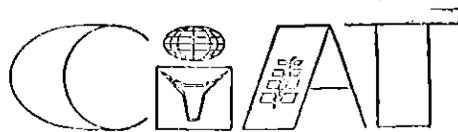


8127



CENTRO DE DOCUMENTACION

ESTUDIO DE LA HETEROGENEIDAD DEL SUELO, DEL TAMAÑO Y FORMA DE
PARCELA Y DEL NUMERO DE REPETICIONES OPTIMOS EN ENSAYOS DE
UNIFORMIDAD EN FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

XXIII Reunión Anual del P.C.C.M.C.A.

21 - 24 de Marzo de 1977

Panamá

Por:

Diosdado Baena ^{1/}
María Cristina Amézquita ^{1/}
Pedro Manuel Rodríguez ^{2/}
Oswaldo Voysest ^{2/}
Fernando Takegami ^{2/}

1/

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

2/

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

8127

INDICE DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
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 óptimos 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	

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

8127

ESTUDIO DE LA HETEROGENEIDAD DEL SUELO, DEL TAMAÑO Y FORMA
DE PARCELA Y DEL NUMERO DE REPETICIONES OPTIMOS EN ENSAYOS
DE UNIFORMIDAD EN FRIJOL (*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 estimativo del número de repeticiones óptimo para diferentes tamaños y formas de parcela considerando los factores anteriormente mencionados.

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 objetivos preestablecidos:

1. Realización de un estudio sobre la heterogeneidad del lote experimental Q_2 , mapificando tendencias de fertilidad y calculando el coeficiente de correlación entre parcelas adyacentes como medida de estas tendencias.
2. Determinación de algunas combinaciones de tamaños de parcela y número de repeticiones para diferentes valores de la diferencia que se desee detectar entre promedios de tratamiento.
3. Asumiendo costos, calcular algunos tamaños óptimos de parcela.

II. REVISION DE LITERATURA:

2.1. Heterogeneidad del suelo:

Se ha demostrado que aún 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 influye 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-

liminar 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 período 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 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"),

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

donde:

V_x = Varianza del rendimiento por unidad de área.

V_1 = Varianza de la parcela de una unidad básica.

X = Tamaños de las parcelas en unidades básicas.

b = Coeficiente de regresión.

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

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

para la cual:

V_{xi} = Varianza del rendimiento por unidad de área

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

ω_i = Grados de libertad asociados con una varianza dada

(número de parcelas de tamaño X_i - 1).

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

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. Seif (13) atribuye a Wood y Straton 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 grandiente. 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 experimen-

to es el número de repeticiones. Este permite obtener una estimación del error experimental. Más 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.

2.3.1.1. Método del error probable:

Es el método más antiguo que se ha empleado para estimar el tamaño óptimo de parcela. Fundamentalmente consiste en el cálculo del error típico o del error probable (definido por la desviación estandar) de cada parcela con relación a la media, para diferentes tamaños de parcela y en la elaboración de la gráfica del error probable Vs. el tamaño de parcela. Todos los estudios realizados para determinar el tamaño más conveniente para las parcelas de un campo experimental utilizando este método, coinciden en el hecho de que el error probable disminuye, a medida que aumenta el tamaño de las parcelas, y por tanto, las parcelas grandes parecen, en general, más convenientes para aquilatar las diferencias entre los tratamientos ensayados (2).

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

2.3.1.2. 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 inflexión^{1/} 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 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

^{1/} Se considera como punto de máxima inflexión aquel punto X₀ tal que $\left. \frac{d(C.V.)}{dx} \right|_{x_0} = -1$.

pesos por parcela),

K_2 = porcentaje del costo total proporcional al área total por tratamiento (medida en pesos por m^2).

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

2.3.2. Forma de la parcela:

El efecto de la forma de la parcela en la varianza y el coeficiente de variación, ha sido motivo de estudios intensivos. En suelos con un gradiente de heterogeneidad definido, se recomienda que el lado mayor de las parcelas sea paralelo al gradiente (8).

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.

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.

2.3.3. Número de repeticiones:

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

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:

$$X^b = 2(t_1+t_2)^2 C_1^2 / rd^2 \quad [4]$$

en donde:

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

b = Coeficiente de heterogeneidad del suelo.

t_1 = Valor de "t" en las tablas para cada $(r-1)(t-1)$ grados de libertad del error y para un nivel α .

t_2 = 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 determinar, en forma gráfica, el número de repeticiones y el tamaño 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 uniformidad 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 realizaron durante el período comprendido entre el 21 de Septiembre 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.

