

Programa de Agronomía de Frijol, CIAT. Ap. Aéreo 67-13, Cali

2/

Unidad de Biometría, CIAT. Ap. Aéreo 67-13, Cali

1/

Fernando Takegami

2/

Oswaldo Voysest

2/

Pedro Manuel Rodríguez

2/

María Cristina Amézquita

1/

Diosdado Baena

1/

Por:

Panamá

21 - 24 de Marzo de 1977

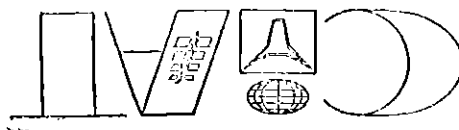
XXIII Reunión Anual del P.C.G.M.C.A.

UNIFORMIDAD EN FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

PARCELA Y DEL NUMERO DE REPETICIONES OPTIMOS EN ENSAYOS DE

ESTUDIO DE LA HETEROGENEIDAD DEL SUELO, DEL TAMAÑO Y FORMA DE

CENTRO DE DOCUMENTACION



8127

INDICE DE CONTENIDO

8127

I.	Introducción	1
II.	Revisión de literatura	
2.1.	Heterogeneidad del suelo	2
2.2.	Algunos aspectos sobre el tamaño, forma de parcela y número de repeticiones	5
2.3.	Métodos estadísticos	6
2.3.1.	Estimación del tamaño óptimo de parcela	6
2.3.1.1.	Método del error probable	7
2.3.1.2.	Método de la máxima curvatura	7
2.3.1.3.	Procedimiento de Smith	8
2.3.2.	Forma de la parcela	9
2.3.3.	Número de repeticiones	9
2.3.4.	Tamaños y formas de parcela ópti- mos obtenidos en algunos ensayos de uniformidad	11
III.	Materiales y Métodos	
3.1.	Aspectos descriptivos	
3.1.1.	Localización	11
3.1.2.	Condiciones de clima	12
3.1.3.	Condiciones de suelo	12
3.2.	Técnica experimental	

12	3.2.1. Material empleado
13	3.2.2. Condiciones de manejo del ensayo
	3.3. Método de análisis
	3.3.1. Combinaciones de tamaño y forma
14	seleccionados
17	3.3.2. Heterogeneidad del suelo
	3.3.3. Tamaño de parcela y número de re-
18	peticiones
18	3.3.4. Forma de la parcela
	IV. Resultados y Discusión
19	4.1. Heterogeneidad del suelo
20	4.2. Tamaño de parcela y número de repeticiones
22	4.3. Forma de parcela
22	4.4. Tamaño de parcela en función de los costos
23	V. Conclusiones
	VI. Bibliografía

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.)

I. INTRODUCCION:

Actualmente en la mayoría de las instituciones dedicadas a la investigación agrícola existe la tendencia a montar ensayos de uniformidad o "ensayos en blanco", como procedimiento convencional para el estudio del tamaño y forma de parcela óptimos en los diferentes cultivos.

La información obtenida (rendimiento a nivel de pequeñas parcelas) de un ensayo de uniformidad puede también aprovecharse para determinar el grado de heterogeneidad de los suelos, utilizando técnicas estadísticas apropiadas y para mostrar a través de una representación gráfica dicha heterogeneidad por medio de los mapas de contorno de fertilidad.

Conocida la heterogeneidad del suelo es posible seleccionar aquellos tamaños y formas de parcela que minimicen sus efectos y que garanticen un mayor grado de confiabilidad en las inferencias que se hagan en base a los datos de producción.

El número de repeticiones es otro de los aspectos estrechamente relacionado con la heterogeneidad del suelo, el grado de precisión deseada y la diferencias que se deseen detectar en un experimento. Un ensayo de uniformidad permite obtener un estimado del número de repeticiones óptimo para diferentes tamaños y formas de parcela considerando los factores anteriormente mencionados.

8127

La necesidad de definir una técnica adecuada de parcela

que permitiese mejorar la calidad y disminuir los costos de los futuros trabajos de investigación en frijol, condujo a realizar el presente ensayo de uniformidad bajo los siguientes objeti-

vos preestablecidos:

1. Realización de un estudio sobre la heterogeneidad del

lote experimental Q_2 , mapeando tendencias de ferti-
lidad y calculando el coeficiente de correlación en-
tre parcelas adyacentes como medida de estas tenden-

cias.

2. Determinación de algunas combinaciones de tamaños de

parcela y número de repeticiones para diferentes va-
lores de la diferencia que se desee detectar entre
promedios de tratamiento.

3. Asumiendo costos, calcular algunos tamaños óptimos de

parcela.

II. REVISIÓN DE LITERATURA:

2.1. Heterogeneidad del suelo:

Se ha demostrado que aun dentro de áreas muy pequeñas, el

suelo puede variar en textura, drenaje, contenido de humedad y

de nutrientes, etc. Este grado de heterogeneidad del suelo in-

fluye directamente en la magnitud del error experimental y en

la precisión de los resultados obtenidos; por consiguiente, la

estimación de la heterogeneidad del suelo debe ser el paso pre-

Limpiar para el desarrollo de un experimento de campo.

La variación y dirección de la gradiente de fertilidad del suelo, factor principal en su heterogeneidad, puede estimarse mediante los ensayos de uniformidad o "ensayos en blanco" (2). En estos ensayos se siembra todo el lote experimental con un mismo material, tan puro como sea posible, sometiendo todo el campo a prácticas culturales idénticas durante el periodo vegetativo del cultivo. La cosecha se realiza tomando por separado la producción de pequeñas parcelas "básicas", cuidando de registrar su localización dentro del lote (2).

Conocida la producción de cada parcela e identificada su posición, es posible apreciar mediante una representación gráfica, la heterogeneidad de un suelo, elaborando los llamados mapas de contorno de fertilidad, los cuales permiten mostrar claramente que campos aparentemente muy uniformes son heterogéneos desde el punto de vista de la productividad; cuando dicha productividad o fertilidad se determina por el rendimiento de parcelas pequeñas. Los mapas se obtienen uniendo por líneas los puntos del terreno con rendimientos similares (2).

