

DETERMINACION DEL TAMAÑO FORMA Y REPETICION DE LA PARCELA
PARA ENSAYOS DE RENDIMIENTO EN FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Leoncio Mamani Arias



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Abril, 1971

DETERMINACION DEL TAMAÑO, FORMA Y REPETICION DE LA
PARCELA PARA ENSEAYOS DE RENDIMIENTO EN FRIJOL
(Phaseolus vulgaris L.)

Tesis

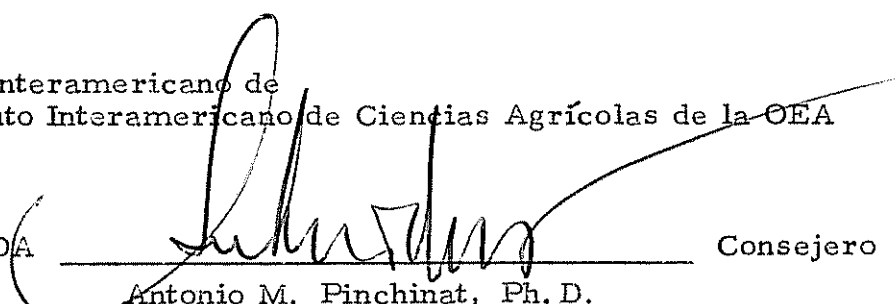
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados como
requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

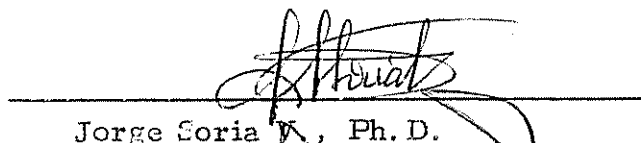
APROBADA



Consejero

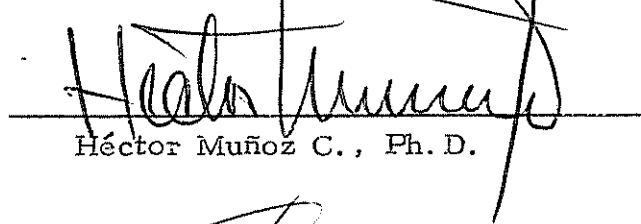
Antonio M. Pinchinat, Ph. D.

Comité



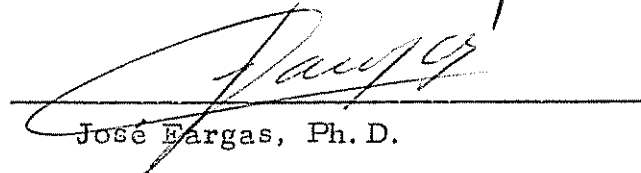
Jorge Soria A., Ph. D.

Comité



Héctor Muñoz C., Ph. D.

Comité



José Vargas, Ph. D.

Abril, 1971

DEDICATORIA

A mi esposa: Lilia

Por su sacrificio, amor y constancia.

A mis hijos: Leo Gustavo

Luis Alberto y

Laritza Magali

Con el cariño más grande.

A mi madre: Balbina

Por ser la mujer más buena y amorosa.

A mi padre: Bernabé

Por su constante apoyo moral y su ejemplo.

A mis hermanos: Celso, Yolanda, Isabel,

Alberto y Bernabé

Por su cariño y comprensión.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece:

Al Dr. Antonio M. Pinchinat como Consejero Principal.

Al Dr. Héctor Muñoz, miembro del Comité, por su desinteresada colaboración

Al Dr. Jorge Soria V., miembro del Comité por su amplia colaboración y constante preocupación.

Al Dr. José Fargas, miembro del Comité, por su apoyo moral, su amistad y caballerosidad.

Al Dr. Gilberto Paéz como principal colaborador en la realización de esta tesis, por su perseverancia y su ejemplo que está más allá del deber cumplido, digno de ser imitado.

A todos los amigos de Turrialba, Cartago y San José que en una forma u otra me hicieron más agradable la permanencia en este bello país.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Ayaviri, Puno, Perú, el 6 de diciembre de 1941. Cursó sus estudios primarios en su ciudad natal, y sus estudios secundarios en Arequipa, Perú, en los Colegios San Francisco de Asis y el Colegio Militar Francisco Bolognesi.

En el año de 1960 ingresó a la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucuman, Argentina, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en el año de 1963. Al año siguiente se desempeñó como jefe de prácticas de la cátedra de olericultura en dicha Universidad, hasta 1965; en el mismo año ingresó como docente a tiempo completo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica del Altiplano, Puno, Perú, hasta el año de 1966; en el mismo año empezó a trabajar en la Oficina Nacional de Reforma Agraria, y el año de 1968 se reincorporó como docente a tiempo parcial en la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica del Altiplano. En el año de 1966 se desempeña como profesor y asesor del Instituto Agropecuario Salcedo, Puno, el año 1967 es nombrado profesor a tiempo parcial de la Normal Agropecuaria Salcedo, Puno; estos dos últimos cargos los desempeña hasta el año 1968.

En setiembre de 1969, ingresó en la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica, finalizando sus estudios de post-grado en abril de 1971.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE CUADROS DEL APENDICE.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1 Heterogeneidad del suelo.....	2
2.2 Consideraciones sobre el tamaño, forma y no. de repeticiones de parcelas	3
2.2.1. Métodos estadísticos.....	4
2.2.1.1. Tamaño	4
1) Error probable.....	4
2) Curvatura máxima.....	4
3) Procedimiento de Smith.....	5
4) Procedimiento de Hatheway y Williams.....	7
5) Otros procedimientos.....	8
2.2.1.2. Forma.....	9
1) Prueba de homogeneidad de la variancia de Bartlett.....	9
2) Prueba de "F".....	9
2.2.1.3. Número óptimo de repeticiones....	9
1) Método de Harris-Horvitz-Mood	10
2) Método de Cochran y Cox.....	10
3) Método de Kempthorne.....	10
2.2.1.4. Costos	10
3. MATERIALES Y METODOS	12
3.1. Tamaño de la unidad experimental.....	12

	<u>Página</u>
3.1.1. Coeficiente de regresión no ponderado.....	14
3.1.2. Coeficiente de regresión ponderado.....	15
3.1.3. Costos.....	18
3.1.4. Optimización del tamaño.....	18
3.2. Forma.....	19
3.3. Número de repeticiones.....	20
4. RESULTADOS.....	22
4.1. Tamaño.....	23
4.1.1. Coeficiente de regresión no ponderado.....	23
4.1.2. Coeficiente de regresión ponderado.....	23
4.1.3. Costos.....	25
4.1.4. Determinación del tamaño óptimo de parcela	28
4.2. Forma óptima de la parcela.....	30
4.3. Número mínimo de repeticiones.....	30
4.4. Metodología modificada.....	32
5. DISCUSION.....	33
6. CONCLUSIONES.....	38
7. RESUMEN.....	40
SUMMARY.....	41
8. LITERATURA CITADA.....	42
APENDICE.....	48

LISTA DE CUADROS

CUADRO		<u>Página</u>
1	Análisis de "componentes de variancia".....	13
2	Coefficiente de regresión no ponderado (b_1) Subensayo 1.	23
3	Coefficiente de regresión ponderado (b_2). Subensayo 1.	24
4	Valores promedios de los coeficientes de regresión correspondientes a los 3 subensayos.....	25
5	Estimación de las constantes de costo K_1 y K_2 , para determinar el tamaño óptimo de parcela.....	28
6	Tamaños óptimos de parcela obtenidos en los 3 subensayos.....	29
7	Determinación de la forma óptima de parcelas mediante el método de homogeneidad de variancias de Bartlett	30

LISTA DE CUADROS DEL APENDICE

CUADROS		<u>Página</u>
1 -A	Rendimiento de frijol en gramos, cosechado en 1668 unidades básicas.....	49
2 -A *	Variaciones entre parcelas (V_i^1) de parcelas de diferentes tamaños, formas y números de repeticiones en el subensayo 1.	60
3 -A	Componentes de variancia para obtener la variancia dentro de parcelas (V_i) en el subensayo 1.....	62
4 -A	Variaciones entre parcelas (V_i^1) de parcelas de diferentes tamaños, formas y números de repeticiones en el subensayo 2.....	64
5 -A	Componentes de variancia para obtener la variancia dentro de parcelas (V_i) en el subensayo 2.....	65
6 -A	Diferentes variancias entre parcelas (V_i^1) de parcelas de diferentes tamaños, formas y número de repeticiones en el subensayo 3	66
7 -A	Componentes de variancia para obtener la variancia dentro de parcelas (V_i) en el subensayo 3.....	67
8 -A	Log. del tamaño de la parcela (X_i^1) y log. del cociente de la variancia entre parcela sobre el tamaño de parcela (Y_i) para el cálculo de (t_i)), subensayo 1	68
9 -A	Variación comparable, para la determinación de la forma óptima, subensayo 1.	70
10 -A	Variación comparable, para la determinación de la forma óptima, subensayo 2.....	71
11 -A	Variación comparable, para la determinación de la forma óptima, subensayo 3	72
12 -A	Cálculo del número de repeticiones del tamaño de parcela 2 x 3 (6 unidades) (Grupo 12).....	73

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	<u>Página</u>
1. Tendencia parabólica de los coeficientes (b) del sub-ensayo 1.....	26
2 Variación del tamaño óptimo de parcela en relación al costo de producción y coeficiente de regresión ($X = b' \text{o. } C$)	31

1. INTRODUCCION

El tamaño de la unidad experimental juega un papel importante en los experimentos agronómicos, debiendo rendir toda la información posible acerca del comportamiento real de las variables bajo estudio. Los costos ponen un límite al incremento de tamaño de la parcela. Además del tamaño, la forma y el número de repeticiones de la parcela también afectan la precisión de los experimentos.

Este estudio se realizó en frijol con los objetivos siguientes:

1. Mejorar la metodología para la determinación del tamaño óptimo de la parcela, que pueda ser utilizada tanto en frijol como en otros cultivos alimenticios o industriales de importancia económica.
2. Determinar el tamaño, forma y número de repeticiones de parcela experimental en frijol, que permitan reducir al máximo el error en los diferentes ensayos de rendimiento de todo programa de selección y mejoramiento en este cultivo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Heterogeneidad del suelo

La variabilidad de la respuesta en las parcelas de un mismo tratamiento en el campo y por ende, la magnitud del error experimental, se relaciona directamente con el grado de heterogeneidad del suelo. La variación y dirección de la gradiente de fertilidad del suelo, factor principal en su heterogeneidad, se estiman mediante los llamados ensayos de uniformidad o ensayos en blanco.

Según LeClerg et al (30) una de las aplicaciones del ensayo de uniformidad es la determinación del tamaño y forma óptimos de la parcela. Datos de este tipo se acostumbra tomar en pequeñas unidades (unidades básicas) en el terreno, sembrado con determinado cultivo y anotar por separado la cosecha de cada unidad.

La heterogeneidad en fertilidad del terreno puede expresarse con los mapas de contorno denominados también mapas de variabilidad. De acuerdo con Bose (3) esos mapas se obtienen uniéndose por líneas los puntos del terreno que den rendimientos similares.

Harris, citado por Smith (57), propone que se use el coeficiente de correlación intraclase (b) de los rendimientos de parcelas contiguas, como índice de la heterogeneidad del suelo. Este índice según Kiesselbach (26), depende del suelo y de las variaciones ambientales. En la interpretación de Kempthorne (25), cuando $b=0$ las parcelas están altamente correlacionadas, indicando completa homogeneidad del suelo y cuando $b=1$, las parcelas no están correlacionadas, indicando extrema heterogeneidad del suelo.

Panse y Sukhatme (49), observaron que las áreas relativamente pequeñas son homogéneas y además que la desviación estandar de los

rendimientos puede usarse como un índice de la variabilidad inherente del campo. Con la finalidad de facilitar los cálculos Ferguson (13), elaboró un monograma para predecir el coeficiente de variación de los ensayos de rendimiento en hortalizas; consiste en 3 escalas y para su uso es necesario conocer el número de plantas por parcela y el número de parcelas por bloque.

2.2. Consideraciones sobre el tamaño, forma y número de repeticiones de parcelas.

El problema relacionado con la dimensión de la unidad experimental, ha merecido la atención de muchos investigadores. Bryan (6) en cultivo de maíz, encontró que la variabilidad del rendimiento decrecía conforme aumentaba el tamaño de la parcela de 8 a 48 plantas; pero la disminución no era proporcional al tamaño de la parcela. En la opinión general de los investigadores el incremento del tamaño de parcela provocó una reducción del error experimental (23, 32, 55).

En cuanto a la forma de la parcela, Fu-Siao (17) notó que era influenciada por la variación de la fertilidad del suelo. En general se logra una mayor reducción del error con parcelas largas y angostas que con las de forma cuadrada (3, 8, 10, 11, 29, 33, 46, 48, 52, 62, 68).

Otro medio efectivo para aumentar la precisión de los experimentos de campo es según LeClerg et al (30) y Fererer (12) el conocimiento del número de repeticiones, el cual depende de: a) el grado de precisión deseado, b) la variabilidad inherente del material estudiado, c) los recursos disponibles y d) del tamaño y forma de la parcela.

En general el error experimental se reduce más efectivamente cuando aumenta el número de repeticiones que cuando se incrementa el tamaño de la parcela (51, 61).

En lo que respecta al efecto de los bordes sobre el rendimiento, Hartwig et al (20) en soya y Shear Miller (55) en mani, mejoraron la precisión de sus experimentos quitando los bordes. En cambio Miller y Koch (36) en Lotus carniculatus, encontraron que el efecto de bordes no fue significativo.

2.2.1. Métodos estadísticos

Desde los inicios del presente siglo se han ensayado una serie de técnicas o procedimientos estadísticos para la determinación del tamaño, forma y número de repeticiones de la unidad experimental.

2.2.1.1. Tamaño

1) Error probable

Wood y Straton, citados por Thompson (62), fueron los primeros en aplicar, en 1910, el error probable como método estadístico para determinar el tamaño óptimo de parcela en remolacha forrajera.

McClelland (32) en maíz basándose en la desviación estandar y el error probable expresado en porcentaje de la media, midió el efecto del tamaño de la parcela.

