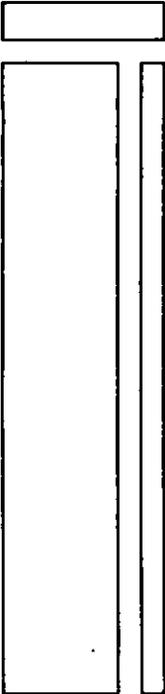


9 MAYO 1995

Universidad de la República ✓
FACULTAD DE AGRONOMIA



**CALCULO DEL TAMAÑO DE
PARCELA A PARTIR DE
RESULTADOS EXPERIMENTALES:
I. CHAUCHA, ESPINACA,
MAIZ DULCE, ZANAHORIA**

JORGE FRANCO - CARLOS MOLTINI - DANIEL MACIAS

FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

BOLETIN DE INVESTIGACION N° 36

MONTEVIDEO

1993

URUGUAY

Las solicitudes de adquisición y de intercambio con esta publicación deben dirigirse al Departamento de Documentación, Facultad de Agronomía, Garzón 780, Montevideo - URUGUAY

Comisión de Publicaciones Científicas:

Ing. Agr. Gonzalo González

Ing. Agr. Jorge Hernández

Ing. Agr. Margarita Gareña

Ing. Agr. Alfredo Silva

Ing. Agr. Carlos Faroppa

Ing. Agr. Pablo Carrasco

Ing. Agr. Daniel Fernández Abella

Ing. Agr. Pablo Forest

Lic. Carlos Bentancourt

Lic. Nilda García (Biblioteca)

Bach. Gustavo Uriarte (Editor)

Cálculo del tamaño de parcela a partir de resultados experimentales: I: chaucha, espinaca, maíz dulce, zanahoria/Jorge E. Franco D., Carlos Moltini, Daniel Macías I. -- Montevideo: Facultad de Agronomía, 1993. -- 26p -- (Boletín de investigación; 36)

CHAUCHA

ESPINACA

MAÍZ DULCE

TAMAÑO DE LAS PARCELAS

ZANAHORIAS

Franco D., Jorge E.

Moltini, Carlos, coaut.

Macías I., Daniel, coaut.

CDU 635.4/6

CALCULO DEL TAMAÑO DE PARCELA A PARTIR DE RESULTADOS EXPERIMENTALES. I: CHAUCHA, ESPINACA, MAIZ DULCE, ZANAHORIA.

Jorge Franco ^[1], Carlos Moltini, Daniel Macías ^[2]

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue obtener información acerca del "tamaño conveniente" de parcela y el número apropiado de repeticiones, a utilizar en la planificación de futuros experimentos, utilizando información de ensayos conducidos con otros fines.

Con el fin de tener diferentes tamaños de parcela la unidad experimental se fraccionó, al momento de la cosecha, en parcelas básicas de igual tamaño en cada una de las cuales se midió el rendimiento. Los datos se analizaron mediante un modelo de estructura mixta: cruzada y jerárquica y, a partir de los análisis de varianza, se estimaron las varianzas atribuibles a cada uno de los tamaños de parcela, eliminando de las estimaciones los efectos de bloque y tratamiento.

Los diferentes tamaños de parcela (x) y sus varianzas correspondientes (V_x) se relacionaron mediante el modelo $\text{Log}(V_x) = V_1 - b \log(x)$, en el cual b se interpreta como un indicador de la reducción en varianza que es posible lograr con el aumento del tamaño de parcela, a partir de la varianza entre unidades más pequeñas (V_1). A partir de los coeficientes "b" se calcularon los "tamaños convenientes de parcela" para diferentes valores de precisión, número de repeticiones y coeficientes de variación esperados.

Con la técnica experimental y los tamaños de parcela utilizados actualmente, no se logran niveles de precisión mejores que alrededor del 20% de la media general del experimento. Se encontró también que, con coeficientes de variación cercanos al 10% y cuatro repeticiones es posible esperar precisiones del 25% de la media. Para lograr precisiones del 20% de la media, con coeficientes de variación del 10% y cuatro repeticiones, se requieren tamaños de parcela de 1.5 (Chaucha), 2 (Espinaca), 1.5 (Maiz) y 2 (Zanahoria) veces los utilizados actualmente (5.4, 8, 12 y 4 m² respectivamente). Igual efecto se lograría utilizando cinco repeticiones y manteniendo los tamaños de parcela actuales.

Recibido el 25 de junio, 1990

Aceptado el 11 de mayo, 1992

[1] Ing. Agr. MSc. Profesor Agregado de la Facultad de Agronomía. Consultor en el área de Estadística.

[2] Ings. Agrs., Departamentos de Suelos y Cultivos.

Todos ellos trabajando en la EEEL, de CALAGUA.

SUMMARY

The work had the goal of get information about the "convenient plot size" and number of replications, to use in planing future experiments, based in other purpose actual experiments. In order to have diferent plot sizes, at moment of harvest, the experimental unit were fractionated, in equal size basic plots and the yield were measured in each one. The resultant data were analyzed using a mixed structure model: crossed and hierarchial. Variances on account of each plot size were estimated from the analysis of variance, free of tratments effect.

The differents plot size (x) and their correspondent variances (Vx) were related by the model $\text{Log}(Vx) = V1 - b \cdot \log(x)$, in which b is an indicator of the variance reduction that is posible to obtain with the increment of the plot size, beginning with the smallest units variance (V1). The "convenient plot sizes" for the different values of precision, number of replications and the expected coefficients of variation were calculated from the "b" coefficients.

With the experimental technics and the plot sizes used at present, can not obtain better precision levels than about 20 % of the general mean of the experiment. There also found that, with coefficients of variation near 10 % and four replications, is posible to expect precisions near 25 % of the mean. To obtain precisions of 20 % of the mean, with coefficients of variation of 10 % and four replications, there are required plot size of 1.5 (bean), 2 (spinach), 1.5 (sweet maize) and 2 (carrot) times as large as that there are being used at present (5.4, 8, 12 y 4 m² as regards); the same effect will be obtain using five replications and keeppeing up the present plot sizes.