Smith (14) ha demostrado que la heterogeneidad del suelo puede estimarse a partir del coeficiente \bar{b} resultante de la regresión lineal entre el logaritmo de la varianza de la parcela por unidad de área y el logaritmo del tamaño de la parcela ("Ley de Fairfield - Smith"),

$$V_x = \frac{X}{V_1} \quad 6 \text{ Log } V_x = \text{Log } V_1 - b \text{ Log } X \quad [1]$$

Los efectos de la heterogeneidad del suelo pueden reducirse, escogiendo técnicas experimentales adecuadas tales como:

- V_{xi} = 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 una varianza dada
- (número de parcelas de tamaño $X_i - 1$).

para la cual:

$$b = \frac{\sum w_i \log V_{xi} \log X_i - (\sum w_i \log X_i)(\sum w_i \log V_{xi}) / \sum w_i}{\sum w_i \log X_i - (\sum w_i \log X_i)^2 / \sum w_i} \quad [2]$$

La fórmula expuesta por Federer (3), rianza. El coeficiente \bar{b} se calcularía entonces, utilizando parcela (V_{xi}), por los grados de libertad asociados a cada va- Federer recomienda ponderar los logaritmos de las varianzas por que b oscilará entre 0 y 1. Para obviar la situación anterior, entre la variabilidad entre parcelas y su tamaño, se desearía sultados. Esto porque al ser b un indicativo de la correlación ron de 1.0, razón que impide interpretar correctamente los re- calculados por la fórmula de Smith, en algunos casos excede- Hatheway y Williams (7) observaron que los valores de \bar{b}

- b = Coeficiente de regresión.
- X = Tamaños de las parcelas en unidades básicas.
- V_i = Varianza de la parcela de una unidad básica.
- V_x = Varianza del rendimiento por unidad de área.

donde:

tamaño, forma y orientación de las parcelas apropiadas, selección de un diseño experimental eficiente y empleo de un número óptimo de repeticiones (5).

2.2. Algunos aspectos sobre el tamaño, forma de parcela y número de repeticiones:

Estudios sobre el tamaño y forma de la parcela experimental para pruebas de campo, han motivado desde tiempo atrás la atención de numerosos investigadores, debido a la gran influencia que esta tiene sobre el error experimental. Self (13) atribuye a Wood y Stratton en 1910 y Hall 1911 los primeros trabajos para demostrar el efecto del tamaño de parcela sobre el error experimental. En general, la mayoría de los trabajos realizados hasta nuestra época, han comprobado que el error experimental decrece cuando se incrementa el tamaño de la parcela, pero esta reducción no es proporcional al incremento.

En cuanto a la forma de la parcela, se ha observado experimentalmente que el error experimental obtenido con parcelas rectangulares no es mayor que el que se obtiene con parcelas cuadradas de igual tamaño; sin embargo, su influencia es marcada cuando existe un gradiente en la calidad o fertilidad del suelo. En estos casos es preferible la parcela rectangular, en el sentido de dicha gradiente. La selección de parcelas cuadradas es preferible realizarla cuando la distribución de la fertilidad del área experimental es desconocida (5).

Otro factor importante a tener en cuenta en todo experimento-

to es el número de repeticiones. Este permite obtener una estimación del error experimental. Mas aún, uno de los medios simples para incrementar la precisión, es aumentar el número de repeticiones (5). Para Leclerg (10), el número de repeticiones depende de:

a) El grado de precisión deseado.

b) La variabilidad inherente del material estudiado.

c) Los recursos disponibles.

d) El tamaño y forma de la parcela.

No obstante, considera que se obtiene un mayor grado de seguridad, cuando se hacen más repeticiones de pequeñas parcelas, que cuando se utiliza la misma área experimental con parcelas grandes y un reducido número de repeticiones.

2.3. Métodos estadísticos:

2.3.1. Estimación del tamaño óptimo de parcela:

La importancia que tiene para el investigador el conocimiento de las dimensiones de la unidad experimental, en los cultivos para los cuales realiza experimentación, ha conllevado a proponer diferentes métodos estadísticos para estimar el tamaño óptimo de parcela, a partir de la información sobre rendimiento obtenida en ensayos de uniformidad. A continuación se da una descripción somera de los métodos de mayor uso.

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")

2.3.1.2. Método de la Máxima Curvatura:

probable para estimar el tamaño óptimo de parcela. y muchos otros investigadores han usado el método del error McLelland en maíz, Vagholkar en caña de azúcar, Pan en arroz; Wood y Straton en 1910 en remolacha azucarera,

mientos ensayados (2).

convenientes para aquilatar las diferencias entre los tratamientos, y por tanto, las parcelas grandes parecen, en general, más probable disminuye, a medida que aumenta el tamaño de las parcelas cuando este método, coinciden en el hecho de que el error probable para las parcelas de un campo experimental utilizando Todos los estudios realizados para determinar el tamaño más ción de la gráfica del error probable vs. el tamaño de parcela. la media, para diferentes tamaños de parcela y en la elaboración por la desviación estándar) de cada parcela con relación a te en el cálculo del error típico o del error probable (definido para estimar el tamaño óptimo de parcela. Fundamentalmente consiste en el método más antiguo que se ha empleado para

2.3.1.1. Método del error probable:

contra el coeficiente de variación (en el eje "Y"). El punto de máxima inflexión de la curva resultante, corresponde al tamaño óptimo de parcela (1).
Federer (3) considera que el método tiene dos inconvenientes:

1. No se consideran los costos.
2. El punto de máxima curvatura no es independiente de la escala usada ni de la unidad "básica" seleccionada.

2.3.1.3. Procedimiento de Smith:

Smith (14) considera que el mejor tamaño de parcela es aquel que permita obtener la máxima información al menor costo posible. Para el cálculo del tamaño óptimo de parcela, considerando la heterogeneidad del suelo representada por \bar{b} y los costos de conducción del experimento, estableció la siguiente expresión:

$$X = \frac{bK_1}{(1-b)K_2} \quad [3]$$

en donde:

x = tamaño de la parcela en unidades básicas

b = coeficiente de heterogeneidad del suelo

K₁ = porcentaje del costo total que es proporcional al número de parcelas por tratamiento (constante medida en

Se considera como punto de máxima inflexión aquel punto X₀

tal que $\left. \frac{d(C.V.)}{dx} \right|_{x_0} = -1.$

El número de repeticiones requeridas en un experimento, dependen de la magnitud del error y del grado de precisión,

2.3.3. Número de repeticiones:

La forma óptima de la parcela se determina comparando las varianzas de las diferentes formas arregladas con el tamaño óptimo de parcela. Se selecciona aquella que presente la menor varianza y que a criterio del investigador facilite las labores de cultivo.

Federer (3) considera que las parcelas rectangulares, cuando el gradiente es desconocido, producen en promedio, una varianza por parcela más pequeña que las parcelas cuadradas del mismo tamaño.

Lo al gradiente (8).
do, se recomienda que el lado mayor de las parcelas sea paralelo a los gradientes. En suelos con un gradiente de heterogeneidad definitiva y el coeficiente de variación, ha sido motivo de estudios in-

2.3.2. Forma de la parcela:

El efecto de la forma de la parcela en la varianza de al tamaño de la parcela para el cual los costos son mínimos.

El valor de X obtenido de la expresión, correspondiente al tratamiento (medida en pesos por m²).

$K_2 = \text{porcentaje del costo total proporcional al área total}$

(pesos por parcela).

sión deseado. La magnitud del error experimental en un ensayo,

esta prescrita por el coeficiente de variación, mientras que

el grado de precisión deseado está dado por la magnitud de la

diferencia entre medias que pueda detectarse (5).