Vagholkar et al (63) utilizó éste método en diseño de bloques al azar para establecer un tamaño óptimo en caña de azúcar. A su vez Zuber (68) emplea el error probable para determinar el tamaño de la parcela y su adaptación a 4 diseños (Bloques al azar, latice cuadrado, latice balanceado y latice triple) en maíz. Por último Pan (48) se valió de este método para determinar el tamaño de parcela en arroz.

2) Curvatura máxima

El método de curvatura máxima consiste en dividir el área experimental en unidades básicas, formándose así diferentes tamaños de

parcela. Para cada uno de éstos se calcula el coeficiente de variación (expresado en porcentaje). Luego en un eje de coordenadas se colocan los tamaños en la abscisa (x) y los coeficientes de variación en la ordenada (y). El punto de mayor inflexión en la curva que así se obtiene, se denomina punto de curvatura máxima y corresponde al tamaño óptimo de parcela. Varios autores aplicaron este método en diferentes cultivos.

En frijol Moore y Darroch (43) utilizando el método de la curvatura máxima recomiendan un tamaño óptimo de parcela de 9 m de largo con una o dos hileras; en soya en cambio Odland y Garber (47) encontraron que la parcela de 5 m de largo con 3 repeticiones era la más apropiada. Comparando la eficiencia del tamaño de bloque y de parcela en 4 diseños diferentes Abraham y Vachhani (2) en arroz observaron que el latice era el más eficiente. Hay varios autores que emplearon el método de la curvatura máxima para determinar el tamaño óptimo en otros cultivos, así tenemos a Immer y Raleigh (23) en remolacha azucarera, Reynolds et al (52) y Mac Donald et al (33) en algodón, Lana et al (29) en camote y cebolla y Soto Martínez (58) en ajonjolí.

3) Procedimiento de Smith

Smith (57) observó que el método de curvatura máxima tal como se aplicaba en los ensayos de uniformidad adolecía de las siguientes fallas: 1) El punto de curvatura máxima no era independiente del tamaño de las unidades básicas ni de la escala de medición, 2) Los costos relativos de los diferentes tamaños de parcela no se tomaban en cuenta.

Por lo tanto él desarrolló una relación empírica entre la variancia y el tamaño de la parcela, expresada por la ecuación:

$$V_x = \frac{V_1}{X^b} \quad [1]$$

donde

V_x = variancia de la parcela de "x" unidades.

V_1 = variancia de la parcela de una unidad.

X = tamaño de la parcela en unidades.

b = coeficiente de regresión de la variabilidad del terreno sobre el tamaño de la parcela.

Si se transforman los valores de la ecuación anterior [1] a la escala logarítmica, la relación resultante toma la forma de una regresión lineal:

$$\log V_x = \log V_1 - b \log X \quad [2]$$

donde el coeficiente b en la forma logarítmica, realmente mide el grado de correlación entre parcelas.

Para determinar el tamaño óptimo de parcela en relación con el costo, Smith (57) aduce, que éste es mínimo cuando:

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

donde:

X, b : se definen como en la ecuación [1] anterior.

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

K_2 = parte del costo total proporcional al área total por tratamiento.

Este método fue utilizado en frijol lima por Sief (54) quien determinó parcelas óptimas de 3 m² para ensayos varietales y 17 m² para ensayos con fungicidas. Usandolo en soya, Monzon et al (39) obtuvieron un tamaño óptimo de 15 m² y para arveja, Nonnecke (45), estimó un tamaño óptimo de 4.50 m². McFarran (34) empleando varios diseños en espinaca para determinar el tamaño óptimo de parcela, encontró que el diseño de bloques incompletos se mostró más eficiente que el de bloques completamente randomizados y los latices balanceados eran superiores a los latices simples y triples. El procedimiento además, fue aplicado en pastos y forrajes (36, 51, 61, 65), cereales (1, 16, 64), hortalizas (44, 46), fibras (28, 67) y estimulantes (10).

4. Procedimiento de Hatheway y Williams

Hatheway y Williams (22) observaron que los valores de correlación dados por el coeficiente \underline{b} de la fórmula de Smith (57) los cuales normalmente oscilan entre 0 y 1, en algunos casos excedieron de 1, por lo que no se podía interpretar correctamente los resultados. Para solucionar este problema, propusieron un método que consiste en ponderar las variancias observadas entre parcelas de diferentes tamaños, formando con las variancias una matriz-covariancia, la cual se invierte para obtener un coeficiente de regresión ponderado (b_2), dado por la fórmula:

$$b_2 = \frac{\sum_i Y_i x_i' - (\sum X_i)(\sum Y_i) / \sum_i \sum_k W_{ik}}{\sum_i X_i x_i' - (\sum X_i)^2 / \sum_i \sum_k W_{ik}} \quad [4]$$

donde:

$$Y_i = \sum_i W_{ik} y_k$$

W_{ik} = elemento inverso de la matriz-covariancia de los valores de y .

$$y_k = \log \left(\frac{V^k}{x} \right)$$

V^k = variancia entre parcelas de diferentes tamaños

x = tamaño de la parcela en unidades básicas

$$X_i = \sum_i W_{ik} x_k^l$$

x_k^l = $\log x$ (logaritmo del tamaño de la parcela)

Monzón et al (38) usaron el procedimiento en frijol, obteniendo un tamaño óptimo de parcela de 7 m². Hallauer (19) encontró valores de b_2 que oscilaban entre 0.35 y 0.78 al medir la variabilidad de un suelo sembrado en maíz.

5. Otros procedimientos

Varios investigadores para estimar el tamaño óptimo de la parcela han usado sus propios métodos, modificando en un aspecto u otro los anteriores.

Por ejemplo Smith (56) tomó el cuadrado medio del error como medida de la eficiencia del tamaño de la parcela en frijol y con base en ello recomendó el uso de una parcela de 9 m² con 6 repeticiones para alcanzar una diferencia mínima significativa (DME) de 200 kgs. por hectárea aproximadamente. Sin embargo Gartner y Cardona (18) usando el mismo método en frijol, determinaron como óptima una parcela de 2 surcos con 4 m de largo y 4 repeticiones.

Por otra parte Freeman (15), propone agregar a la relación de Smith (57) la variancia de las plantas, representada por $\frac{V''}{\eta}$ para una mejor estimación de la variancia de la parcela de x unidades.

Weber y Horner (66), modificaron la relación de Smith (57), obteniéndose una fórmula que les permitió determinar el tamaño óptimo de parcela, simultáneamente para rendimiento (7 m de largo y 1 surco de ancho) y calidad de la semilla (8 m de largo y un surco de ancho) en soya.

Por último, Hatheway (21) combinando la fórmula para número de repeticiones de Cochran y Cox (9) con la relación de Smith (57), obtuvo una ecuación que le permitió determinar el tamaño óptimo de la parcela independientemente del costo.

2.2.1.2. Forma

1. Prueba de homogeneidad de la variancia de Bartlett

Este método es descrito por Steel y Torrie (59) quienes determinaron la mejor forma de la parcela mediante la prueba de "Chi cuadrado" Zulke y Gritton (70) recomendaron su uso y lo aplicaron para determinar la forma óptima de la parcela en arveja.

2. Prueba de "F"

Wasson y Kalton (65) propusieron la prueba de "F" para determinar la diferencia en la heterogeneidad del suelo según la forma de parcelas de tamaño igual.

2.2.1.3. Número óptimo de repeticiones

Para determinar el número óptimo de repeticiones, varios investigadores han desarrollado sus propios métodos y fórmulas estadísticas.

1. Método de Harris - Horvitz - Mood

Este método descrito por Federer (12), requiere el uso de unas tablas especiales y no toma en cuenta los costos. Fleming et al (14) lo aplicaron en maíz y Keller (24) en lúpulo para la determinación del número óptimo de repeticiones.

2. Método de Cochran y Cox

Cochran y Cox (9) determinaron el número óptimo de repeticiones desarrollando una fórmula, igualmente independiente del costo pero que requiere el uso de la tabla de "t". Zuhlke y Gritton (69) lo utilizaron en arveja.

3. Método de Kempthorne

A diferencia de los métodos anteriores, Kempthorne (25) propone una fórmula en la que se consideran los costos y las variancias del tamaño de la parcela cuyo número de repeticiones óptimo se desea determinar. Abraham (1) empleó el método en arroz.

2.2.1.4. Costos

El tamaño óptimo de la parcela experimental depende de las relaciones existentes entre los costos, el número de unidades y la variabilidad del suelo.

Smith (57) determinó que el costo por parcela (C_o) está dado por una regresión lineal:

$$C_o = K_1 + K_2 X$$

donde: K_1 , K_2 , X : son los mismos de la fórmula [3] .

Robinson et al (53) obtuvieron en maní un valor de $K_1 = 46\%$ y $K_2 = 54\%$. Contrariamente, Wiedemann y Leininger (67) en cártamo,

encontraron unos valores de $K_1 = 74,1\%$ y $K_2 = 25,9\%$, indicando así que los costos varían en relación al tipo de cultivo. Todos los investigadores convienen en registrar el tiempo de las labores en segundos, minutos u horas-hombre para determinar los coeficiente K_1 y K_2 .

3. MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en el área experimental llamada "La Montaña", del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA (IICA-CTEI) en Turrialba, Costa Rica. En diciembre de 1969 se sembró un ensayo de uniformidad con la variedad de frijol negro "Turrialba - 4", de crecimiento semi-erecto y con otras características típicas de las variedades de frijol que se cultivan en Centro América.

La siembra se efectuó con una sembradora-abonadora de dos surcos tirada por un tractor. La distancia entre surcos fue de 0,60. El abonamiento y las demás prácticas de cultivo se efectuaron de acuerdo con las normas indicadas por Pinchinat (50), para el área centroamericana.

En abril de 1970 se cosecharon 20 surcos divididos en unidades básicas, de 1 surco de ancho y 1 m de largo. Se anotó por separado el rendimiento en grano de frijol seco obtenido en cada unidad. Como el largo original de los surcos variaba de 55 a 102 m, se agruparon las unidades en 3 subensayos para lograr la mayor gama posible de tamaños y formas de parcela. El primer subensayo constó de 1080 unidades: un segundo, de 1100 unidades y un tercero, de 1668 unidades.

La precipitación fue de 721.0 mm en el lapso comprendido entre siembra y cosecha.

3.1. Tamaño de la unidad experimental

La metodología que se describe a continuación para determinar el tamaño óptimo de parcela se aplicó a los 3 subensayos, con algunas diferencias en el subensayo 3 que serán indicadas oportunamente. En primer lugar se elaboró un programa especial para computadora IBM, con la

finalidad de obtener una gran combinación de tamaños y formas posibles de parcelas (se partió de una unidad básica hasta llegar a considerar a todo el subensayo como una sola parcela) y a su vez calcular la suma de cuadrados no corregida (sin restarles el factor de corrección), a partir de los cuales se calcularan las variancias. Con este objeto se perforaron en tarjetas IBM el rendimiento de cada unidad básica expresado en gramos. Con estos datos se procedió a realizar el análisis de variancia de los subensayos de uniformidad (serviran para formar la matriz-covariancia). Sobre este punto Koch y Rigney (27) demostraron que un ensayo de uniformidad que sea subdividido, simulando un diseño de parcelas divididas o latice, puede ser analizado por componentes de variancia. Se usó el procedimiento de Hatheway y Williams (22), el cual se basa en las consideraciones de Koch y Rigney (27) y se resume en el Cuadro 1. Para su ilustración se tomó como ejemplo el subensayo con 5 tamaños de parcela por ser ese el más frecuente.

Cuadro 1. Análisis de "componentes de variancia"

Fuente de Vari.	G. L.	S. C.	C. M.	C. M!
UP	a-1	SC ₁	V ₁	V ₁ '
US/UP	a(b-1)	SC ₂	V ₂	V ₁ '
UT/US	ab(c-1)	SC ₃	V ₃	V ₃ '
UC/UT	abc(d-1)	SC ₄	V ₄	V ₄ '
UQ/UC	abcd(e-1)	SC ₅	V ₅	V ₅ '

donde:

UP = Unidad primaria, UT = Unidad ternaria

US = Unidad secundaria, UC = Unidad cuaternaria

UC = Unidad quinaria

a = Número de unidades primarias que hay en el subensayo

b = Número de unidades secundarias que hay dentro de una primaria

·
·
·

e = Número de unidades quinarias que hay dentro de una cuaternaria

SC₁, ..., SC₅ = Suma de cuadrados corregida

V₁, ..., V₅ = Variancias dentro de parcelas (variancia de rendimiento)

V₁ⁱ, ..., V₅ⁱ = Variancias entre parcelas

siendo:

$$V_1^i = V_1$$

$$V_2^i = [a(b-1)V_2 + (a-1)V_1] / (ab-1)$$

·
·
·

$$V_5^i = [abcd(e-1)V_5 + abc(d-1)V_4 + ab(c-1)V_3 + a(b-1)V_2 + (a-1)V_1] / (abcde-1)$$

Conociendo estos elementos se procedió a calcular los coeficientes de regresión.

3.1.1. Coeficiente de regresión no ponderado (b₁)

Se usó la fórmula de Hatheway y Williams (22), representada por la siguiente relación:

$$b_1 = -[\sum X'y - (\sum X')(\sum y) / \eta] / [\sum (X')^2 - (\sum X')^2 / \eta] \quad [5]$$

donde:

$$x' = \log x \text{ (logaritmo del tamaño de la parcela)}$$

$$y = (V'/x)$$

η = número de tamaños de parcela que intervienen en el análisis de variancia.

Esta fórmula fue empleada en el cálculo de los coeficientes de regresión no ponderado de los subensayos 1 y 2.

