

ESTUDIO DE LA TECNICA DE PARCELA EN CAÑA DE AZUCAR (*Sacharum officinarum* L) A PARTIR DE UN ENSAYO DE VARIE- DADES

Oscar Martinez F. *
Diego H. Morales *
Diosdado Baena G.**
Climaco Cassalet D. ***

ABSTRACT

To introduce information of 125 experiments carried out in sugar cane in order to synthesize aspects related with the precision level and reliability obtained in field investigation for this crop, establishing some judgments to be considered in planning future experiments. To determine some related values in the different elements which define the plot technique (the optimum plot size and shape, and the optimum number of replications, heterogeneity and border effects), using the information obtained by testing in sugar cane varieties.

COMPENDIO

Se parte de información consignada en 125 experimentos realizados en caña de azúcar, sintetizando aspectos relacionados con el grado de precisión y confiabilidad logrados en la investigación de campo y estableciendo algunos criterios para la planeación de futuros experimentos. Se determinaron algunos valores asociados con los diferentes elementos que definen la técnica de parcela (tamaño y forma de parcela, número de repeticiones, efecto de bordes y coeficiente de heterogeneidad), tomando como base la información generada por un ensayo de variedades en caña de azúcar.

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

** Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

*** Centro de Investigación de la Caña de Azúcar -CENICAÑA.

1. INTRODUCCION

La premisa "es necesario conocer el pasado para planear el futuro", suscita la necesidad de hacer evaluaciones periódicas de la investigación desarrollada con el fin de fijar criterios para la adecuada planeación de los futuros experimentos. Estas evaluaciones deben incluir aspectos relacionados con objetivos propuestos y metas alcanzadas, metodologías desarrolladas, recursos empleados, etc.

Información referente al tamaño de parcela, número de repeticiones, cuadrado medio del error, coeficientes de variación y diferencias que se han venido detectando en los ensayos, puede proporcionar valiosos criterios de precisión y sensibilidad para la planeación, montaje y conducción de experimentos. El presente trabajo analiza los registros de 125 experimentos realizados en caña de azúcar en el Valle del Cauca (ingenios, Cenicaña), haciendo énfasis en los aspectos ligados a la precisión y sensibilidad experimental.

La selección del tamaño de parcela y del número de repeticiones obedece a criterios como fase del proceso investigativo en el cual se enmarca el ensayo, tipo de experimento, factores asociados con el montaje y conducción del experimento, criterios estadísticos, etc. Otros factores que tienen influencia en el tamaño de parcela y número de repeticiones son: grado de precisión deseado, variabilidad inherente al material experimental, diseño experimental a utilizar, número de tratamientos a ser probados, tamaño y forma de la parcela, recursos disponibles. En el Cuadro 1 se resumen las metodologías "convencionales" empleadas en los estudios sobre técnica de parcela (Baena et al, 1; CIAT, 2; Escobar et al, 3; Koch y Rigney, 4; Pérez y Milánés, 5).

Los elevados costos asociados a la labor de investigación han motivado la búsqueda de metodologías "no convencionales" para el análisis de ciertos experimentos de los cuales se puede extraer información suplementaria, útil en la planeación de futuros ensayos. A manera de ejemplo se analiza un ensayo de variedades en caña como un típico ensayo de "uniformidad" (ensayo en blanco), logrando dilucidar algunos aspectos asociados a la "técnica de parcela" en este cultivo.

2. METODOLOGIA DE ANALISIS

2.1. Precisión y confiabilidad de los experimentos.

Se condensó información de 125 experimentos (fertilizantes, variedades, herbicidas, etc.), en el período 1979-81, en tablas de doble entrada, cruzando diferentes criterios de clasificación. Se incluye información relativa a coe-

ficientes de variación (CV o/o), diferencia mínima significativa (DMS), diferencia máxima entre promedios de tratamientos extremos (D. Máx), índice de sensibilidad (IS) tomado como (D Max/DMS), diferencia detectada como porcentaje de la media general (D.D o/o) es decir 100 (DMS/media general).

2.2. Metodología experimental del ensayo de variedades.

El ensayo de variedades se llevó a cabo en el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar - CENICANA, sobre caña plantilla y con las siguientes características (Cuadro 2): 5 bloques (no se especificó criterio de bloqueo), 14 tratamientos (variedades), unidad experimental de 72 m² (4 surcos de 12 m distanciados 1.5 m).

La cosecha se llevó a cabo siguiendo dos modalidades: en las variedades que sufrieron volcamiento precoz, se cosecharon los dos surcos centrales (parcela útil de 30 m²). Para las siete variedades que no sufrieron volcamiento se tomaron los dos surcos centrales, dejando aproximadamente un metro de cabecera en cada extremo; cada surco (10 m) se dividió en 2 fracciones iguales, las 4 fracciones de cada parcela se cosecharon por separado.

En la estimación del tamaño más adecuado de parcela, se emplearon las metodologías de máxima curvatura y de Hatheway (Cuadro 1).

2.3. Estimación del coeficiente de heterogeneidad del suelo.

El coeficiente de heterogeneidad del suelo se estimó aplicando la metodología de Koch y Rigney (4), mediante programa de computador elaborado en el Centro Internacional de Agricultura Tropical- CIAT.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Aspectos relevantes de la experimentación en caña.

Los experimentos con fertilizantes siguen ocupando la mayor atención de técnicos e instituciones (67.2 o/o), lo que parece indicar que aún se continúa trabajando con la mentalidad de que el único medio para aumentar la productividad es mediante el empleo de fertilizantes. Poco peso se ha dado a la influencia de otras prácticas culturales, que pueden anteceder a la fertilización, como calidad de la semilla, riego, control de malezas, etc.