1. INTRODUCCION

Una de las primeras preguntas que debe responderse un investigador agrícola, durante el proceso de planeación de un experimento, es aquella referida al tamaño de parcela que debe utilizar para lograr que su ensayo tenga la suficiente sensibilidad, esto es, la capacidad de detectar diferencias verdaderas entre tratamientos cuando estas son iguales o mayores a una magnitud determinada por el propio investigador.

La literatura estadística presenta diferentes soluciones al problema. Una de ellas propone hacer estimaciones del tamaño apropiado de parcela experimental, para uso futuro, a partir de experimentos plantados con otros fines (ensayos de variedades, fertilización etc.).

La necesidad de definir tamaños de parcela convenientes para la investigación futura en la estación experimental de CALAGUA, junto con el ahorro en costos, tiempo, área experimental y personal, que permite esta solución del problema, indujeron al equipo técnico a realizar en el año de 1987 una serie de cosechas, en ensayos de variedades por época de siembra, dirigidas a la estimación del tamaño óptimo de parcela experimental, en los cultivos de Chaucha, Espinaca, Maiz dulce y Zanahoria.

Finalizado el trabajo y obtenidas las conclusiones se pensó que podría ser de utilidad darlo a conocer a los profesionales del área y se decidió ponerlo a consideración de los colegas, no como una propuesta original, sino como un aporte en revisión de literatura, discusión de conceptos, descripción de la metodología y presentación de resultados sobre el tema.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Ensayos de uniformidad:

Gomez (*) plantea la utilización de ensayos de uniformidad, o blancos, a partir de la premisa de que la heterogeneidad del suelo puede ser medida a través de la diferencia en comportamiento de plantas homogéneas, sembradas en el área de interés y tratadas uniformemente.

Define entonces un ensayo de uniformidad como aquel que consiste en “plantar un sitio experimental con una única variedad de un cultivo determinado y aplicar todas las prácticas culturales y de manejo en forma tan uniforme como sea posible, de manera que todas las diferencias, excepto aquella debidas a la heterogeneidad natural del suelo, permanezcan constantes; a la cosecha se divide el área en pequeñas unidades del mismo tamaño en las cuales se miden las variables de interés, particularmente el rendimiento”.

Un experimento como el descrito permite el cálculo de las varianzas generadas por la heterogeneidad del suelo para diferentes tamaños de parcela; para ello se calculan los rendimientos correspondientes a parcelas de diferentes áreas obtenidos como la suma de rendimientos de parcelas básicas vecinas.

* Statistical Procedures for Agricultural Research.

2.2. La “Ley de Smith”:

F. Smith (1938) marcó la pauta fundamental que ha guiado desde entonces los estudios sobre tamaño y forma óptimos de parcela experimental. Su aporte consistió en demostrar “empíricamente”, sobre datos de ensayos de uniformidad realizados por él y otros investigadores en múltiples cultivos, que la ecuación:

$$V_x = \frac{V_1}{x^b}$$

representa un buen ajuste para la relación entre la varianza de un conjunto de rendimientos, medidos en parcelas de cierto tamaño determinado (parcelas unitarias o de tamaño 1), V_1 , y la varianza que presentan los mismos rendimientos cuando se agrupan en parcelas de tamaño x unidades (x parcelas de tamaño 1), V_x .

La ley se denominó “ley empírica de Smith” y al coeficiente b le denotaron como el “coeficiente de heterogeneidad del suelo”. La interpretación de b ha sido un poco confusa en la literatura, pero puede decirse que es el valor que indica, para cada cultivo y suelo determinado, la capacidad que tiene el aumento del tamaño de parcela para reducir la variabilidad entre los rendimientos.

La ecuación puede ser expresada linealmente en los parámetros, mediante una transformación logarítmica, quedando de la forma:

$$\log(V_x) = \log(V_1) - b \log(x), \text{ en la cual es fácil apreciar el significado de } b.$$

Smith propone estimar el parámetro b a partir de las varianzas obtenidas en un ensayo de uniformidad, con un sencillo análisis de regresión lineal, el cual, si se considera necesario, puede ser ponderado por los grados de libertad con que se estimó cada varianza.

Propone también la sobreimposición artificial de un diseño experimental a los datos de las parcelas unitarias con el fin de hacer las estimaciones tomando en cuenta la utilización de bloques.

2.3. Cálculo de b a partir de datos experimentales:

Koch y Rigney (1951) plantean la estimación del coeficiente b de Smith a partir de ciertos experimentos, particularmente aquellos cuyo diseño experimental es Parcelas Divididas o algún tipo de Látice, que incluyen tratamientos diferenciales.

La idea fundamental es establecer una analogía entre un diseño experimental y un ensayo de uniformidad, de manera que se puedan obtener ecuaciones para calcular las varianzas debidas a diferentes tamaños de parcela. En el diseño de parcelas divididas, por ejemplo, se tendrán parcelas de tamaño “subparcela”, de tamaño “parcela principal” y de tamaño “bloque”; si es posible eliminar los efectos de los tratamientos aplicados en parcelas grandes y subparcelas, se podrán calcular las varianzas presentes entre los diferentes tamaños y, mediante el análisis de regresión, estimar el coeficiente b.

Los autores proponen una metodología para eliminar los efectos de tratamiento y presentan los resultados obtenidos al aplicarla en 15 experimentos con Tabaco y 10 con Algodón. Discuten finalmente acerca de una falla en la metodología, originada en el hecho de que los bloques son contruidos precisamente para reducir la variabilidad, así que si se ha cumplido este objetivo, las estimaciones de b son sesgadas.

Hatheway y Williams (1958) se refieren al artículo de Koch y Rigney aumentando el concepto “eficiente estimación” al referirse al cálculo del coeficiente b a partir de datos experimentales. El artículo maneja los mismos conceptos que el anterior y propone ponderar las varianzas, en el análisis de regresión para el cálculo de b, con la matriz de información, formada por los valores inversos de sus respectivas varianzas ($1/V(Vx)$).

