

ESTUDIO BASICO SOBRE TECNICA DE PARCELA EN SOYA (*Glycine max L.*)*

Por:

Luis Enrique Cruz Gómez *

Fernando Lozano García *

Jaime Llanos Pérez *

Jaime Eduardo Muñoz F:**

INTRODUCCION

En la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, se han estado realizando por intermedio de la Oficina de Investigación una serie de trabajos de tesis tendientes a evaluar las metodologías experimentales y estadísticas de las investigaciones realizadas, fijando algunas pautas para futuros ensayos.

Este trabajo se ubica dentro de tal concepción y llena un vacío respecto a la revisión de metodologías empleadas para determinar, por la vía experimental, los tamaños, formas y número de repeticiones. Se pretende tratar los aspectos básicos de la técnica de parcela empleada en soya con miras a mejorar la eficiencia de la utilización de recursos en la experimentación de este cultivo.

Si bien su carácter es metodológico y de apoyo a la docencia, tiene además una finalidad práctica y trata de cumplir el ideal de que cada centro experimental (dadas sus condiciones ambientales y de manejo diferentes), tenga en base a resultados experimentales el tamaño, forma y número de repeticiones más adecuado.

OBJETIVOS

1. GENERALES

Describir algunas de las metodologías existentes para determinar el tamaño, forma, número de repeticiones y efecto de bordes.

2. ESPECIFICOS.

1. Determinar el tamaño, forma y número de repeticiones más convenientes de la parcela experimental en soya.

* Estudiantes de pre-grado Universidad Nacional de Colombia- Palmira.

** Instructor Asociado - Universidad Nacional de Colombia - Palmira.

2. Determinar el efecto de bordes.
3. Decidir en base al coeficiente de heterogeneidad del suelo si la calidad del terreno en que se hizo el ensayo es adecuada para la experimentación agrícola.
4. Elaboración de mapas de fertilidad con micro y macroparcels.

MATERIALES Y METODOS

LOCALIZACION

El ensayo se realizó durante el II semestre de 1976 en predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia.

Condiciones en que se realizó el cultivo.

El lote se sembró en forma comercial, con la variedad de soya ICA, Lili (75 Kg/Ha.) y a una distancia de 0.6 m. entre surcos. Se realizaron las labores normales para un cultivo comercial. No se aplicó riego por inconvenientes de operación y el cultivo se desarrolló en una época muy seca, de ahí el bajo rendimiento. La cosecha se inició a los 90 días después de la siembra.

El "ensayo de uniformidad" se montó en un área cubierta por las siguientes medidas: 36 surcos de ancho con una distancia entre surcos de 0.6 ms., y 36 metros de largo. Las razones por las cuales se escogió este tamaño fueron:

1. El número 36 permite un adecuado número de arreglos en cuanto a tamaño y forma de parcela.
2. Se trata en lo posible que el ensayo tenga una superficie similar a un experimento normal con 10 a 15 tratamientos y 3 a 4 repeticiones (30 a 60 parcelas), y asumiéndose un área similar a la hallada en fríjol (12 ms.²), se tendrá un máximo de 720 ms².

El área escogida para el "ensayo de uniformidad" se cuadrículó de tal forma que resultaron unidades básicas o primarias de 1 m. de surco, para un total de 1.296 parcelas y un área de 777.6 ms.². Cada parcela se cosechó individualmente y se identificó su situación dentro del lote y el número de plantas.

Además del "ensayo de uniformidad", se montaron 5 repeticiones del tamaño del ensayo y 6 submúltiplos para que sirvieran como término de comparación.

En el lote se escogieron al azar 7 parcelas de 5 surcos, cada surco de 3 ms. de largo, localizadas en las orillas (Fig. 1) en las cuales la cosecha se hizo por surco, su producción se pesó, teniendo en cuenta la ubicación (de la orilla hacia adentro), para así detectar el efecto de bordes.

Los datos de producción se corrigieron al 140/o de humedad.

METODOLOGIA ESTADISTICA

Combinaciones de forma y tamaño de parcela.

Después de haber dividido el campo en 1.296 parcelas de igual tamaño y obtener los rendimientos de grano corregidos por humedad, se agrupan las parcelas básicas en diferentes arreglos así:

Una parcela de tamaño 2, puede obtenerse agregando dos parcelas de tamaño básico, que puede formarse por una hilera de dos unidades básicas (llamadas parcela de 1 x 2) ó por una columna de dos unidades (llamada parcela de 2 x 1). Una parcela de tamaño 4 puede obtenerse al arreglar 4 parcelas unitarias en todas las combinaciones posibles: 1 x 4 ó 4 x 1 ó 2 x 2, las cuales vienen a constituir las diferentes formas, y así sucesivamente para los otros arreglos.

Para cada tamaño y forma de parcela se calculó:

Media (\bar{X}), varianza (V), desviación estándar (S), coeficiente de variación (C.V.).

Las "varianzas comparables" o varianzas con idénticas unidades se obtienen utilizando la siguiente fórmula:

$$V_x = \frac{S^2_x}{X^2}$$

donde:

S^2 = Varianza entre parcelas de "X" unidades básicas.

X = Número de unidades básicas por parcela.

Cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo.

La heterogeneidad del suelo se cuantificó por dos métodos:

1. Método de Smith.

Smith (4) encontró al relacionar empíricamente el tamaño de la parcela con su respectiva varianza, la relación caracterizada por la ecuación $V_x = V_1 / X^b$ que transformada por logaritmos queda:

$$\log V_x = \log V_1 - b \log X$$

Matemáticamente, el coeficiente de heterogeneidad (b) obtenido por el método de mínimos cuadrados puede arrojar valores mayores de 1, por tal razón se utilizará también el siguiente método:

2. Método de Federer.

Se usa para obtener estimación del coeficiente de heterogeneidad del suelo; evita coeficientes de heterogeneidad mayores de 1 (valores matemáticamente ciertos pero realmente falsos porque: $(0 \leq b \leq 1)$ lo cual puede obviarse al ponderar los logaritmos de las varianzas por parcela (V_{xi}), por los grados de libertad asociados a cada varianza. El coeficiente b se calculó por la fórmula:

$$b = \frac{\sum W_i (\log S_{xi}^2 \log X_i) - (\sum W_i \log S_{xi}^2) (\sum W_i \log X_i)}{(\sum W_i) \left[\sum W_i (\log X_i)^2 - \frac{(\sum W_i \log X_i)^2}{\sum W_i} \right]}$$

donde:

S_{xi}^2 = Varianza del rendimiento por unidad de área.

X_i = Número de unidades básicas en cada tamaño de parcela.

W_i = Grados de libertad asociados con cada varianza.

Tamaño de parcela.

Para el cálculo del tamaño de parcela, hay varios métodos que se basan en la relación entre el tamaño de parcela en unidades básicas y la varianza asociada a cada arreglo; los métodos utilizados fueron:

1. Método de la máxima curvatura.

El procedimiento a seguir para su aplicación, consiste en dividir el área experimental en pequeñas unidades básicas, se cosechan individualmente y se combinan para formar diferentes arreglos, a cada grupo de los cuales se le calcula el coeficiente de variación del rendimiento. En un sistema de coordenadas, se grafica el tamaño de la parcela (en el eje "X") contra el coeficiente de variación (en el eje "Y").

El punto de máxima curvatura (*) de la curva resultante, corresponde al tamaño óptimo de parcela.

2. Método de Smith.

Smith (1938), para el cálculo del tamaño de la parcela (teniendo en cuenta los costos), estableció la relación:

$$X = \frac{b K_1}{(1-b) K_2}$$

En donde:

b = coeficiente de heterogeneidad del suelo.

K_1 = porcentaje del costo total que es proporcional al número de parcelas por tratamiento.

K_2 = porcentaje del costo total que es proporcional al área por tratamiento.

El valor de "X" obtenido de la expresión, corresponde al tamaño de la parcela para el cual los costos son mínimos.

Debe entenderse que K_1 y K_2 son específicos para cada región en donde se realice un ensayo de este tipo, dadas las diferencias en niveles de tecnología y valor de la mano de obra empleadas de una localidad a otra.

Los valores de K_1 y K_2 se obtienen haciendo varios arreglos y que la suma de ellos sea igual a 1. Para el presente estudio los valores de K_1 y K_2 utilizados fueron:

K_1	65	70	75	60	80
K_2	35	30	25	40	20

teniendo como base la revisión de literatura realizada para costos de fríjol, los cuales son muy similares a los de soya.