Hatheway (6) estableció una relación entre 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:

$$X^p = 2(t_1 + t_2)^2 C_2^2 / r d^2 \quad [4]$$

en donde:

X = Tamaño conveniente de la parcela expresada como múltiplo de la parcela actual.

b = Coeficiente de heterogeneidad del suelo.

t₁ = Valor de "t" en las tablas para cada (r-1)(t-1) grados de libertad del error y para un nivel α .

t₂ = Valor de "t" en las tablas para cada (r-1)(t-1) grados de libertad del error y 2(1-P), donde P es la probabilidad de obtener un resultado significativo.

C = Coeficiente de variación de parcelas unitarias.

r = Número de repeticiones.

d = Es la diferencia que se desea detectar entre dos tratamientos (expresada como porcentaje de la media).

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 de-
 terminar, en forma gráfica, el número de repeticiones y el tama-
 ño de parcela necesarios para detectar una diferencia deseada.

2.3.4. Tamaños y formas de parcela óptimos obtenidos en

algunos ensayos de uniformidad en frijol:

A manera de información se consignan algunos de
 los tamaños y formas de parcela obtenidos en ensayos de unifor-
 midad en frijol, en diferentes centros experimentales:

<u>Autor</u>	<u>Tamaño de la parcela recomendado</u>
Calero, H.E. (1)	1 surco por 2 metros de largo
Gartner y Cardona (4)	2 surcos x 4 metros
Mamani, A.L. (11)	1 surco x 4 metros
Muñoz, J.E.; Salazar, C. y López, Y. (12)	2 metros de ancho x 3 metros de largo (ensayo en camas - CIAT)

III. MATERIALES Y METODOS:

3.1. Aspectos descriptivos:

3.1.1. Localización:

Las labores de campo del presente trabajo se rea-
 lizaron durante el periodo comprendido entre el 21 de Septiem-
 bre y el 16 de Diciembre de 1976. La siembra se llevo a cabo
 en el lote Q² del campo experimental correspondiente al Centro
 Internacional de Agricultura Tropical, CIAT-Palmira.

(*)

Se sembró la variedad ICA-GUALI; seleccionada por

3.2.1. Material empleado:

3.2. Técnica experimental:

Textura: Arcillosa (*)

M.O. : 6.8%

p.H.: : 6.9

P : 46.3 p.p.m.

K : 0.44 me/100gr.

Los suelos de la región presentan topografía plana y pertenecen a la serie Palmaseca que se caracterizan por presentar problemas de salinidad-alcalinidad. Algunas de las características físicas-químicas de estos suelos son:

3.1.3. Condiciones de suelo:

El CIAT se encuentra ubicado en el Valle geográfico del Río Cauca a una latitud de 3° 31' N y una longitud de 76° 19' Oeste, con una altura de 1001 m.s.n.m. La temperatura media anual es de 24°C. La humedad relativa promedio oscila entre 67-75%. Las lluvias se presentan en los periodos comprendidos entre Marzo-Mayo y Septiembre-Noviembre, para una precipitación de 1000 mm/año.

3.1.2. Condiciones de clima:

su caracter precoz; de hábito arbustivo y de gran adaptación a las condiciones del Valle.

3.2.2. Condiciones de manejo del ensayo:

El lote seleccionado estuvo sembrado de arroz en el semestre anterior. La preparación del suelo se hizo con varios pases de rotatiller. Posteriormente se trazaron camas de 1 metro de ancho, con dos surcos por cama (a 50cm.). Se aplicó un riego pre-siembra. Para mantener un buen control fitosanitario en los primeros estados de desarrollo del cultivo, se aplicó un insecticida-nematicida granulado. Quince días después de la siembra, se practicó el raleo definitivo dejando 10 plantas por metro lineal, para una población de 20000 plantas/ha. A los 28 días post-siembra se efectuó una aspersión de boro al follaje. Durante el periodo vegetativo del cultivo se aplicaron cuatro riegos suplementarios. El estado fitosanitario del cultivo fue satisfactorio, manteniéndose con solo dos aplicaciones de insecticidas. En la última etapa del ensayo se presentó un ataque de bacteriosis (Xanthomonas phaseoli), sin mayor trascendencia.

De la superficie sembrada inicialmente 40x40m²,

se desechó 2m de borde y 2m de "cabecera" al momento de la cosecha. El área útil 36x36m² se dividió en 1296 parcelas de 1m². Se recolectó su producción separadamente en bolsas con

un número correspondiente a la posición de cada parcela dentro del lote. Las producciones corregidas a una humedad constante

Las parcelas unitarias adyacentes se agruparon en 30 combinaciones para formar las diferentes parcelas experimentales a probar. Dependiendo de la forma de agrupación se clasificaron en rectangulares en el sentido de los surcos, rectangulares en el sentido perpendicular a los surcos y cuadradas. Las combinaciones escogidas fueron las siguientes:

3.3.1. Combinaciones de tamaño y forma seleccionados:

3.3. Método de Análisis:

del 14%, aparecen en la Tabla 1.

Superficie de las parcelas (m ²)	Forma de las parcelas	DIMENSIONES (en m)		Clasificación por forma
		en el sentido perpendicular a los surcos	en el sentido de los surcos	
1	1 x 1 m ²	1	1	Cuadrada
4	2 x 2	2	2	Cuadrada
9	3 x 3	3	3	Cuadrada
16	4 x 4	4	4	Cuadrada
2	2 x 1	2	2	RSS*
6	2 x 3	2	3	RPS**
12	3 x 4	3	4	RPS
6	3 x 2	3	2	RSS
2	1 x 2	1	2	RPS
3	1 x 3	1	3	RPS
4	1 x 4	1	4	RPS
5	1 x 5	1	5	RPS
6	1 x 6	1	6	RPS
7	1 x 7	1	7	RPS
8	1 x 8	1	8	RPS
9	1 x 9	1	9	RPS
8	2 x 4	2	4	RPS
10	2 x 5	2	5	RPS
12	2 x 6	2	6	RPS
15	3 x 5	3	5	RPS
3	3 x 1	3	1	RSS

* RSS = Rectangular en el sentido de los surcos
 ** RPS = Rectangular en el sentido perpendicular a los surcos

RSS	1	4	4 x 1 m ²	4
RSS	1	5	5 x 1	5
RSS	1	6	6 x 1	6
RSS	1	7	7 x 1	7
RSS	1	8	8 x 1	8
RSS	1	9	9 x 1	9
RSS	2	8	8 x 2	8
RSS	2	5	5 x 2	10
RSS	3	6	6 x 3	18

3.3.2. Heterogeneidad del suelo:

Para el trazado del mapa de contorno de fertilidad, se tomó una desviación estándar del rendimiento de parcelas con rendimientos homogéneos. Las siete clases de parcelas homogéneas están comprendidas entre 80 y 320 gr.; parcelas con rendimientos superiores o inferiores a los límites se consideraron en la primera o última clase. En la Figura 1 se muestra el mapa de contorno elaborado (*). Para el cálculo del coeficiente de heterogeneidad se utilizó la siguiente metodología:

1. Método de Federer:

Se calcularon las varianzas relativas (*) del rendimiento, expresado en gr/parcela, para cada uno de los tantos de parcela por la fórmula simplificada de Seif (13).

$$V_x = \frac{S_x^2}{\bar{X}^2}$$

donde:

S_x^2 = varianza entre parcelas de x unidades básicas

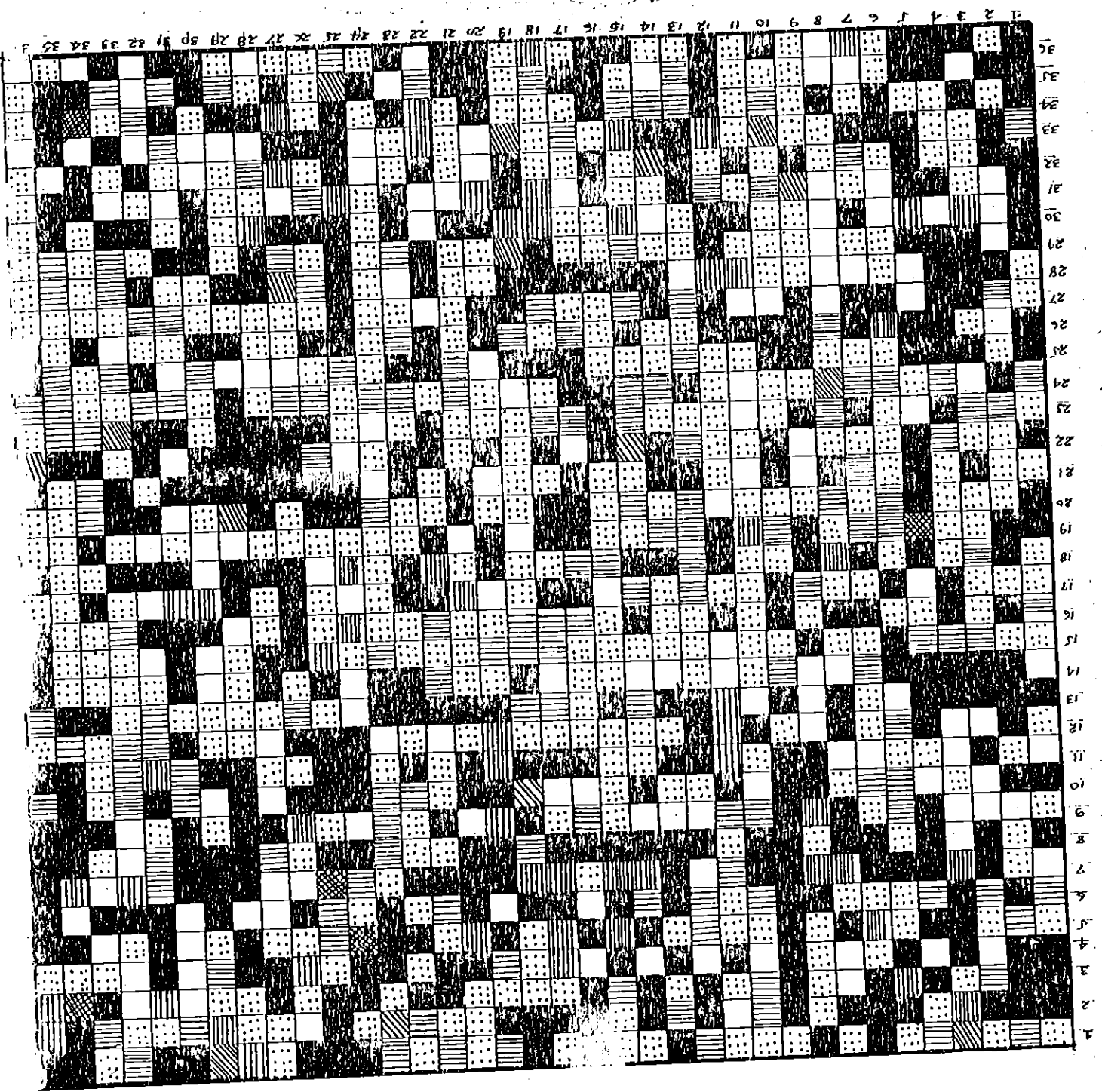
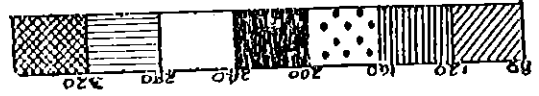
X = número de unidades básicas que componen la parcela.

(Ver Tabla 2).

(*)

FIG 1: MAPA DE CONTORNO DE FERTILIDAD PARA EL RENDIMIENTO EN GRAMOS

Rendimiento en gramos



→ Sentido Perpendicular a los Surcos ←

Los logaritmos de la varianza de los distintos tamaños y formas de parcela se ponderan por los grados de libertad asociados a cada uno de ellos obteniendo un coeficiente de regresión ponderado (empleando la fórmula [2] de la página 4).

3.3.3. Tamaño de parcela y número de repeticiones:

Conocido el coeficiente \bar{b} de heterogeneidad por la fórmula [2] se calculó el tamaño de parcela para diferente número de tratamientos, repeticiones y valores de la diferencia a detectar entre promedios de tratamiento, aplicando la metodología de Hatheway ([4]).

Se construyó en forma alternativa una serie de curvas que permiten determinar en forma gráfica el tamaño de la parcela dado el número de repeticiones y una diferencia deseada a detectar o para determinar el número de repeticiones, dado el tamaño de la parcela y la diferencia a detectar.

Asumiendo algunos costos obtenidos en otros ensayos de uniformidad y empleando la metodología de Smith se calcularon algunos tamaños óptimos de parcela para los cuales el costo es mínimo.

3.3.4. Forma de la parcela:

Una vez determinado el tamaño óptimo de parcela, se procede a determinar la forma óptima según los siguientes criterios:

1. Grado de heterogeneidad del suelo

En experimentos posteriores a realizarse en el lote Q₂ podría lograrse una reducción de los efectos de la heterogeneidad

alta. (Ver Figura 2).

Este índice tan elevado demuestra que la heterogeneidad del suelo es más confiable por tratarse de un coeficiente ponderado. Este

valor de $b = 0.756$. Sin embargo la estimación por el método de Federer

log $V_x = \log V_1 - b \log X$. En el primer caso, se obtuvo un va-

lor de $b = 0.768$ muy cercano al obtenido en el segundo, de

dos fórmulas: la de Federer [2] y a partir de la regresión

Se calculó el coeficiente de heterogeneidad \bar{b} a partir de

grado de heterogeneidad del suelo.

La ausencia de un gradiente de fertilidad definido contribuye al alto

como la variación y el sentido de dichas tendencias. La ausencia

de zonas fértiles, zonas pobres y zonas intermedias, así

como los sitios del lote y las porciones de éste donde se mantie-

apreciar claramente la variación en la fertilidad en los dis-

El mapa de contorno que aparece en la Figura 1 permite

4.1. Heterogeneidad del suelo:

IV. RESULTADOS Y DISCUSION:

2. Los coeficientes de variación obtenidos para parcelas del tamaño seleccionado.
3. La superficie de respuesta trazada que muestra la relación entre el coeficiente de variación y la forma de parcela.