3.1.2. Condiciones de clima:

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 períodos comprendidos entre Marzo-Mayo y Septiembre-Noviembre, para una precipitación de 1000 mm/año.

3.1.3. Condiciones de suelo:

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 fisico-químicas de estos suelos son:

Textura: Arcillosa (*)
M.O. : 6.8%
p.H.: : 6.9
P : 46.3 p.p.m.
K : 0.44 me/100gr.

3.2. Técnica experimental:

3.2.1. Material empleado:

Se sembró la variedad ICA-GUALI; seleccionada por

(*)

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 200000 plantas/ha. A los 28 días post-siembra se efectuó una aspersión de boro al follaje. Durante el período vegetativo del cultivo se aplicaron cuatro riegos suplementarios. El estado fitosanitario del cultivo fué 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

del 14%, aparecen en la Tabla 1.

3.3. Método de Análisis:

3.3.1. Combinaciones de tamaño y forma seleccionados:

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:

Superficie de las parcelas (m ²)	Forma de las parcelas	DIMENSIONES (en m)		Clasificación por forma
		en el sentido de los surcos	en el sentido perpendicular a 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	1	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

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

* RSS = Rectangular en el sentido de los surcos

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

SEGMETOS DE SURCO

1	203	251	268	164	186	182	191	188	185	137	182	166	127	195	188	211	166	181	157	147	189	057	167	123	190	219	164	142	162	170	162	167	226	161	173	234		
2	205	212	222	146	206	226	261	181	206	186	182	122	197	170	157	154	165	156	158	163	165	215	130	122	135	142	158	138	136	189	208	246	204	197	212	175		
3	164	111	219	172	236	185	234	166	185	163	163	147	194	177	163	157	210	162	206	123	115	205	128	145	172	199	152	172	170	172	185	207	227	305	181	324		
4	127	174	224	220	170	201	240	236	225	131	125	107	179	140	145	129	148	182	159	197	202	178	089	143	124	227	170	119	113	198	258	162	192	169	110	211		
5	187	173	231	208	211	184	135	134	166	211	269	102	135	149	232	189	224	195	222	194	171	191	200	126	209	168	130	230	151	202	153	203	248	120	236	230		
6	193	132	232	259	232	257	192	200	196	133	227	183	141	200	203	194	276	220	173	221	207	226	190	119	223	158	129	143	197	165	231	177	102	216	103	219		
7	095	242	161	133	179	214	218	206	158	255	186	147	171	228	239	189	266	236	237	168	208	181	178	178	128	205	161	172	184	204	198	234	241	153	193	207		
8	278	169	170	215	214	221	213	195	197	182	191	160	147	159	156	246	211	204	241	045	184	213	206	190	220	206	156	192	148	156	161	178	224	194	127	148		
9	153	170	193	215	162	235	220	132	195	234	170	229	156	201	199	173	156	185	178	193	208	192	201	160	227	159	163	192	194	227	171	101	242	182	179	236		
10	215	223	169	271	177	201	227	173	281	181	172	198	119	168	187	214	213	192	178	171	211	201	191	137	227	157	162	098	115	192	227	265	220	247	203	168		
11	218	184	185	158	133	137	318	188	163	193	198	207	159	213	265	179	146	250	164	199	216	137	182	111	169	197	154	129	141	191	138	170	187	146	150	157		
12	205	146	217	199	300	166	132	180	252	202	182	200	254	254	164	265	226	285	154	187	200	260	149	168	222	205	192	184	193	192	267	212	195	219	096	121		
13	138	090	174	199	194	181	175	132	121	115	144	235	197	196	140	162	153	158	158	134	239	156	250	137	148	163	170	160	178	166	171	255	254	178	192	178		
14	170	133	216	150	190	146	197	176	151	126	209	168	189	202	157	172	194	208	154	170	182	210	147	124	212	124	175	233	128	202	184	202	261	273	132	230		
15	127	172	188	262	147	105	215	177	204	222	200	207	145	198	176	180	177	294	153	246	206	187	179	179	126	106	173	154	143	195	223	162	142	174	206	204		