Es indudable que la variabilidad en términos relativos, para los experimentos con fertilizantes se ha mantenido en niveles relativamente bajos (CV_p = 15.4 o/o), lo que refleja de manera aparente un refinamiento en la técnica

Cuadro 1

Metodologías convencionales de uso mas frecuente en estudios sobre tecnica de parcela

Utilización	Método	Expresión
Tamaño de parcela	Error probable	Calcula el error típico ó el error probable de cada parcela con relación a la media, para diferentes tamaños de parcela.
	Máxima Curvatura	Relaciona el tamaño de parcela (Xi) con el coeficiente de variación (CV), se considera el punto de máxima curvatura, aquel punto X ₀ tal que: $\frac{d(CV)/X_0}{dx} = -1$ Por tanto, se encuentra el tamaño óptimo en aquel punto donde al incrementar en una unidad el tamaño de parcela, se reduce en 1 o/o el coeficiente de variación.
	SMITH	$X = \frac{b \cdot k_1}{(1-b)k_2}$ X = Tamaño de la parcela en unidades básicas. b = Coeficiente de heterogeneidad del suelo. k ₁ = Porcentaje del costo total que es proporcional al número de parcela por tratamiento, no importa de que tamaño sean (constante medida en pesos por parcela). k ₂ = Porcentaje del costo total proporcional al área total por tratamiento (medida en pesos por m ²)
y	COCHRAN y COX	$r = \frac{2\sigma^2(t_1 + t_2)^2}{d^2}$ r = Número de repeticiones d = Diferencia verdadera entre dos tratamientos (medida en o/o de la media). t ₁ = Valor significativo de "t" en la prueba de significancia. t ₂ = Valor significativo de "t" en la tabla correspondiente a 2(1-p), donde "p" es la probabilidad de obtener el resultado significativo. σ = Error estandar por parcela (medida como o/o de la media).
Número de repeticiones	HATHEWAY	$X^b = \frac{2(t_1 + t_2)^2 C_1^2}{rd^2}$ X = Tamaño óptimo de parcela útil. b = Coeficiente de heterogeneidad del suelo (ponderado) r = Número de repeticiones d = Diferencia que se desea detectar entre dos tratamientos, expresada como o/o de la media. t ₁ = Valor de "t" en las tablas para un nivel α dado y (r-1) (t-1) grados de libertad, siendo t = número de tratamientos. t ₂ = Valor de "t" en las tablas para (r-1) (t-1) grados de libertad y un nivel α = 2(1-p) donde p es la probabilidad estimada por el experimentador de obtener un resultado significativo. C ₁ = Coeficiente de variación entre parcelas unitarias.
Forma de parcela		Se selecciona la parcela que presente menor coeficiente de variación.
Efecto de bordes		Se comparan los cuadrados medios del error y los coeficientes de variación del análisis de varianza para diferentes tamaños de parcela con y sin bordes laterales y/o cabeceras. También se consideran los promedios.
Heterogeneidad del suelo	SMITH	$V_x = \frac{V_1}{X^b} \text{ ó } \text{Log } V_x = \text{Log } V_1 - b' \text{Log } x$ V _x = Varianza entre parcelas (de varias unidades) V ₁ = Varianza entre parcelas (de una unidad) X = Tamaño de las parcelas (en unidades) b' = Coeficiente de regresión que indica la sociación entre unidades adyacentes.
	FEDERER	$b = \frac{(\sum w_i \text{Log } V_i \text{Log } x_i) - (\sum w_i \text{Log } V_i)(\sum w_i \text{Log } X_i)}{\sum w_i \text{Log } X_i^2 - (\sum w_i \text{Log } X_i)^2 / \sum w_i}$ w _i = Grados de libertad asociada con una varianza dada. V _i = Varianza por unidad de área. X _i = Número de unidades básicas en cada tamaño de parcela.

Cuadro 2

Resumen de las etapas seguidas en el montaje, conducción y cosecha del experimento con variedades de caña de azúcar

SIEMBRA	PRACTICAS DE MANEJO	COSECHA
<p>Fecha: Octubre 16 y 17 de 1981</p> <p>CENICANÑA: Estación experimental</p> <p>Lote No. 7</p> <p>Area: 10000 m²</p> <p>No. de bloques (Repeticiones): 5</p> <p>No. de tratamientos (Variedades): 14</p> <p>Variedad borde del lote: POJ 2878 (4 surcos)</p> <p>Distancia entre bloques: 4 m</p> <p>Surcos por tratamiento: 4</p> <p>Longitud de surco: 12 m</p> <p>Distancia entre surcos: 1.5 m</p> <p>Distancia entre plantas: 10 yemas por m. lineal</p> <p>Longitud de semilla: 50 - 60 cm.</p> <p>Variedades: ICA 70 - 67, PR 61702, ICA 6911, PR 1248, COX, M 336 x PR 980, EPC 38122, ICA 7111, POJ 2878, CP 57603, RAGNAR, ICA 7036, B 63 y PR 61632</p>	<p>PREPARACION DEL TERRENO:</p> <p>Nivel con marco: 2 pases</p> <p>Subsolada: 2 pases</p> <p>Rastrillada: 2 pases</p> <p>Surcads: 1.5 m</p> <p>Tratamiento de la semilla: Bayleton 5 o/o: 500 PPM durante 5 minutos</p> <p>Control de malezas: Preemergencia: GESAPAX COMBI FW 500</p> <p>Dosis: 7 l/ha</p> <p>Deshierbas: 2</p> <p>Riegos: 8</p> <p>Control biológico: 3 liberaciones de Parathesia, sp y Metagonistillum, sp</p>	<p>Edad: 13 meses</p> <p>Corte: Plantilla</p> <p>Area total cosechada: 6.876 m²</p> <p>Parcela total (Unidad experimental): 72 m² (4 surcos de 12 m de longitud a 1.5 m)</p> <p>Parcela útil para 14 variedades: 30 m² (2 surcos centrales x 10 m de longitud)</p> <p>Parcela básica para 7 variedades: 7.5 m² (1 surco de 5 m x 1.5 m): ICA 6911, PR 1 248, EPC 38 122, ICA 7 111, POJ 2 878, CP 57 603, ICA 7 036</p>
<p>VARIABLES CUANTIFICADAS: Caña t/ha, número de tallos, altura (cm), diámetro (cm), o/o Diatraea saccharalis, o/o volcamiento, o/o germinación, Brix caña, o/o fibra, Pol caña, EAR.</p>		

de montaje y conducción para ensayos de campo (Cuadro 3).