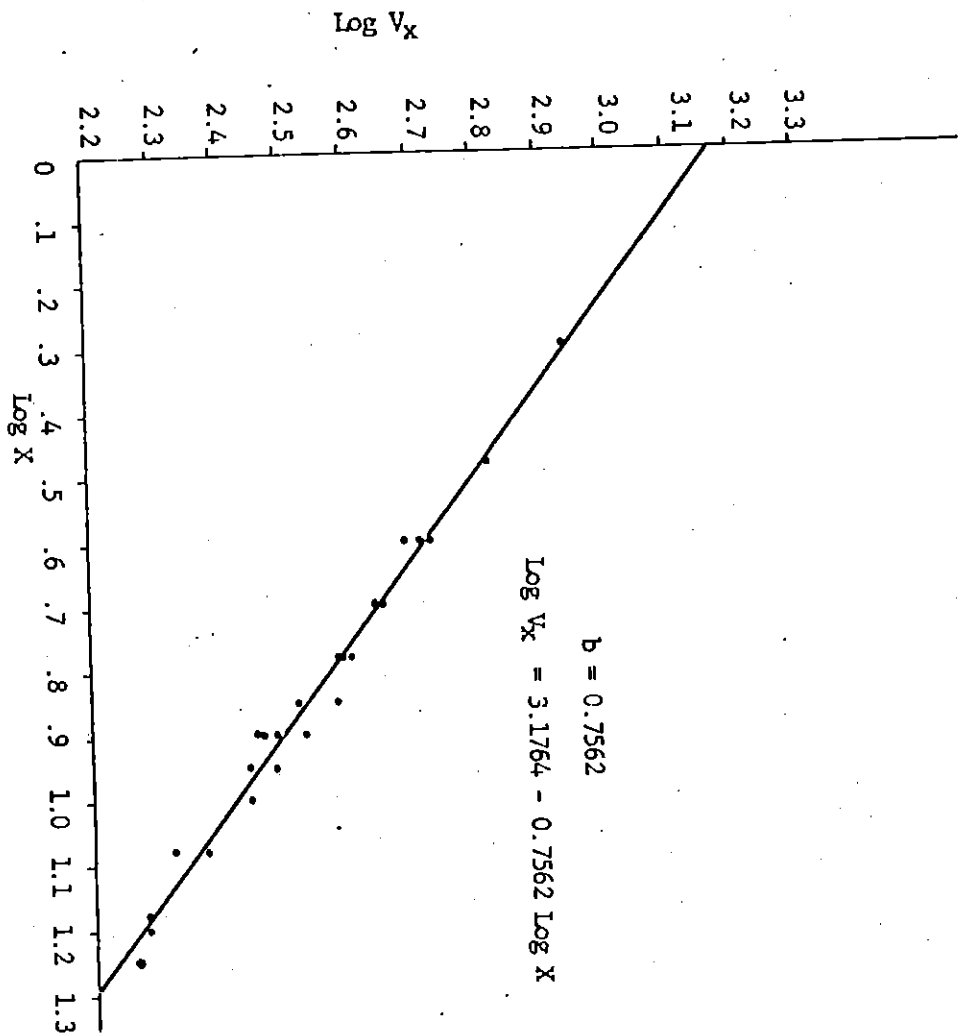


FIG. 2: REGRESION LINEAL DEL LOGARITMO DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO (V_x) EN FUNCION DEL LOGARITMO DEL TAMAÑO DE PARCELA (X)

escogiendo un diseño experimental eficiente, un tamaño y forma de parcela apropiado, adecuada orientación de las parcelas y bloques ó un número de repeticiones óptimo.

4.2. Tamaño de parcela y número de repeticiones:

Los valores del coeficiente de variación fluctuaron entre 21.58% y 7.31% para tamaños de $(1 \times 1) \text{ m}^2$ (parcela unitaria) y $(3 \times 6) \text{ m}^2$ respectivamente (Tabla 2).

La Figura 3 muestra la relación decreciente entre el coeficiente de variación y el tamaño de la parcela (en m^2). Tamaños de parcela mayores de 6 m^2 contribuyen a una reducción muy baja del coeficiente de variación. Cabe anotar que en esta gráfica no se aprecia diferencia en los valores de los coeficientes de variación correspondientes a un mismo tamaño arreglado en las diferentes formas de parcela escogidas, lo cual explica que la contribución de la forma de la parcela a la reducción del coeficiente de variación es muy baja.

Para desarrollar la metodología de Hatheway, condensada en la expresión [4], dada por,

$$X^b = \frac{2(t_1 + t_2)^2 C_1^2}{r d^2}$$

se tomó:

r = variando desde 2 hasta 8

d = 5, 10, 15, 20, 25%.

b = 0.768

t_1 = valor de "t" en las tablas para cada $(r-1)(t-1)$ grados

TABLA 2: ESTADÍSTICOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE UNIFORMIDAD REALIZADO EN EL LOTE Q²-CIAT, PARA LA VARIABLE REN-

DIMIENTO (Gr/parcela)

H	V	X	G.L.	PROMEDIO	S _X ²	S _X	C.V.	V _x
(mt)	(mt)	(m ²)	(gr/parcela)	(gr/parcela)	(gr/parcela) ²	(gr/parcela)		
1	1	1	1295	183.808	1573.34	39.67	21.58	1573.34
2	2	4	323	735.30	8237.13	90.76	12.34	514.82
3	3	9	143	1654.45	22148.47	148.82	9.00	273.44
4	4	16	80	2941.27	48646.40	220.56	7.50	190.03
1	2	2	647	367.64	3471.64	58.92	16.03	867.99
3	2	6	215	1102.96	13689.75	117.00	10.61	380.27
4	3	12	107	2205.94	29829.98	172.71	7.83	207.15
2	3	6	215	1102.96	14175.96	119.06	10.79	393.75
2	1	1	647	367.64	3587.31	59.89	16.29	896.83
3	1	3	431	551.47	5910.05	76.88	13.94	656.67
4	1	4	323	635.30	7908.08	88.93	12.09	494.29
5	1	5	251	917.06	10973.51	104.75	11.42	438.94
6	1	6	215	1102.96	14005.28	118.34	10.73	389.04
7	1	7	179	1283.90	16329.65	127.79	9.95	333.26
8	1	8	143	1466.68	18245.82	135.08	9.21	285.09
9	1	9	143	1654.45	24386.45	156.16	9.44	301.06
4	2	8	161	1470.62	18201.44	134.91	9.17	284.40
5	2	10	125	1834.15	26179.58	161.80	8.82	261.80
6	2	12	107	2205.94	33808.75	183.87	8.34	234.78
5	3	15	83	2751.24	42992.58	207.35	7.54	191.08
1	3	3	431	551.47	5775.33	76.00	13.78	641.70
1	4	4	323	735.30	8522.55	92.32	12.56	532.66

