coeficiente de determinación, reduciéndolo desde un valor de 97,42% (modelo completo) hasta 87,62%, de allí que

se haya decidido considerar el modelo completo que se planteó a través de la expresión 2.

Se trató de aplicar las recomendaciones dadas por varios autores (Peiretti et al., 1990; Vargas-Rojas y Navarro-Flores, 2020), en cuanto a definir el tamaño y dimensiones de parcela experimental igualando a -1 la primera derivada (parcial) del ancho (x_1) y del largo de parcela (x_2) del modelo de regresión múltiple que fue posible estructurar con las diversas combinaciones de unidades básicas de un ensayo de uniformidad. Este proceso, según estos autores, definió tamaños de parcela con criterio económico. No obstante, para el modelo estructurado (ecuación 2) en este estudio, la aplicación de esta recomendación hizo que una de las dimensiones (x_2) resultara con un valor negativo, por ello se desestimó esta opción.

Así también no se consideró la perspectiva de optimización a un valor mínimo de CV ($dy/(dx_i = 0)$) en el modelo de la ecuación 2, dado que generaron unas dimensiones de 9,0 m de ancho y 6,0 m de largo (valores con redondeo) para la parcela; las mismas que, predichas con el modelo obtenido, resultaron con un CV menor al 2%. Esta situación dejó un amplio margen respecto del CV para experimentos de campo, en donde puede admitirse hasta un 30% (Balzarini et al., 2011) para la mayoría de variables agronómicas, o incluso si se consideró el 16% que recomendó Escobar (1981) para el maíz; por lo tanto, estas dimensiones pueden reducirse y no ser afectada la precisión del ensayo de forma contundente (Hatheway, 1961). Además, las dimensiones obtenidas mediante este procedimiento no tuvieron un criterio práctico ni económico que fundamentó su aplicación desde el punto de vista de la variabilidad.

Un aspecto a tener en cuenta, a partir de la información obtenida, fue la tendencia que tuvo el método de regresión múltiple de sobreestimar el tamaño de parcela óptima (de mínima variabilidad) si se toma de referencia el de curvatura máxima (Barrientos, 1981). Estos resultados tuvieron cierta similitud a lo reportado por autores como Vargas y Navarro (2017), quienes en un ensayo con maíz y aplicando el segundo método de los nombrados, determinaron un tamaño óptimo de 12 m²; mientras que, con regresión múltiple y utilizando la misma información, estos autores definieron un tamaño de 32,0 m². Esta característica del procedimiento con regresión múltiple también la reportaron autores como Barrientos (1981) y Escobar (1981) para maíz.

Al final, haciendo un análisis global de las metodologías aplicadas y tomando en cuenta que la forma de la parcela tuvo menos influencia que su tamaño en la reducción de la variabilidad (Escobar et al., 1990), se terminó recomendando las dimensiones de 2,0 m x 3,0 m o 3,0 m x 2,0 m. Pudiendo adoptarse la primera opción de las mencionadas para cuando se

utilicen los diseños de bloques, de tal forma de no exponer a un experimento a una mayor variabilidad cuando dichos bloques se extienden en anchura y pierden su capacidad de controlar el error experimental (Fernández et al., 2018). Este tamaño incluso puede reducirse en terrenos con menos variabilidad, si se toma en cuenta la significativa heterogeneidad del suelo (0,73) bajo el cual se ha llevado a cabo esta experiencia (Vargas y Navarro, 2017).