16	160	179	164	160	113	213	235	184	215	260	195	262	279	208	177	127	159	232	212	197	163	252	219	150	159	240	217	183	151	174	203	288	231	258	196	218	193	
17	134	194	160	160	113	213	235	184	215	260	195	262	279	208	177	127	159	232	212	197	163	252	219	150	159	240	217	183	151	174	203	288	231	258	196	218	193	
18	183	264	171	162	177	189	227	138	192	084	186	170	131	220	129	121	145	175	254	170	166	147	177	128	192	128	207	183	087	239	210	209	083	171	155	163		
19	174	199	155	256	234	199	257	186	173	258	194	159	113	230	133	139	192	180	194	185	163	196	136	171	200	160	133	212	187	220	238	151	149	157	104	259		
20	182	181	185	226	211	251	167	208	132	230	209	153	148	148	173	222	193	137	185	201	181	251	230	210	199	133	173	182	158	170	241	178	101	164	213	171		
21	174	160	130	204	230	187	266	204	156	178	165	155	186	160	155	169	244	122	176	165	163	217	216	193	174	450	153	196	166	143	205	169	261	189	177	217		
22	154	186	198	251	204	138	244	189	241	205	148	156	121	240	157	206	139	202	141	128	164	090	121	102	150	188	119	216	116	238	165	169	261	189	177	217		
23	205	130	148	182	170	199	200	204	221	184	237	159	185	205	188	178	162	161	108	130	107	130	193	116	140	204	113	174	132	239	175	157	200	205	203	103	128	170
24	118	201	206	234	123	139	221	184	237	159	185	205	188	178	162	161	108	130	107	130	193	116	140	204	113	174	132	239	175	157	200	172	264	196	187	212		
25	156	242	155	217	160	171	123	167	118	209	270	276	271	247	245	219	142	220	204	248	167	172	173	157	166	191	213	265	204	217	133	172	264	196	187	212		
26	169	134	129	258	156	134	184	193	135	238	151	205	234	169	169	160	164	171	297	144	232	166	232	221	161	197	227	279	157	218	159	190	162	166	143	165		
27	163	190	188	208	195	182	194	197	219	184	198	173	191	138	150	210	181	155	124	166	206	188	176	160	187	184	229	171	156	147	128	164	098	129	140	182		
28	214	162	161	163	174	201	227	153	262	185	192	239	245	232	194	168	125	184	181	176	228	224	192	171	187	197	216	179	166	155	056	199	160	180	143	175		
29	151	194	225	243	211	147	224	200	208	179	259	212	214	248	173	182	169	226	174	107	209	160	138	066	178	107	221	275	255	229	239	175	176	199	254	223		
30	196	191	200	163	232	156	182	197	165	100	245	178	163	137	159	185	173	189	135	141	132	176	189	137	170	193	185	239	174	180	163	103	212	177	236	289		
31	144	199	260	190	148	148	186	175	111	135	142	117	223	201	195	155	194	160	129	115	156	148	151	137	161	157	190	156	163	228	261	154	191	192	172	174		
32	108	144	191	250	215	114	196	197	199	251	147	199	211	218	139	162	223	202	250	198	189	211	255	177	213	187	228	222	187	260	194	186	210	156	208	216		
33	083	226	156	187	217	186	224	221	228	146	238	230	187	188	128	196	198	166	175	156	159	132	192	122	201	189	182	195	218	228	197	148	141	174	182	195		
34	175	197	123	247	175	140	200	195	221	253	202	221	187	207	128	152	143	139	154	177	211	169	112	221	186	179	196	192	192	274	172	158	173	207	220	194		
35	114	207	193	190	137	186	162	165	226	206	178	186	196	215	177	201	176	205	212	156	148	109	202	164	221	117	201	247	229	242	136	160	211	171	181	142		
36	168	184	209	190	174	139	222	213	152	212	230	175	188	259	166	126	160	179	214	192	153	216	168	136	201	183	165	151	187	298	202	192	131	214	181	181		

TABLA 1: RENDIMIENTO EN GRAMOS PARA PARCELAS DE 1M².

3.3.2. Heterogeneidad del suelo:

Para el trazado del mapa de contorno de fertilidad, se tomó una desviación estandar del rendimiento de parcelas unitarias (D.E. = 40 grs.) como criterio de agrupación de parcelas con rendimientos homogéneos. Las siete clases de parcelas homogéneas estan 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 tamaños de parcela por la fórmula simplificada de Seif (13).