Cont. Tabla 2:

1	5	5	251	919.14	11054.02	105.14	11.44	442.16
1	6	6	215	1102.96	14375.81	119.90	10.87	399.32
1	7	7	179	1286.81	18546.41	136.19	10.58	378.50
1	8	8	143	1470.52	19547.30	139.81	9.51	305.43
1	9	9	143	1654.45	23435.63	153.09	9.25	289.33
2	4	8	161	1470.62	21925.36	148.07	10.07	342.58
2	5	10	125	1838.31	27750.40	166.58	9.06	277.50
3	6	18	71	3308.92	58505.01	241.88	7.31	180.57

H = número de filas. Metros en el sentido perpendicular a los surcos

V = número de columnas. Metros en el sentido de los surcos

X = tamaño de la parcela en m²

GL = grados de libertad (número de parcelas resultantes-1)

S² = varianza entre las parcelas de X unidades en tamaño

V_X = varianza de la producción por área unitaria (S²/X²)

CV = coeficiente de variación.

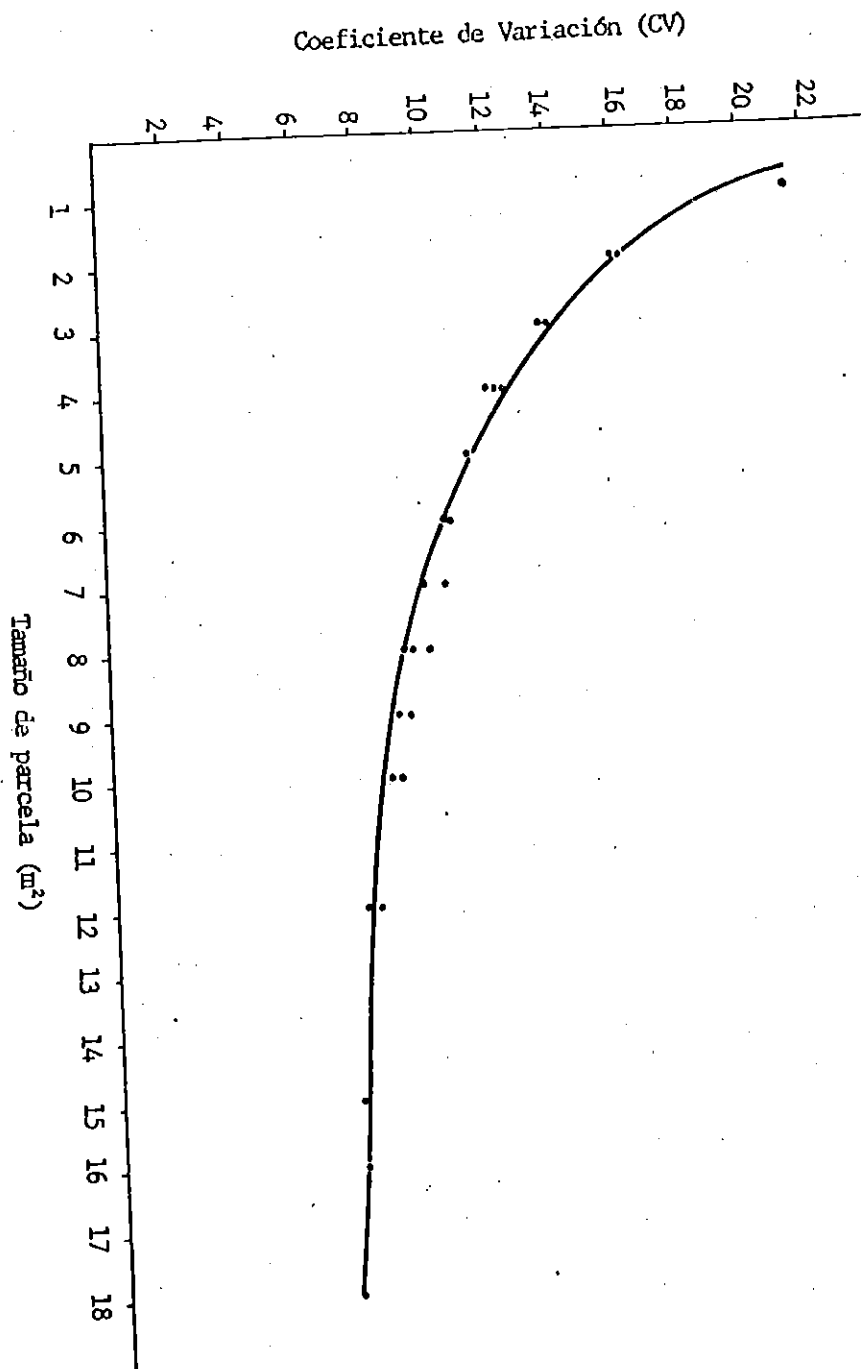


FIG. 3: RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE VARIACION (CV) DEL RENDIMIENTO Y EL TAMAÑO DE LA PARCELA (X) EN M².

de libertad del error, haciendo $t = 5, 10, 15, 20$ trata-

mientos y para $\alpha = 5\%$

$t_2 =$ valor de "t" en las tablas para cada $(r-1)(t-1)$ gra-

dos de libertad del error para una probabilidad de

detectar diferencia (d) en 80% de los experimentos

(4 de cada 5 experimentos).

$C_1 = 21.58\%$

$X =$ tamaño de parcela (en m^2)

Con los valores de \bar{X} obtenidos por la fórmula [4] se elaboró la Tabla 3 y la Figura 4 las que hacen posible:

1. Determinar el tamaño de parcela para un número dado de repeticiones y un valor de diferencia a detectar δ
2. Determinar el número de repeticiones necesarias para un tamaño de parcela específico y un valor de diferencia a detectar δ
3. Determinar la diferencia entre promedios de tratamientos, que el diseño es capaz de detectar si se utiliza un tamaño de parcela y un número de repeticiones específicas.