En el caso del subensayo 3, debido a su particular condición de tener parcelas de una sola forma (alargada), su coeficiente de regresión (b_1) fue calculado mediante la relación de Smith (57).

$$b_1 = (\log V_1 - \log Vx) / \log x \quad [6]$$

3.1.2. Coefficiente de regresión ponderado (b_2)

Mason citado por Hatheway y Williams (22), indicó una característica que muestra todo coeficiente ponderado es que nunca excede de la unidad y tampoco puede dar un valor negativo. Esto se cumple con la fórmula [4] originalmente propuesta por Hatheway y Williams (22), y modificada por nosotros en cuanto usamos un sistema de matrices determinado por la fórmula general para la solución de ecuaciones lineales por el método del mínimo cuadrado dada por:

$$(A' \Sigma^{-1} A) \underline{B} = A' \Sigma^{-1} \underline{C} \quad [7]$$

donde:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1' \\ 1 & X_2' \\ 1 & X_3' \\ 1 & X_4' \\ 1 & X_5' \end{bmatrix}$$

matriz formada con los logaritmos de los tamaños de las parcelas, cuya dimensión es (5 x 2)

$$A' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ X_1' & X_2' & X_3' & X_4' & X_5' \end{bmatrix} \text{ matriz transpuesta, } (2 \times 5).$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_2 \end{bmatrix} \text{ Vector incógnita, } (2 \times 1)$$

Σ = matriz - covariancia, que es formada a partir de la "variancia de las variancias entre parcelas "(covariancia), dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Var } (V_1') = 2 V_1^2 (a-1) / (a-1)^2$$

.

.

.

.

$$\text{Var } (V_5') = \frac{2[(a-1)] V_1^2 + 2[a(b-1)] V_2^2 + 2[ab(c-1)] V_3^2 + 2[abc(d-1)] V_4^2 + 2[abcd(e-1)] V_5^2}{(abcde-1)^2}$$

Para simplificar el cálculo representamos literalmente:

$$A = 2[(a-1)] V_1^2 \quad ; \quad B = 2[a(b-1)] V_2^2$$

$$C = a[ab(c-1)] V_3^2 \quad ; \quad D = 2[abc(d-1)] V_4^2 \quad ; \quad E = 2[abcd(e-1)] V_5^2$$

Obteniéndose así de cada análisis de variancia una matriz simétrica, cuyas dimensiones varían con base en el número de tamaños diferentes de parcela de donde (Σ) es igual a:

$$\begin{array}{ccccc}
 \frac{A}{(a-1)^2} & \frac{A}{(a-1)(ab-1)} & \frac{A}{(a-1)(abc-1)} & \frac{A}{(a-1)(abcd-1)} & \frac{A}{(a-1)(abcde-1)} \\
 \frac{A}{(a-1)(ab-1)} & \frac{A+B}{(ab-1)^2} & \frac{A+B}{(ab-1)(abc-1)} & \frac{A+B}{(ab-1)(abcd-1)} & \frac{A+B}{(ab-1)(abcde-1)} \\
 \frac{A}{(a-1)(abc-1)} & \frac{A+B}{(ab-1)(abc-1)} & \frac{A+B+C}{(abc-1)^2} & \frac{A+B+C}{(abc-1)(abcd-1)} & \frac{A+B+C}{(abc-1)(abcde-1)} \\
 \frac{A}{(a-1)(abcd-1)} & \frac{A+B}{(ab-1)(abcd-1)} & \frac{A+B+C}{(abc-1)(abcd-1)} & \frac{A+B+C+D}{abcd-1^2} & \frac{A+B+C+D}{(abcd-1)(abcde-1)} \\
 \frac{A}{(a-1)(abcde-1)} & \frac{A+B}{(ab-1)(abcde-1)} & \frac{A+B+C}{(abc-1)(abcde-1)} & \frac{A+B+C+D}{(abcd-1)(abcde-1)} & \frac{A+B+C+D+E}{(abcde-1)^2}
 \end{array}$$

$$\underline{B} = (A' \Sigma^{-1} A)^{-1} (A' \Sigma^{-1} C) \quad [8]$$

Así se obtuvieron los valores del vector incógnita formado por

b_0 = punto de corte del eje Y, cuando $X = 0$; y

b_2 = coeficiente de regresión ponderado

En el caso específico del subensayo 3, además de la ecuación general [8] se aplicó la fórmula del coeficiente de regresión ponderado de Federer (12), dado por:

$$b_2 = \frac{\sum_1 W_i \log V_{xi} \log X_i - (\sum_1 W_i \log V_{xi})(\sum_1 W_i \log X_i) / \sum_1 W_i}{\sum_1 W_i (\log X_i)^2 - (W_i \log X_i)^2 / \sum_1 W_i} \quad [9]$$

donde:

V_{xi} = Variancia del rendimiento por unidad de área.

X_1 = Número de unidades básicas en cada tamaño de parcela.

W_1 = Número de diferentes tamaños de parcelas menos uno.

3.1.3. Costos

El costo de producción está relacionado con el tipo y número de labores que se realizan en un cultivo. En el presente estudio se tomó en cuenta las siguientes labores: preparación del terreno y de la semilla, siembra y fertilización, aplicación de herbicida e insecticida, deshierba a mano (entre planta), cosecha, trillado, limpieza, pesado, toma de notas y análisis estadístico. El tiempo de estas labores fue registrado en horas-hombre.

Para determinar la proporción $K_1:K_2$, (expresada en por ciento), se aplicó una ecuación de regresión lineal simple, dada por:

$$Y_1 = a + b X_1$$

donde:

Y_1 = tiempo de cada labor.

X_1 = tamaño de la parcela en unidades

a = K_1

b = K_2

3.1.4. Optimización del tamaño

Teniendo en cuenta que la relación K_1/K_2 se comporta como una constante (C) en un determinado cultivo y la variabilidad de la fertilidad de un terreno está representada por el valor medio de un coeficiente de regresión, se puede concluir que el tamaño óptimo de la parcela está dado por el producto de la variabilidad y sus costos (fijos y variables), tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$X = b_0 \cdot C \quad [10]$$

donde:

X = tamaño óptimo de la parcela en unidades

$b_0 = b_1 / (1 - b)$ de la fórmula [3] de Smith (57)

$C = K_1 / K_2$

Conociendo los valores de K_1 , K_2 y los coeficientes de regresión b_1 , b_2 y su reemplazo en la ecuación [10], se determinaron los tamaños óptimos de parcela en los 3 subensayos.

Como una consecuencia de la metodología aplicada en los subensayos 1 y 2, se obtuvieron varios coeficientes de regresión ponderados y no ponderados, éstos al ser colocados en la ordenada (Y) y el tamaño de la parcela en la abscisa (X) de un eje de coordenadas, mostraron una distribución con tendencia parabólica. Con base en esto se aplicaron dos modelos matemáticos, el parabólico y el de la "taza de interés compuesto", dados respectivamente por las relaciones:

$$Y_1 = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_1^2 \quad [11]$$

$$Y_1 = b_0 (1 + r)^X \quad [12]$$

Para obtener el punto mínimo de los coeficientes de regresión, el procedimiento de ajuste con dichos modelos se realizó por computadora.

3.2. Forma

Se determinó la forma óptima con la aplicación del método de "homogeneidad de la variancia" de Bartlett, descrito por Steel y Torrie (59) basado en la prueba de Chi cuadrado (χ^2) representado por ecuación.

$$\chi^2 = 2.3026 \{ \sum \sum (n_i - 1) \log \bar{S}^2 - \sum (n_i - 1) \log S^2 \} \quad [13]$$

donde:

2.3026 = constante usada con logaritmo común (base 10)

\bar{S}^2 = Variancia promedio.

S^2 = Variancia comparable = V_1^1 = Variancia entre parcelas, (70)

K = número de unidades básicas

n_i = número total de grados de libertad.

Si el valor de (χ^2) es significativo, se lo divide por su factor de corrección (F. C), dado por la siguiente fórmula:

$$F. C = 1 + [3(K-1)]^{-1} \{ \sum \sum (n_i - 1)^{-1} - [\sum (n_i - 1)]^{-1} \} \quad [14]$$

donde:

K = número de tamaños comparados.

n_i = número total de grados de libertad.

Cuando no se detectó diferencia significativa entre las formas comparadas con el método anterior, se empleó la prueba de "F" (60, 65) con probabilidad de 0.05 y 0.01, tomándose como la mejor forma de parcela aquella que poseía el mayor valor significativo.

3.3. Número de repeticiones

Con el objeto de obtener un número óptimo de repeticiones, se usó el método desarrollado por Kempthorne (25) y representado por la siguiente ecuación.

$$r = Co / [+ (C \cdot C_s \sigma_s^2 / \sigma_o^2)^{\frac{1}{2}}] \quad [15]$$

donde:

r = número óptimo de repeticiones.

Co = costo total del tamaño óptimo de parcelas = $K_1 + K_2 K$

C = costo de la parcela de una unidad, sin considerar cosecha.

C_s = costo por cosecha de la parcela de una unidad básica.

σ_s^2 = V_5 , variancia dentro de la parcela (del tamaño óptimo)

$\sigma_o^2 = (V_4 - V_5) / e$, e = número de unidades quaternarias, que hay dentro de una cuaternaria.

Estas variancias se obtienen a partir del análisis por componentes de variancia, correspondiente al grupo donde se encuentra el tamaño óptimo de parcela.

4. RESULTADOS

Los resultados principales corresponden al subensayo 1 ya que este comprendió un mayor número de tamaños y formas de parcelas que los subensayos 2 y 3. Los resultados de éstos se utilizarán para corroborar o por lo menos complementar los del subensayo 1.

Se pesó el frijol seco cosechado de las 1668 unidades básicas que constituyen la totalidad del ensayo de uniformidad. Los rendimientos obtenidos aparecen en el Cuadro 1 -A, del Apéndice.

4.1. Tamaño

Para determinar el tamaño óptimo se calculó con ayuda de la computadora diferentes tamaños posibles de parcelas, que fueron de 48 para el caso del subensayo 1, 24 para el subensayo 2 y 20 para el subensayo 3. En cada uno de estos tamaños de parcela se calculó las variancias entre y dentro de parcelas, correspondiendo al subensayo 1 los resultados en los Cuadros 2-A y 3-A respectivamente, al subensayo 2 los de los Cuadros 4-A y 5-A y al subensayo 3 los de los Cuadros 6-A y 7-A, del Apéndice. Para una mejor comprensión se explica seguidamente la forma como se arregló los diferentes tamaños de las parcelas para ser analizados por componentes de variancia. En el caso específico del subensayo 1, se dividió el largo del surco (54 m) con base en su divisibilidad en 1, 2, 3, 6, 9, 18, 27 y 54 m, así mismo los surcos que eran en número de 20 fueron divididos en 1, 2, 4, 5, 10 y 20 y para formar los 8 primeros grupos se tomaron 1, 5, 10 y 20 surcos y un sólo largo de surco; y con 1, 2, 4 y 20 surcos los 8 grupos siguientes, consiguiendose un total de 16 grupos. Como se observa en cada grupo las parcelas tenían diferentes

ta maños pero un solo largo de surco y en los grupos posteriores el largo fue incrementandose, esto explica la forma como varió el coeficiente (b) y su tendencia. Se siguió un procedimiento similar para arreglar los 8 grupos del subensayo 2.

4.1.1. Coeficiente de regresión no ponderado

Aplicando la fórmula[5] de Hatheway y Williams (22) y con base en los logaritmos presentados en el Cuadro 8-A del Apéndice, se obtuvo para cada grupo un coeficiente de regresión no ponderado (b_1), tal como se indica en el Cuadro 2. Los valores de (b_1) oscilaron entre .70 y .91. Se siguió el mismo procedimiento para calcular b_1 en el subensayo 2.

Cuadro 2. Coeficiente de regresión no ponderado (b_1) Subensayo 1.

Grupo	b_1	Grupo	b_1
Grupo 1	.87	Grupo 9	.86
Grupo 2	.80	Grupo 10	.81
Grupo 3	.80	Grupo 11	.79
Grupo 4	.72	Grupo 12	.71
Grupo 5	.73	Grupo 13	.70
Grupo 6	.77	Grupo 14	.74
Grupo 7	.70	Grupo 15	.66
Grupo 8	.91	Grupo 16	.71

4.1.2. Coeficiente de regresión ponderado

Aunque en el presente estudio, los valores de (b_1) no excedieron de 1, lo cual hubiera justificado el uso del coeficiente de regresión ponderado

(22), se procedió con el cálculo de (b_2) para obtener una estimación más rígida de la heterogeneidad del terreno.

En forma similar el coeficiente no ponderado se analizaron los mismos 16 grupos, aplicando para cada uno de ellos la ecuación general de cuadrados mínimos [7] con base en la fórmula de Hatheway y Williams (22), se obtuvieron los valores que aparecen en el Cuadro 3. Estos valores van de .53 hasta .94.

Cuadro 3. Coeficiente de regresión ponderado (b_2). Subensayo 1.

Grupo	b_2	Grupo	b_2
Grupo 1	.91	Grupo 9	.94
Grupo 2	.66	Grupo 10	.72
Grupo 3	.64	Grupo 11	.70
Grupo 4	.53	Grupo 12	.58
Grupo 5	.62	Grupo 13	.60
Grupo 6	.87	Grupo 14	.73
Grupo 7	.81	Grupo 15	.75
Grupo 8	.94	Grupo 16	.72

Se siguió el mismo procedimiento para calcular b_2 en los subensayos 2 y 3. En el Cuadro 4 se consignan los valores promedios de b_2 , así como dos de b_1 , para cada uno de los ensayos. Para estimar el tamaño óptimo de la parcela se utilizaron estos valores promedios salvo los dos que exceden de 1. El que corresponde a b_1 (1.52), se obtuvo con la fórmula [6] de Smith y el que corresponde a b_2 (1.48) con la fórmula [9] del coeficiente de regresión ponderado de Federer (12). Estos dos valores no han sido

Cuadro 4. Valores promedios de los coeficientes de regresión correspondientes a los 3 subensayos.

Subensayos	b_1	b_2
1	.77	.73
2	.80	.73
3	1.52	.59, 148

El gráfico de la Figura 1 fue construido como un ejemplo, con los datos del subensayo 1, poniendo en el eje de la ordenada (Y) los valores de los coeficientes de regresión y en la abscisa (X), la longitud de los surcos de las parcelas que integran los primeros 8 grupos. Se observa que la distribución tiene una tendencia parabólica y presenta un punto mínimo. Igual tendencia muestra la distribución que se obtendría con los datos correspondientes a los 8 grupos restantes del mismo subensayo y los del subensayo 2. Con base en esta tendencia se aplicaron los dos modelos matemáticos [11] y [12]. El modelo que presentó el mejor "índice de ajuste" ($R^2 = 75\%$) fue el parabólico dando un $Y_{min} = .73$. El coeficiente de regresión así obtenido se utilizó para obtener el tamaño óptimo de parcela.