Federer (1955) en su libro de diseño experimental propone ponderadores, similares y un poco más sencillos que los de Hatheway y Williams, para las varianzas en el análisis de regresión; en este caso el ponderador utilizado para cada varianza es $w(i)$, los grados de libertad usados en la estimación de cada varianza. Puesto que, en una primera aproximación, la varianza de $\log(Vx)$ es igual a $2/w(i)$ los ponderadores son proporcionales a los recíprocos de las varianzas $V(\log(Vx))$.

2.4. Cálculo del tamaño óptimo:

En lo que se refiere a las ecuaciones para el cálculo del tamaño óptimo, utilizando el coeficiente b , se han manejado dos criterios fundamentales:

2.4.1. Criterio económico:

Smith (1938) presenta una ecuación para el cálculo del tamaño óptimo de parcela experimental, basado en los costos asociados al "número de parcelas", K_1 y al "área de cada parcela", K_2 , de la siguiente manera:

$$x_{\text{opt}} = \frac{b \cdot K_1}{(1-b) \cdot K_2}$$

Esta ecuación ha sido utilizada por muchos autores como Nonnecke (1959), Torrie et al (1963), Hatheway y Williams (1958), Gomez, Federer (1955) etc.

LLanos y Mariotti (1971) utilizan los mismos conceptos, dando una explicación un poco más exhaustiva acerca de los significados de K_1 y K_2 . Utilizan una función Cobb-Douglas para explicar la relación de los dos tipos de costos con el costo total.

2.4.2. Criterio de precisión:

Hatheway (1961) propone una ecuación para el cálculo del "tamaño conveniente" de parcela experimental que es independiente de los costos. Para ello parte de la ecuación propuesta por Cochran y Cox (1957) para el cálculo del número óptimo de repeticiones:

$$r \geq ((t_0 + t_1)^2 \cdot 2 \cdot S^2) / \delta^2, \text{ o, en forma}$$

equivalente:

$$r \geq ((t_0 + t_1)^2 \cdot 2 \cdot C^2) / \delta^2,$$

en la cual se definen los siguientes términos:

r : Número de repeticiones.

t_0 : Valor t de Student para una probabilidad α y los grados de libertad del error en el futuro experimento.

t_1 : Valor t de Student para una probabilidad 2β y grados de libertad como en t_0 .

Los valores α y β son las probabilidades de cometer errores tipo I y II respectivamente en la prueba de significancia.

S^2 : Un estimador de la varianza de error para la variable en cuestión, por ejemplo el cuadrado medio del error en un experimento anterior.

C^2 : Coeficiente de variación esperado, o calculado en un anterior experimento.

δ : Diferencia verdadera entre dos tratamientos que se desea detectar (mediante la significancia de la prueba de F) en el experimento.

δ' : Diferencia verdadera entre dos tratamientos expresada como porcentaje de la media general.

La ecuación se resuelve iterativamente a partir de un valor r supuesto para obtener un primer par de valores t_0 y t_1 .

Mediante la relación entre esta ecuación y la ley empírica de Smith, Hatheway deduce la ecuación:

$$X_{\delta_{pt}} = \left[\frac{(t_0 + t_1)^2 \cdot 2 \cdot C_1^2}{r \cdot \delta'^2} \right]^{(1/b)}$$

en la cual el valor C_1 corresponde al coeficiente de variación obtenido en el experimento usado como referencia para el cálculo del nuevo tamaño de parcela y el

valor b es el coeficiente de heterogeneidad de la fórmula de Smith obtenido en el mismo experimento de referencia.

Nagal et al (1978) utilizan esta ecuación para el cálculo de tamaños convenientes de parcela en Frutilla, mostrando las relaciones existentes entre las diferentes componentes del diseño: repeticiones, coeficiente de variación, precisión y tamaño de parcela.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Métodos de campo:

3.1.1. Localización:

Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental Dr. Evaristo Lazo, de la Cooperativa de productores CALAGUA, localizada en Bella Unión, departamento de Artigas, República Oriental del Uruguay. Latitud 30° 16' S. Longitud 57° 35' W.

3.1.2. Descripción general:

Se utilizaron 15 experimentos, cuya caracterización se presenta en el cuadro 1, plantados con objetivos diferentes al cálculo de tamaños de parcela experimental. Trece de los ensayos son del tipo denominado "variedades por época de siembra", el restante es parte de un experimento de largo plazo sobre conservación de suelos. Los tamaños de parcela utilizados son los usuales para cada cultivo en la estación experimental.

Al momento de la cosecha se dividieron las parcelas originales en parcelas más pequeñas, denominadas "unitarias", en las cuales se midió el rendimiento en Kg; posteriormente se continuó con las rutinas correspondientes a cada experimento. La unidad mínima de información para el presente trabajo es, entonces, el "rendimiento en Kg por parcela unitaria".

Cuadro Nro. 1.

**Descripción de los ensayos utilizados: Cultivo,
No. de ensayos, tipo de suelo, tamaño y forma de
parcela original y tipo de experimento.**

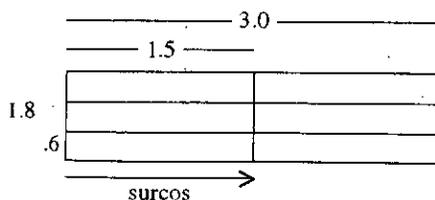
Cultivo	No.	Suelo	Tamaño	Forma (m)		Tipo de expmto.
			Area m ²	Largo	Ancho	
Chaucha	2	L1	5.4	3.0	1.8	V x E
Espinaca	4	L1	8.0	5.0	1.6	V x E
Maiz	5	L2	12.0	5.0	2.4	V x E
Zanahoria	3	L1	4.0	2.5	1.6	V x E
Zanahoria	1	L2	7.2	4.0	3.6	Cons. de suelo

L1: Suelo medio a pesado, 1 a 3 % de pendiente, de alta diferenciación textural, FR-A-Ar, con un horizonte B muy desarrollado.

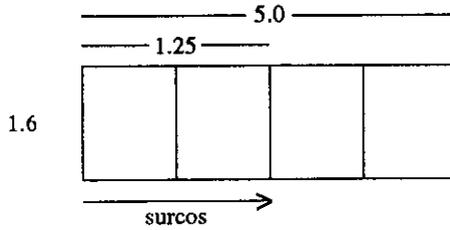
L2: Similar al anterior, más liviano en el horizonte A.