No obstante, diferencias no significativas del orden de las 40 t/ha de caña (equivalentes a 56.000/ha), son preocupantes desde el punto de vista económico. Esta diferencia equivale a un 25 o/o del rendimiento promedio por hectárea (171.00 t/ha), valor lejano de la meta "ideal" del orden del 10-15 o/o.

El índice de sensibilidad promedio (1.4), en el 27.4 o/o de los casos fué menor de 1.0, indica que el esfuerzo realizado y los recursos invertidos se desperdiciaron, puesto que no detectan como significativa, ni siquiera la máxima diferencia en rendimiento, entre los dos tratamientos extremos. El planteamiento anterior se confirma mediante la observación de los índices de sensibilidad (Cuadro 4).

Los ensayos con variedades han tenido poco peso en la investigación cañera (12.8 o/o), lo que puede atribuirse al mecanismo de importación de materiales, como la vía más rápida para reemplazar los ya establecidos cuando presentan problemas sanitarios alarmantes (caso de Canal Point 57603 susceptible a roya y carbón).

Llama la atención los excelentes niveles de precisión y sensibilidad logrados (CV = 15.0, I.S. = 2.1). Estos indicadores están asociados con las características de los ensayos, por ejemplo, las pruebas de variedades en general, involucran menos de diez tratamientos, unidades experimentales más grandes, mayor facilidad en el montaje y conducción de los ensayos y simplicidad a la cosecha; mientras que los experimentos con fertilizantes incluyen mayor número de tratamientos, en algunos casos superior a veinte, parcelas más pequeñas, el personal empleado no ha recibido entrenamiento previo para lograr una distribución uniforme del fertilizante en la parcela. A estos factores, se suma una cosecha deficiente, debido a los estilos diferentes de los corteros, el alce a veces se realiza con "uñas" y la evaluación de la producción se hace tomando como referencia la capacidad de un "trailer"

Los ensayos con herbicidas (8.0 o/o), a pesar de presentar limitantes similares a los de fertilizantes, arrojaron un CV = 10.6, una D.M.S. = 26.4 t/ha y un I.S. = 2.1.

Para los experimentos de riegos se sugiere replantear los objetivos y la técnica experimental, debido a que ni la máxima diferencia entre dos promedios pudo ser declarada como significativa ($IS < 1$); lo cual implica un gasto inoficioso de recursos.

Cuadro 3

Resumen de medidas descriptivas (promedios) para diferentes experimentos agrupados por tipo de ensayo

Tipo de ensayo	F I	Porcentaje	P. D. X. t/ha	C. V. o/o	DMS t/ha	D. MAX	I. S.	D. D. o/o
Fertilizantes	84	67.2	171.10	15.35	40.01	51.59	1.29	24.59
Variedades	16	12.8	180.10	14.73	37.31	70.84	1.90	21.36
Herbicidas	10	8.0	168.70	10.60	26.43	56.53	2.10	16.95
Riegos	8	6.4	160.52	12.67	23.64	19.77	0.80	15.60
Otros*	7	5.6	197.50	13.01	41.06	32.56	0.80	22.70
TOTAL	125	100.0						

* Incluye ensayos con insecticidas y distancias de siembra.

Cuadro 4

Clasificación de los experimentos y resumen de medidas descriptivas de acuerdo al índice de sensibilidad y tipo de ensayo

I.S	TIPO DE EXPERIMENTO											
	FERTILIZANTES						OTRAS					
	FI	PD \bar{X}	DMS t/ha	FI	PD \bar{X} t/ha	DMS	FI	PD \bar{X} t/ha	DMS t/ha	FI	PD \bar{X} t/ha	DMS t/ha
0.5 <	7	141.4	45.2				3	203.0	39.7	10	159.9	43.5
0.5 - 0.99	16	176.4	48.5	1	204.4	55.9	7	175.1	36.2	24	177.2	45.2
1.0 - 1.49	32	165.6	37.4	4	172.2	43.0	10	170.3	22.7	46	167.2	34.7
1.5 - 2.0	19	183.2	40.4	3	149.0	38.9				22	178.5	40.2
> 2.0	10	177.9	30.4	8	194.1	31.5	5	163.1	28.3	23	180.3	30.4
\bar{X} pond.			40.00			37.29			29.64			37.60

3.2. Comentarios sobre la técnica de parcela.

La mayoría de los experimentos (81.6 o/o) presentan menos de veinte tratamientos, con tendencia hacia el empleo de diez o menos (54.4 o/o). No obstante, el manejo de veinte o más parece afectar los niveles de precisión y sensibilidad; por el contrario, se observó una relación directa entre el número de tratamientos y el índice de sensibilidad (Cuadro 5).

Considerando que el diseño experimental de uso más frecuente en el campo, es el de bloques al azar (100 o/o), es sorprendente que los técnicos hagan uso "ciego" de este diseño sin especificar el criterio de bloqueo e empleo. Además, dejan pasar inadvertidamente los supuestos de no interacción (bloque x tratamiento) y homogeneidad de las parcelas dentro del bloque. El número de parcelas por bloque está relacionado estrechamente con el tamaño del bloque (sería conveniente no tener más de doce tratamientos por bloque).

En otras palabras, no sólo se está haciendo uso, sino "abuso" de las garantías que proporciona el diseño, en la experimentación de campo.