4.1.3. Costos

En el presente trabajo no se tomaron los costos individuales por tamaño de parcela, sino los costos por la labor relativa a todo el ensayo de uniformidad expresados en horas-hombre. Para la estimación de estos costos se usó los datos de un trabajo hecho en frijol por Calero (7), en la misma área experimental (La Montaña), en el cual se registró el

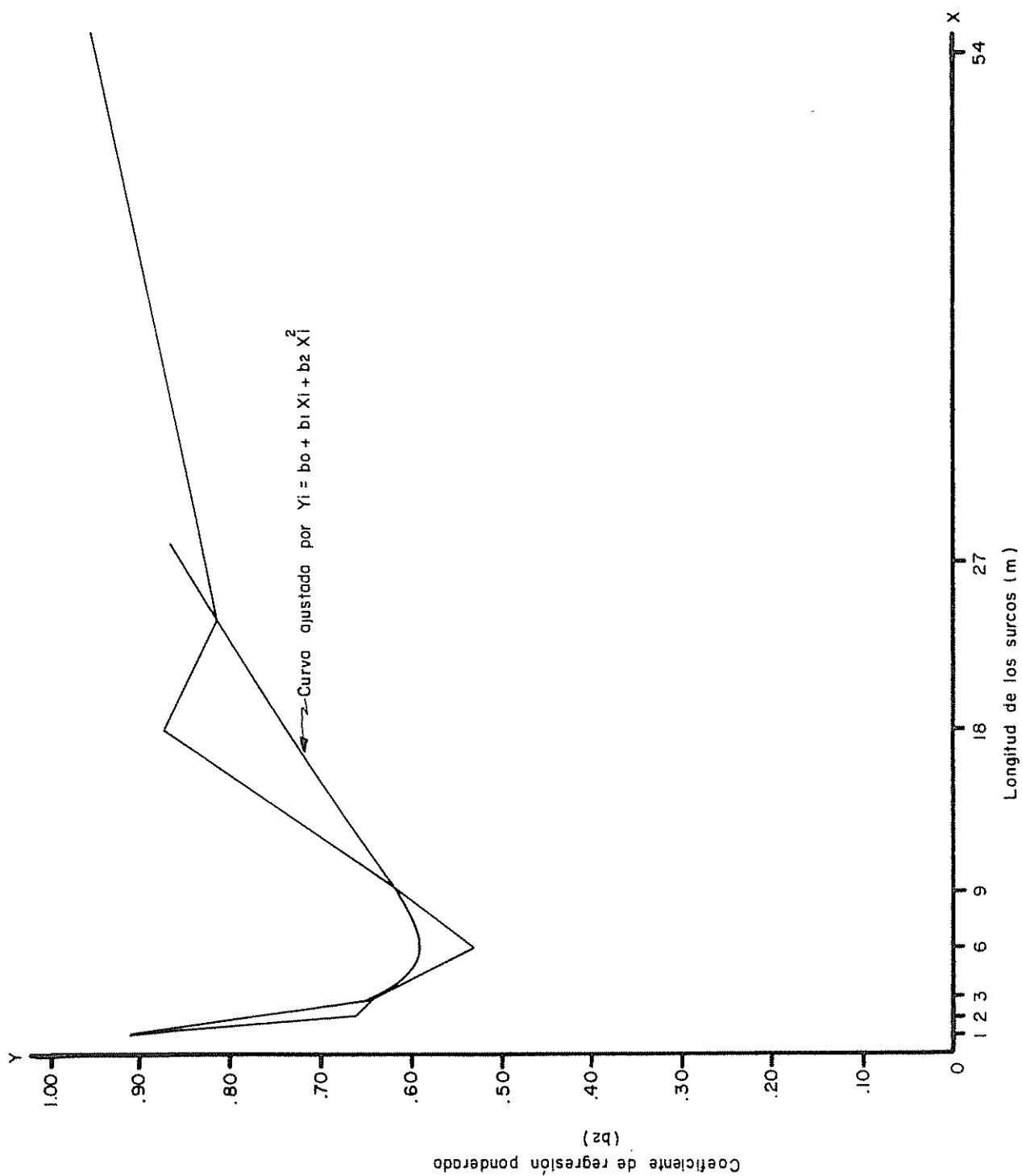


Fig. 1 Tendencia parabólica de los coeficientes (b) del sub-ensayo 1

costo de las labores en parcelas que iban desde un tamaño de una unidad de 1m hasta 30 unidades. Las labores fueron las mismas que las usadas en el presente estudio, con excepción del recuento del número de plantas. A cada una de estas labores se aplicó la ecuación de regresión lineal simple para obtener los valores de K_1 y K_2 . Pero como todas afectan al costo total, fueron sumadas, obteniéndose la siguiente ecuación general:

$$Y = 199.16 + 119.47 X$$

Los valores de esta ecuación toman en cuenta la proporción de los dos coeficientes ($a = K_1 = 199.16$ y $b = K_2 = 119.47$), los cuales expresado en porcentaje dan $K_1 = 63\%$ y $K_2 = 37\%$.

Con base en estas proporciones se distribuyó el costo en cada uno de las labores y se obtuvo los valores que se muestran en el Cuadro 5. En dicho Cuadro se incluyen además la toma de notas y el análisis estadístico que dependen únicamente de K_1 (60), lo cual, produjo un cambio en la proporción original $K_1:K_2$, dando para el promedio total los siguientes resultados:

$$K_1 = 71.22\%$$

$$K_2 = 28.78\%$$

Estas proporciones de costos son las usadas para determinar el tamaño óptimo de parcela.

Cuadro 5. Estimación de las constantes de costo K_1 y K_2 , para determinar el tamaño óptimo de parcela.

Labor realizada	Horas - hombre	K_1	K_2
Preparación del terreno	16.0	10.08	5.92
Preparación de semilla	1.5	0.95	0.55
Siembra y fertilización	5.0	3.15	1.85
Aplicación de herbicida (2 veces)	6.0	3.78	2.22
Aplicación de insecticida (2 veces)	6.0	3.78	2.22
Deshierba a mano (entre plantas)	22.4	14.11	8.29
Cosecha	120.0	75.60	44.40
Trillado	40.0	25.20	14.80
Limpieza	50.0	31.50	18.50
Pesado	48.0	30.24	17.76
Toma de notas*	5.0	5.00	-
Análisis estadístico*	85.0	85.00	-
Total	404.9	288.39	116.51
Proporción porcentual	100%	71.22%	28.78%

* Labores que dependen únicamente de K_1

4.1.4. Determinación del tamaño óptimo de parcela

Reemplazando los valores promedios de los coeficientes de regresión del Cuadro 4 y las constantes K_1 y K_2 del Cuadro 5 en la fórmula [10] se obtuvieron los tamaños de parcelas que se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Tamaños óptimos de parcela obtenidos en los 3 subensayos

Subensayos	Tamaño de parcela en unidades básicas	
	b_1	b_2
1	8.28	6.75
2	9.90	6.75
3	*	3.65

* No se calculó porque con el valor correspondiente a b_1 (1.52) se obtuvo un tamaño negativo.

Observando el Cuadro 6, el tamaño óptimo de la parcela oscila entre 3.56 a 9.90 unidades. Mediante la optimización del coeficiente de regresión por la aplicación de modelos matemáticos o sea usando $b_2 = .73$ se obtuvo un tamaño correspondiente a 6.75 unidades.

Como consecuencia de estos resultados se puede asumir que tamaño mínimo es de 4, el medio de 6 y el máximo de 10 unidades.

El tamaño medio se consideró equivalente a 6, ya que no estaba incluido en el diseño el tamaño de 7 unidades (más próximo a 6.75). Con base en estos tamaños se determinará el tamaño óptimo único, complementado con el estudio de la forma y el número de repeticiones. Cabe notar que si se considera el rango de variación de los coeficientes de regresión ponderados del subensayo 1 (.53 a .94), el valor medio encontrado (.73) y manteniendo constante el cociente K_1 / K_2 , el tamaño de la parcela varía en relación directa y lineal con el valor del coeficiente de regresión y viceversa. Esto quiere decir que cuanto mayor sea la variabilidad del terreno, se requiere un tamaño más grande de parcela para poder controlar el error, lo cual se demuestra en la Fig. 2.

4.2. Forma óptima de la parcela

Se compararon las variancias de los 3 subensayos para todas las formas de los 3 tamaños considerados como óptimos (Cuadros 9-A, 10-A y 11-A). Aplicando las fórmulas [13] y [14] de homogeneidad de variancias de Bartlett, se encontraron los resultados que se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Determinación de la forma óptima de parcelas mediante el método de homogeneidad de variancias de Bartlett.

Forma No. de surcos x largo en m	Tamaño (unidades)	G. L.	Variancia comparable
1 x 4	4	269	311.32*
2 x 2	4	269	373.43
6 x 1	6	179	448.28
2 x 3	6	179	280.08**
1 x 10	10	109	144.64*
5 x 2	10	109	244.66
1 x 10	10	107	146.45**
2 x 5	10	107	180.37

* Diferencia significativa al nivel P. 05

** Diferencia significativa al nivel P. 01

4.3. Número mínimo de repeticiones

El número mínimo de repeticiones se calculó a partir de la fórmula [15] de Kempthorne (25), utilizando los 3 tamaños y formas considerados como óptimos.

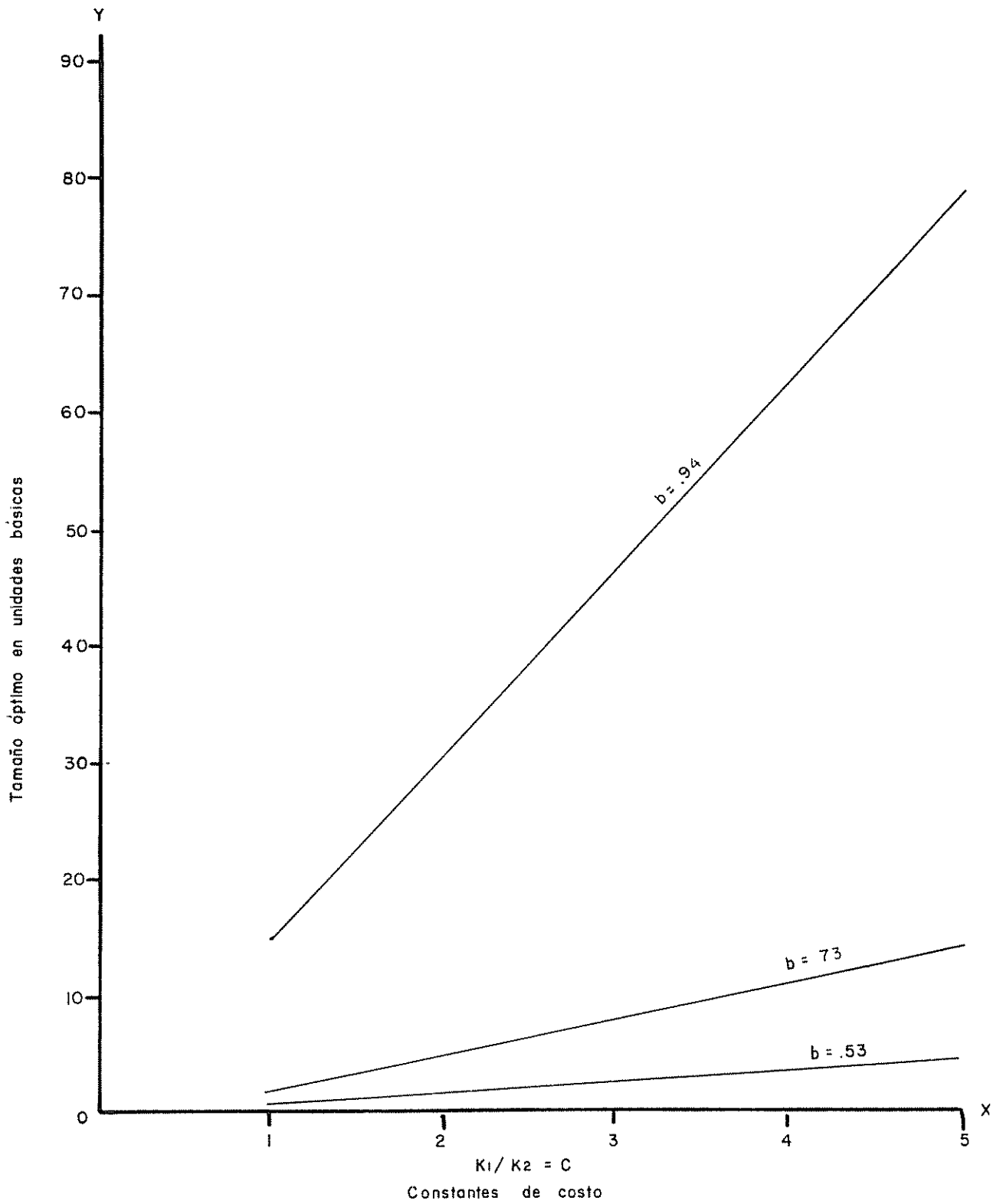


Fig 2 Variación del tamaño óptimo de parcela en relación al costo de producción y coeficiente de regresión ($X = b \cdot C$)

Los resultados fueron los siguientes:

Para parcelas de $1 \times 4 = 5$ repeticiones.

Para parcelas de $2 \times 3 = 4$ repeticiones.

Para parcelas de $1 \times 10 = 3$ repeticiones.

La metodología para calcular el número de repeticiones para el caso del tamaño óptimo medio se describe como ejemplo, en el Cuadro 12-A del Apéndice.

4.4. Metodología modificada

La metodología modificada básicamente consistió en los siguientes puntos:

- Uso de ensayos de uniformidad como si fueran diseños experimentales, obteniéndose mayor aprovechamiento y utilización.
- Modificación de la ecuación [3] de Smith (57), siendo reemplazado por la [10].
- Modificación de la fórmula [4] de Hatheway y Williams (22) por la ecuación general de Cuadrados mínimos [7] y [8], adaptándola al sistema de matríces por computadora.
- Uso de modelos matemáticos para optimización del tamaño de parcela.

5. DISCUSION

La eficacia y confiabilidad de los datos de un ensayo de campo, dependen entre otros factores del tipo de diseño utilizado y particularmente del tamaño de las parcelas. En frijol se han hecho varias determinaciones de tamaños de parcelas. Los tamaños óptimos encontrados van desde el de 2 m de largo por un surco de ancho según Calero (7) pasando por el de 7 m² de Monzon et al (38) hasta el de 12 m² como el hallado por Monzon y Pérez (40), por lo que los resultados no ofrecen soluciones definitivas sobre el problema.