3. Método de máxima curvatura utilizando el modelo de regresión lineal múltiple.

(*) Se considera como punto de máxima curvatura aquel punto X_0 tal que:

$$\frac{d[(CV) / X_0]}{dx} = -1$$

Con los datos obtenidos en los ensayos de uniformidad esto es, el coeficiente de variación, el número de surcos y el número de columnas, se construyen gráficas en tres dimensiones (Modelos de superficie de respuesta) para considerar la forma y tamaño en relación a la variabilidad.

Para obtener una representación matemática de las gráficas se usó un modelo de regresión múltiple.

$$CV = Y = B_0 X_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_1^2 + B_4 X_2^2 + B_5 X_1 X_2 + E$$

donde:

X_1 = Número de hileras

X_2 = Número de columnas o surcos.

Para cada arreglo se obtuvo el C.V. y usando el método de "mínimos cuadrados" se calculó los estimadores (B_i) de la ecuación anterior. Para obtener la máxima curvatura la ecuación se deriva con respecto de X_1 y X_2 y se iguala a (-1), obteniéndose así la forma óptima de la unidad experimental, siendo el tamaño $X_1 X_2(4)$.

Forma de parcela.

Después de determinado el tamaño óptimo de parcela, se debe seleccionar entre las varias formas posibles aquella que presente menor coeficiente de variación.

Número de repeticiones.

Para el cálculo del número de repeticiones se utilizó la fórmula establecida por Hatheway que relaciona el número de repeticiones y el tamaño de parcela, para detectar diferencias entre medias de tratamientos a un nivel dado de probabilidad. Esta relación se expresa mediante la fórmula:

$$X^b = 2 (t_1 + t_2)^2 C_1^2 / rd^2$$

donde:

X = Tamaño de la parcela conveniente, expresada en múltiplo de la unidad básica.

t_1 = Valor de "t" en la tabla, asociado a cada $(r-1)$ $(t-1)$ G.L.

t_2 = Valor de "t" en la tabla correspondiente de $2(1-P)$, donde "P" es la probabilidad de obtener un resultado significativo.

C_1 = Coeficiente de variación de parcelas unitarias.

r = Número de repeticiones empleadas.

d = Diferencia que se desea detectar en porciento de la media.

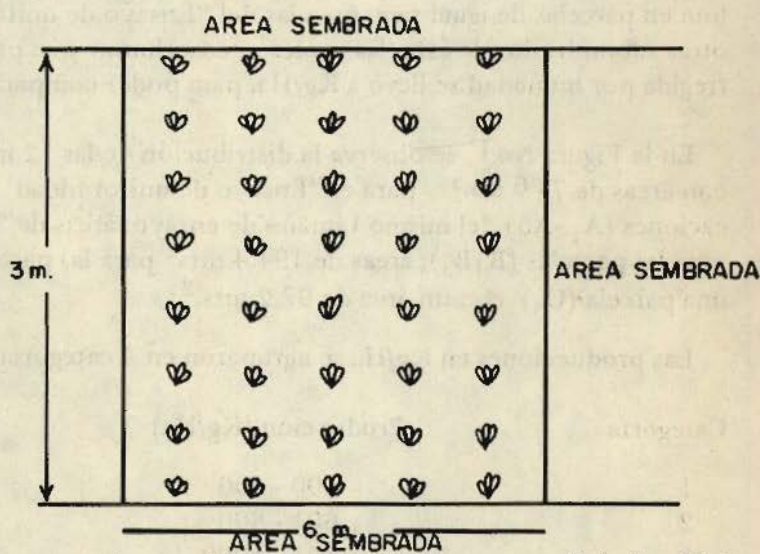
$t-1$ = G.L. para tratamientos.

b = Coeficiente de heterogeneidad.

Aplicando la fórmula anterior para un número constante "r" de repeticiones pero haciendo variar los valores "X" y "d" es posible construir una serie de curvas que permitan determinar, en forma gráfica la combinación del número de repeticiones y el tamaño de parcela necesario para detectar una diferencia deseada.

Efecto de bordes.

Tal como se describió en materiales de campo, se seleccionaron al azar 7 parcelas en los bordes con 3 mts. de largo y 5 surcos de ancho (distancia entre surcos 0.6 mts.), cosechándose éstos en forma individual. Un esquema de una parcela es el siguiente:



Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se realizó el análisis de varianza bajo un modelo con dos criterios de clasificación sin interacción, con 5 surcos (tratamientos) y 7 repeticiones (sectores). El modelo estadístico a utilizar será:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + S_i + E_{ij}$$

Para:

Y_{ij} = Producción en gr. del surco i, en el bloque j.

μ = Efecto de la media.

B_j = Efecto de Bloque o sector (j = 1, 2, ..., 7)

S_i = Efecto de surco (i = 1, 2, 3, 4, 5)

E_{ij} = Error experimental (variaciones no controlables).

RESULTADOS Y DISCUSION

En éste capítulo se tratará primero lo relacionado con la heterogeneidad del suelo (descripción y cuantificación) y su influencia en la selección de los diseños experimentales. Segundo sobre el tamaño, forma y número de repeticiones por parcela y por último un estudio sobre el efecto de bordes.

Heterogeneidad del suelo.

1. A nivel macro.

Para caracterizar las tendencias a nivel de macroparcels se dividió el lote en parcelas de igual tamaño a las del "Ensayo de uniformidad" y en otras submúltiplos de ésta, las cuales se cosecharon y su producción corregida por humedad se llevó a Kg/Ha. para poder compararlas (Tabla 1).

En la Figura No.1 se observa la distribución de las 12 macroparcels con áreas de 776 ms.² para el "Ensayo de uniformidad" y las 5 repeticiones (A₁-A₅) del mismo tamaño de ensayo; áreas de 388.8 mts.² para las parcelas (B₁B₃); áreas de 194.4 mts.² para las parcelas (C₁-2) y una parcela (C₃) con un área de 97.2 mts.².

Las producciones en Kg/Ha se agruparon en 4 categorías (*), lo cual

Categoría	Producción (Kg/Ha)	Fertilidad
1	400 - 600	muy baja
2	601 - 800	baja
3	801 - 1000	media
4	> 1000	alta

permite localizar las macroparcels del lote que tiene producciones similares (Fig. 1), notándose una marcada tendencia en la fertilidad del suelo en el sentido Este-Oeste de baja a alta fertilidad.

El "Ensayo de uniformidad" presentó la mayor producción, debido a dos factores:

(*) Las producciones en Kg/Ha. fueron muy bajas, comparadas con los rendimientos comerciales promedios de 2.100 Kg/Ha., dado que el cultivo sufrió un déficit de agua (verano) desde la etapa de floración hasta la cosecha.

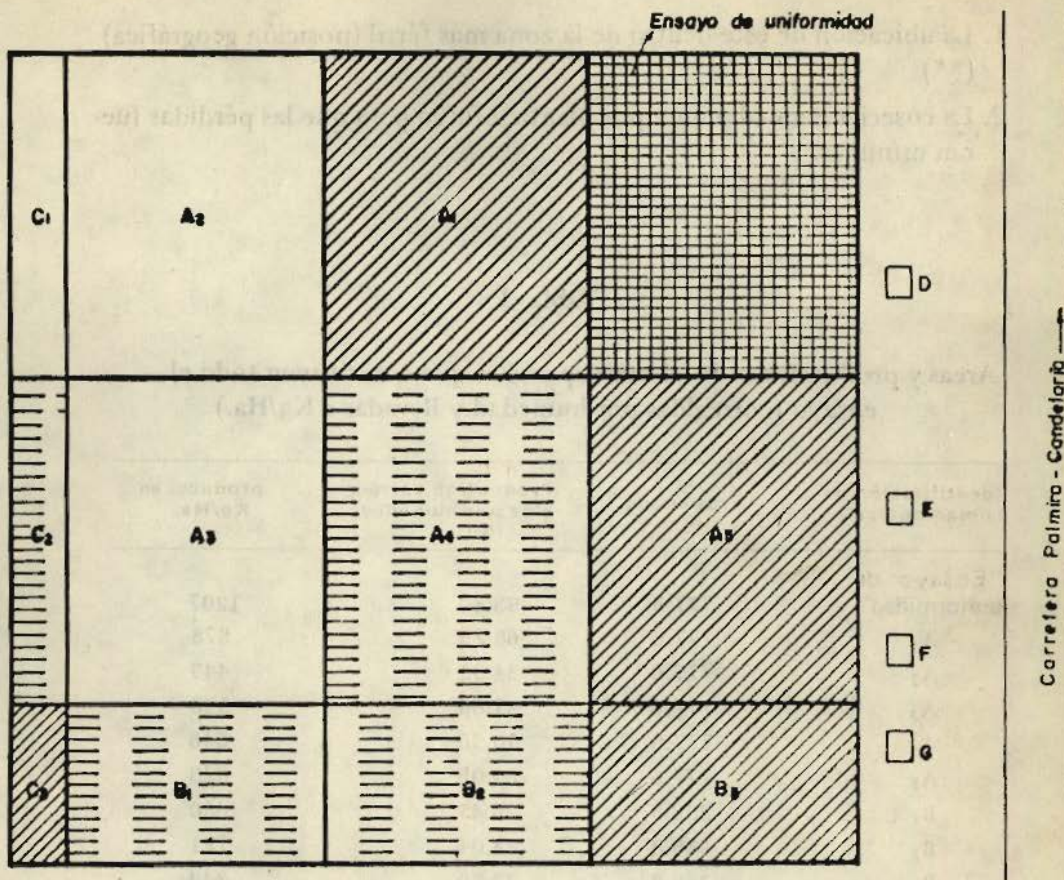






FIG. Nº 1- MAPA DE TENDENCIAS DEL SUELO A NIVEL DE MACROPARCELAS

Convenciones: Producc. kg./hect.