El número de repeticiones se sigue manteniendo en 3-4, (90.4 o/o) independientemente del número de tratamientos y del tamaño de la unidad experimental. Esto demuestra que para la escogencia del número de repeticiones sigue primando el criterio subjetivo de los técnicos y/o factores de tipo práctico; pasando de manera inadvertida (quizá de modo inconsciente), aspectos relacionados con las diferencias que se desean detectar y precisión en la estimación del error experimental.

El tamaño de parcela útil no excede de los 200 m² (78.4 o/o), con tendencia hacia el empleo de parcelas de 48-100 m² (43.2 o/o). Llama la atención el hecho que un aumento en el tamaño de la parcela, hasta límites mayores de 1.000 m², tienda a reducir, ó por lo menos a mantener relativamente constantes los coeficientes de variación. Además, el valor de la D. M. S. disminuye paulatinamente en la medida en que se cuenta con parcelas más grandes (Cuadro 6).

Acerca de los materiales que se vienen empleando en los ensayos, cabe anotar los siguientes aspectos:

La investigación desarrollada en las diferentes especialidades (fertilizantes, malezas, riegos, etc.), se ha centrado fundamentalmente en las variedades POJ 2878 y CP 57603 (72.8 o/o), las cuales ocupan la mayor parte de la superficie cañera del Valle del Cauca (Cuadro 7).

Cuadro 6

Clasificación de los experimentos de acuerdo al tamaño de parcela y número de repeticiones. Resumen de medidas descriptivas

Tamaño de parcela	NUMERO DE REPETICIONES																
	3			4			5			6			8				
	FI	PD \bar{x} t/ha	C.V.	DMS t/ha	D.MAX	I.S.	FI	PD \bar{x} t/ha	C.V.	DMS t/ha	D.MAX	I.S.	FI	PD \bar{x} t/ha	C.V.	DMS t/ha	D.MAX
48-100	54	188.9	15.65	42.90	61.3	1.4	8	160.5	12.68	23.6	19.8	0.8	2	248.3	12.1	41.6	102
101-200	32	180.3	13.70	37.40	59.8	1.6	2	173.2	7.20	16.3	18.0	1.1					
201-1000	2	91.2	18.90	26.60	36.9	1.4											
> 1000	25	133.6	14.39	33.12	28.9	0.9											

Cuadro 7
Clasificación de los experimentos de acuerdo a la variedad empleada

	Frecuencia	PD \bar{x} t/ha	C. V.	DMS t/ha	D. MAX	I. S	D. D o/o
C. P. 57603	36	171.3	14.53	34.28	48.6	1.4	21.29
POJ 2878	55	162.8	14.13	34.73	41.9	1.2	23.05
Otras	34	191.2	15.38	45.73	69.6	1.5	24.30
Total	125						

En trabajos anteriores se ha detectado tendencia a una mayor variabilidad en los experimentos con caña de primer corte (plantilla), aspecto que parece ser de aceptación general. Sin embargo, los experimentos con fertilizantes y los de variedades (Cuadro 8), presentan menor coeficiente de variación en plantilla que en soca (15.2 y 13.5 vs 15.5 y 15.5); aunque los valores de D. M. S. son ligeramente superiores en plantilla que en soca (44 y 38.9 t/ha vs 35.6 y 36.4). Lo cual da una idea aproximada de la relativa similitud en los indicadores de precisión y sensibilidad para ambos tipos de corte (soca y plantilla).

3.3. Estudio sobre técnica de parcela en caña.

INSTITUCIÓN NACIONAL DE COLABORACIÓN
BIBLIOTECA CENTRAL

3.3.1. Acerca del tamaño de parcela y número de repeticiones.

O A N J E
1963, Colombia

El objetivo fundamental de un estudio sobre "técnica de parcela" consiste en determinar el tamaño y la forma más adecuada de la parcela experimental asociada a cada cultivo y tipo de experimento en particular. Estos aspectos se complementan normalmente con la estimación del grado de heterogeneidad del suelo, número de repeticiones, efecto de bordes y cabececeras, diseño experimental, etc.

Con los diferentes arreglos de parcelas básicas (7.5 m^2), se procedió a establecer la relación entre el tamaño de parcelas resultantes y su coeficiente de variación (CV o/o). Se ajustó, mediante el método de mínimos cuadrados, un modelo de regresión de la forma $CV = KE^{Ax}$ (Figura 1).

Aplicando el criterio de "máxima curvatura", que asume como tamaño óptimo de parcela aquel donde un aumento de un metro cuadrado reduce en menos del 1 o/o el coeficiente de variación, se obtuvo un óptimo de doce metros cuadrados aproximadamente (por derivación de la ecuación e igualación a -1).

Una metodología más versátil en los estudios sobre técnica de parcela, propuesta por Hatheway, integra los conceptos de tamaño de parcela, número de repeticiones y diferencias que se desean detectar, expresadas como porcentaje de la media general.

En el Cuadro 9 se presentan algunos tamaños de parcela para diferentes alternativas, tomando como área de parcela básica 30 m^2 . Supóngase que un investigador está interesado en probar diez tratamientos con cinco repeticiones en un lote cuyo coeficiente de heterogeneidad es de 0.75 y desea que su experimento le permita detectar por lo menos un 16 o/o de la media general, entonces se le recomendarían parcelas de 270 m^2 (6 surcos de

Cuadro 8

Clasificación de los experimentos de acuerdo al tipo de ensayo y corte. Resumen de medidas descriptivas

Tipo de ensayo	PLANTILLA										SOCA			
	FI	PD \bar{x} t/ha	C.V.	DMS t/ha	D.D.o/o	D.MAX	I.S	FI	PD \bar{x} t/ha	C.V.	DMS t/ha	D.D.o/o	D.MAX	IS
Fertilizante	44	194.2	15.2	44.0	24.0	48.6	1.1	40	145.7	15.5	35.6	25.3	54.8	1.4
Variedades	6	204.1	13.5	38.9	19.5	78.3	2.2	10	166.8	15.5	36.4	22.5	66.4	1.8
Otros	23	175.0	12.0	29.8	18.2	21.3	0.7	2	164.0	10.7	27.7	16.8	39.5	1.4