En el presente trabajo se encontraron 3 posibles tamaños óptimos de parcela. De estas alternativas unas ofrecen más ventajas que otras si se considera simultáneamente la forma de las parcelas.

El tamaño óptimo mínimo de 4 m de largo (4 unidades de 1 m de largo cada una) en un solo surco, se consiguió en el subensayo 3. Su confiabilidad es menor que el de los otros tamaños por haberse basado en un subensayo con un alto número de parcelas perdidas. Este tamaño coincide con un tamaño relativamente similar de 1 surco de 3 m de largo, reportado por Miranda (27) como óptimo para ensayos en frijol. Calero (7) en frijol, aconseja el uso de parcelas pequeñas cuando se trata del estudio de ciertas labores como siembra, deshieras y aplicación de productos químicos. En general se recomienda el empleo del tamaño mínimo óptimo cuando se presentan ciertas circunstancias en la investigación tales como la poca disponibilidad de semilla y durante los primeros años de la selección varietal.

El tamaño máximo óptimo con 10 m de largo (10 unidades en un surco) fue obtenido en el subensayo 2, a partir del promedio de los

coeficientes de regresión no ponderados. Este tamaño aproximadamente coincide con el determinado para frijol por Loesell (31), quien recomienda parcelas de 9 m de largo y un surco de ancho. Calero (7) en frijol recomienda el uso de parcelas grandes para el estudio de labores como preparación del terreno y métodos de cosecha. El tamaño correspondiente a 10 m de largo sería recomendable cuando en los diseños experimentales las labores sean efectuadas en forma mecanizada.

El tamaño medio óptimo de 6-7 unidades básicas es evidentemente el mejor por las siguientes razones: a) ha sido obtenido a partir del promedio de los coeficientes ajustados por la ponderación (Cuadro 4) los cuales tuvieron el mismo valor en los subensayos 1 y 2 b) es resultado de un análisis en el que intervino un mayor número de tamaños y formas de parcelas, que en los resultados anteriores, c) su forma óptima corresponde a 2 surcos de 3 m de largo, aproximándose más a la forma rectangular; d) fue confirmado por optimización mediante la aplicación de modelos matemáticos adecuados. Gartner y Cardona (18) encontraron un tamaño óptimo de parcela para frijol de 2 surcos de 4 m, que se asemeja al encontrado en este estudio. El tamaño medio obtenido puede ser usado en cualquier tipo de estudio o investigación en frijol que sea cuantificado a través del rendimiento.

Inversamente a lo que sucede en la forma de la parcela, en cuanto que la óptima es la alargada y estrecha, en el bloque se prefiere la cuadrada o cercana a esta. Si por razones de forma de bloque relacionamos el número de tratamientos con el número de repeticiones, la mejor forma de bloque vendría a ser la de 4 repeticiones de la parcela de 2 surcos por 3 m de largo. Resultados parecidos obtuvieron en frijol Gartner y Cardona (18), salvo que el largo del surco indicado por ellos era de 4 m. La

forma menos aceptable de bloque fue aquella con 3 repeticiones, la que correspondió a la parcela de 1 x 10.

En la determinación del tamaño óptimo de cualquier parcela intervienen dos factores principales: la variabilidad del material experimental y los costos.

En los experimentos de campo la variabilidad del suelo como material experimental es de primera consideración. La mayoría de los investigadores detectan la variabilidad de un suelo por intermedio del análisis de regresión en donde el coeficiente (b) mide, según Nonnecke (44), además, la correlación entre parcelas adyacentes. Si se observan los coeficientes de regresión de los 16 grupos del subensayo 1 (Cuadro 3), se nota que se distribuyen siguiendo una curva parabólica. Esto indica que al aumentar el tamaño de las unidades básicas en una misma área experimental la eficiencia disminuye a medida que aumenta el error, lo cual se induce por la reducción correspondiente del número de repeticiones. Esto muestra que el concepto generalmente propuesto que "a medida que aumenta el tamaño de parcela disminuye la variabilidad", tiene un límite. Esto se demuestra al observar los resultados del subensayo 1 (Cuadro 3) donde el grupo 1 corresponde al tamaño de la unidad primaria más pequeña y esta va en aumento hasta llegar a un máximo tamaño en el grupo 8 (tendencia lineal). El valor del coeficiente en el grupo 1 es de $b_2 = .91$, el cual expresa alta variabilidad y conforme va aumentando el tamaño de la parcela (grupos 2 y 3) el valor del coeficiente va decreciendo, hasta llegar a un valor mínimo en el grupo 4 ($b_2 = .53$). Esto quiere decir que la eficiencia del incremento del tamaño de la parcela para reducir el error llega a su máximo con el tamaño correspondiente al grupo 4; pero a partir

del grupo 5 en adelante hay un nuevo aumento del valor del coeficiente a pesar de seguir incrementándose el tamaño de las parcelas. Esto lo confirma el trabajo de Smith (56) en frijol.

De los resultados del ensayo se deduce que en general en la determinación del tamaño el costo total por parcela no tiene mucha importancia, sino más bien su distribución proporcional en los coeficientes K_1 y K_2 . La mayor proporción de K_1 en relación a K_2 en este estudio coincide con los resultados obtenidos por Weber y Horner (66) en soya, aplicándose también una regresión lineal simple. En cambio Robinson et al (53) en maní, se valieron de una encuesta para determinar los valores de K_1 y K_2 . De estos métodos se prefiere el que usa los coeficientes de la regresión lineal por su mayor exactitud. Se asignaron a K_1 las labores de toma de notas y análisis estadístico debido a que la mayor parte de la bibliografía consultada sigue ese procedimiento. Pero Wiedemann y Leininger (67) en cártamo asignaron a K_2 un 25% de la labor de toma de notas y 5% del análisis estadístico. Sin embargo, aún aplicándose esta modificación a los resultados del presente estudio no se cambiarían de manera significativa la relación entre K_1 y K_2 .

La omisión de los bordes de parcela no debería afectar seriamente los resultados en este estudio, si se toma en cuenta que Monzón et al (41, 42) trabajando con frijol encontraron que no hubo efecto de competencia entre parcelas y por lo tanto no se requieren de borduras en parcelas de un mismo bloque. Así mismo Zuhlke y Gritton (71) en arveja obtuvieron como tamaño óptimo 3.3 m^2 sin bordes y 3.1 m^2 con bordes, lo cual en la práctica representaría poca diferencia. Además las inclusiones de bordes a la parcela incrementarían los costos.

En el ensayo de uniformidad básico de este estudio se introdujo una modificación a la metodología común, con la finalidad de lograr un mejor aprovechamiento de los datos. El ensayo original fue dividido en 3 subensayos "teóricos" y cada uno fue analizado varias veces con diferentes tamaños y formas de parcela. Se hicieron 26 análisis, lo que equivaldría a resultados de 26 diseños experimentales (látices por ejemplo) con el consiguiente incremento de las dificultades y los costos inherentes.

También las modificaciones introducidas a las fórmulas de Hatheway y Williams (22) de los coeficientes de regresión ponderados y su optimización con modelos matemáticos, ayudaron a refinar la metodología para obtener el tamaño óptimo de parcela.

La modificación de la fórmula [4] de Hatheway y Williams (22) consistió en que ésta fue reemplazada por la fórmula general para la solución de ecuaciones lineales mediante el método de cuadrados mínimos [7] y [8], para poder ser aplicada a la computadora con cualquier número de tamaños diferentes de parcela y en cualquier diseño experimental.

Fueron empleados varios métodos para obtener los coeficientes de regresión y su respectivo ajuste por ponderación. Analizando los coeficientes obtenidos en el subensayo 3, el ajuste de $b_1 = 1.52$ a $b_2 = 1.48$ mediante la fórmula de Federer (12) es relativamente pequeño. Un resultado similar con esta misma fórmula obtuvo Stickler (60) en sorgo de grano. De allí se deduce que la fórmula de Federer es muy débil para realizar ajustes en comparación con la de Hatheway y Williams (22). Así al aplicar ésta en el mismo subensayo 3, ajustamos el valor de $b_1 = 1.52$ a $b_2 = .59$. Los ajustes logrados en los subensayos 1 y 2 fueron de menor cuantía porque posiblemente los valores no ponderados se aproximaban al verdadero (b) y además, las variancias se mostraron más uniforme.

6. CONCLUSIONES

1. El tamaño óptimo más recomendable de parcela es de 6 unidades, distribuidas en 2 surcos de 3 m de largo, con un número mínimo de 4 repeticiones. Los otros tamaños considerados como óptimos tendrían aplicabilidad sólo en ciertas circunstancias.
2. El coeficiente de regresión es una buena medida de la variabilidad del terreno, pero los resultados son más confiables cuando se ajustan por medio del coeficiente de regresión ponderado (b_2).
3. El costo de producción es uno de los factores limitantes más importantes. Cabe hacer notar que los coeficientes K_1 y K_2 son bastante variables, mientras no se estandarice las labores y el equipo que deba utilizarse en el cultivo de frijol. Por lo que se recomienda hacer estudios de estas constantes en cada zona para ajustar el tamaño (Fig. 2).
4. El tamaño óptimo de parcela varía en proporción directa del cociente de las constantes de costo y el coeficiente de regresión, presentando la relación de estos factores una tendencia lineal.
5. Los ensayos de uniformidad tal como fueron usados en el presente trabajo son los más recomendables para el estudio de tamaños óptimos de parcela en otros cultivos. Se sugiere confeccionar ensayos de uniformidad cuyas dimensiones permitan obtener el mayor número posible de tamaños y formas de parcela.
6. De los métodos utilizados para calcular el valor del coeficiente de regresión, el más importante es el de Hatheway y Williams (22).

7. En el cálculo del tamaño de la parcela, el método de Hatheway y Williams (22), modificado por la fórmula [8] de matríces, podría recomendarse para cualquier tipo de diseño y cultivo, teniendo menos limitaciones que la fórmula original [4] . Para conseguir una optimización del tamaño de parcelas, es recomendable el uso de modelos matemáticos, considerándose la tendencia parabólica que presentan los coeficientes de regresión.

7. RESUMEN

El presente estudio se hizo con la finalidad de determinar el tamaño, la forma y el número de repeticiones óptimos de la parcela experimental en frijol (Phaseolus vulgaris L.) y modificar la metodología comúnmente usada para tal determinación.

Se utilizó la variedad "Turrialba-4" de grano negro y crecimiento semierecto.

Se usó un ensayo de uniformidad dividido en 3 subensayos "teóricos" obteniéndose así un mayor número de tamaños y formas de parcela. Se analizaron 92 tamaños de parcela que representan el equivalente de 26 diseños experimentales.

La metodología desarrollada fue una combinación de la de Smith (57), con la de Hatheway y Williams (22) ambas modificadas, para determinar el tamaño óptimo de parcela. Una mejor optimización del tamaño de la parcela se consiguió mediante la aplicación de dos modelos matemáticos.

La determinación de la forma óptima de la parcela se hizo por los métodos de: homogeneidad de variancias de Bartlett y la prueba de "F".

Se utilizó el método de Kempthorne (25) para determinar el número mínimo de repeticiones:

Se obtuvieron 3 tamaños de parcela:

- El mínimo, de 4 m de largo y 1 surco de ancho con 5 repeticiones.
- El máximo, de 4 m de largo y 1 surco de ancho, con 3 repeticiones.
- El medio, de 2 surcos de 3 m de largo con un mínimo de 4 repeticiones.

Es este el que se recomienda más para ser usado en la investigación en frijol.

SUMMARY

This study aimed at determining the optimum size, shape, and number of replications of the experimental field plot in common dry beans (Phaseolus vulgaris L.), and also at modifying the procedure usually applied to arrive at such determination.

A black-seeded semi-bush bean variety "Turrialba-4" was used. A soil homogeneity test was set up and divided into 3 theoretical sub-tests, yielding a wider range of plot sizes and shapes. Thus, were analyzed 92 shapes, which represented the equivalent of 26 separate experimental designs.

The procedure followed to determine plot size consisted in combining the one developed by Smith (57) with another developed by Hatheway and Williams (22). The optimization of the plot size was obtained through the application of two mathematical models. The optimum plot shape was determined by applying Bartlett's test for homogeneity of variances and the F test.

The optimum number of replications was determined through the procedure developed by Kempthorne (25).

Alternatively 3 optimum plot sizes were found:

- a. The smallest: 4 m long and 1 row wide, with 5 replications.
- b. The largest: 10 m long and 1 row wide, with 3 replications.
- c. The medium: 3 m long and 2 row wide, with 4 replications.

This medium plot size is recommended for field trials in beans.

8. LITERATURA CITADA

1. ABRAHAM, R. P. Investigations on field experimental techniques with rice crop II. Sampling in field experiments for stimation of plant characters and incidence of pests and diseases. Indian Jour. Agric. Sci. 36(4):180-192. 1966.
2. _____ y VACHANI, M. V. Investigations on field experimental techniques with rice crop I. Size and shape of plots and blocks in field experiments with transplanted rice crop. Indian Jour. Agric. Sci. 34(3):152-165. 1964.
3. BOSE, R. D. Some soil heterogeneity trials at Pusa and size and the shape of experimental plots. Indian Jour. Agric. Sci. 5(5):579-608. 1935.
4. _____, S. S., KHANA, K. L. y MAHALANOBIS, P. C. Statistical notes agricultural works, not on the optimum shape and size of plots for sugar cane experiments in Bihar. Indian Jour. Agric. Sci. 9(6):807-816. 1939.
5. BRIM, C. A. y MASON, D. D. Estimates of optimum plot size for soybean yield trials. Agron. Jour. 51(6):331-334. 1959.
6. BRYAN, A. A. Factors affecting experimental error in field plot tests with corn. Iowa Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 163, 241-280. 1933.
7. CALERO, H. E. Estudio del tamaño y forma de la parcela experimental para ensayos del campo en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 1965. 36 p.
8. CHRISTIDIS, E. C. Variability of plots of various shapes as affected by plot orientation. Empire Jour. Exp. Agric. 7(28): 330-342. 1939.
9. COCHRAN, W. G. y COX, G. M. Diseños experimentales. Trad. del inglés. México, D. F., Centro Regional de Ayuda Técnica 1965. 661 p.
10. CREWS, J. W., JONES, G. L. y MASON, D. D. Field plot technique studies with fluecured tobacco. I. Optimum plot size and shape. Agron. Jour. 55(2):197-199. 1963.
11. DAY, J. W. The relation of shape, size and number of replications of plots to probable error in field experimentation. Agron. Jour. 12(3):100-105. 1920.