-  400-600
-  600-800
-  800-1.000
-  >1.000

1. La ubicación de éste dentro de la zona más fértil (posición geográfica) (**)
2. La cosecha manual planta por planta influyó para que las pérdidas fueran mínimas.

Tabla 1

Áreas y producciones de las macroparcels que constituyen todo el ensayo (corregidas por humedad y llevadas a Kg/Ha.)

Identificación de la macroparcels	Área en ms. ²	Producción corregida por humedad (Kg)	producc. en Kg/Ha.
"Ensayo de uniformidad"	777.6	93.80	1207
A ₁	777.6	68.25	878
A ₂	777.6	34.92	449
A ₃	777.6	41.80	538
A ₄	777.6	50.30	646
A ₅	777.6	64.00	823
B ₁	388.8	26.45	680
B ₂	388.8	28.04	721
B ₃	388.8	32.80	844
C ₁	194.4	11.11	571
C ₂	194.4	12.10	622
C ₃	97.2	7.94	817

Esta tendencia presente coincide con lo expresado por Méndez (16) que dice: "Las variables aleatorias que surgen en una localidad geográfica específica pueden ser representadas por dos componentes: Un componente directamente relacionado con la localidad, llamado función de tendencia y un segundo componente no relacionado con la localidad.

(**) El lote se escogió en el semestre anterior en base al mejor desarrollo de las plantas.

2. A nivel micro.

Para la descripción de la heterogeneidad del suelo a nivel de microparcelas (0.6 mts.²), se cosecharon las 1.296 unidades básicas que constituyen "el ensayo de uniformidad" y su producción se corrigió por humedad.

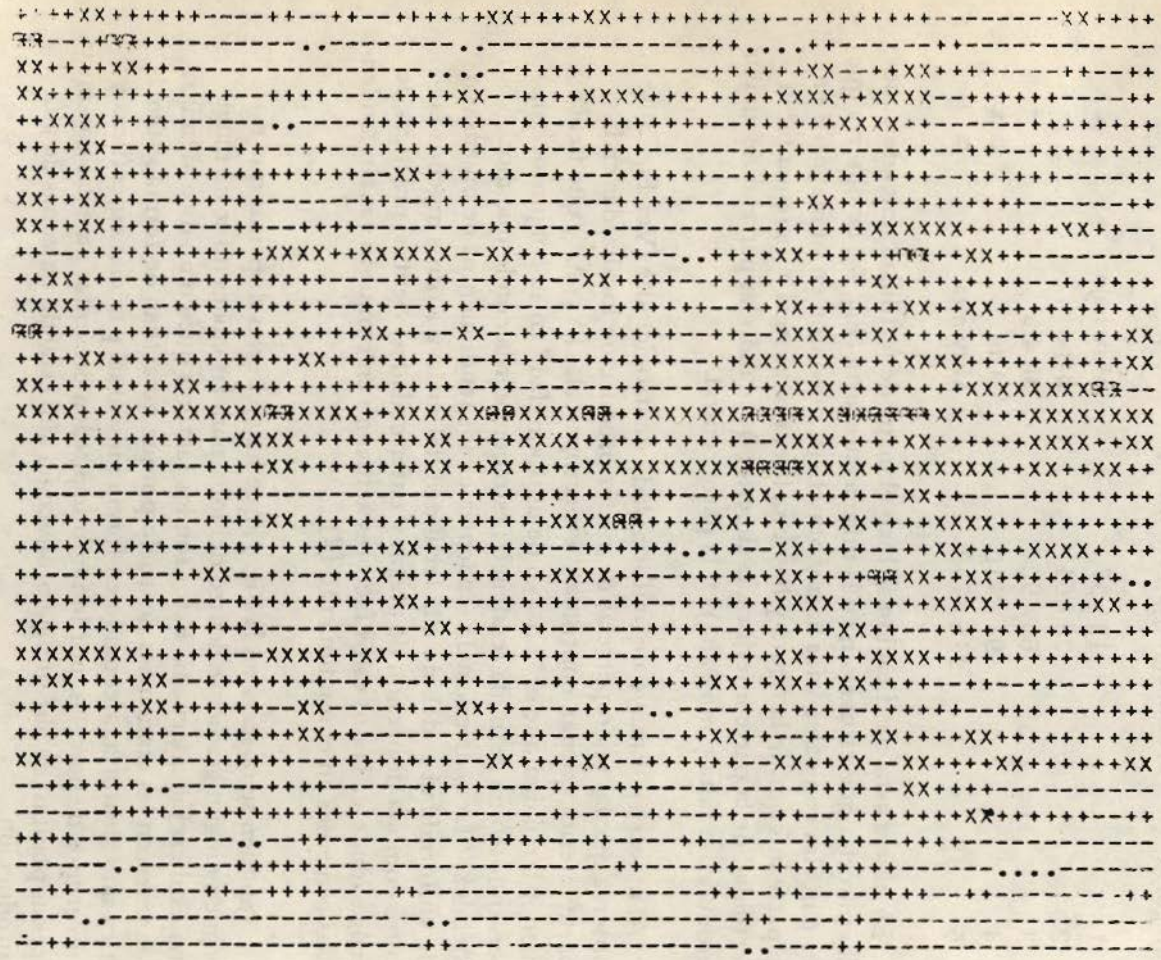
Para realizar el mapa de fertilidad se agruparon las producciones unitarias en 5 categorías así:

Categoría	Producción (gr./0.6 mts ²)	Fertilidad	Convenciones
1	12 - 37	Muy baja	. .
2	38 - 64	Baja	- -
3	65 - 90	Media	+ +
4	91 - 116	Alta	x x
5	116 - 142	Muy alta	α α

En base a esta clasificación se hizo el mapa de fertilidad uniendo aquellas parcelas que estuviesen en la misma categoría (Fig. 2). Se observa que las parcelas con categorías baja y muy baja, quedaron en su mayoría en la parte inferior de la figura y hay una ligera tendencia a incrementar la fertilidad de la parte inferior a la superior quedando las parcelas de mayor producción (alta y muy alta) en la parte central.

Al ubicar el "Ensayo de uniformidad" dentro del lote (Ver Fig. 2) se observa que las microparcelas de menor producción localizadas en la parte inferior quedan contiguas a macroparcelas (A₁ A₅) que tienen menor fertilidad que el "Ensayo de uniformidad" en su conjunto, conservándose una definida tendencia; esto concuerda con lo que dice Méndez: "La ocurrencia de tendencia en los rendimientos de un ensayo de uniformidad es debido a la fertilidad del suelo y a otros muchos factores como la dispersión de plagas y enfermedades, vientos, prácticas de irrigación, etc. Todos estos factores actuando en conjunto causan tendencias generales en el rendimiento (2).

También se observa en la Fig. 2, que hay parcelas dispersas que no siguen ningún gradiente dentro del lote, para las cuales no se dá ninguna explicación adecuada. Estos son los factores que como dice Méndez, obscurecen las tendencias del suelo porque no actúan de forma sistemática sino aleatoria, afectando en forma individual parcelas específicas y no grupos de parcelas, por lo tanto se pueden presentar parcelas con muy pocas plantas; de ahí su baja producción aún estando en zonas de alta producción.