3.1.2. Partición de las parcelas: Las formas en que se dividieron las parcelas originales al momento de la cosecha fueron:

1. CHAUCHA (épocas 5 y 6):

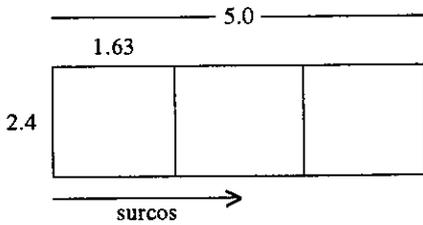


2. ESPINACA (épocas 7,8,9,10):

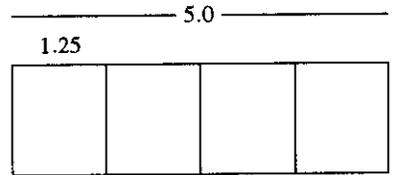


3. MAIZ DULCE:

(épocas 1,2,3)

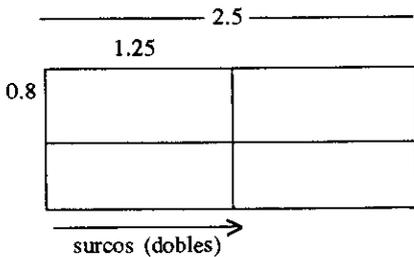


(épocas 4,5)

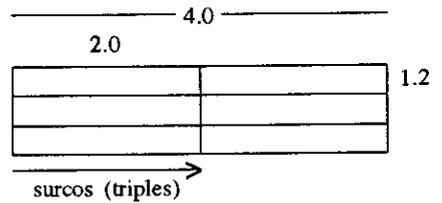


4. ZANAHORIA:

(épocas 5,7)



(conservación de suelo)



3.1.3. Prácticas agronómicas:

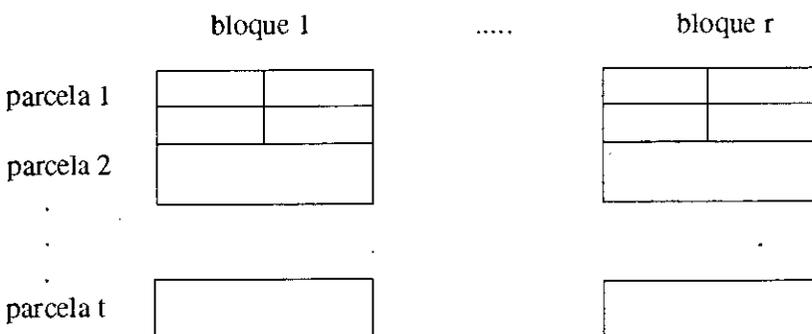
El manejo de los experimentos no se alteró en ningún sentido; todas las prácticas usuales, apropiadas al objetivo central de cada experimento, se llevaron a cabo normalmente.

3.2. Metodología estadística:

3.2.1. Modelo estadístico:

Para representar los datos de rendimiento por parcela unitaria (la más pequeña unidad de cosecha) se propone un modelo lineal que contempla la estructura del diseño y los efectos generados por la partición de las parcelas.

En el caso más general para este trabajo se tiene un diseño experimental en bloques completos al azar con t tratamientos y r bloques, esto es $r \cdot t$ parcelas experimentales; a la cosecha estas parcelas se dividen en s parcelas de igual tamaño (los valores de s fueron 4 y 6 según el cultivo) en los dos sentidos, longitudinal y transversal. De esta forma la cosecha se efectúa en $r \cdot t \cdot s$ parcelas de tamaño unitario, que puede representarse gráficamente (para $s=4$) de la siguiente manera:



Para tener una notación se definen los siguientes tamaños y números:

1. Parcelas $1x$: $r \cdot t \cdot s$ parcelas unitarias; la unidad mínima de información.

2. Parcelas 2x: $r \times t$ (s/2) parcelas de tamaño dos parcelas unitarias agrupadas en cualquier sentido (largo o ancho).

3. Parcelas 4x: $r \times t$ parcelas de tamaño 4 parcelas unitarias (en este caso son las parcelas originales del experimento).

4. Parcelas (4 t)x: r parcelas del tamaño de un bloque.

El modelo estadístico propuesto para el análisis es:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \alpha_{(ij)k} + \varepsilon_{(ijk)l}$$

en el cual se definen los siguientes subíndices:

$i = 1, 2, \dots, r$ bloques.

$j = 1, 2, \dots, t$ tratamientos.

$k = 1, 2$ parcelas tamaño 2x dentro de parcelas originales tamaño 4x.

$l = 1, 2$ parcelas tamaño 1x dentro de parcelas 2x.

Los componentes considerados en el modelo son:

Y_{ijkl}	Rendimiento, en Kg por parcela, cosechado en la parcela unitaria ijkl.
μ	Media general poblacional.
β_i	Efecto del i-ésimo bloque.
γ_j	Efecto del j-ésimo tratamiento.
δ_{ij}	Error experimental originado en las características propias de la unidad experimental ij (parcela original).
$\alpha_{(ij)k}$	Efecto de la k-ésima parcela tamaño 2x dentro de ij-ésima parcela original tamaño 4x.
$\varepsilon_{(ijk)l}$	Efecto de la l-ésima parcela tamaño 1x dentro de la k-ésima parcela tamaño 2x dentro de la parcela original ij.

Los efectos de bloque y tratamiento se considerarán fijos o aleatorios según las condiciones de cada experimento y esa información no es relevante para el tema aquí tratado. δ , α y ϵ se consideran variables aleatorias independientes dentro y entre sí, distribuidas normalmente, con media cero y varianzas σ_δ^2 , σ_α^2 y σ_ϵ^2 , respectivamente.

3.2.2. Estimación de varianzas:

El cuadro 2 muestra la tabla de análisis de varianza correspondiente al modelo propuesto; aparecen en ella las fuentes de variación, grados de libertad, una columna de identificación para cada cuadrado medio de interés, el tamaño de parcela a la cual corresponde cada cuadrado medio y el número de parcelas de cada tamaño.