12. FEDERER, W. T. Experimental design. New York, MacMillan. 1963. p. 59-85.
13. FERGUSON, J. H. A. Random variability in horticultural experiments. *Euphytica* 11(3):213-220. 1962.
14. FLEMING, A. A., ROGERS, R. H. y BANCROFT, T. A. Field plot technique with hybrid corn under Alabama conditions. *Agron. Jour.* 49(1):1-4. 1957.
15. FREEMAN, G. H. The combined effect of environmental and plant variation. *Biometrics* 19(2):273-277. 1963.
16. FREY, K. J. y BATEN, W. D. Optimum plot size for oat yield tests. *Agron. Jour.* 45(10):502-504. 1953.
17. FU-SIAO. Uniformity trials with cotton. *Agron. Jour.* 27(12):974-979. 1935.
18. GARTNER, A. y CARDONA, C. Tamaño de parcela y número de repeticiones para experimentación en frijol. *Agric. Trop. (Colombia)* 16(9):572-574. 1960.
19. HALLAUER, A. R. Estimation of soil variability and convenient plot size from corn trials. *Agron. Jour.* 56(5):493-499. 1964.
20. HARTWIG, E. E., JOHNSON, H. W. y CARR, R. B. Border effects in soybean test plots. *Agron. Jour.* 43(9):443-445. 1951.
21. HATHEWAY, W. H. Convenient plot size. *Agron. Jour.* 53(4):279-280. 1961.
22. _____ y WILLIAMS, E. J. Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of the crop yields. *Biometrics* 14(2):207-222. 1958.
23. IMMER, F. R. y RALEIGH, S. M. Further studies of size and shape of plot in relation to field experiments with sugar beets. *Jour. Agric. Res.* 47:591-598. 1933.
24. KELLER, K. R. Uniformity trials on hops (*Humulus lupulus* L.) *Agron. Jour.* 41(8):389-392. 1949.
25. KEMPTHORNE, O. The design and analysis of experiments. New York, John Wiley. 1952. p. 212-215.
26. KIESSELBACH, T. A. Plot competition as a source of error in crop tests. *Agron. Jour.* 11(1):242-247. 1919.

27. KOCH, E. J. y RIGNEY, J. A. A method of estimating optimum plot size from experimental data. *Agron. Jour.* 43(1):17-21. 1951.
28. KUEHL, R. O. y KITTOCK, D. L. Estimate of optimum plot size for cotton yield trials. *Agron. Jour.* 61(4):584-586. 1969.
29. LANA, E. P., HOMEYER, P. G. y HABER, E. S. Field plot technique in vegetable crops. *Proc. Ame. Soc. Hort. Sci.* 62: 21-30. 1953.
30. LECLERG, E. L., LEONARD, W. H. y CLARK, A. G. Field plot technique. Minnesota, Burgess, 1962. 373.
31. LOESSEL, C. M. Size of plot and the number of replications necessary for varietal trials with white pea beans. *Agron. Jour.* 28(7):534-547. 1936.
32. McCLELLAND, C. K. Some determinations of plot variability. *Agron. Jour.* 18(9):819-823. 1926.
33. MacDONALD, D., FIELDING, W. L. y RUSTON, D. F. Experimental methods with cotton. *Jour. Agric. Sci.* 29(1):35-47. 1939.
34. McFERRAN, J. Plot technique studies with spinach. Ph.D. Thesis Itaca, New York, Cornell University, 1955. 65 p. (mecanografiado). (Original no consultado; compendiado en *Dissertation Abstracts* 16(2):194. 1956.
35. McKENZIE, H. et al. A comparison of three plot sizes in studies of host resistance to the wheat stem sawfly. *Canadian Jour. Plant Sci.* 44(5):485. 1964.
36. MILLER, J. D. y KOCH, E. J. A plot technique study with bird-foot trefoil. *Agron. Jour.* 54(2):95-97. 1962.
37. MIRANDA, H. Tamaño de parcela y número de repeticiones en ensayos de frijol. In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 8^a Bogotá, 1970. Resúmenes. Bogotá, Colombia, s. e. 1970. p. 170.
38. MONZON, P. D., ORTEGA, E. y GARCIA, A. Ensayo de uniformidad. II. Frijol. In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 8^a Bogotá, 1970. Resúmenes. Bogotá, Colombia. s. e. 1970. p. 170.
39. ————. Ensayo de uniformidad I. Soya. In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 1970 (Resúmenes). Bogotá, Colombia. s. e. 1970. p. 170.

40. MONZON, P. D. y PEREZ, N. Dos ensayos para determinar tamaño de unidad experimental para experimentos de caraotas (*Phaseolus vulgaris* L.) In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia 8ª Bogotá, 1970 (Resúmenes). Bogotá, Colombia. s.c. 1970. p. 171
41. _____, PACHECO, J. J. y MARTINEZ, R. O. Efecto de competencia y bordura en ensayos de variedades, III. Frijoles. In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 8ª Bogotá 1970 (Resúmenes). Bogotá, Colombia s.c. 1970. p. 171.
42. _____. Efecto de competencia y bordura en ensayos de variedades II, caraotas (*Phaseolus vulgaris*). In Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 8ª Bogotá 1970 (Resúmenes). Bogotá Colombia. s.c. 1970. p. 171.
43. MOORE, J. F. y DARROCH, J. G. Field plot technique, with blue lake pole beans, bush beans, carrots, sweet corn, spring and fall cauliflower. Washington Agric. Exp. Sta., Tech. Bull. no. 21. 1956. 30 p.
44. NONNECKE, I. L. The precision of field experiments with vegetable crops as influenced by plot and block size and shape, I. sweet corn. Canadian Jour. Plant Sci. 39(4):443-457. 1959.
45. _____. The precision of field experiments with vegetable crops as influenced by plot and block size and shape, II, Canning peas. Canadian Jour. Plant Sci. 40(2):396-404. 1960.
46. _____ y SMILLIE, K. W. Precisión of field experiments with vegetable crops as influenced by plot size and shape. III, Potatoes. Canadian Jour. Plant Sci. 44(1):57-65. 1964.
47. ODLAND, T. E. y GARBER, R. J. Size of plot of number of replications in field experiments with soybeans. Agron. Jour. 20(2):93-108. 1928.
48. PAN, C. L. Uniformity trial with rice. Agron. Jour. 27(4): 279-285. 1935.
49. PANSE, V. G. y SUKHATME, P. V. Métodos estadísticos para investigaciones agrícolas. Trad. al español por Ana María Flores y María Guadalupe Lomeli. México D. F. Fondo de Cultura Económica, 1959. p. 137-150.
50. PINCHINAT, A. M. Cultivo de frijol en Centroamérica. Hacienda 63(2):38-42. 1968.

51. RAMPTON, H. H. y PETERSEN, R. G. Relative efficiency of plot sizes and numbers of replications as indicated by yields of orchardgrass seed, in a uniformity test. *Agron. Jour.* 54(3): 247-249. 1962.
52. REYNOLDS, E. E., KILLOUGH, D. T. Y VANTINE, J. T. Size, shape and replications of plots for field experiments with cotton. *Agron. Jour.* 26(9):725-734. 1934.
53. ROBINSON, H. F., RIGNEY, J. A. y HARVEY, P. H. Investigations in plot technique with peanuts. *Agric. Exp. Sta., Tec. Bull.* 86. 1948. 19 p.
54. SEIF, R. D. Optimum field plot size and shape for lima beans yield. Ph. D. Thesis Ithaca, New York, Cornell University, 1957 61 p. (Original no consultado, compendiado en *Dissertation Abstracts* 17(9):1850-1851. 1957).
55. SHEAR, G. M. y MILLER, L. I. Influence of plant spacing of Jumbo Runner peanut on fruit development, yield, and border effect. *Agron. Jour.* 52(3):125-127. 1960.
56. SMITH, F. L. Effects of plot size, plot shape and number of replications on the efficiency of bean yield trials. *Hilgardia* 28(2):43-63. 1958.
57. SMITH, H. F. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Jour. Agric. Sci.* 28(1):1-23. 1938.
58. SOTO MARTINEZ, C. A. Determinación del tamaño óptimo de parcelas útil experimental para el ajonjolí en Iguala, Gro. *Agric. Tec. en México* 2(5):207-209. 1965.
59. STEEL, R. G. D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York. MacGraw-Hill, 1960. p. 347-349.
60. STICKLER, F. C. Estimates of optimum plot size from grain sorghum uniformity trial data. *Kansas Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* 109. 1960. 21 p.
61. THOMAS, H. L. y ABOU-EL-FITTOUH, H. A. Optimum plot size and number of replications for estimating forage yield and moisture percentage. *Agron. Jour.* 60(5):549-550. 1968.
62. THOMPSON, R. C. Size, shape and orientation of plots and number of replications required in sweet potato field plot experiments. *Jour. Agric. Res.* 48(5):379-400. 1934.

63. VAGHOLKAR, B. P., APTE, V. N. y SUBRAMONIA, I. S. A study on plot size and shape technique for field experiments of sugar cane. *Indian Jour. of Agric. Sci.* 10(3):388-403. 1940.
64. WALLACE, A. T. y CHAPMAN, W. H. Studies in plot technique for oat clipping experiments. *Agron. Jour.* 48(1):32-35. 1956.
65. WASSOM, C. E. y KALTON, R. R. Estimations of optimum plot size using data from bromegrass, uniformity trials. *Iowa Agric. Exp. Sta. Res. Bull.* 396:296-320. 1953.
66. WEBER, C. R. y HORNER, T. W. Estimates of cost and optimum plot size and shape for measuring yield and chemical characters in soybeans. *Agron. Jour.* 49(8):444-449. 1957.
67. WIEDEMANN, A. M. y LEININGER, L. N. Estimations of optimum plot size and shape for sawflower yield trials. *Agron. Jour.* 55(3):222-225. 1963.
68. ZUBER, M. S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. *Agron. Jour.* 34(1):30-47. 1942.
69. ZUHLKE, T. A. y GRITTON, E. T. Relative precision of different experimental designs and number of replications in pea yield trials. *Agron. Jour.* 63(1):61-64. 1970.
70. _____. Optimum plot size and shape estimates for pea yield trials. *Agron. Jour.* 61(6):905-908. 1969.

A P E N D I C E

CUADRO 1-A Rendimiento en gramos de frijol cosechado en 1668 unidades básicas.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
1	227	27	115	53	133	79	328	105	170	131	175
2	125	28	187	54	095	80	110	106	126	132	078
3	079	29	179	55	089	81	152	107	123	133	054
4	153	30	100	56	173	82	163	108	135	134	140
5	205	31	162	57	203	83	140	109	132	135	087
6	126	32	173	58	145	84	154	110	112	136	092
7	157	33	137	59	099	85	154	111	132	137	183
8	150	34	154	60	179	86	129	112	128	138	242
9	110	35	149	61	147	87	161	113	086	139	121
10	161	36	161	62	109	88	154	114	073	140	163
11	149	37	122	63	145	89	132	115	100	141	109
12	087	38	100	64	178	90	106	116	104	142	129
13	158	39	114	65	110	91	149	117	149	143	083
14	141	40	122	66	109	92	130	118	119	144	053
15	101	41	149	67	074	93	213	119	086	145	171
16	058	42	157	68	123	94	149	120	205	146	214
17	126	43	101	69	113	95	198	121	152	147	150
18	081	44	135	70	175	96	133	122	150	148	210
19	073	45	112	71	132	97	169	123	173	149	150
20	127	46	166	72	135	98	118	124	071	150	138
21	096	47	108	73	110	99	095	125	138	151	157
22	144	48	154	74	030	100	145	126	175	152	069
23	095	49	131	75	139	101	134	127	134	153	192
24	133	50	137	76	124	102	112	128	173	154	115
25	179	51	109	77	180	103	154	129	126	155	141
26	105	52	190	78	145	104	143	130	173	156	156

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1- A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
157	195	183	190	209	107	235	172	261	126	287	169
158	154	184	238	210	056	236	145	262	116	288	117
159	208	185	195	211	102	237	134	263	121	289	144
160	101	186	118	212	112	238	168	264	135	290	202
161	104	187	116	213	083	239	105	265	162	291	192
162	103	188	190	214	112	240	115	266	106	292	187
163	307	189	129	215	123	241	038	267	160	293	086
164	210	190	086	216	069	242	093	268	137	294	165
165	043	191	179	217	126	243	066	269	103	295	158
166	157	192	113	218	215	244	145	270	153	296	143
167	126	193	132	219	034	245	124	271	122	297	147
168	161	194	122	220	089	246	200	272	152	298	074
169	161	195	161	221	138	247	108	273	148	299	102
170	170	196	157	222	037	248	111	274	153	300	051
171	169	197	076	223	146	249	156	275	169	301	089
172	127	198	084	224	139	250	179	276	164	302	126
173	118	199	058	225	099	251	226	277	042	303	171
174	206	200	074	226	179	252	158	278	121	304	116
175	158	201	127	227	143	253	118	279	078	305	130
176	149	202	139	228	113	254	208	280	145	306	118
177	193	203	153	229	093	255	249	281	118	307	075
178	135	204	109	230	146	256	184	282	111	308	090
179	092	205	158	231	132	257	158	283	117	309	139
180	066	206	102	232	200	258	185	284	085	310	126
181	167	207	215	233	145	259	159	285	074	311	126
182	071	208	103	234	279	260	091	286	192	312	122