Por ejemplo, cuando se utilizaron 4 repeticiones y 10 tratamientos, es posible detectar diferencias de 10, 15, 20, 25% del promedio, empleando parcelas de 17.8, 6.2, 2.9 y 1.6 m^2 respectivamente. Nótese que un incremento en el número de tratamientos (por encima de 10) no disminuye la capacidad de detectar

TABLA 3: TAMAÑOS DE PARCELA CALCULADOS PARA DIFERENTE NUMERO

DE TRATAMIENTOS, REPETICIONES Y DIFERENCIAS A DETEC-

TAR (expresadas como porcentaje de la media).

$$b=0.768 \quad c_1=21.58 \quad \alpha=5\% \quad P=80\%$$

Número de Tratamientos	DIFERENCIA A DETECTAR DEL 5%						
	2	3	4	5	6	7	8
5	834.3	309.9	186.0	100.4	99.0	78.9	65.1
10	500.2	248.2	161.3	108.2	85.3	69.8	58.7
15	441.9	233.6	144.6	108.2	85.3	69.8	58.7
20	417.0	210.3	144.6	108.2	85.3	69.8	58.7
DIFERENCIA A DETECTAR DEL 10%							
5	137.2	51.0	30.6	21.4	16.2	13.0	10.7
10	82.4	40.8	26.5	17.8	14.0	11.5	9.6
15	72.7	38.4	23.8	17.8	14.0	11.5	9.6
20	68.6	34.6	23.8	17.8	14.0	11.5	9.6
DIFERENCIA A DETECTAR DEL 15%							
5	47.7	17.7	10.6	7.5	5.7	4.5	3.7
10	28.7	14.2	9.2	6.2	4.9	4.0	3.4
15	25.3	13.4	8.3	6.2	4.9	4.0	3.4
20	23.9	12.0	8.3	6.2	4.9	4.0	3.4
DIFERENCIA A DETECTAR DEL 20%							
5	22.6	8.4	5.0	3.5	2.7	2.1	1.8
10	13.5	6.7	4.4	2.9	2.3	1.9	1.6
15	12.0	6.3	3.9	2.9	2.3	1.9	1.6
20	11.3	5.7	3.9	2.9	2.3	1.9	1.6
DIFERENCIA A DETECTAR DEL 25%							
5	12.6	4.7	2.8	2.0	1.5	1.2	1.0
10	7.6	3.8	2.4	1.6	1.3	1.0	0.9
15	6.7	3.5	2.2	1.6	1.3	1.0	0.9
20	6.3	3.2	2.2	1.6	1.3	1.0	0.9

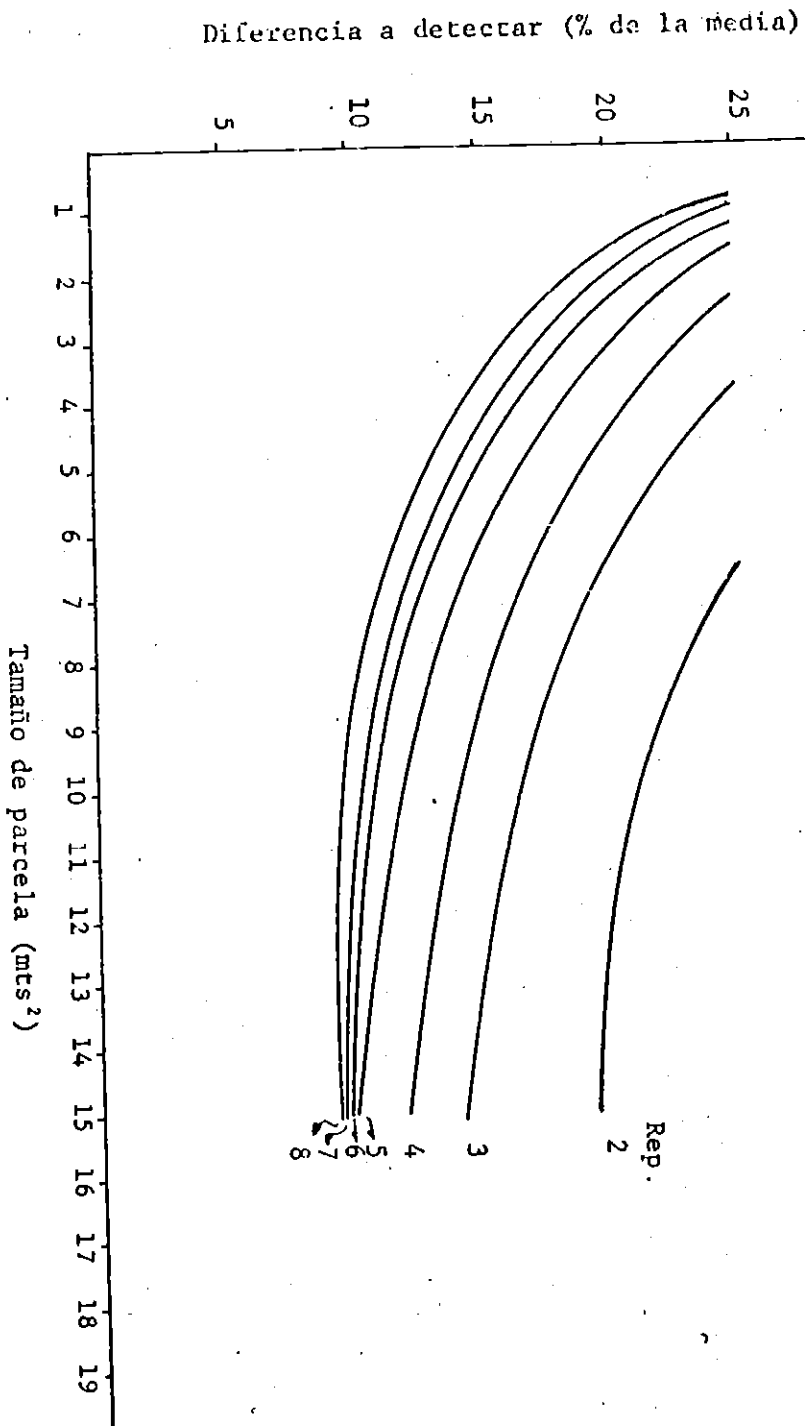


FIG 4: RELACION ENTRE TAMANO DE PARCELA, NUMERO DE REPETICIONES Y DIFERENCIA VERDADERA A DETECTAR EN UN EXPERIMENTO (METODO DE HATHENWAY)