Cuadro Nro. 2.

Tabla de análisis de varianza para el modelo estadístico propuesto.
Caso particular en el cual la parcela original se parte en dos sub-parcelas y cada una de ellas en dos sub-sub-parcelas.

Fuentes de variación	G. de libertad	CM	x	No.
Bloques	$r-1$	V1	4t	r
Tratamientos	$t-1$			
Error experimental	$(r-1)(t-1)$	V2		
Parcelas 4x	$rt-1$		4	$r \cdot t$
P2x (P4x)	$r((s/2)-1)$	V3	2	$r \cdot t \cdot (s/2)$
P1x (P2x P4x)	$r(s/2)(2-1)$	V4	1	$r \cdot t \cdot s$

En este modelo se tiene un estimador de la variabilidad entre bloques (parcelas de tamaño 4tx): V1; de la variabilidad entre parcelas originales dentro de bloques (parcelas de tamaño 4x): V2; entre submuestras dentro de parcelas originales (parcelas 2x): V3; y entre sub-sub-muestras dentro de submuestras (parcelas 1x): V4.

A partir de estos cuadrados medios es posible reconstruir las varianzas generadas por los diferentes tamaños de parcela dentro del área total del experimento, eliminando de estas estimaciones el efecto de los tratamientos, mediante el siguiente proceso:

El cuadrado medio de bloques estima directamente la variabilidad entre "parcelas 4tx" puesto que los bloques cubren toda el área experimental. Tiene asociados $(r-1)$ grados de libertad. La varianza entre parcelas 4tx es, entonces:

$$V'1 = V1.$$

El CM del error experimental estima la varianza entre parcelas originales dentro de bloques. Un cuadrado medio entre parcelas para toda el área experimental contendrá la varianza entre parcelas dentro de bloque más la varianza entre bloques y tendrá asociados $(rt-1)$ grados de libertad. Así que un estimador de la varianza entre parcelas originales es la varianza combinada de bloques y error experimental, esto es:

$$V'2 = \frac{(r-1) \cdot V1 + r(t-1) \cdot V2}{(rt - 1)}$$

En forma análoga se tiene que la varianza entre parcelas 2x para toda el área experimental contiene la varianza entre bloques más la varianza entre parcelas originales dentro de bloques y su estimador es, entonces:

$$V'3 = \frac{(r-1) \cdot V1 + r(t-1) \cdot V2 + rt((s/2)-1) \cdot V3}{rt(s/2)-1}$$

Finalmente, siguiendo la misma línea de razonamiento, se estima la varianza entre parcelas 1x para toda el área experimental como:

$$V'4 = \frac{(r-1) \cdot V1 + r(t-1) \cdot V2 + rt((s/2)-1) \cdot V3 + rt(s/2) \cdot V4}{rts-1}$$

Es importante notar que en todos los casos los grados de libertad del denominador son la suma de los grados de libertad del numerador; esto es, que los estimadores son varianzas combinadas en el sentido estadístico (promedios de varianzas ponderadas por sus grados de libertad).

Con el fin de hacer comparables estas varianzas es necesario reducirlas a una misma base, así que el siguiente paso en el proceso consiste en dividir cada varianza V' entre x : el número de parcelas unitarias que conforman el tamaño de parcela representado por V' .

3.2.3. Estimación del coeficiente b:

Con las varianzas estimadas anteriormente se procede al cálculo del coeficiente de heterogeneidad del suelo; el proceso es ajustar una regresión lineal entre el logaritmo de las varianzas comparables y el logaritmo del tamaño, esto es: $\log(V') = a + b \log(x)$, en donde V' representa las varianzas comparables y x el tamaño de parcela expresado en términos del número de parcelas unitarias que lo forman.

El cálculo de b se hizo mediante la regresión normal y también utilizando la ponderación propuesta por Federer y mencionada en la revisión de literatura. En el caso particular que se ha manejado se tendrán los siguientes datos para el análisis de regresión:

Tamaño x	Varianza		G de L
	Calculada	Comparable	
1	$V'4$	$(V'4)$	GLsubsubm
2	$V'3$	$(V'3)/2$	GLsubm
4	$V'2$	$(V'2)/4$	GLee
$4 \cdot t$	$V'1$	$(V'1)/4t$	GLbloques

3.2.4. El “tamaño conveniente” de parcela:

El concepto de “tamaño conveniente”, propuesto por Hatheway y mencionado en la revisión de literatura, tiene una componente muy interesante: **permite estimar el tamaño de parcela apropiado para una precisión deseada en un futuro experimento**; de esta forma un investigador puede tener una estimación del tamaño de parcela a utilizar basado en:

1. Uno o más experimentos sobre los cuales se calcula el coeficiente b .
2. El coeficiente de variación que espera obtener.
3. El número de repeticiones que puede construir.
- 4. La diferencia verdadera entre dos medias de tratamiento que desea detectar como significativa en las pruebas de significancia.**
5. Los errores tipo I y II que está dispuesto a aceptar en la toma de decisiones.

En el presente trabajo se optó por este criterio, no el de costos, para los cálculos de tamaños de parcela. Se estimaron los tamaños para experimentos con las siguientes características:

1. Diseño experimental: Bloques completos al azar.
2. Número de tratamientos 10.
3. Número de repeticiones: 3, 4, 5 y 6.
4. Coeficientes de variación esperados: 10, 15, 20 y 25 %
5. Precisiones: 15, 20, 25 y 30 % de la media general.
6. Media general: La media de todos los experimentos Variedad por época en los años 1985 a 1987.
7. Errores: Tipo I, $\alpha = .05$; tipo II, $\beta = .10$.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis de varianza:

El cuadro 3 presenta el resumen de los análisis individuales para cada ensayo; aparecen los siguientes valores: número de bloques y tratamientos; grados de libertad del error; cuadrado medio de bloques y error experimental y media general del experimento, expresados en términos de la parcela más pequeña (parcela unitaria). Media general (Ton/Ha) y coeficiente de variación, expresados en términos de la parcela original del experimento, esto es, obtenidos en el análisis de los datos del experimento sin ningún tipo de partición en las parcelas. Finalmente los cuadros muestran los valores de precisión obtenidos en los ensayos, expresados en términos de porcentaje de la media del experimento (δ') y en toneladas por hectárea (δ).