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1 - A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
313	085	338	124	363	141	388	118	413	071	438	133
314	146	339	148	364	161	389	059	414	152	439	082
315	150	340	093	365	099	390	140	415	173	440	124
316	132	341	119	366	118	391	135	416	127	441	158
317	127	342	150	367	116	392	150	417	123	442	114
318	131	343	090	368	166	393	107	418	129	443	163
319	141	344	128	369	076	394	108	419	103	444	171
320	068	345	141	370	124	395	103	420	131	445	152
321	115	346	119	371	101	396	103	421	136	446	113
322	128	347	134	372	151	397	170	422	113	447	128
323	120	348	142	373	054	398	088	423	108	448	087
324	147	349	133	374	091	399	121	424	134	449	161
325	155	350	152	375	101	400	109	425	138	450	126
326	139	351	141	376	077	401	120	426	129	451	088
327	140	352	169	377	127	402	136	427	067	452	091
328	044	353	163	378	156	403	113	428	118	453	204
329	152	354	138	379	089	404	124	429	118	454	137
330	120	355	190	380	138	405	074	430	101	455	129
331	126	356	122	381	088	406	155	431	128	456	114
332	146	357	333	382	124	407	123	432	133	457	128
333	144	358	093	383	197	408	144	433	140	458	124
334	258	359	091	384	142	409	138	434	092	459	175
335	089	360	138	385	130	410	160	435	133	460	056
336	153	361	138	386	057	411	129	436	136	461	156
337	113	362	135	387	126	412	163	437	084	462	239

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1- A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
463	124	488	101	513	122	538	100	563	223	588	054
464	129	489	117	514	085	539	127	564	167	589	094
465	150	490	101	515	084	540	060	565	158	590	101
466	170	491	131	516	068	541	099	566	136	591	115
467	068	492	120	517	124	542	138	567	207	592	112
468	092	493	186	518	087	543	154	568	169	593	163
469	194	494	110	519	122	544	123	569	133	594	143
470	095	495	072	520	135	545	160	570	147	595	129
471	080	496	106	521	100	546	132	571	154	596	150
472	085	497	182	522	170	547	163	572	157	597	147
473	150	498	064	523	147	548	144	573	141	598	161
474	173	499	090	524	137	549	160	574	120	599	206
475	201	500	131	525	143	550	114	575	147	600	175
476	133	501	102	526	203	551	125	576	080	601	185
477	088	502	144	527	095	552	172	577	070	602	162
478	118	503	146	528	081	553	149	578	059	603	188
479	125	504	132	529	105	554	137	579	060	604	163
480	179	505	074	530	120	555	151	580	081	605	106
481	144	506	098	531	107	556	122	581	131	606	157
482	147	507	104	532	145	557	121	582	123	607	114
483	143	508	080	533	140	558	148	583	149	608	151
484	103	509	123	534	107	559	056	584	167	609	143
485	099	510	099	535	095	560	114	585	165	610	145
486	150	511	143	536	125	561	149	586	133	611	137
487	161	512	119	537	115	562	140	587	125	612	190

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1- A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
613	138	638	140	663	114	688	116	713	134	738	150
614	138	639	205	664	160	689	099	714	134	739	137
615	179	640	172	665	145	690	034	715	143	740	185
616	147	641	175	666	078	691	092	716	121	741	158
617	134	642	167	667	117	692	080	717	188	742	130
618	154	663	146	668	119	693	083	718	141	743	148
619	158	644	130	669	142	694	121	719	051	744	133
620	156	645	161	670	094	695	152	720	156	745	106
621	152	646	162	671	141	696	138	721	128	746	163
622	159	647	170	672	198	697	085	722	184	747	133
623	196	648	188	673	170	698	098	723	154	748	126
624	164	649	165	674	148	699	148	724	135	749	143
625	183	650	141	675	144	700	165	725	141	750	099
626	192	651	128	676	191	701	149	726	153	751	137
627	167	652	160	677	202	702	123	727	103	752	211
628	134	653	142	678	161	703	139	728	138	753	146
629	130	654	148	679	122	704	149	729	099	754	205
630	153	655	107	680	108	705	115	730	116	755	122
631	178	656	178	681	143	706	114	731	152	756	145
632	174	657	133	682	143	707	113	732	135	757	116
633	178	658	139	683	098	708	114	733	105	758	129
634	196	659	161	684	084	709	156	734	165	759	111
635	161	660	150	685	095	710	145	735	159	760	101
636	174	661	144	686	086	711	131	736	159	761	074
637	159	662	148	687	022	712	166	737	146	762	102

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1-A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
763	113	788	147	813	119	838	118	863	106	888	128
764	087	789	134	814	131	839	165	864	134	889	152
765	102	790	141	815	167	840	166	865	149	890	090
766	106	791	220	816	180	841	123	866	107	891	144
767	104	792	128	817	104	842	103	867	134	892	103
768	104	793	141	818	226	843	128	868	141	893	147
769	103	794	117	819	155	844	109	869	108	894	123
770	120	795	152	820	118	845	139	870	112	895	136
771	116	796	132	821	172	846	155	871	131	896	117
772	128	797	146	822	164	847	110	872	106	897	116
773	176	798	087	823	173	848	144	873	094	898	104
774	148	799	157	824	151	849	180	874	120	899	124
775	099	800	122	825	145	850	144	875	126	900	113
776	139	801	145	826	155	851	104	876	140	901	130
777	154	802	132	827	084	852	162	877	135	902	11
778	067	803	106	828	158	853	168	878	140	903	107
779	113	804	157	829	137	854	203	879	149	904	121
780	141	805	107	830	111	855	177	880	152	905	155
781	121	806	088	831	158	856	137	881	134	906	159
782	137	807	166	832	106	857	152	882	131	907	170
783	138	808	137	833	116	858	182	883	108	908	093
784	139	809	124	834	146	859	094	884	115	909	117
785	137	810	155	835	122	860	077	885	126	910	172
786	192	810	109	836	110	861	104	886	183	911	156
787	178	812	155	837	166	862	064	887	099	912	146

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1 -A. Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
913	119	938	110	963	107	988	171	1013	165	1038	136
914	242	939	111	964	159	989	153	1014	136	1039	147
915	216	940	153	965	192	990	166	1015	143	1040	113
916	159	941	148	967	134	991	187	1016	145	1041	153
917	144	942	137	967	145	992	158	1017	136	1042	150
918	098	943	166	968	123	993	151	1018	142	1043	180
919	149	944	147	969	123	994	177	1019	143	1044	160
920	134	945	155	970	170	995	132	1020	153	1045	190
921	134	946	165	971	183	996	148	1021	186	1046	090
922	107	947	143	972	163	997	138	1022	126	1047	157
923	120	948	192	973	164	998	148	1023	149	1048	172
924	143	949	154	974	168	999	161	1024	129	1049	161
925	124	950	193	975	152	1000	129	1025	136	1050	174
926	149	951	197	976	136	1001	151	1026	090	1051	168
927	187	952	139	977	158	1002	180	1027	069	1052	151
928	129	953	175	978	131	1003	160	1028	066	1053	125
929	139	954	137	979	154	1004	188	1029	104	1054	153
930	135	955	136	980	130	1005	162	1030	089	1055	187
931	161	956	159	981	182	1006	121	1031	114	1056	154
932	137	957	141	982	163	1007	155	1032	130	1057	160
933	182	958	140	983	152	1008	127	1033	145	1058	147
934	104	959	154	984	175	1009	133	1034	154	1059	074
935	106	960	147	985	176	1010	122	1035	142	1060	141
936	116	961	112	986	161	1011	116	1036	125	1061	172
937	128	962	135	987	170	1012	104	1037	161	1062	132

U* = unidad

P** = peso

CUADRO 1 -A Continuación

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
1063	141	1088	170	1113	172	1138	104	1163	110	1188	111
1064	162	1089	172	1114	152	1139	067	1164	086	1189	160
1065	161	1090	189	1115	198	1140	100	1165	066	1190	125
1066	155	1091	182	1116	101	1141	067	1166	138	1191	154
1067	112	1092	227	1117	098	1142	123	1167	147	1192	157
1068	121	1093	162	1118	090	1143	121	1168	115	1193	145
1069	190	1094	132	1119	150	1144	120	1169	147	1194	137
1070	117	1095	149	1120	105	1145	157	1170	099	1195	197
1071	177	1096	216	1121	161	1146	094	1171	090	1196	189
1072	148	1097	137	1122	166	1147	096	1172	082	1197	142
1073	178	1098	189	1123	120	1148	105	1173	126	1198	178
1074	207	1099	180	1124	153	1149	085	1174	095	1199	128
1075	170	1100	134	1125	123	1150	097	1175	131	1200	160
1076	179	1101	150	1126	158	1151	110	1176	208	1201	157
1077	185	1102	114	1127	135	1152	118	1177	182	1202	129
1078	189	1103	122	1128	150	1153	144	1178	124	1203	145
1079	150	1104	132	1129	171	1154	136	1179	147	1204	154
1080	158	1105	178	1130	109	1155	131	1180	142	1205	138
1081	160	1106	170	1131	153	1156	090	1181	154	1206	102
1082	170	1107	194	1132	124	1157	095	1182	102	1207	106
1083	163	1108	157	1133	158	1158	076	1183	130	1208	135
1084	151	1109	191	1134	144	1159	101	1184	072	1219	122
1085	164	1110	133	1135	139	1160	118	1185	089	1210	125
1086	208	1111	190	1136	107	1161	104	1186	128	1211	143
1087	176	1112	195	1137	107	1162	099	1187	140	1212	166

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1- A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
1213	172	1239	166	1265	103	1291	131	1317	181	1343	164
1214	156	1240	172	1266	118	1292	109	1318	178	1344	159
1215	160	1241	197	1267	117	1293	124	1319	139	1345	170
1216	230	1242	160	1268	128	1294	127	1320	198	1346	209
1217	182	1243	166	1269	146	1295	113	1321	182	1347	143
1218	148	1244	132	1270	157	1296	131	1322	119	1348	172
1219	130	1245	156	1271	194	1297	119	1323	147	1349	144
1220	158	1246	154	1272	156	1298	111	1324	146	1350	125
1221	182	1247	184	1273	205	1299	119	1325	119	1351	162
1222	173	1248	157	1274	152	1300	206	1326	178	1352	185
1223	129	1249	183	1275	126	1301	185	1327	189	1353	168
1224	152	1250	141	1276	171	1302	153	1328	136	1354	148
1225	150	1251	192	1277	175	1303	147	1329	114	1355	170
1226	186	1252	172	1278	124	1304	144	1330	135	1356	207
1227	153	1253	104	1279	155	1305	151	1331	159	1357	112
1228	140	1254	125	1280	146	1306	175	1332	161	1358	189
1229	177	1255	142	1281	147	1307	137	1333	185	1359	144
1230	172	1256	130	1282	133	1308	149	1334	152	1360	124
1231	166	1257	140	1283	111	1309	095	1335	102	1361	147
1232	171	1258	211	1284	170	1310	166	1336	157	1362	140
1233	155	1259	154	1285	160	1311	150	1337	117	1363	141
1234	184	1260	161	1286	118	1312	190	1338	135	1364	142
1235	145	1261	152	1287	122	1313	167	1339	147	1365	155
1236	188	1262	144	1288	113	1314	175	1340	163	1366	182
1237	199	1263	215	1289	144	1315	171	1341	203	1367	115
1238	176	1264	130	1290	175	1316	158	1342	152	1368	168

U* = Unidad

P** = Peso

CUADRO 1- A Continuación.

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
1369	153	1395	126	1421	140	1447	125	1473	097	1499	172
1370	173	1396	122	1422	125	1448	106	1474	092	1500	133
1371	178	1397	122	1423	136	1449	091	1475	065	1501	119
1372	164	1398	085	1424	214	1450	067	1476	107	1502	114
1373	168	1399	135	1425	142	1451	096	1477	097	1503	142
1374	163	1400	109	1426	070	1452	076	1478	093	1504	151
1375	149	1401	140	1427	115	1453	101	1479	074	1505	180
1376	163	1402	137	1428	120	1454	063	1480	078	1506	142
1377	161	1403	134	1429	136	1455	118	1481	065	1507	182
1378	143	1404	076	1430	144	1456	085	1482	071	1508	117
1379	162	1405	114	1431	148	1457	094	1483	093	1509	170
1380	159	1406	123	1432	109	1458	136	1484	148	1510	109
1381	141	1407	080	1433	088	1459	104	1485	181	1511	117
1382	125	1408	100	1434	104	1460	109	1486	066	1512	113
1383	195	1409	132	1435	110	1461	091	1487	160	1513	127
1384	166	1410	095	1436	135	1462	141	1488	073	1514	065
1385	136	1411	116	1437	091	1463	122	1489	127	1515	100
1386	165	1412	133	1438	148	1464	110	1490	070	1516	117
1387	150	1413	102	1439	132	1465	157	1491	086	1517	108
1388	156	1414	068	1440	133	1466	118	1492	077	1518	140
1389	112	1415	085	1441	138	1467	124	1493	118	1519	107
1391	153	1416	140	1442	137	1468	086	1494	093	1520	145
1391	090	1417	112	1443	121	1469	109	1495	120	1521	150
1392	146	1418	133	1444	127	1470	094	1496	139	1522	130
1393	130	1419	176	1445	119	1471	131	1497	105	1523	153
1394	102	1420	114	1446	112	1472	108	1498	146	1524	106

U* =Unidad

P**= Peso

CUADRO 1-A Continuación

U*	P**	U	P	U	P	U	P	U	P	U	P
1525	114	1551	137	1577	088	1603	126	1629	043	1655	139
1526	168	1552	091	1578	127	1604	114	1630	182	1656	012
1527	172	1553	094	1579	124	1605	135	1631	143	1657	124
1528	131	1554	125	1580	098	1606	165	1632	083	1658	097
1529	129	1555	129	1581	137	1607	147	1633	132	1659	160
1530	134	1556	113	1582	150	1608	129	1634	162	1660	149
1531	156	1557	107	1583	163	1609	170	1635	137	1661	132
1532	137	1558	130	1584	170	1610	194	1634	149	1662	086
1533	127	1559	110	1585	167	1611	142	1637	097	1663	106
1534	131	1560	087	1586	119	1612	149	1638	115	1664	170
1535	149	1561	152	1587	176	1613	187	1639	117	1665	114
1536	149	1562	162	1588	105	1614	143	1640	134	1666	156
1537	179	1563	119	1589	133	1615	162	1641	125	1667	146
1538	166	1564	089	1590	162	1616	153	1642	103	1668	160
1539	202	1565	135	1591	112	1617	099	1643	111		
1540	172	1566	139	1592	132	1618	132	1644	166		
1541	138	1567	161	1593	086	1619	187	1645	065		
1542	118	1568	102	1594	100	1620	148	1646	094		
1543	188	1569	160	1595	121	1621	124	1647	092		
1544	162	1570	128	1596	110	1622	152	1648	076		
1545	131	1571	113	1597	092	1623	129	1649	105		
1546	130	1572	107	1598	102	1624	145	1650	090		
1547	135	1573	125	1599	085	1625	129	1651	100		
1548	136	1574	150	1600	087	1626	112	1652	081		
1549	122	1575	126	1601	092	1627	118	1653	079		
1550	102	1576	118	1602	153	1628	162	1654	121		

CUADRO 2 A Variancias entre parcelas (V_i') de parcelas de diferentes tamaños, formas y números de repeticiones en el Sub-ensayo 1.