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

donde:

S_x^2 = varianza entre parcelas de x unidades básicas

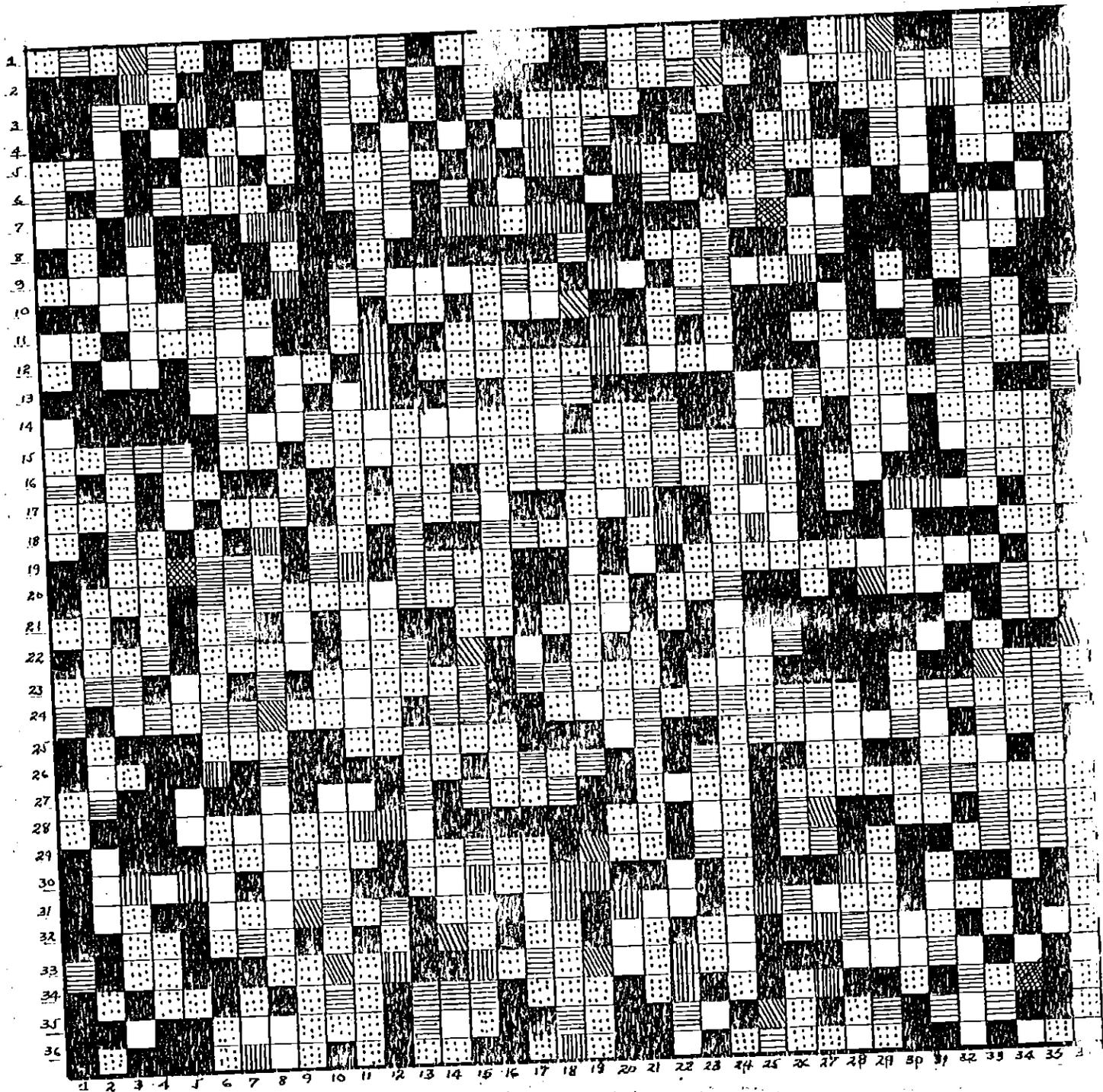
X = número de unidades básicas que componen la parcela.

(Ver Tabla 2).

(*)

Programa elaborado en Fortran IV por Jorge Augusto Porras.
B.S. Unidad de Biometría - CIAT.

← Sentido Perpendicular a los Surcos →



Rendimiento en gramos

FIG 1: MAPA DE CONTORNO DE FERTILIDAD PARA EL RENDIMIENTO EN GRAMOS DE 1296 PARCELAS DE 1m² EN EL LOTE Q₂-CIAT

Los logaritmos de la varianza de los distintos tamaños y formas de parcela se ponderan por los grados de libertades 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 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

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.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION:

4.1. Heterogeneidad del suelo:

El mapa de contorno que aparece en la Figura 1 permite apreciar claramente la variación en la fertilidad en los distintos sitios del Lote y las porciones de éste donde se manifiestan zonas fértiles, zonas pobres y zonas intermedias, así como la variación y el sentido de dichas tendencias. La ausencia de un gradiente de fertilidad definido contribuye al alto grado de heterogeneidad del suelo.