4.2. Relación varianza-tamaño de parcela y estimación del coeficiente "b" de Smith:

El cuadro 4 muestra las varianzas comparables (esto es, reducidas todas a la misma base: "una parcela unitaria") para los diferentes tamaños de parcela, en cada uno de los ensayos; se presentan también los valores del coeficiente b, estimados mediante regresión sin ponderar y ponderada por los grados de libertad, los errores estándar de los estimadores y los promedios de "b ponderado" para cada cultivo, utilizando en el promedio los valores de b cuyas varianzas no difirieron en una prueba de homogeneidad.

En el cuadro 4 es interesante hacer las siguientes observaciones:

1. Maiz dulce presenta coeficientes b cercanos o iguales a 1, lo cual indica que, dentro del rango de tamaños estudiado, se obtuvo una muy buena respuesta en disminución de variabilidad ante el incremento en tamaño de parcela. Este comportamiento se va a reflejar posteriormente en el cálculo de los tamaños convenientes de parcela, en donde se estimarán valores óptimos cercanos al utilizado.

2. En orden descendente le siguieron a maiz los coeficientes de chaucha, zanahoria y espinaca. En ese mismo orden se exigirá un mayor tamaño de parcela para lograr precisiones determinadas.

3. En la época 5 de Maiz se calcularon los valores de b sin tomar en cuenta la varianza entre bloques. La razón es que esta fuente de variación resultó significativa en el análisis de varianza lo cual puede ocasionar una deformación en la respuesta de la varianza al tamaño de parcela.

Resumen de los análisis individuales de varianza.

La información titulada "parcelas unitarias" se expresa en Kg/parcela;
 la información titulada "parcela originales" se expresa en toneladas por hectárea

	Chaucha					Espinaca					Maiz dulce					Zanahoria		
	Epoca 5	Epoca 6	Epoca 7	Epoca 8	Epoca 9	Epoca 10	Epoca 1	Epoca 2	Epoca 3	Epoca 4	Epoca 5	Epoca 5	Epoca 7	Cons				
No. de tratamientos	4	4	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8	8	5	5	3		
No. de bloques	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3		
Parcelas unitarias:																		
CM bloques	0.121	0.042	0.477	0.247	0.113	0.200	0.800	1.491	5.859	0.676	4.094	1.376	4.393	3.669				
CM error experimental	0.044	1.104	0.541	0.405	0.728	0.192	1.745	1.215	1.391	0.759	0.680	1.933	11.821	15.542				
Media (Kg/parcela)	0.402	0.598	2.475	1.879	2.359	1.295	5.110	6.831	5.260	1.870	3.100	4.796	6.105	8.321				
Parcelas originales:																		
Media (Ton/Ha)	4.461	6.541	15.469	11.734	14.744	8.094	12.775	17.078	13.150	6.237	10.333	23.980	30.525	69.342				
CV (%)	21.39	12.81	14.86	16.93	18.08	16.90	14.920	9.32	12.94	23.29	13.30	14.49	28.16	19.34				
d' (%)	55.00	33.00	37.00	42.00	45.00	42.00	36.00	22.00	31.00	56.00	32.00	36.00	70.00	68.00				
d (Ton/Ha)	2.454	2.158	5.723	4.932	6.635	3.400	4.660	3.757	4.076	3.492	3.307	8.633	21.367	47.153				

Cuadro Nro.4.
**Relación entre la varianza y el tamaño de parcela (expresado como número de parcelas unitarias),
coeficientes de heterogeneidad y desviaciones estándar por ensayo y promedio para todos los ensayos.**

x	Chaucha					Espinaca					Maiz					Zanahoria											
	Epoca 5	Epoca 6	Epoca 7	Epoca 8	Epoca 9	Epoca 10	Epoca 1	Epoca 2	Epoca 3	Epoca 4	Epoca 5	Epoca 6	Epoca 7	Epoca 8	Epoca 9	Epoca 10	Epoca 1	Epoca 2	Epoca 3	Epoca 4	Epoca 5	Epoca 6	Epoca 7	Coef. h.			
1	0.0229	0.0368	0.1603	0.1168	0.2038	0.0656	1.8301	1.5122	1.1320	0.4455	0.6377	1.026	2.1998	2.1998	2.1998	2.1998	1.8301	1.5122	1.1320	0.4455	0.6377	1.026	2.1998	2.1998	2.1998	0.605	
2			0.1438	0.1057	0.1777	0.0512	0.5512	0.4139	0.6078	0.2483	0.3333	0.6546	1.8191	1.8191	1.8191	1.8191	0.5512	0.4139	0.6078	0.2483	0.3333	0.6546	1.8191	1.8191	1.8191	0.605	
3	0.0141	0.0163	0.1327	0.0950	0.1577	0.0482	0.0333	0.0621	0.2441	0.0211	0.1279	0.0685	0.2038	0.2038	0.2038	0.2038	0.0333	0.0621	0.2441	0.0211	0.1279	0.0685	0.2038	0.2038	0.2038	0.605	
4																											0.605
6	0.0099	0.0059																									0.605
18																											0.605
20			0.0238	0.0123	0.0067	0.0100	0.0333	0.0621	0.2441	0.0211	0.1279	0.0685	0.2038	0.2038	0.2038	0.2038	0.0333	0.0621	0.2441	0.0211	0.1279	0.0685	0.2038	0.2038	0.2038	0.605	
24	0.0050	0.0017																									0.605
32																											0.605
b	0.4552	0.9496	0.6548	0.7797	1.0000	0.6356	1.0000	0.9924	0.4769	0.8823	0.6681	0.9133	0.9742	0.7602	0.7602	0.7602	1.0000	0.9924	0.4769	0.8823	0.6681	0.9133	0.9742	0.9742	0.9742	0.605	
b pond	0.4894	1.0000	0.4235	0.4928	0.7638	0.4617	1.0000	1.0000	0.5149	1.0000	1.0000	0.7678	0.5358	0.5115	0.5115	0.5115	1.0000	1.0000	0.5149	1.0000	1.0000	0.7678	0.5358	0.5358	0.5358	0.605	
Sb	0.0392	0.0366	0.2566	0.3099	0.3678	1.4600	0.0650	0.0677	0.0323	0.0821	0.1546	0.1177	0.2595	0.3202	0.3202	0.3202	0.0650	0.0677	0.0323	0.0821	0.1546	0.1177	0.2595	0.2595	0.2595	0.605	
b comb		0.7447				0.5600																					0.605

* Sin considerar la varianza entre bloques.