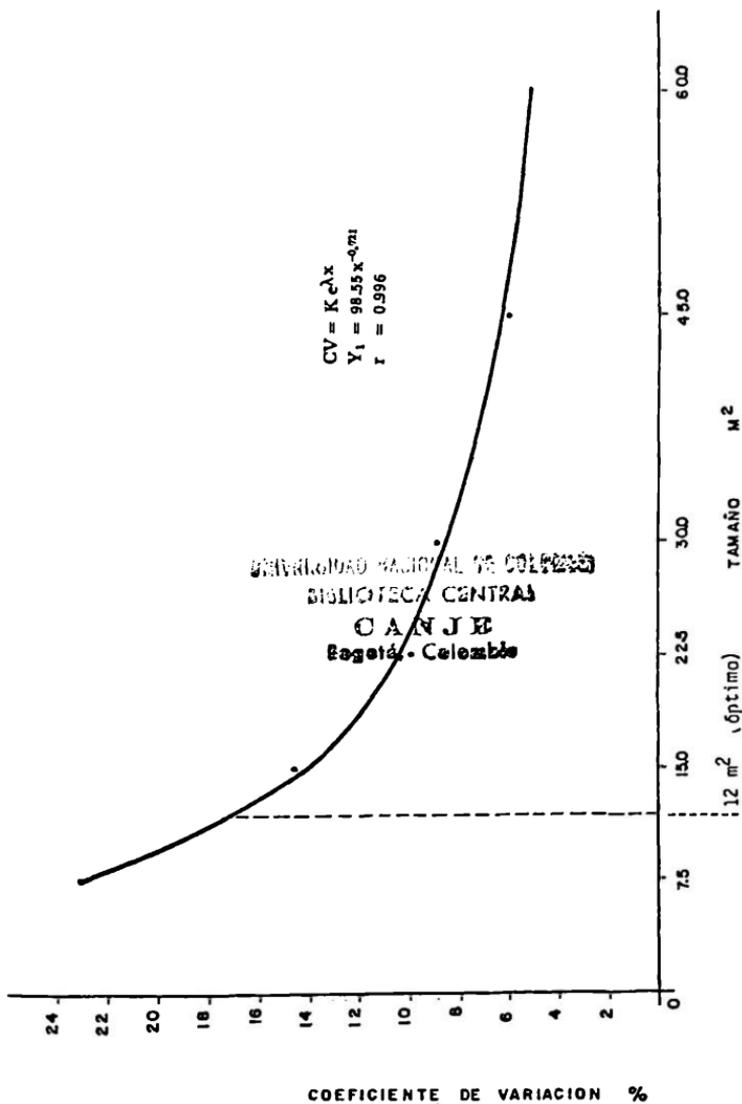


Fig. 1. Relación entre el tamaño de parcela (x) y el coeficiente de variación promedio para todas las variedades por cada tamaño.

30 m de largo y 1.5 m entre surcos); si el número de repeticiones se aumenta a seis, el tamaño sería de 207 m²; para 3 y 4 repeticiones debería utilizar 573 y 372 m² respectivamente.

Las diferentes opciones sobre tamaño de parcela conviene que se prueben en experimentos críticos o decisivos, a fin de establecer ventajas y limitaciones de manejo.

3.3.2. Acerca de la forma de parcela.

Aunque la decisión de utilizar parcelas compactas, alargadas en el sentido de los surcos o alargadas en el sentido perpendicular a los surcos, debe obedecer más a criterios prácticos asociados al manejo del experimento, que a criterios estadísticos, para el caso específico del experimento se observó que las parcelas rectangulares con su mayor lado en sentido perpendicular a los surcos, presentó un menor coeficiente de variación (Cuadro 9).

3.3.3. Acerca del efecto de bordes.

Es costumbre en la experimentación agrícola eliminar al momento de la cosecha los bordes y cabeceras de las parcelas, a fin de reducir el posible efecto de los tratamientos vecinos.

Para resolver este interrogante, se plantearon dos metodologías: la primera mediante confrontación de los coeficientes de variación obtenidos en el ensayo para diferentes tamaños de parcela total y útil sin importar el factor variedades. Y la segunda, mediante comparación de la habilidad competitiva de los materiales involucrados.

Tomando como base el primer enfoque y a través de un análisis simple del Cuadro 9, se deduce que en caña no vale la pena descartar los bordes a la cosecha. Para el segundo enfoque se parte del criterio que en una variedad fuertemente competidora, el rendimiento estimado a partir de los surcos de bordes es considerablemente mayor que el de los surcos centrales; si es moderadamente competidora, el rendimiento estimado en bordes es relativamente similar al de los surcos centrales, y si los centrales rinden más que los bordes, entonces la variedad es poco hábil para competir. El índice de competencia (IC) se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

$$IC \cong \frac{\text{Rto. surco de bordes} - \text{Rto. surcos centrales}}{\text{Rto. surcos centrales}}$$