Convenciones

Categoría	Produc. (gr/0.6 m ²)	Nomenclatura (por parcela 0.6 m ²)
1	12-37	..
2	38-64	—
3	65-90	++
4	91-116	xx
5	116-142	☒☒

- VMIN - Valor mínimo
- VMAX - Valor máximo
- VINT - Valor del intervalo
- NG - Número de categoría

Fig. 2.- Mapa de fertilidad para producción de grano con 5 categorías.



Cuantificación de la heterogeneidad.

La heterogeneidad o variabilidad del suelo, influye en las estimaciones de las variables de respuesta; por lo tanto una cuantificación de ella ayuda a obtener el tipo de unidad experimental más adecuado a fin de asegurar resultados confiables.

Las diferentes combinaciones de forma y tamaño de parcela fueron 30. En cada uno de éstos arreglos se calculó con la ayuda de la computadora, la media (\bar{X}), varianza (V), desviación estándar (S), coeficiente de variación (C.V.) y varianza comparable (V_x) (*). Los datos se muestran en la tabla No. 2.

La heterogeneidad del suelo es cuantificada por el "coeficiente de heterogeneidad", en base de la "Ley de varianza de Fairfield - Smith" el cual tiene dos variantes dependiendo de si se introduce o no como factor de ponderación los grados de libertad asociados al cálculo de la varianza en cada arreglo.

Para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad se usa el modelo $V_x = V_1 / x^b$ y se transforma a logaritmos (Fig. 3) y la pendiente se calcula mediante el método de mínimos cuadrados. Los valores obtenidos en el presente ensayo fueron: 0.336 y 0.384, éste último teniendo en cuenta en la estimación la ponderación sugerida por Federer.

Para el caso de un lote en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y utilizando como planta indicadora el frijol, Baena y otros (1), reportaron valores de 0.756 y 0.768 y Muñoz, Salazar y López (3), en otro lote de CIAT encontraron un coeficiente de heterogeneidad de 0.78 empleando ensayos cuyos "tratamientos" consistían en diferentes tamaños.

En ambos casos (Facultad y CIAT), los valores obtenidos están dentro de los límites indicados por la literatura para este tipo de ensayos (0.2 a 0.8), pudiéndose considerar ejemplificante de dos situaciones contrastantes:

Lote Facultad:	0.384	Suelos homogéneos
Lote CIAT:	0.768	Suelo heterogéneo

(*) Programa en Fortran IV elaborado por el Dr. Jorge Augusto Porras.

Tabla 2

Tamaños y forma de parcela usados con sus respectivas estimaciones de los parámetros de centralización y dispersión

Tamaño Forma			G.L.	\bar{X}	V	S	C.V.	V _x
(U. B.)	No.H	No.C						
1	1	1	1295	72.41	323.74	17.99	24.84	323.74
4	2	2	323	289.68	2691.91	51.88	17.91	168.24
9	3	3	143	651.81	11763.36	108.45	16.63	145.22
16	4	4	80	1158.79	30101.20	173.50	15.0	117.58
2	1	2	647	144.84	836.72	28.93	20.0	209.18
6	3	2	215	434.54	5387.01	73.40	16.9	149.64
12	4	3	107	869.09	19699.44	140.35	16.1	136.80
6	2	3	215	434.54	5675.68	75.34	17.3	157.68
2	2	1	647	144.84	962.19	31.02	21.4	240.55
3	3	1	431	217.26	1895.87	43.54	20.0	210.65
4	4	1	323	289.69	3144.82	56.08	19.4	196.55
5	5	1	251	362.22	4574.98	67.64	18.7	183.00
6	6	1	215	434.54	6523.53	80.77	18.6	181.21
7	7	1	179	507.11	8034.32	89.63	17.7	163.97
8	8	1	143	580.73	10130.01	100.65	17.3	158.28
9	9	1	143	651.81	11591.61	107.66	16.5	143.11
8	4	2	161	579.39	9031.85	95.04	16.4	141.12
10	5	2	125	724.45	13226.62	115.01	15.9	132.27
12	6	2	107	869.09	19086.35	138.15	15.9	132.54
15	5	3	83	1086.68	29075.66	170.52	15.7	129.23
3	1	3	431	217.26	1674.69	40.92	18.8	186.08
4	1	4	323	289.69	2508.23	50.08	17.3	156.77
5	1	5	251	364.95	3549.77	59.58	16.3	141.99
6	1	6	215	434.54	5032.48	70.94	16.3	139.79
7	1	7	179	510.93	5670.08	75.30	14.7	115.72
8	1	8	143	596.65	5595.30	74.80	12.5	87.43
9	1	9	143	651.81	9125.48	95.53	14.7	112.66
8	2	4	161	579.39	8666.63	93.09	16.1	135.42
10	2	5	125	729.91	12507.26	111.84	15.3	125.07
18	3	6	71	1303.64	37538.03	193.75	14.9	115.86

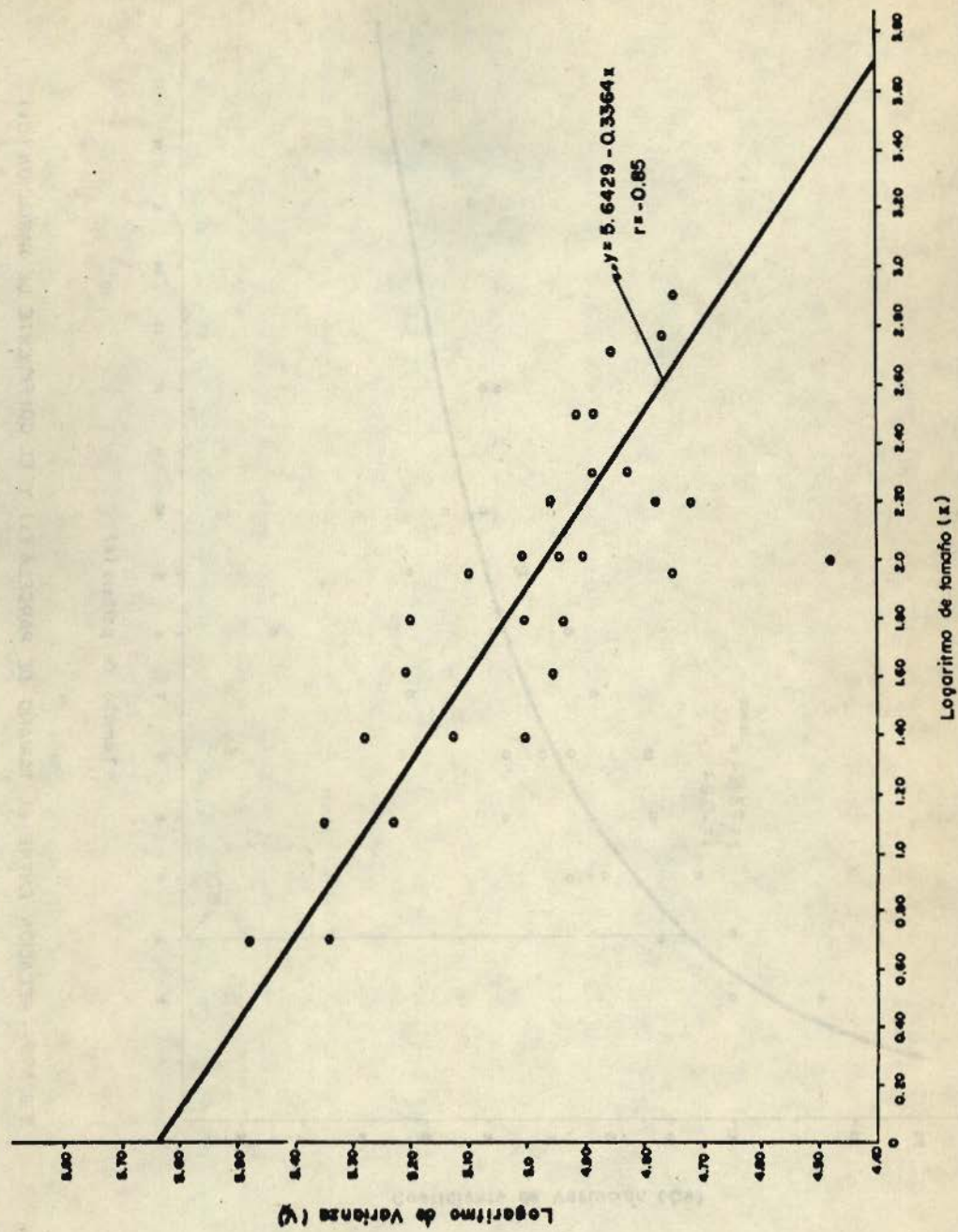


FIG. 3.-RELACION LINEAL ENTRE EL LOGARITMO DEL TAMAÑO (x) Y EL LOGARITMO DE LA VARIANZA (y)