Las figuras 1 a 4 muestran gráficamente las relaciones entre varianza y tamaño de parcela en todos los ensayos utilizados; las diferentes formas de respuesta tienen tres características interesantes:

1. Dentro de cada cultivo, en sus diferentes ensayos, los tipos de respuesta se mantienen más o menos uniformes.

2. Las formas de respuesta no son iguales en todos los cultivos; en general podría decirse, a partir de las gráficas, que hay dos tipos: uno formado por chaucha y maíz dulce, el otro por espinaca y zanahoria.

3. La forma de respuesta de chaucha y maíz dulce se ajusta mejor a la "Ley empírica de Smith" que la de espinaca y zanahoria; la diferencia fundamental es que en el primer caso las curvas descienden rápidamente al comienzo y lentamente después y en el segundo el descenso es lento al comienzo y fuerte al final.

El comportamiento diferencial anotado en el punto anterior hace pensar en la posibilidad de encontrar ecuaciones alternativas a la curva de potencia encontrada por Smith (de hecho en los cultivos mencionados se encontró mejor ajuste para la relación lineal y/o exponencial). Sin embargo, dado el pequeño número de experimentos utilizado, no se profundizará más en esta posibilidad, dejándola planteada para otra investigación.

4.3. Estimación de los "tamaños convenientes" de parcela:

El cuadro 5 presenta los tamaños convenientes de parcela estimados a partir de los valores "b ponderados promedio" por cultivo. Se estimaron los valores para las siguientes condiciones experimentales:

1. Diseño experimental: Bloques completos al azar con 10 tratamientos.
2. Número de bloques: 3, 4, 5 y 6.
3. Precisión (Expresada como porcentaje de la media general del experimento): 15, 20, 25 y 30 %.
4. Coeficiente de variación esperado: 10, 15, 20 y 25 %.
5. Errores en las pruebas de significancia: Tipo I, $\alpha = .05$, Tipo II, $\beta = .10$.

Fig 1. Relación Varianza - Tamaño de parcela. Chaucha.

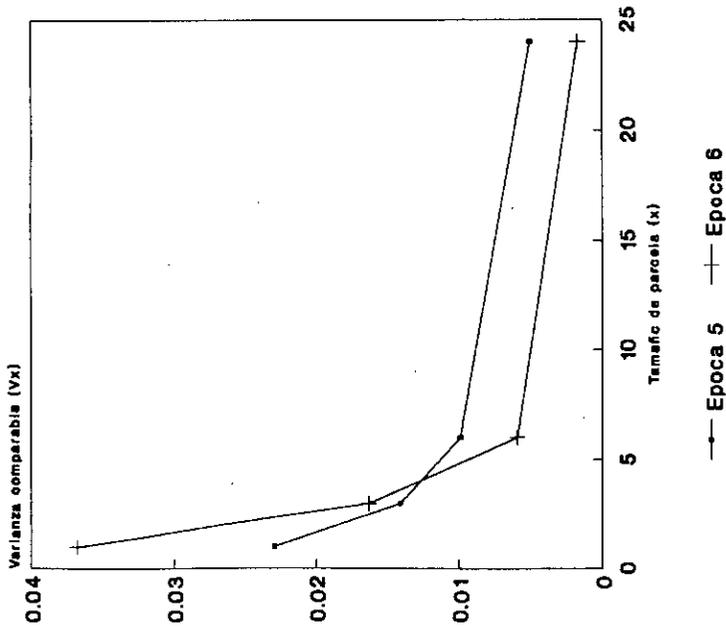


Fig 2. Relación Varianza - Tamaño de parcela. Espinaca.

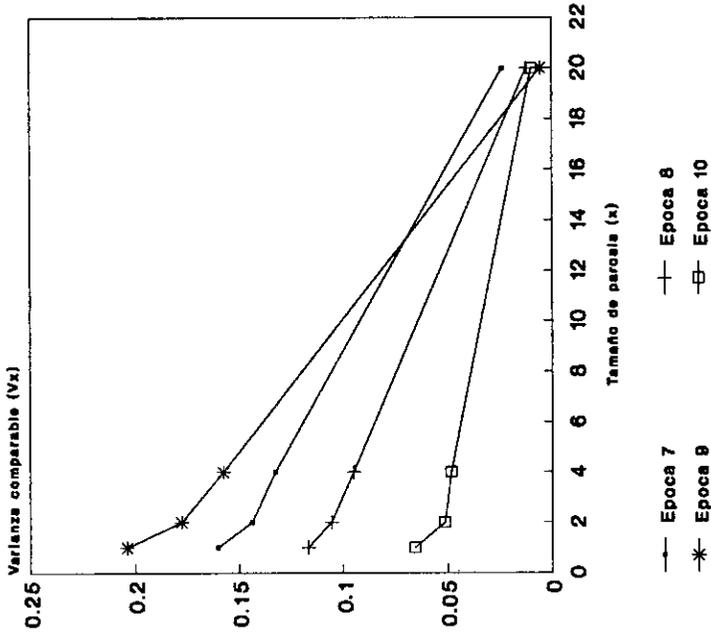


Fig 3. Relación Varianza - Tamaño de parcela. Maiz.