Se calculó el coeficiente de heterogeneidad b a partir de dos fórmulas: la de Federer [2] y a partir de la regresión $\log V_x = \log V_1 - b \log X$. En el primer caso, se obtuvo un valor de $b = 0.768$ muy cercano al obtenido en el segundo, de $b = 0.756$. Sin embargo la estimación por el método de Federer es más confiable por tratarse de un coeficiente ponderado. Este índice tan elevado demuestra que la heterogeneidad del suelo es alta. (Ver Figura 2).

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

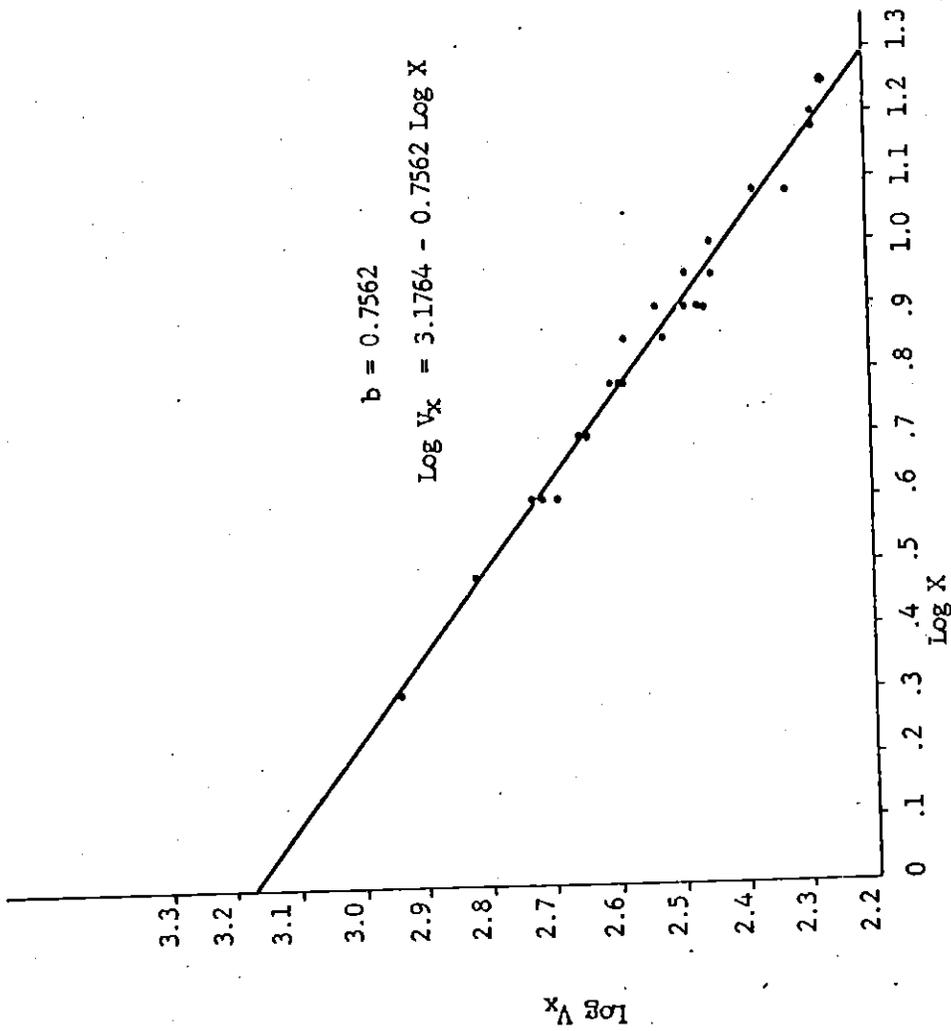


Fig 2: REGRESION LINEAL DEL LOGARITMO DE LA VARIANZA DEL RENDIMIENTO (V_x) EN FUNCION DEL LOGARITMO DEL TAMANO DE PARCELA (X)

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 (1x1)m² (parcela unitaria) y (3x6)m² respectivamente (Tabla 2).

La Figura 3 muestra la relación decreciente entre el coeficiente de variación y el tamaño de la parcela (en m²). Tamaños de parcela mayores de 6m² 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,

$$x^b = \frac{2(t_1+t_2)^2 C_1^2}{rd^2}$$

se tomó:

r = variando desde 2 hasta 8

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

b = 0.768

t₁ = valor de "t" en las tablas para cada (r-1)(t-1) grados

TABLA 2: ESTADISTICOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE UNIFORMIDAD
REALIZADO EN EL LOTE Q₂-CIAT, PARA LA VARIABLE REN-
DIMIENTO (Gr/parcela)

H (mt)	V (mt)	X (m ²)	G.L.	PROMEDIO (gr/parcela)	S _X ² (gr/parcela) ²	S _X (gr/parcela)	C.V.	V _X
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	2	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.