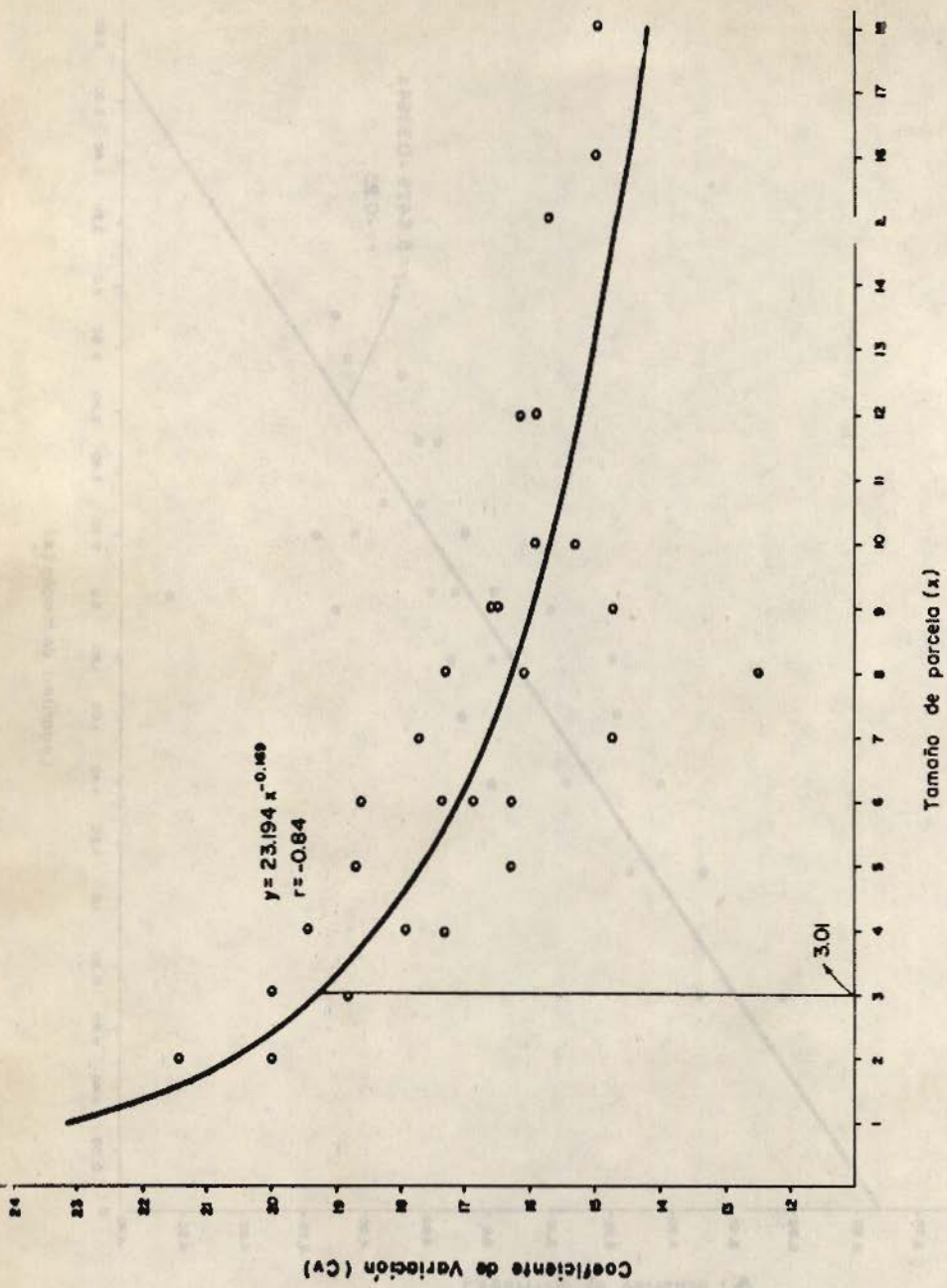


FIG. Nº4 - RELACION ENTRE EL TAMAÑO DE PARCELA (x) Y EL COEFICIENTE DE VARIACION (Cv)

Al analizar estos resultados y sabiendo la proximidad de los sitios experimentales (distancia menor de 10 km.) se nota la conveniencia de realizar "Ensayos de uniformidad" en los terrenos dedicados a la investigación, dadas las características diferentes de un sitio a otro (Ambiente manejo, etc.), ó por lo menos aprovechar los datos obtenidos en ensayos realizados bajo "Diseños" en parcelas divididas o subdivididas, para obtener una estimación del coeficiente de heterogeneidad del suelo.

Tamaño, forma y número de repeticiones de parcelas.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el "Ensayo de uniformidad" y las estimaciones del coeficiente (b) se calcularon los tamaños, formas y número de repeticiones de parcelas óptimas por diferentes métodos, con el fin de tener una base para futuras experimentaciones a realizar en este terreno.

Tamaño de parcela.

Más con finalidades didácticas (apoyo a la docencia en los cursos de estadística y diseño de experimentos), que con fines prácticos, se calculó el tamaño de parcela por los métodos:

1. De máxima curvatura.
2. De Smith incluyendo costos.
3. De regresión múltiple.

Las recomendaciones prácticas y la mayor discusión se basarán en los resultados obtenidos por el método de Hatheway que se considera estadísticamente más completo, por tener en cuenta varios factores a la vez: tamaño de parcela, número de repeticiones y diferencia a detectar como porcentaje de la media.

Método de máxima curvatura.

Graficando el tamaño de parcela (X) en unidades básicas contra el coeficiente de variación (C.V.) (Fig. 4) y ajustando el modelo $CV_x = CV_1/X^b$ que explica esta tendencia; se obtiene el punto de máxima curvatura mediante el siguiente procedimiento:

- Transformar el modelo a forma logarítmica.

$$\ln CV_x = \ln CV_1 - b \ln X$$

- Obtención de los estimadores mediante el método de los mínimos cuadrados:

$$\ln CV_x = 3.1438 - 0.169 \ln X$$

Por medio de antilogaritmos se obtiene la ecuación:

$$CV_x = 23.194 X^{-0.169}$$

Como se observa en la figura 4 a incrementos pequeños de tamaño corresponden fuertes reducciones en el coeficiente de variación en la primera sección de la curva. La dispersión de los coeficientes de variación en la parte central es debida a la forma de la parcela, en la parte final de la curva se observan cambios pequeños en el coeficiente de variación al incrementar el tamaño. El método considera como punto de máxima curvatura aquel en el cual al aumentar en una unidad, el tamaño de parcela, el C.V. se disminuye en 10/o, por lo cual la primera derivada se iguala a -1.

Este método arrojó un valor de 3.01 unidades básicas equivalentes a un tamaño de 1.8 m². De acuerdo a la literatura, el método tiene el inconveniente de estar demasiado influido por la selección de la unidad primaria y en general reporta valores comparativamente más pequeñas que los demás métodos.

Método de Smith.

Utilizando la fórmula de Smith en donde el tamaño óptimo está dado por la relación $X = bK_1 / (1 - b) K_2$, que incluye los costos asociados a número de parcelas por tratamiento y área de cada tratamiento, se hizo estimativos para diferentes valores de K_1 y K_2 . Usando un valor de $b = 0.384$ (hallado por el método de Federer), se encontraron tamaños de parcela que oscilan entre 1 y 2.5 unidades básicas. Los valores se reportan en la Tabla 3.

Por el método de Smith utilizando valores de $K_1 = 80$ y $K_2 = 20$, el tamaño óptimo fué aproximadamente de 2.50 unidades básicas o sea 1.50 mts.² similar al hallado por el método de máxima curvatura.

Los tamaños de parcela, encontrados son bajos comparados con los hallados en otros centros experimentales y en cultivos similares en manejo a la soya.

Esto es debido al bajo valor del coeficiente de heterogeneidad hallado, ya que b actúa en la fórmula multiplicativamente. Sin embargo los tamaños de parcela encontrados por los dos métodos descritos distan bastante de los tamaños de parcela útil empleados por el programa de leguminosas de grano del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (6 mts²).

Tabla 3

Tamaños de parcelas óptimas encontrados por el método de Smith para diferentes valores de K_1 y K_2

Valores de K_1 y K_2	Tamaño óptimo (unidad.básicas)	Tamaño óptimo (en mts. ²)
60 40	0.9351	0.56
65 35	1.1577	0.69
70 30	1.4546	0.87
75 25	1.8701	1.12
80 20	2.4935	1.50

Método de máxima curvatura, utilizando modelo de regresión lineal múltiple.