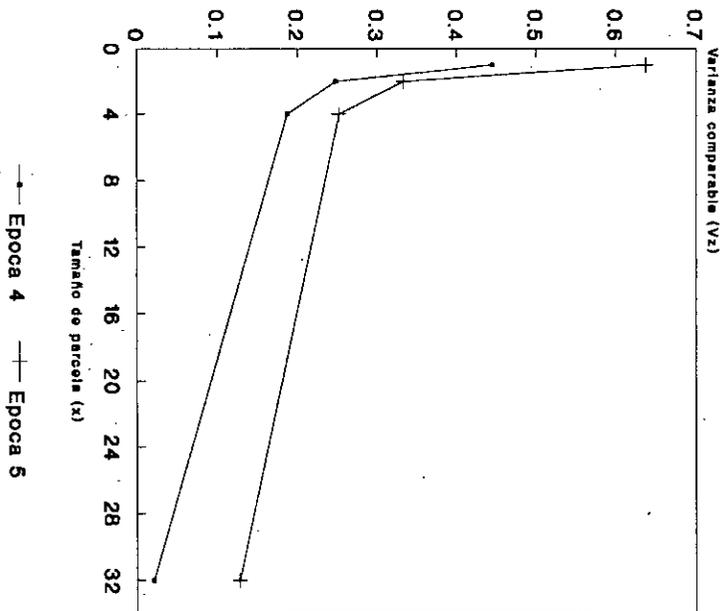
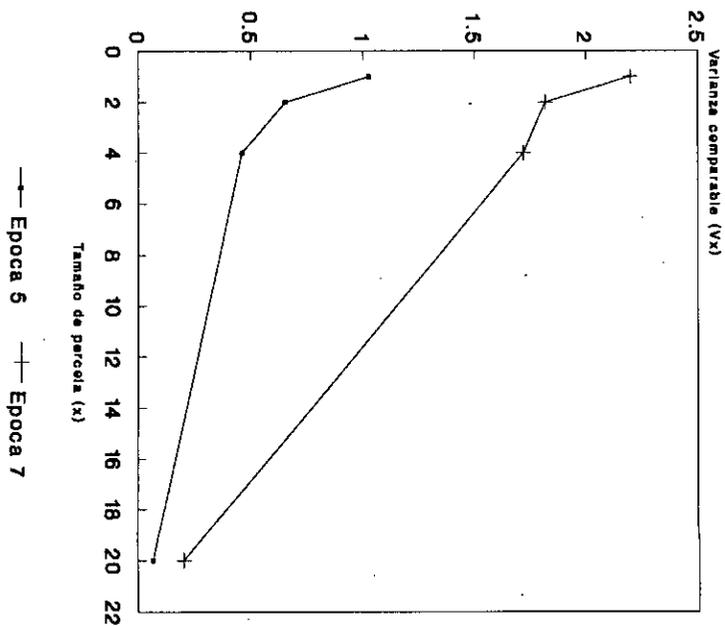


Fig 4. Relación Varianza - Tamaño de parcela. Zanahoria



6. Coeficientes de heterogeneidad (ver cuadro 4): Chaucha, .7447; Espinaca, .5600; Maiz dulce, .9029; Zanahoria, .605.

7. Area de las parcelas originales (los tamaños convenientes, en el cuadro 5, están expresados como múltiplos de estos valores):

Chaucha: 5.4 m

Espinaca: 8.0 m

Maiz dulce: 12.0 m

Zanahoria: 4.0 m.

Los tamaños de parcela de 10 o más veces el tamaño de la parcela original no se han escrito en el cuadro para evitar sobrecargarlo.

5. CONCLUSIONES

5.1. Metodológicas:

Desde este punto de vista lo importante para el grupo de investigadores fue el trabajo interdisciplinario que trajo consigo la discusión teórica y la puesta en práctica de una serie de conceptos estadísticos, que si bien aparecen en múltiples escritos, no siempre son tomados en cuenta por los experimentadores.

La investigación, en estadística aplicada, no originó costos extras. Se piensa que hay otros temas, la validación de escalas por ejemplo, que pueden ser enfocados de manera similar.

5.2. Agronómicas:

1. Precisiones del 15% o menos de la media no parecen fácilmente logrables, aún con coeficientes de variación de 10%.

2. Se pueden esperar precisiones de 25% o más si es posible mantener los coeficientes de variación cerca de 10% y se usan 4 o más bloques.

3. Se espera lograr precisiones de 30% de la media con coeficientes de variación cercanos al 15% o menos y con cinco repeticiones por tratamiento.

4. Para lograr precisiones del 20% de la media, con coeficientes de variación de 10% y cuatro repeticiones, se requieren tamaños de parcela de 8.0 m² (Chaucha), 16.0 m² (Espinaca), 18.0 m² (Maiz dulce) y 8 m² (Zanahoria); esto es, de 1.5, 2, 1.5 y 2 veces las parcelas originales, respectivamente.

5. El incremento de 3 a 4 y de 4 a 5 repeticiones por tratamiento tiene un efecto mucho más importante en la mejora de la precisión que el incremento de 5 a 6 repeticiones.

BIBLIOGRAFIA

1. Cochran, W. y G. Cox (1978) DISEÑOS EXPERIMENTALES. Trillas.
2. Federer, W.T. (1963) EXPERIMENTAL DESIGN THEORY AND APPLICATIONS. Mc Millan.
3. Hatheway, W. and E. Williams (1958) EFFICIENT ESTIMATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PLOT SIZE AND THE VARIABILITY OF CROP YIELDS. Biometrics 14:207-222.
4. Hatheway, W. (1961) CONVENIENT PLOT SIZE. Agronomy Journal 53:279-280.
5. Koch & Rigney (1951) A METHOD OF ESTIMATING OPTIMUM PLOT SIZE FROM EXPERIMENTAL DATA. Agr.J. 43:17-21.
6. Llanos, R. y J. Mariotti (1971) ESTIMACION DEL TAMAÑO OPTIMO DE PARCELA PARA ENSAYOS DE RENDIMIENTO EN CAÑA DE AZUCAR. Revista Agronómica del Noroeste argentino 9:165-191.
7. Nagal, V. y otros (1978) TAMANHO DA PARCELA E NUMERO DE REPETICOES EM EXPERIMENTOS COM MORANGUEIRO.