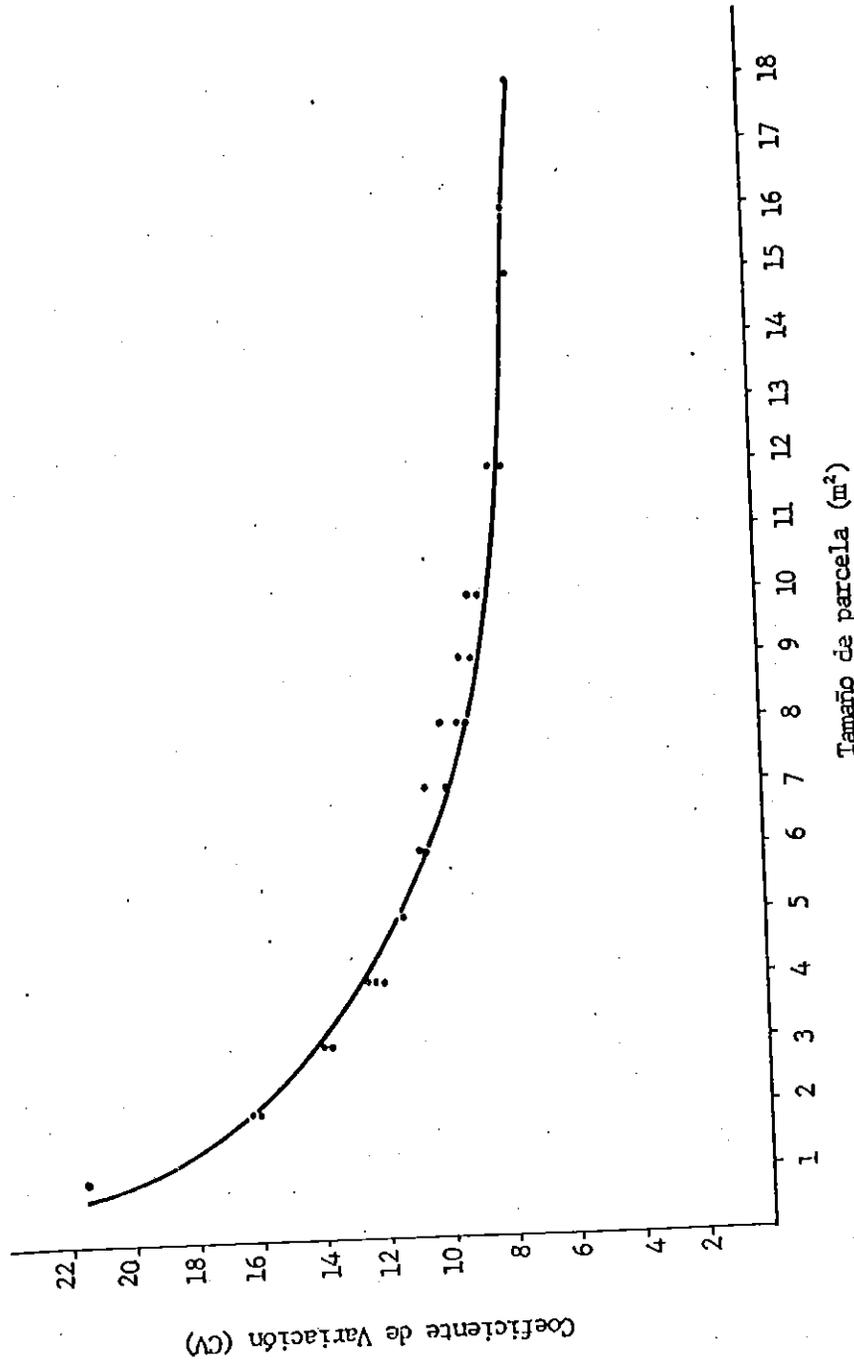


FIG. 3: RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE VARIACION (CV) DEL RENDIMIENTO Y EL TAMANO DE LA PARCELA (X) EN M².

de libertad del error, haciendo $t = 5, 10, 15, 20$ tratamientos y para $\alpha = 5\%$

t_2 = valor de "t" en las tablas para cada $(r-1)(t-1)$ grados 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 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 ó
2. Determinar el número de repeticiones necesarias para un tamaño de parcela específico y un valor de diferencia a detectar ó
3. Determinar la diferencia entre promedios de tratamiento, 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 detec-