Conclusiones

El tamaño de parcela que puede utilizarse en los experimentos con maíz, dentro de la zona en donde se llevó a cabo este estudio, es de 6,0 m²; con dimensiones de 2,0 m de ancho y 3,0 m de largo. Quedando a criterio del investigador, como recomendación, la consideración de al menos 1,0 m de borde en cada parcela, debido a que estos procedimientos solo definen el tamaño de parcela útil.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Abdalla, M. M. F., Abd El-Wahab, M. M. H., Abdel-Latif, H. M. and Abd El-Fattah, H. M. (2022). Optimum plot size and number of replications in faba bean. *Egypt. J. Plant Breed.*, 26(1), 41-58. https://ejpb.journals.ekb.eg/article_244074_6d535a9a25b740c93ebb0bfaa23e5d9d.pdf
- Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., González, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W. y Casanoves, F. (2011). *Introducción a la bioestadística: Aplicaciones con Infostat en agronomía*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Barrantes, L., González, A. Martínez, M. y Valdivia, R. (2020). Modelos de regresión segmentada para estimar el tamaño óptimo de la parcela experimental con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1763-1773. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1934>
- Barrientos, M. (1981). *Evaluación de 4 métodos para la determinación de tamaño y forma óptimos de parcela para experimentación agrícola*. [Tesis de pregrado, Universidad San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0564.pdf
- Castro, B., José de Carvalho, A., Aspiazú, I., Santana, L., Pereira, R., Leal, A. and Almeida, M. (2021). Optimal plot size for experimentation of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the northern region of Minas Gerais, Brazil. *Rev. FCA UNCuyo*, 53(2), 55-63. <https://doi.org/10.48162/rev.39.039>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F. y Zambrano, J. (2022). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1), 1-21. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/2588/2987>
- Dinon, A., Delgado, S. y Castaño, F. (2019). Tamaño óptimo de parcela e incidencia de la podredumbre blanca del capítulo del girasol en el sudeste bonaerense. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 118(1), 43-50. <https://doi.org/10.24215/16699513e005>
- Dos Santos, M., Rodrigues, S., Araújo, G., De Oliveira, S. y Sampaio, O. (2019). Optimal size of experimental plots of papaya trees using a modified maximum curvature method. *Ciencia Rural*, 49(9), 1-7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180930>
- Escobar, C. (1981). Estimación del tamaño óptimo de parcela experimental para ensayos de rendimiento con maíz. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 34(1), 31-36. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28299/28628>
- Escobar, C., Buitrago, I. y Jaramillo J. (1990). Tamaño de parcela experimental y numero de repeticiones para ensayos de rendimiento con caupi, *Vigna unguiculata*. *Rec. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 43(1), 73-91. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28457/28870>
- Escobar, J. (1982). La heterogeneidad del suelo y los ensayos de uniformidad. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Federer, W. (1955). Experimental design: theory and application. *Journal of the Royal Statistical Society*, 119(3), 340-341. <https://doi.org/10.2307/2342744>
- Fernández, R., Trápero, A. y Domínguez, J. (2018). *Experimentación agraria*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- García, R. (2004). *Inferencia estadística y diseño de experimentos*. Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA).
- Gavilánez, F., Andrade, P. y Monserrate, J. (2022). Dimensiones adecuadas de parcela experimental para ensayos de arroz en Jujan, Ecuador. *Bioagro*, 34(3), 245-252. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro343.4>
- Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. 2da. Ed.. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hatheway, W. (1961). Convenient plot size. *Agron. J.*, 53(4), 279-280. <https://doi.org/10.2134/agronj1961.00021962005300040025x>
- Humada, G., Ramalho, A., Caballero, C., Bortolini, J. y Rodrigues, G. (2018). Estimación del tamaño óptimo de parcela en experimentación con batata dulce. *Agrociencia Uruguay*, 22(2), 1-10. <https://doi.org/10.31285/ago.22.2.2>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2022). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC 2021*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf



Determinación del tamaño y de las dimensiones de unidades experimentales para ensayos de maíz

- Masood, M. y Javed, M. (2003). Variability in field experiments in maize crop in Pakistan. *Pak. J. Agri. Sci.*, 40(3-4), 207-209. <https://pakjas.com.pk/papers/522.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). *Geoportal del agro ecuatoriano*. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- Minitab, LLC. (2017). *Minitab* (versión 18.0). EE. UU.: Penn State University.
- Montgomery, D., Peck, E. y Vining, G. (2006). *Introducción al análisis de regresión lineal*. 3ra. Ed.. México: Compañía Editorial Continental.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *CLIMWAT 2.0* [Base de datos]. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- Peiretti, D., Biderbost, E., Carreras, J. y Nazar, M. (1990). Tamaño y forma de la parcela experimental de ajo (*Allium sativum L.*). *Rev. Cs. Agropec.*, 7, 45-48. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/943/877>
- Rodríguez, R., Nogueira, C., Rosales, R., Da Silva, P. y Camilo de Moraes, H. (2018). Tamaño óptimo de parcela y número de repeticiones para evaluar el rendimiento de boniato con mulch y suelo descubierto. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 90-97. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/ago/v22n1/2301-1548-agro-22-01-90.pdf>
- Smith, H. F. (1938). An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science*, 28(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600050516>
- Vargas, J. y Navarro, J. (2017). Determinación del tamaño y la forma de unidad experimental, con el método de curvatura máxima, para ensayos de rendimiento de maíz (*Zea mays*), Guanacaste, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 135-144. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00135.pdf>
- Vargas-Rojas, J. y Navarro-Flores, J. (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(31), 128-144. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v15n31/a10v15n31.pdf>
- Vargas-Rojas, J. y Navarro-Flores, J. (2020). Determinación del tamaño y la forma de unidad experimental, con el método de regresión múltiple, para ensayos de rendimiento de maíz (*Zea mays*), Guanacaste, Costa Rica. *Intersedes UNED*, 21(43), 2215-2458. <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v21i43.41972>
- Vargas-Rojas, J., Vega-Villalobos, E. y Cerdas-Ramírez, R. (2020). Tamaño y forma de la unidad experimental en ensayos de rendimiento de *Brachiaria* híbrido CIAT 3608. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 144-149. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269164290008>
- Viloria, R., Brito, M., García, J. y Garrido, M. (2017). Estimación del tamaño óptimo de parcela experimental en ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.). *Rev. Fac. Agron. (UCV)*, 43(1), 1-6. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/16244/144814482807

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Freddy Carlos Gavilánez Luna	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Judith Josefina García Bolívar	Participó en la preparación y edición del manuscrito, corrección de estilo.