Metodologías empleadas en el análisis y algunos resultados obtenidos

TAMAÑO DE PARCELA Y NUMERO DE REPETICIONES		FORMA DE PARCELA																																																																		
<p>Máxima curvatura: Tamaño óptimo 12 m²</p> <p>Limitaciones:</p> <p>El óptimo esta demasiado influido por el tamaño de unidad primaria.</p> <p>Recomendaciones:</p> <p>Emplear en aquellas fases de investigación en que se dispone de un gran número de materiales y poca semilla por material.</p> <p>El tamaño óptimo obtenido mediante este método es aplicable no solo para la variable rendimiento de caña sino también para número de tallos y brix caña ya que se conservan una tendencia similar en los coeficientes de variación.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Forma</th> <th>Tamaño m²</th> <th>C.V.o/o</th> <th>Convenciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vertical</td> <td>15</td> <td>18.0</td> <td>↑↑↑↑↑</td> </tr> <tr> <td>Horizontal</td> <td>15</td> <td>13.6</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Vertical</td> <td>30</td> <td>10.3</td> <td>×××××</td> </tr> <tr> <td>Horizontal</td> <td>30</td> <td>9.2</td> <td>←←←←←</td> </tr> </tbody> </table> <p>Si no se presentan limitaciones en el manejo del experimento se recomienda el uso de parcelas rectangulares horizontales (el mayor lado de la parcela se traza perpendicular al sentido de los surcos), puesto que garantiza menor coeficiente de variación.</p>			Forma	Tamaño m ²	C.V.o/o	Convenciones	Vertical	15	18.0	↑↑↑↑↑	Horizontal	15	13.6	-----	Vertical	30	10.3	×××××	Horizontal	30	9.2	←←←←←																																												
Forma	Tamaño m ²	C.V.o/o	Convenciones																																																																	
Vertical	15	18.0	↑↑↑↑↑																																																																	
Horizontal	15	13.6	-----																																																																	
Vertical	30	10.3	×××××																																																																	
Horizontal	30	9.2	←←←←←																																																																	
<p>HATHEWAY</p> <p>Ventajas:</p> <p>Permite estimar tamaño de parcelas para diferentes combinaciones de tratamiento, repeticiones y diferencias a detectar.</p> <p>Limitación:</p> <p>Requiere estimar el coeficiente de variación de las unidades básicas.</p> <p>Ejemplo para:</p> <p>t = 10 Tratamientos b = 0.75 (Coefic. de heterogeneidad del suelo) c.v = 20 o/o (Coeficiente de variación)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D/r</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td>82.9</td> <td>41.2</td> <td>26.7</td> <td>19.3</td> <td>14.9</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>55.0</td> <td>27.5</td> <td>17.7</td> <td>12.8</td> <td>9.9</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>38.5</td> <td>19.1</td> <td>12.4</td> <td>9.0</td> <td>6.9</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>27.7</td> <td>13.7</td> <td>8.9</td> <td>6.5</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>20.0</td> <td>9.9</td> <td>6.4</td> <td>4.7</td> <td>3.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nota: Para el calculo de parcela útil, multiplique el valor de la Tabla por 30 m²</p> <p>Donde: r = número de repeticiones D = Diferencia a detectar como porcentaje de la media.</p> <p>Tamaño de parcela en unidades básicas</p>		D/r	2	3	4	5	6	12	82.9	41.2	26.7	19.3	14.9	14	55.0	27.5	17.7	12.8	9.9	16	38.5	19.1	12.4	9.0	6.9	18	27.7	13.7	8.9	6.5	4.9	20	20.0	9.9	6.4	4.7	3.5	<p>EFEECTO DE BORDES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tamaño m²</th> <th colspan="3">Coeficiente de variación o/o</th> <th rowspan="2">Convenciones</th> </tr> <tr> <th>Rto</th> <th>No. tallos</th> <th>Brix</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>60 Total</td> <td>10.5</td> <td>12.5</td> <td>6.22</td> <td>10 m x 6 m.</td> </tr> <tr> <td>30 Útil</td> <td>12.94</td> <td>14.26</td> <td>7.37</td> <td>↑↑↑↑↑</td> </tr> <tr> <td>30 Total</td> <td>20.94</td> <td>25.0</td> <td>12.42</td> <td>×××××</td> </tr> <tr> <td>15 Útil</td> <td>25.89</td> <td>28.5</td> <td>14.74</td> <td>←←←←←</td> </tr> </tbody> </table> <p>No se presentó efecto de bordes para las tres variables, por lo tanto se recomienda cosechar la parcela total.</p>			Tamaño m ²	Coeficiente de variación o/o			Convenciones	Rto	No. tallos	Brix	60 Total	10.5	12.5	6.22	10 m x 6 m.	30 Útil	12.94	14.26	7.37	↑↑↑↑↑	30 Total	20.94	25.0	12.42	×××××	15 Útil	25.89	28.5	14.74	←←←←←
D/r	2	3	4	5	6																																																															
12	82.9	41.2	26.7	19.3	14.9																																																															
14	55.0	27.5	17.7	12.8	9.9																																																															
16	38.5	19.1	12.4	9.0	6.9																																																															
18	27.7	13.7	8.9	6.5	4.9																																																															
20	20.0	9.9	6.4	4.7	3.5																																																															
Tamaño m ²	Coeficiente de variación o/o			Convenciones																																																																
	Rto	No. tallos	Brix																																																																	
60 Total	10.5	12.5	6.22	10 m x 6 m.																																																																
30 Útil	12.94	14.26	7.37	↑↑↑↑↑																																																																
30 Total	20.94	25.0	12.42	×××××																																																																
15 Útil	25.89	28.5	14.74	←←←←←																																																																
		<p>HETEROGENEIDAD DEL SUELO</p> <p>Metodología de Koch y Rigney: Valor obtenido: 0.75, se considera un suelo relativamente heterogeneo.</p> <p>ANALISIS RESIDUALES</p> <p>La estratificación de los residuales dió lugar a tres grados de fertilidad, los cuales se representan en el mapa.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Grado de fertilidad</th> <th>Rango en Rto (t/ha)</th> <th>Convención en el mapa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto</td> <td>201.2 - 272.1</td> <td>□□□□□</td> </tr> <tr> <td>Medio</td> <td>185.5 - 199.8</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>Bajo</td> <td>124.0 - 185.2</td> <td>▨▨▨▨▨</td> </tr> </tbody> </table> <p>Para futuros experimentos en el mismo lote, se recomienda el empleo del mapa de fertilidad para estratificar las unidades experimentales en grupos relativamente homogéneos en rendimiento.</p>			Grado de fertilidad	Rango en Rto (t/ha)	Convención en el mapa	Alto	201.2 - 272.1	□□□□□	Medio	185.5 - 199.8	-----	Bajo	124.0 - 185.2	▨▨▨▨▨																																																				
Grado de fertilidad	Rango en Rto (t/ha)	Convención en el mapa																																																																		
Alto	201.2 - 272.1	□□□□□																																																																		
Medio	185.5 - 199.8	-----																																																																		
Bajo	124.0 - 185.2	▨▨▨▨▨																																																																		

* Análisis global (En el texto se incluye además comparación de la habilidad competitiva de los materiales).