Siguiendo la metodología indicada en materiales y métodos, se halla el tamaño y forma de parcela óptimos, usando la técnica de regresión, considerando tanto las hileras como las columnas involucradas en cada uno de los arreglos, el modelo dió por resultado la siguiente expresión:

$$CV = 28.20 - 2.33H - 3.18C + 0.14H^2 + 0.19C^2 + 0.23HC$$

Para el cual se obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.90 (Tabla 8), indicando con esto que el modelo explica el 90o/o de los cambios en el coeficiente de variación. Los valores observados y estimados para las diferentes formas aparecen en la Tabla 4.

Sin embargo, el hecho de poder ajustar la función y obtener un coeficiente de determinación relativamente alto no garantizan la obtención de valores de tamaño de parcela ajustados a la realidad. Al derivar la función estimada con respecto H y C e igualar cada derivada a - 1 se obtuvieron valores de $H=0.08$ y $C=5.93$, solución que tiene sentido sólo como ente matemático, pero inadmisible desde el punto de vista práctico, razón por la cual consideramos la solución como anómala.

Para el tratamiento de este caso se propone que en base a los valores estimados se encuentre un tamaño que reduzca bastante el C.V. sin aumentar considerablemente el área, como se explica a continuación:

En la Tabla 4 se presentan las estimaciones del C.V. para algunos arreglos específicos. Como puede observarse los incrementos del número de columnas producen mayores reducciones en C.V. que los incrementos en número de hileras, para igual área.

Tabla 4
Estimaciones del C.V. para diferentes arreglos específicos

Columnas	1	2	3	4	5	6
Hileras						
1	23.24	20.84	18.81	17.16	15.87	14.96
2	21.54	19.37	17.57	16.15	15.09	
3	20.12	18.18	16.61			14.12
4	18.96	17.25	15.91	14.94		
5	18.08	16.60	15.48			
6	17.47	16.21				

En la Tabla 5 se resumen algunas situaciones particulares de reducción del coeficiente de variación por incrementos en área de parcela, destacándose el arreglo 1 x 6 que implica una disminución total del C.V. en 8.280/o y el arreglo 1 x 4 que maximiza la reducción en C.V. por unidad de área.

Cálculo del número de repeticiones por el método de Hatheway.

Para hallar la relación entre tamaño de parcela, o/o de la media a detectarse y número de repeticiones se utilizó la fórmula de Hatheway (ver Materiales y Métodos) para la cual el C.V. empleado fué de 24.850/o que corresponde al de una unidad básica. El coeficiente de heterogeneidad del suelo usado fué el obtenido por el método de Federer (0.384), quedando la fórmula de Hatheway en la siguiente expresión:

$$X^{0.38} = 2 (t_1 + t_2)^2 (24.85)^2 / r d^2$$

Tabla 5

Reducción del coeficiente de variación por incrementos en área de parcela para diferentes arreglos

Arreglo H x C	Área (mts. ²)	Reduc. total en C.V.	Reducc. en C.V. por unid. de área
1 x 2	1.2	2.40	2.00
1 x 3	1.8	4.43	2.46
1 x 4	2.4	6.08	2.53
1 x 5	3.0	7.37	2.46
1 x 6	3.6	8.28	2.30
6 x 1	3.6	5.77	1.60
4 x 4	9.6	8.30	0.86
3 x 6	10.8	9.12	0.84

Tabla 6

Análisis de varianza para la regresión lineal múltiple

Fuentes de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft
					50/o 10/o
Modelo	5	146.60	29.32	41.19**	2.62 3.9
Desviación de regresión	24	17.09	0.71		
Total (c)	29	163.69			

** Estadísticamente significativo al 10/o de probabilidad.

CV=4.91 R²0.90

Modelo estimado:

CV: $28.20 - 2.33H - 3.18C + 0.14H^2 + 0.19C^2 + 0.23HC^2$

Se asumió tres alternativas como número de tratamientos a emplear en futuros ensayos:

5 Para un experimento pequeño

15 Para un experimento mediano

25 Para un experimento grande

y el número de repeticiones, considerando alternativas entre 2 y 6.

Para cada combinación de tratamientos y repeticiones se hallaron los grados de libertad del error asumiendo el empleo de un diseño en bloques al azar. (Tabla 7).

Como nivel de significancia de las pruebas se asume un 10o/o (probabilidad de error Tipo I) y como poder de la prueba (1- B) el 80o/o, lo que corresponde a detectar diferencias significativas, si las hay, en cuatro de cada cinco experimentos.

En base a la tabla de "t" del libro de Cochran y Cox, se obtuvo los valores correspondientes a t_1 para 0.1 y t_2 para $2(1 - 0.8) = 0.4$.

El cuadrado de la suma de los valores se sintetiza en la siguiente tabla:

Grados de libertad	$(t_1 + t_2)^2$
4	9.44
8	7.56
12	7.05
14	6.91
16	6.82
20	6.68
24	6.59
28	6.53
120	6.19

Como se observa los valores se estabilizan a partir de 12 grados de libertad, pero es conveniente pensar en experimentos en que los grados de libertad del error exceden de 25. Para facilidad de los cálculos se trabajó con $(t_1 + t_2)^2$ igual a 7 reduciéndose la expresión de Hatheway a :

$$X^{0.384} = 2 \times 7 (24.85)^2 / rd^2 = 8645.315 / rd^2$$

Tabla 7

Número de grados de libertad del error para diferentes combinaciones de número de tratamientos y repeticiones

No. repeticiones	2	3	4	5	6
No. tratamientos					
5	4	8	12	16	20
15	14	28	42	56	70
25	24	48	72	96	120

En la Tabla 8 se presentan los valores en términos de mts^2 , para diferentes alternativas del número de repeticiones y para diferencias a detectar como porcentaje de la media general del experimento, oscilando entre 10 y 30 por ciento.

Tabla 8

Tamaños de parcela (en m^2) obtenidos a partir de la fórmula de Hatheway

	Repeticiones		Diferencias a detectar como % de la media					
	10	15	17.5	20	22.5	2.5	27.5	30
2	10908.04	1320.29	591.69	295.04	159.82	92.26	56.20	35.66
3	3796.98	459.60	205.84	102.60	55.60	32.10	19.55	12.41
4	1793.94	217.43	97.31	48.53	26.28	15.18	9.24	5.86
5	1003.63	121.28	54.42	27.14	14.70	8.49	5.17	3.28
6	624.46	75.42	33.85	16.88	9.14	5.28	3.22	2.04

Obviamente, tamaños de parcela para detectar diferencias de menos del 20o/o con pocas repeticiones son agrónomicamente imposibles de usar por corresponder a áreas de parcela incluso superiores a 1 Ha. , cuando hipotéticamente se quiera detectar 10o/o de la media (240 Kg/Ha.) en experimentos con dos repeticiones.

En la Tabla 8 se resaltan los tamaños menores de 20 mts.² como soluciones posibles de emplear en la práctica.

Si se insiste en seguir empleando las cuatro repeticiones y se desea detectar diferencias del 25o/o (correspondiente a 600 Kg /Ha.) debería usarse parcelas cuya área útil sea de 15.18 mts.² que implica tamaños 2.5 veces superior a los que actualmente emplea el ICA en su programa de oleaginosas de grano. Una mejor alternativa es utilizar 5.28 mts.² como área útil y 6 repeticiones, lo cual implica reducir el área por tratamiento de 60.72 mts.² a 31.68 mts.²

En resúmen, si se quiere una mejor sensibilidad en los experimentos debe pensarse en tamaños de parcela entre 17 y 27 ms² , para 6 y 5 repeticiones, respectivamente. De acuerdo a la revisión realizada por Baena (2), para los experimentos de fríjol - soya, se han empleado parcelas con área útil que oscilan entre 7 y 27 ms² , con promedio ponderado (por el número de experimentos de 17.97 ms² , en arreglos de parcelas divididas con parcelas mayores en bloques al azar casi todos ellos con cuatro repeticiones.

En términos generales es mejor aumentar el número de repeticiones (disminuyendo el área) que aumentar las áreas de parcela con pocas repeticiones.

Como se dijo anteriormente para fines prácticos, el método de Hatheway ofrece mayores ventajas , por involucrar en su cálculo un mayor número de factores brindando posibilidades de emplear diferentes combinaciones de tamaño y número de repeticiones para los diferentes experimentos. Así por ejemplo, si se trata de un ensayo comparativo de variedades podrían emplearse seis repeticiones y tamaños de parcela de 16.88 mts.² Si por el contrario el experimento implica tratamientos que incluyen láminas de agua, podrían emplearse parcelas de 48.5 mts.² con cuatro repeticiones.