TABLA 3: TAMANOS DE PARCELA CALCULADOS PARA DIFERENTE NUMERO DE TRATAMIENTOS, REPETICIONES Y DIFERENCIAS A DETECTAR (expresadas como porcentaje de la media).
 $b=0.768$ $C_1=21.58$ $\alpha=5\%$ $P=80\%$

Número de Tratamientos	DIFERENCIA A DETECTAR DEL 5%							
	Número de Repeticiones							
	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	

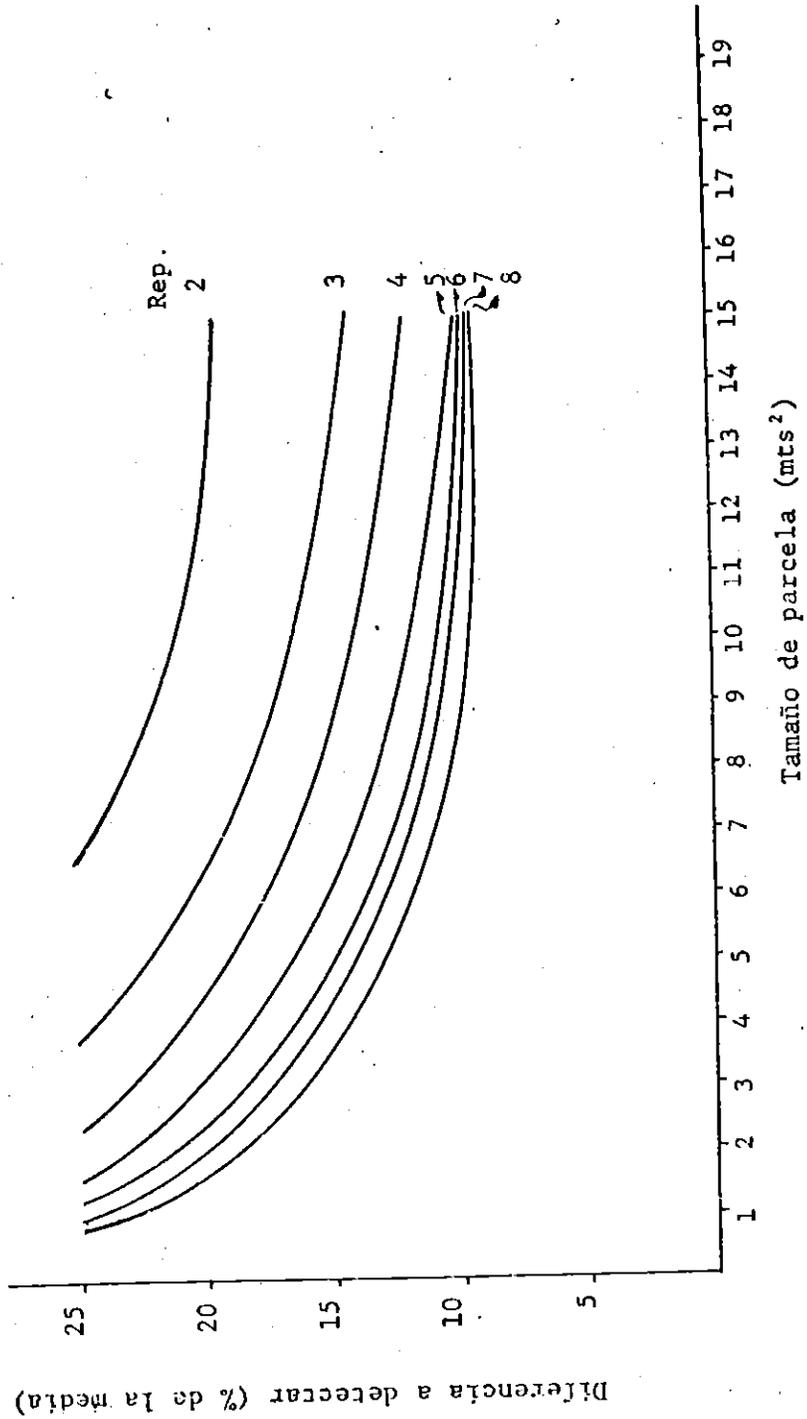


FIG 4: RELACION ENTRE TAMASO DE PARCELA, NUMERO DE REPETICIONES Y DIFERENCIA VERDADERA A DETECTAR EN UN EXPERIMENTO (METODO DE HATHEWAY)