Reemplazando el valor obtenido del coeficiente de regresión

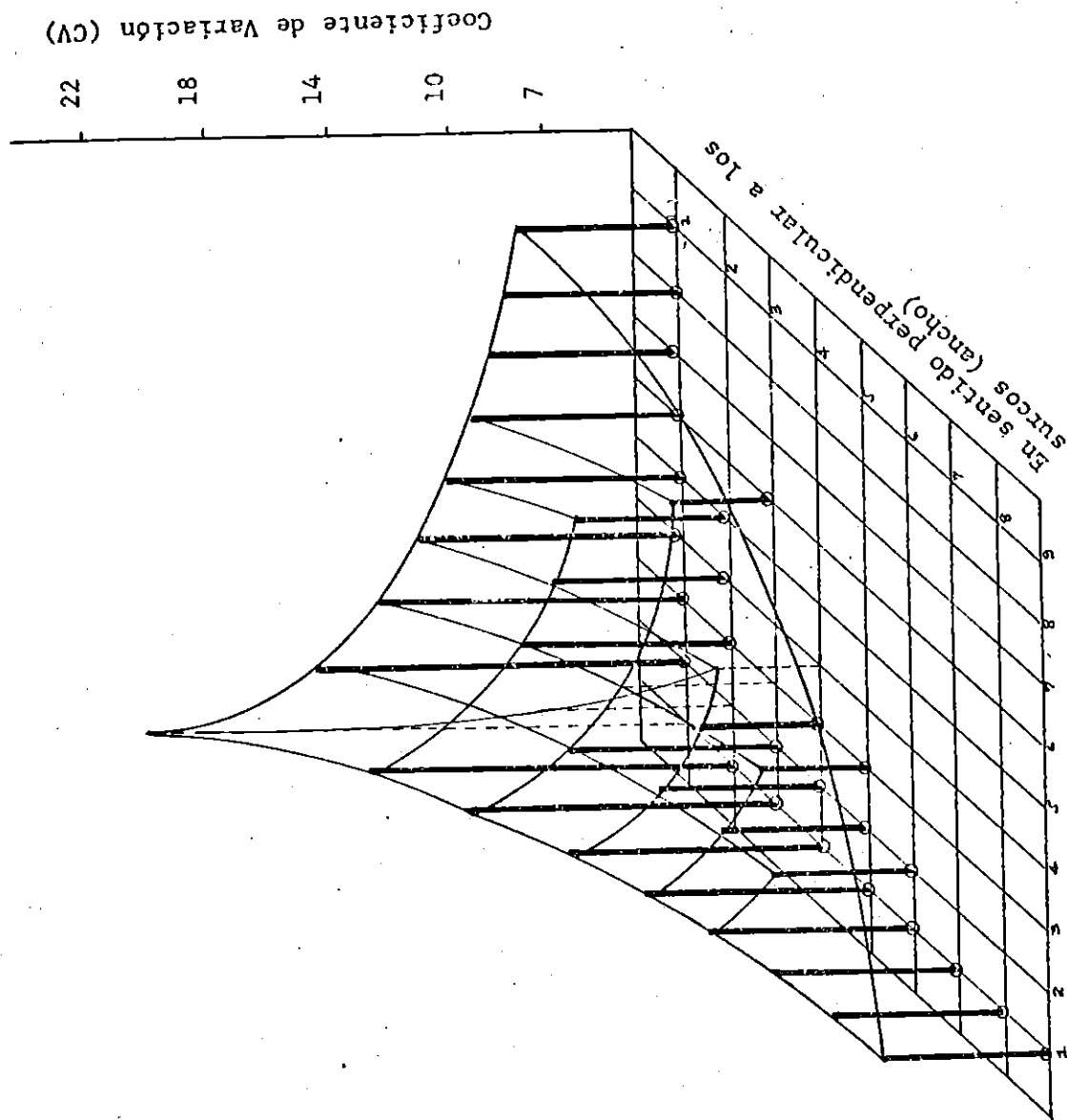
4.4. Tamaño de parcela en función de los costos:

dad para el manejo de su experimento. La forma de la parcela experimental que presente mayor comodidad Lote experimental; se deja a criterio del investigador decidir habiéndose determinado un alto grado de heterogeneidad en el No existiendo un gradiente de fertilidad en el suelo y a los surcos.

res en el sentido de los surcos, o en el sentido perpendicular las cuadradas son tan eficientes como las parcelas rectangulares la parcela (Fig. 5). Es resaltante el hecho de que las parcelas de variación del rendimiento en función del largo y ancho de cación se graficó la superficie de respuesta del coeficiente de variación muy similares. Para mayor facilidad en la apreciación tamaño de parcela, las 3 formas ensayadas presentan coeficientes el coeficiente de variación (Fig. 3), puesto que para un mismo La forma de la parcela no muestra un efecto acentuado en

4.3. Forma de parcela:

en su experimento. dor para tomar una decisión sobre la técnica de parcela a emplear dología radica en el número de opciones que tiene el investigador experimental son cada vez mayores. La importancia de esta metodología que los grados de libertad para la estimación del error experimental del experimento, lo cual es explicable si se tiene en cuenta



En sentido de los surcos (largo)

FIG. 5: SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LOS COEFICIENTES DE VARIACION DEL RENDIMIENTO EN FUNCION DEL LARGO Y ANCHO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

1. El lote experimental donde se realizó el ensayo de uniformidad no presentó tendencias definidas en su fertilidad, pero mostró un alto grado de heterogeneidad.
2. El coeficiente de regresión ponderado \bar{b} calculado por el método de Federer es una medida de mayor confiabilidad en la estimación de la variabilidad del suelo. Para el ensayo de uniformidad realizado en el Lote Q₂, $b = 0.768$.
3. La metodología de Hatheway, por facilitar el cálculo del tamaño de parcela en función del número de repeticiones y la diferencia a detectar entre promedios de tratamiento da mayores opciones al investigador en cuanto a la técnica de

V. CONCLUSIONES:

($b=0.768$) y asumiendo diferentes valores de las constantes K_1 y K_2 (obtenidos en ensayos de uniformidad anteriores) se elaboró la Tabla 4, a partir de la fórmula [3] expuesta por Smith. Esta tabla da a manera de información, algunos tamaños de parcela para diferentes valores de costos. Teniendo en cuenta que la relación K_1/K_2 se comporta como una constante (C) en un determinado cultivo y para una zona específica, y que la variabilidad de la fertilidad de un terreno se representa por el coeficiente de heterogeneidad b , [3] indica que el tamaño óptimo de la parcela está dado en función de la variabilidad del terreno y de los costos del experimento (fijos y variables) (9).

TABLA 4: TAMAÑOS OPTIMOS DE PARCELA PARA ALGUNOS VALORES SUPUES-

TOS DE K_1 Y K_2

K_1	K_2	Tamaño en m^2
60	40	5.0
65	35	6.1
70	30	7.7
72	28	8.5
75	25	9.9

5. La gran variabilidad que existe entre las constantes de costos en cada zona, crea la necesidad de hacer ensayos de uniformidad considerando estos valores.

4. En suelo con alto grado de heterogeneidad, la forma de la parcela contribuye muy poco a la reducción de los efectos de la variabilidad, por consiguiente el investigador debe decidir sobre la forma de parcela que presente mayores conveniencias para su experimento.

parcela a emplear en el montaje de experimentos posteriores.

BIBLIOGRAFIA

1. Calero, H.E. Estudio del tamaño y forma de la parcela experimental para ensayos de campo en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis M.Sc. IICA. 1965. 36 p.
2. De La Loma, J.L. Experimentación Agrícola. 3a. ed. México, Uthea. 1966.
3. Federer, W.T. Experimental design. New York, Mac Millan, 1963. 544 p.
4. Gartner, A. y Cardona, C. Tamaño de parcela y número de replicaciones para experimentación en frijol. Agricultura Tropical, Colombia, 16(9): 572-574. 1960.
5. Gomez, A. Kwanchari A. Manual experimental en arroz. Trad. por Jaime E. Muñoz. (mecanografiado).
6. Hatheway, W.H. Convenient plot size. Agron. Jour. 53: 279-280. 1961.
7. Hatheway y Williams, E.J. Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of crop yields. Biometrics 14 (2): 207-222. 1958.
8. James, W.C. and Shih, C.S. Size and shape of plots for estimating yield losses from cereal foliage diseases. Ottawa, Department of Agriculture. In Exptl. Agric. 9: 63-71. 1973.