De tal manera que: $IC > 0$: alta competitividad, $IC \approx 0$: moderada competitividad y $IC < 0$: poca competitividad.

Las variedades PR 1248, ICA 7111 e ICA 7036 son las más competidoras; los materiales POJ 2878 y CP 57603 son moderadamente competidores (Cuadro 10). Los materiales más agresivos (IC^+) presentan características agronómicas contrastantes con los pocos competidores (IC^-); por ejemplo son de porte alto, erectos, poco susceptibles al volcamiento (grado 1-2), buenos macolladores (Cuadro 11), de altos rendimientos, mayor número de tallos y mayor porcentaje de brix caña (Cuadro 12).

3.4. Acerca de la heterogeneidad del suelo y el análisis de residuales.

El método empleado convencionalmente para tipificar las tendencias de fertilidad de un lote, es el de aprovechar la información sobre rendimiento generada por un "ensayo de uniformidad"; ésta se agrupa en categorías, susceptibles de ser mapeadas en el plano de campo disponible. De igual modo, la información permite obtener un estimativo del grado de heterogeneidad mediante el cálculo del coeficiente de heterogeneidad, el cual toma valores cercanos a cero cuando el suelo es relativamente homogéneo y cercanos a uno cuando es heterogéneo. El problema radica en que el costo de generar la información es demasiado elevado, restringiendo el uso frecuente de este tipo de metodologías.

No obstante, algunos investigadores han propuesto mecanismos para superar tan seria limitante, haciendo uso de la información proveniente de ensayos de fertilización, variedades, etc. Koch y Rigney (4) proponen una metodología para estimar el coeficiente de heterogeneidad del suelo de lotes donde se hayan realizado ensayos bajo diseños de BAA, parcelas divididas, latices, etc.

Para ejemplificar el uso de estas metodologías se tomaron los datos del ensayo de variedades en caña, realizado en el lote 7 de la estación de San Antonio, bajo un diseño de BAA, se estimó un coeficiente de heterogeneidad de 0.73 el cual permite clasificar el suelo de este sitio como relativamente heterogéneo.

La ubicación de las tendencias de fertilidad del lote, se obtuvo previa estratificación y mapeo de los "residuales" (E_{ij}), removidos del análisis de varianza para la variable rendimiento ($E_{ij} = Y_{ij} - U - V_i - B_j$).

El mapa (Figura 2) muestra zonas de baja, media y alta fertilidad bien definidas, las que bien podrían tomarse como criterios para "bloquear", en ca-

Cuadro 10

Índice de competitividad (IC) de las siete variedades tomando como base la variable rendimiento

Variedad	Rendimiento promedio (t/ha)		IC o/o
	Surcos de borde	Surcos centrales	
ICA 6911	135.23	162.27	-16.66
PR 1248	260.93	214.67	21.55
EPC 38122	112.30	146.63	-23.41
ICA 7111	239.87	209.20	14.66
POJ 2878	181.13	194.53	- 6.89
CP 57603	184.20	199.17	- 7.52
ICA 7036	268.77	225.07	19.42

Cuadro 11

Características agronómicas de siete variedades de caña de azúcar

Variedad	Altura	Producción t/ha mes	Volcan.		Macollamiento	Hábito de Crecimiento	Maduración Fisiológica	Susceptibil. Roya (0-9)
			I. C.	0-5				
ICA 69-11	Intermedia	12.96	- 0.16	3	Bueno	Semi-erecto	Precoz	0
PR 12-48	Alta	14.83	+ 0.21	1	Bueno	Erecto	Tardía	2
EPC 38122	Baja	10.22	- 0.23	3	Bueno	Semi-erecto	Intermedia	0
ICA 71-11	Alta	12.42	+ 0.14	1	Bueno	Erecto	Intermedia	0
POJ 28-78	Intermedia	11.53	- 0.06	4	Regular	Semi-erecto	Tardía	0
CP 57603	Intermedia	12.85	- 0.07	1	Malo	Erecto	Intermedia	6
ICA 7036	Alta	14.43	+ 0.19	2	Bueno	Erecto	Intermedia	0

Cuadro 12

Rendimiento, número de tallos y brix de siete variedades de caña de azúcar

Variedad	Rendimiento (t/ha)		Número tallos		Brix	
	Surcos borde	Surcos centro	Surcos borde	Surcos centro	Surcos borde	Surcos centro
ICA 69-11	135.23	162.27	320.2	383.6	51.54	52.91
PR 12-48	260.93	214.67	327.0	306.4	63.10	64.24
EPC 38122	152.30	146.63	235.0	268.6	54.40	55.13
ICA 71-11	239.87	209.20	360.2	353.0	49.58	48.19
POJ 2878	181.13	194.53	264.6	309.4	57.32	59.55
CP 57603	184.20	199.17	267.8	269.4	59.64	63.67
ICA 7036	268.77	255.07	495.6	397.0	47.48	47.59