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

4.3. Forma de parcela:

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

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

4.4. Tamaño de parcela en función de los costos:

Reemplazando el valor obtenido del coeficiente de regresión

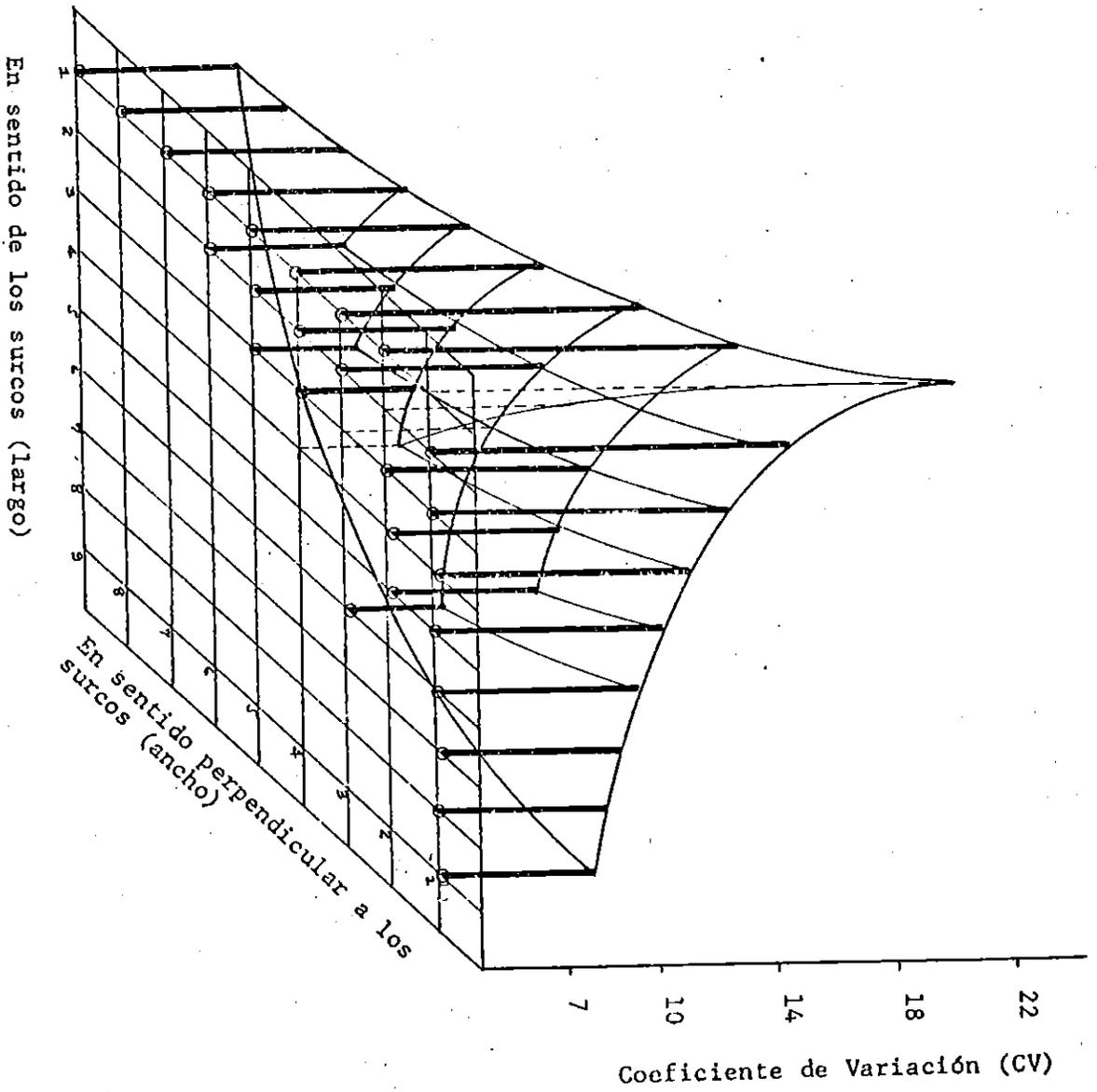


FIG. 5: SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LOS COEFICIENTES DE VARIACION DE RENDIMIENTO EN FUNCION DEL LARGO Y ANCHO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

($b=0.768$) 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).

V. CONCLUSIONES:

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 \underline{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 Q_2 , $b = 0.768$.
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

TABLA 4: TAMAÑOS OPTIMOS DE PARCELA PARA ALGUNOS VALORES SUPUESTOS DE K_1 Y K_2

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

parcela a emplear en el montaje de experimentos posteriores.

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.
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.

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. Kwanchai 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 Expl. Agric. 9: 63-71. 1973.