Forma de parcela.

Por el método de máxima curvatura se obtuvo un tamaño óptimo de 3 unidades básicas, el cual puede conformarse por los arreglos: 3 x 1 con

coeficiente de variación de 20.04o/o y 1 x 3 con coeficiente de variación de 18 (Tabla 2); seleccionándose la forma 1 x 3 ó sea 3 surcos de 1 mt. de longitud que presenta menor coeficiente de variación.

Utilizando el modelo de regresión lineal,múltiple las formas obtenidas fueron de 1 x 6 con un C.V. de 16.3o/o y 1 x 4 con un C.V. de 17.3o/o.

En los arreglos obtenidos por los dos métodos anteriores se observa que las parcelas son largas y angostas siendo uno el número de hileras y variando las columnas o surcos de 3 a 6, lo cual indica que hay menor variación cuando se incrementa el número de surcos, que cuando se incrementa la longitud de ellos.

Cuando se utiliza el método de Hatheway y se establece la diferencia a detectar como o/o de la media, quien desee averiguar la forma óptima debe recurrir a aquella que presente menor coeficiente de variación.

Efecto de bordes.

Para el estudio del efecto de bordes se utilizaron 7 parcelas, de 5 surcos cuya ubicación se muestra en la figura No. 2; los datos de producción de los surcos de cada parcela se muestran en la tabla No. 9.

Para medir el efecto que tienen los espacios no sembrados (bordes) sobre la producción de grano se hizo un análisis de varianza utilizando un modelo de dos criterios de clasificación sin interacción para contrarrestar la heterogeneidad que se presentó de una parcela a otra por su ubicación dentro del campo. En la Fig. 1 se localizan las parcelas en las cuales se midió este efecto; observándose que quedan contiguas a lotes con diferentes fertilidad del suelo.

En la Tabla 10 aparece el análisis de varianza, en donde hay diferencias altamente significativas entre las posiciones de las parcelas (bloques) y entre las posiciones relativas de los surcos con respecto a las áreas no sembradas. En la descomposición de la suma de cuadrados de surcos se probó que hay diferencia altamente significativa entre el promedio de los surcos externos (1 y 2) y el promedio de los surcos más internos (4 y 5), lo cual nos indica que hay una apreciable diferencia en producción (202.64 Vs 107.93 grs/1.8 ms²), explicable ya que los dos primeros surcos tienen menos competencia por luz y nutrientes que los dos últimos surcos.

Al comparar el primero y segundo surco también se encontró diferencia altamente significativa indicando esto que el primer surco está en condiciones de menor importancia con relación al segundo surco. La última

Tabla 9

Producción del grano en grs/1.8 m² del ensayo sobre efecto de bordes

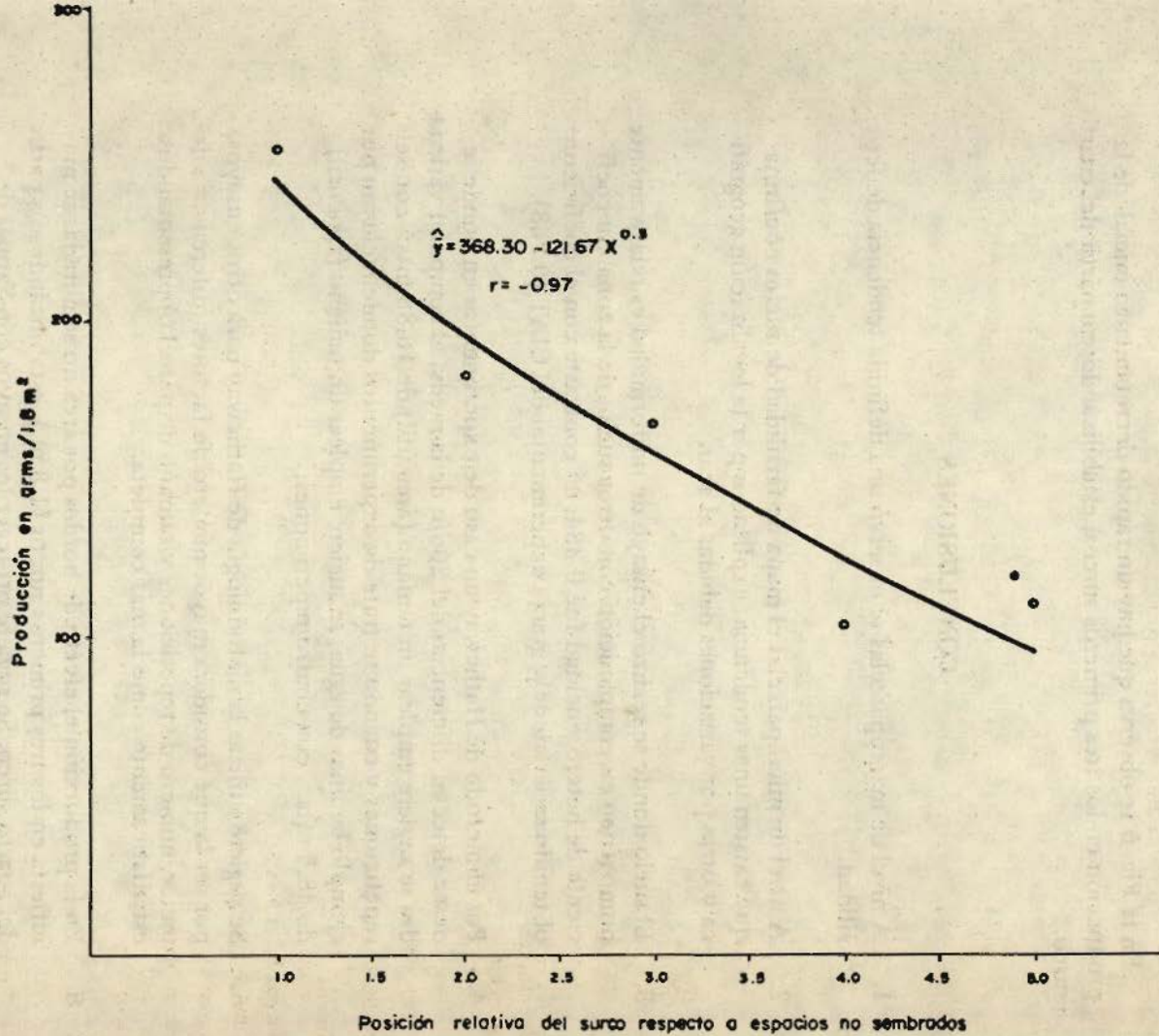
Parcela, surco	Producción en grs. por surco de 3 mts.							\bar{X}	
	1	2	3	4	5	6	7		
1	284	305	231	194	175	244	234	238.14	} 202.64
2	171	302	139	99	108	171	180	167.14	
3	244	155	114	100	108	165	157	149.00	
4	109	186	84	45	95	95	119	104.71	} 107.93
5	102	234	82	60	49	145	106	111.14	

Tabla 10

Análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en grs/1.8 m²

Fuentes de variación	G.L.	SC	CM	Fc	Ft	
					5o/o	1o/o
Posiciones de parcela	6	67225.77	11204.30	12.18**	2.51	3.67
Surcos	4	80804.97	20201.24	21.96**	2.78	4.22
Surcos 1,2,4,5 vs 3	1	221.26	221.26	0.24NS	4.26	7.82
Surcos 1,2 vs 4,5	1	62795.57	62795.57	68.26**	4.26	7.82
Surco 1 vs 2	1	17643.49	17643.49	19.18**	4.26	7.82
Surco 4 vs 5	1	144.63	144.63	0.12NS	4.26	7.82
Error	24	22078.23	919.93			
Total	34	17010.97				

** Diferencia al 1o/o de probabilidad
 NS Diferencia estadísticamente no significativa
 \bar{V} 154.03 gr/1.8 m²
 S 30.33 grs/1.8 m²
 CV 19.70o/o



comparación entre los surcos 4 y 5 no dá diferencia estadísticamente significativa, ya que la producción en el cuarto surco se ha estabilizado, no manifestándose el efecto de bordes.

En la Fig. 5 se observa que hay un rápido decrecimiento inicial de la producción en los tres primeros surcos, estabilizándose a partir del cuarto surco.