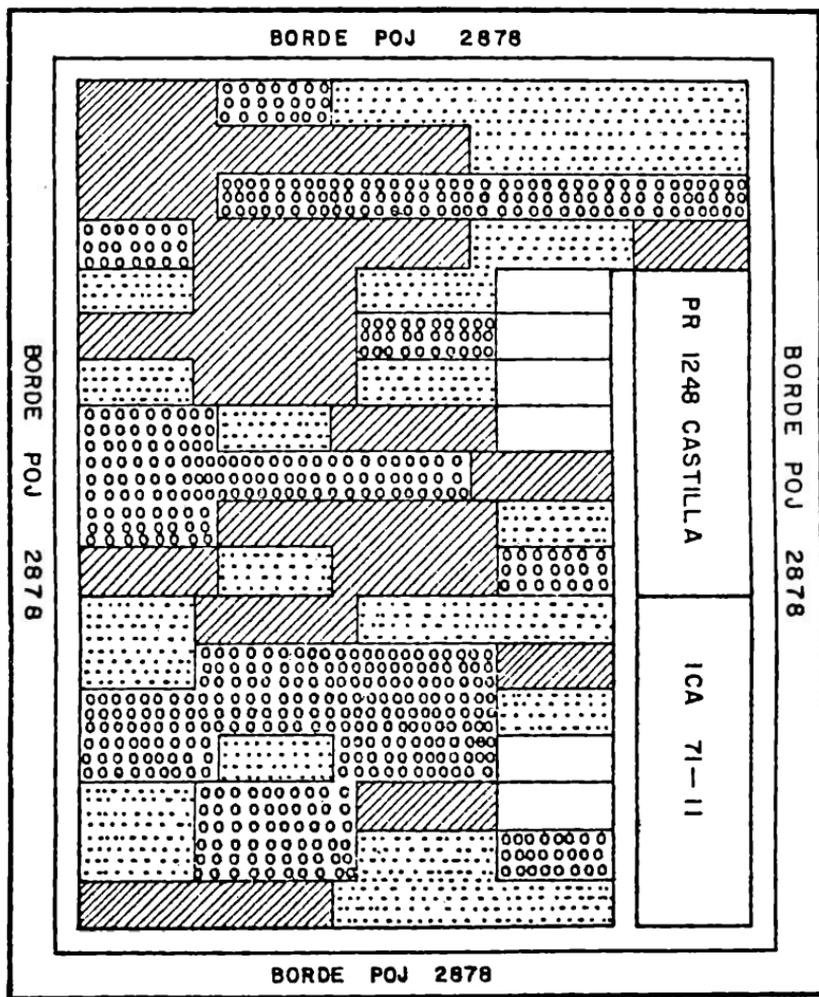


Fig. 2. Mapa de contorno de fertilidad.
 Lote No. 7 - San Antonio de los Caballeros.

	RTQ ALTO	PARCELA TOTAL 72.0 m ²
	RTQ MEDIO	PARCELA UTIL 60.0 m ²
	RTQ BAJO	

so de programar próximos experimentos en este sitio.

Aunque esta situación sería la ideal, en la práctica el investigador recurre fundamentalmente a criterios subjetivos para definir la forma en que trazará los bloques en el campo, a menos que existan gradientes o características bien demarcadas en el lote que le sirvan de base para estratificar las unidades experimentales (parcelas). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que el mapeo de residuales pueda ser de gran ayuda en el análisis e interpretación de resultados, sobre todo, cuando se sospecha la presencia de tendencia, que puedan estar enmascarando el efecto de tratamientos.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. A pesar del auge que han tenido los experimentos con fertilizantes en caña (67.2 o/o), las elevadas diferencias detectadas (del orden de las 40 t/ha) y los bajos índices de sensibilidad alcanzados (inferiores a uno en el 27.4 o/o de los ensayos), amerita un replanteamiento de las políticas de investigación con fertilizantes.
- 4.2. La baja sensibilidad estadística puede atribuirse a desuniformidad en la población inicial por parcela, falta de entrenamiento del personal asignado a la aplicación de los tratamientos y a la deficiente labor de cosecha (corte no especializado), alce (con "uñas") y pesaje (evaluado a veces con base en la capacidad de un "trailer").
- 4.3. En general se emplean parcelas de 200 m² ó menos, excepto en los ensayos comerciales donde las áreas son superiores a 1.000 m² (con gran desperdicio de recursos), 3-4 repeticiones, los experimentos se diseñan en bloques al azar, aunque la mayoría de las veces pasen inadvertidos los supuestos ligados a éste. Es costumbre eliminar los bordes y las cabeceras de las parcelas a la cosecha (los dos surcos laterales y 0.5 m en las cabeceras).
- 4.4. El uso de metodologías no convencionales en el análisis de la información provenientes de experimentos de campo, es el mecanismo más económico para definir algunos elementos asociados a la técnica de parcela, sin necesidad de recurrir al montaje de "ensayos de uniformidad".
- 4.5. La eliminación de los bordes (surcos laterales) de las parcelas a la cosecha, sólo se justifica en aquellos casos en que se sospecha "contaminación" por vecindad o cuando los tratamientos son variedades con diferente grado de habilidad competitiva.

- 4.6. La remoción y mapeo de los residuales (\bar{E}_{ij}) provenientes del análisis de un experimento cualquiera, permite detectar tendencias de fertilidad del lote donde se realizó el ensayo, siempre que se disponga del plano de campo, donde se señale la distribución y situación de las parcelas experimentales. Esta información puede ser de gran ayuda en la interpretación de resultados.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BAENA, D. et al. Estudio de la heterogeneidad del suelo, tamaño y forma de parcela y el número de repeticiones óptima en ensayos de uniformidad del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Reunión Anual PCCMCA, 14, Panamá, Marzo 1977.
2. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. La heterogeneidad del suelo y los ensayos de uniformidad; Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, 1982.
3. ESCOBAR G, J. A. et al. Manual de capacitación en biometría para experimentación en Frijol. Cali, CIAT, 1981.
4. KOCH, E. J. and RIGNEY, J. A. Method of estimating optimum plot size from experimental data. *Agron. J* (s.p. i) 1955. 43 -17.
5. PEREZ, J. L. y MILANES, N. Determinación del área y las formas de las parcelas experimentales y del número óptimo de réplicas para los experimentos en caña de azúcar. Cuba. 1977. 4: 11-115.