Tamaño en unidades básicas	Forma Nº de surcos x largo en m.	Nº de repeticiones	V_i'
1	1 x 1	1080	1121.51
2	1 x 2	540	1463.40
2	2 x 1	540	1108.96
3	1 x 3	360	1736.84
4	2 x 2	270	1493.72
4	4 x 1	270	1245.26
5	5 x 1	216	1282.72
6	2 x 3	118	1680.50
6	1 x 6	180	2689.69
8	4 x 2	140	1747.72
9	1 x 9	120	3324.38
10	10 x 1	108	1464.50
10	5 x 2	108	1803.70
12	2 x 6	90	2653.75
12	4 x 3	90	1903.34
15	5 x 3	72	2008.41
18	1 x 18	60	4308.81
18	2 x 9	60	3047.20
20	10 x 2	54	2038.04
20	20 x 1	54	1670.75
24	4 x 6	45	3051.07
27	1 x 27	40	5357.13
30	10 x 3	36	2344.83
30	5 x 6	36	3259.14

CUADRO 2 - A Continuación.

Tamaño en unidades básicas	Forma Nº de surcos x largo en m.	Nº de repeticiones	V'_i
36	2 x 18	30	3691.72
36	4 x 9	30	3345.41
40	20 x 2	27	2383.12
45	5 x 9	24	3545.04
54	2 x 27	20	4860.37
54	1 x 54	20	7961.05
60	10 x 6	18	3845.88
60	20 x 3	18	2858.82
72	4 x 18	15	2796.71
90	5 x 18	12	3353.00
90	10 x 9	12	3487.09
108	4 x 27	10	3277.11
108	2 x 54	10	5760.44
120	20 x 6	9	4843.38
135	5 x 27	8	4561.43
180	10 x 18	6	2753.80
180	20 x 9	6	5730.40
216	4 x 57	5	3737.50
270	5 x 54	4	4332.33
270	10 x 27	4	4373.00
360	20 x 18	3	6108.50
540	20 x 27	2	12019.00
540	10 x 54	2	1086.00
1080	20 x 54	1	---

CU.DRO 3 - 4. Componentes de variancia para obtener la variancia dentro de parcelas (V_i) en el sub-ensayo 1

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
*F.V. tamaño (unidades)	V_i	*F.V. tamaño (unidades)	V_i	*F.V. tamaño (unidades)	V_i	*F.V. tamaño (unidades)	V_i
20	1670.75	40	2383.12	60	2858.82	120	4843.38
10/20	1262.06	20/40	1705.74	30/60	1859.39	60/120	2959.22
5/10	1108.60	10/20	1573.70	15/30	1681.33	30/60	2705.00
1/5	1080.64	2/10	1379.12	3/15	1669.89	6/30	2551.28
		1/2	780.24	1/3	814.70	1/6	809.61

Grupo 5		Grupo 6		Grupo 7		Grupo 8	
*F.V. tamaño (unidades)	V_i	*F.V. tamaño (unidades)	V_i	*F.V. tamaño (unidades)	V_i	*F.V. tamaño (unidades)	V_i
180	5730.40	360	6108.50	540	12019.00	540/1080	1086.00
90/180	1617.67	180/360	517.33	270/540	550.00	270/540	5955.50
45/90	3598.17	90/180	3852.33	135/270	4702.00	54/270	8641.44
9/45	3271.51	18/90	4527.85	27/135	5531.19	1/54	998.91
1/9	848.44	1/18	937.14	1/27	962.67		

* F.V. = Fuente de variación.

CU.DRO 3 - A Continuación.

Grupo 9		Grupo 10		Grupo 11		Grupo 12	
F.V.	V _i	F.V.	V _i	F.V.	V _i	F.V.	V _i
20	1670.75	40	2383.12	60	2858.82	120	4843.38
4/20	1140.85	8/40	1594.75	12/60	1677.74	24/120	2652.78
2/4	973.17	4/8	241.61	6/12	1460.14	12/24	2265.27
1/2	1134.03	1/2	7080.24	1/3	814.70	1/6	800.61

Grupo 13		Grupo 14		Grupo 15		Grupo 16	
F.V.	V _i	F.V.	V _i	F.V.	V _i	F.V.	V _i
180	5730.40	360	1,108.50	540	12019.00	216/1080	3737.50
36/180	2848.54	72/360	244.75	108/540	2184.38	108/216	7378.80
18/36	2758.93	36/72	527.07	54/108	6285.30	54/108	9941.60
9/18	3596.93	18/36	905.33	27/54	5829.05	1/54	998.91
1/9	848.44	1/8	937.14	1/27	962.67		

CUADRO 4 - A Variancias entre parcelas (V_i^1), de parcelas de diferentes tamaños, formas y números de repeticiones en el Sub-ensayo 2.

Tamaño en unidades básicas	Forma Nº surcos x largo m.	Nº de repeticiones	V_i^1
1	1 x 1	1100	1127.64
2	2 x 1	550	1119.22
4	4 x 1	275	1255.29
5	1 x 5	220	2432.12
5	5 x 1	220	1281.55
10	2 x 5	110	2446.62
10	10 x 1	110	1446.39
11	1 x 11	100	3547.00
20	4 x 5	55	2792.21
20	20 x 1	55	1654.52
22	2 x 11	50	3440.35
25	5 x 5	44	2968.00
44	4 x 11	25	3208.42
50	10 x 5	22	3428.67
55	1 x 55	20	8370.32
55	5 x 11	20	3767.89
100	20 x 5	11	3785.90
110	2 x 55	10	6170.89
110	10 x 11	10	2650.56
220	4 x 55	5	4259.75
220	20 x 11	5	3656.75
275	5 x 55	4	4579.00
550	10 x 55	2	1181.00
1100	20 x 55	1	---

CUADRO 5 - A Componentes de variancia para obtener la variancia dentro de parcelas (V_i) en el sub-ensayo 2.

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
F.V.	V_i	F.V.	V_i	F.V.	V_i	F.V.	V_i
20	1654.52	100	3785.90	220	3656.75	550/1100	1181.00
10/20	1242.05	50/100	3103.91	110/220	1845.60	275/550	6278.00
5/10	1118.21	25/50	2528.27	55/110	4773.50	55/275	9081.19
1/5	1089.34	5/25	2301.19	11/55	3494.54	1/55	1000.22
		1/5	803.00	1/11	888.13		

Grupo 4		Grupo 6		Grupo 7		Grupo 8	
F.V.	V_i	F.V.	V_i	F.V.	V_i	F.V.	V_i
20	1654.52	100	3785.90	220	3656.75	220/1100	4259.75
4/20	1157.30	20/100	2566.25	44/220	3118.75	110/220	7699.80
2/4	983.64	10/20	2107.42	22/44	3663.00	55/110	10349.80
1/2	1136.05	5/10	2417.75	11/22	3651.52	1/55	1000.22
		1/5	803.00	1/11	888.13		

CUADRO 6- A Diferentes variancias entre parcelas (V_1) de parcelas de diferentes tamaños formas y número de repeticiones en el sub-ensayo 3.

Tamaño en unidades básicas	Forma Nº de surcos x m	Nº de repeticiones	Unidades utiles	V_1
1	1 x 1	1668	1668	1222.09
2	1 x 2	823	1658	1578.07
3	1 x 3	551	1653	1919.12
4	1 x 4	409	1636	2243.19
5	1 x 5	326	1630	2668.10
6	1 x 6	270	1620	2939.13
7	1 x 7	228	1596	3044.89
8	1 x 8	199	1594	3125.72
9	1 x 9	178	1602	3623.55
10	1 x 10	158	1580	3774.43
11	1 x 11	144	1584	3926.46
12	1 x 12	128	1536	4182.60
13	1 x 13	120	1560	4310.95
14	1 x 14	108	1512	4386.03
15	1 x 15	103	1545	4927.17
16	1 x 16	95	1520	4658.38
17	1 x 17	88	1496	4874.36
18	1 x 18	84	1512	5210.59
19	1 x 19	78	1482	5160.97
20	1 x 20	74	1479	5097.02

CUADRO 7 - A Componentes de variancia para obtener la variancias dentro de parcelas (V_i) en el Sub-ensayo 3.

GRUPO 1.		GRUPO 2.	
F. V.	V_i	F. V.	V_i
20	5097.02	20	5097.02
10/20	2979.76	4/20	1834.92
5 / 10	1848.30	2/4	1032.31
1 / 5	988.25	1/2	1000.07

CUADRO 8 - A. Logaritmo del tamaño de la parcela (X_i) y Logaritmo del cociente de la variancia entre parcela sobre el tamaño de parcela (Y_i) para el cálculo de (b_1) . Sub-ensayo 1.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8
X_i	1.3010 1.0000 0.6989 0.0000	1.6020 1.3010 1.0000 0.3010 0.0000	1.7781 1.4771 1.1760 0.4771 0.0000	2.0791 1.7781 1.4771 0.7781 0.0000	2.2552 1.9542 1.6532 0.9542 0.0000	2.5563 2.2552 1.9542 1.2552 0.0000	2.7323 2.4313 2.1303 1.4313 0.0000	2.7323 2.4313 1.7323 0.0000 0.0000
Y_i	1.9242 2.1643 2.4099 3.0499	1.7781 2.0086 2.2552 2.8645 3.0499	1.6812 1.8920 2.1271 2.7626 3.0499	1.6020 1.8061 2.0374 2.6512 3.0499	1.5051 1.5910 1.8920 2.5670 3.0499	1.2304 1.1760 1.5682 2.3010 3.0499	1.3424 1.2041 1.5314 2.2966 3.0499	0.3010 1.2041 2.1673 3.0499

CUADRO 8 - A. Continuación.

	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15	Grupo 16
X_i	1.3010 0.6020 0.3010 0.0000	1.6020 0.9020 0.6020 0.3010 0.0000	1.7781 1.0791 0.7781 0.4771 0.0000	2.0791 1.3802 1.0791 0.7781 0.0000	2.2552 1.5563 1.2552 0.9542 0.0000	2.5563 1.8573 1.5563 1.2552 0.0000	2.7323 2.0334 1.7323 1.4313 0.0000	2.3344 2.0334 1.7323 0.0000
Y_i	1.9242 2.4927 2.7435 3.0499	1.7781 2.3384 2.5717 2.8645 3.0499	1.6812 2.2013 2.4471 2.7626 3.0499	1.6020 2.1038 2.3443 2.6512 3.0499	1.5051 1.9684 2.2278 2.5670 3.0499	1.2304 1.5910 2.0128 2.3783 3.0499	1.3424 1.4771 1.9542 2.2966 3.0499	1.2304 1.7242 2.1673 3.0499

CUADRO 9- A Variancia comparable, para la determinación de la forma optima, Sub-ensayo 1.

Forma	Variancia comparable	Forma	Variancia comparable
1 x 1	1121.51	9 x 4	92.35
1 x 2	554.48	18 x 2	102.55
2 x 1	731.70	2 x 20	59.58
3 x 1	578.95	9 x 5	78.79
1 x 4	311.32	54 x 1	147.43
2 x 2	373.43	27 x 2	90.01
1 x 5	257.14	6 x 10	64.10
6 x 1	448.28	3 x 20	47.65
3 x 2	280.08	18 x 4	38.84
2 x 4	218.47	9 x 10	38.75
9 x 1	369.37	18 x 5	37.26
1 x 10	146.45	54 x 2	53.34
2 x 5	180.37	27 x 4	30.34
3 x 4	158.61	6 x 20	40.36
6 x 2	221.15	27 x 5	33.79
3 x 5	133.89	9 x 20	31.84
9 x 2	169.29	18 x 10	15.30
18 x 1	239.38	54 x 4	17.30
2 x 10	101.90	54 x 5	16.05
1 x 20	83.54	27 x 10	16.20
6 x 4	127.13	18 x 20	16.97
27 x 1	198.41	27 x 20	22.26
3 x 10	78.16	54 x 10	2.01
6 x 5	108.64	54 x 20	---

CUADRO 10 - A Variancia comparable, para la determinación de la forma optima. Sub-ensayo 2

Forma	Variancia comparable
1 x 1	1127.64
1 x 2	559.61
1 x 4	313.82
1 x 5	256.31
5 x 1	486.42
1 x 10	144.64
5 x 2	244.66
1 x 20	82.72
5 x 4	139.61
5 x 5	118.72
11 x 4	72.91

CU.DRO 11- A Variancia comparable, para la determinación de la forma optima. Sub- ensayo 3.

Forma	Variancia comparable	Forma	Variencia comparable
1 x 1	1222.00	1 x 11	356.91
1 x 2	789.00	1 x 12	348.58
1 x 3	639.66	1 x 13	331.62
1 x 4	560.75	1 x 14	313.29
1 x 5	533.60	1 x 15	328.47
1 x 6	489.83	1 x 16	291.13
1 x 7	435.00	1 x 17	286.71
1 x 8	390.75	1 x 18	289.50
1 x 9	402.66	1 x 19	271.63
1 x 10	377.40	1 x 20	254.85

CUADRO 12 - A. Cálculo del número de repeticiones del tamaño de parcela 2 x 3 (6 unidades (grupo 12)).

$$C_0 = K_1 + K_2 \quad X = 481.07 + (196.33) 6 = 1658.95$$

$$C = 113.25$$

$$C_s = 186.00$$

$$s^2 = v_5 = 809.61$$

$$s_e^2 = \frac{v_4 - v_5}{e} = \frac{2724.90 - 809.61}{6} = 319.21$$

$$= 1658.95 / 113.25 + (10.63) (13.64) (1.7)$$

$r = 4.4$ repeticiones