CONCLUSIONES

1. A nivel de macroparcels se observó una definida tendencia de fertilidad.
2. A nivel de microparcels el mapa de fertilidad de suelos confirma que existen unas tendencias explicadas por la localización geográfica y otras por variaciones debidas al azar.
3. El suelo donde se realizó el ensayo de uniformidad es relativamente homogéneo en comparación con otros suelos de la zona. Su coeficiente de heterogeneidad fué 0.384, en contraste con el coeficiente obtenido en un lote de la granja experimental del CIAT (0.768).
4. Por el método de Hatheway en caso de experimentos en donde se desee detectar diferencias del 20o/o de la media al comparar variedades se sugiere emplear un tamaño (área útil) de 16.88 mts.² con seis repeticiones y cuando se trate de experimentos donde incluyan por ejemplo láminas de agua, se sugiere emplear un tamaño (área útil) de 48.5 mts.², con cuatro repeticiones.
5. Se sugiere utilizar la metodología de Hatheway para otros ensayos, por ser la que considera mayor número de factores (diferencia a detectar, número de repeticiones y tamaño de parcela,) presentándose estadísticamente como la más completa.
6. En la producción el efecto de bordes por área no sembradas se manifiesta en los tres primeros surcos (1.8 m.), estabilizándose a partir del cuarto surco. Se sugiere proteger los ensayos con "zonas de amortiguación" de al menos tres surcos bordeadores del ensayo.

RESUMEN

El presente trabajo se efectuó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Palmira a una altura de 1.000 m.s.n.m. precipitación promedia de 1.000 mm. y temperatura promedia de 24°C; con el fin de determinar el tamaño, la forma y el número de repeticiones óptimas de parcela, en soya (*Glycine max* L. (M.), variedad ICA-LILI de crecimiento semierecto. Además, se realizó un estudio complementario sobre heterogeneidad del suelo y efecto de bordes.

Se realizó el ensayo de uniformidad, con un arreglo de 36 surcos (espaciados 0.6 mts.) de 36 mts. de largo; el lote fué dividido en 1296 unidades básicas de 0.6 mts. cuadrados (1 surco de un metro de largo); además se cosecharon macroparcelas de igual área o submúltiplos de área de ensayo.

Al considerarse las producciones de las macroparcelas se observó un definido gradiente de fertilidad en el sentido Este-Oeste. Al hacer un mapa de heterogeneidad del suelo en base al ensayo de uniformidad se observaron tendencias definidas explicadas por la localización de las parcelas dentro del ensayo de uniformidad y áreas aisladas, debidas al azar.

Se cuantificó el coeficiente de heterogeneidad del suelo en base a "la ley de varianza" de Fairfield - Smith obteniéndose un valor de 0.336. Con el mismo método pero teniendo en cuenta la ponderación de las varianzas por sus grados de libertad respectivas, como lo sugiere Federer, se halló un valor de 0.384.

Las metodologías para el cálculo del tamaño óptimo fueron las de : máxima curvatura, Smith y máxima curvatura utilizando un modelo de regresión lineal múltiple.

Para el cálculo del número de repeticiones y tamaños de parcela se usó la metodología de Hatheway, presentándose estadísticamente como la más completa.

Los tamaños y formas obtenidas de acuerdo a cada método fueron los siguientes:

Máxima curvatura : 3 unidades básicas equivalentes a 1.8 m², seleccionándose el arreglo 1 x 3 (3 surcos de 1 metro de largo) por ser el que presentó para dicha área, el menor coeficiente de variación.

Método de Smith: los tamaños oscilaron entre 0.50 y 1.50 ms.² de acuerdo a las diferentes relaciones de costos. K_1 / K_2 .

Máxima curvatura utilizando modelo de regresión lineal múltiple, dió una solución anormal; los valores encontrados fueron: número de surcos 6, con un valor negativo para longitud de los surcos (- 0.08). Se seleccionaron tamaños teniendo en cuenta aquellos con máxima reducción del coeficiente de variación por unidad de área, destacándose los arreglos 1 x 4 y 1 x 6 para áreas de 2.4 y 3.6 mts.² respectivamente.

Por el método de Hatheway se establece una relación entre número de repeticiones, tamaño de parcela y diferencia a detectar como porcentaje de la media. Se encontró que a una diferencia de 25 por ciento, y si se quieren utilizar 4 repeticiones, debieron usarse parcelas con área útil de 15 mts.² que implican tamaños 2.5 veces superior a los que actualmente emplea el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), en sus programas de leguminosas de grano. Se sugiere como alternativa utilizar 5.28 mts.² de área útil de parcela con 6 repeticiones, lo cual implicaría reducir el área por tratamiento de 60.72 a 31.68 mts.²

Para determinar el efecto de bordes por espacios no sembrados se usó un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos (posición relativa del surco con respecto al área no sembrada) y 7 bloques. Se encontró que hay influencia del efecto de bordes en la producción, hasta el tercer surco que en longitud equivale a 1.80 mts. por lo cual conviene rodear los ensayos con "zonas de amortiguación".

SUMMARY

This study was carried out at the Facultad de Ciencias Agropecuarias in Palmira. Palmira is located in the department Valle del Cauca, Colombia. The average rainfall is 1.000 mm and the average temperature is 24°C. The objective of this study was to determine the optimum plot size and shape, and the optimum number of replications in soybean (*Glycine max* L. Merr) experiments. Furthermore, a complementary analysis was performed on the soil heterogeneity and border effects. The semierect variety ICA- LILI was used.

The uniformity trial layout consisted of 36 furrows (spaced 0.6 m) of length 36 m. The total area was divided into 1296 basic units of 0.6 m² each (1 furrow of length 1 m.) . In addition, macroplots of equal area or submultiple of the trial area were harvested after mapping the

macroplots yields a definite gradients were observed in the uniformity field with random spots that obscure the general pattern.

To quantify the index of soil heterogeneity the empirical law proposed by Smith was used giving $b = 0.336$, weighting the variances by their corresponding degrees of freedom, as suggested by Federer, a value of 0.384 was obtained.

To find the optimum plot size three methods were used: maximum curvature, Smith's method and maximum curvature using a multiple linear regression approach.

To find the number of replications and plot size required to detect a given difference expressed as a percentage of the mean, Hatheway's methodology was followed because it relates more characteristics.

The plot size and shape obtained following each of the methods mentioned above were:

- Maximum curvature, 3 basic units (1.8 m^2) with shape 1×3 (3 furrows of 1 m long.). This shape presented the smallest coefficient of variation among all the plots of 3 basic units.
- Smith's method; the optimum size varied 0.50 to 1.50 m^2 depending upon the ratio K_1/K_2 .
- Maximum curvature using a multiple linear regression approach; this method led an unfeasible solution, namely, furrows with length - 0.8 m. For this reason plots were selected according to the reduction of coefficient of variation per unit area. The best two plots according to this criterion were plots of 1×4 and 1×6 with areas. 2.4 and 3.6 m^2 , respectively.

Hatheway's method establishes a relationship among number of replications, plot size and difference as a percentage of the mean - that would like to be detected. It was found that for 4 replications and a difference to be detected. It was found that for 4 replications and a difference to detect of 25% of the mean, it is required to use plots of 15 m^2 of effective area, which is 2.5 times the area recommended by ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) for grain legumes. Alternatively if a difference of 25% of the mean is to be detected, we suggest to use plots of 5.28 m^2 with 6 replications which reduces the area per treatment from 60 m^2 to 31.68 m^2 .

To determine the border effects of unplanted areas a complete block design was used with 5 treatment (relative position of furrow with respect to the unplanted area edge) and 7 blocks. It was found that the border effects was noted until the third furrows from the unplanted area (that is, in a length of 1.80 m).

BIBLIOGRAFIA

1. BAENA, D. y otros. Estudio de la heterogeneidad del suelo, del tamaño y forma de parcela y del número de repeticiones óptimas en ensayos de uniformidad en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) CIAT. En: Reunión anual del Proyecto cooperativo centroamericano para mejoramiento de los cultivos alimenticios. 21 - 24 de marzo de 1977. Panamá. pag. 24.
2. MENDEZ, I. Determinación de funciones de tendencia y su comparación con bloques en los ensayos de uniformidad. Chapingo (México). Centro de Estadística y Cálculo (CEC). 1971. 18 p.
3. MUÑOZ, J. E., SALAZAR, L., LOPEZ, Y. Determinación del tamaño forma y número de repeticiones más adecuadas en ensayos de rendimiento en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) y comparación de dos métodos para estimar su rendimiento comercial. CIAT. 1975. 14 p.
4. SMITH, H. C. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. Jour of Agr. Sc. 28(1): 1 - 23. 1938.