

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

DETERMINACION DEL TAMAÑO OPTIMO DE PARCELA
PARA ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN CAÑA DE AZUCAR
(Saccharum officinarum L.) BAJO LAS CONDICIONES DE
LA ESTACION EXPERIMENTAL AGRICOLA
"SABANA GRANDE"

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
T E S I S DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

Presentada ante la Honorable Junta Directiva de la
Facultad de Agronomía
de la
Universidad de San Carlos de Guatemala
por

JULIO ANIBAL PALENCIA ORTIZ

en el acto de su investidura como

INGENIERO AGRONOMO

en el grado académico de

Licenciado en Ciencias Agrícolas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Guatemala, C. A., noviembre de 1965
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS REFERENCIA

pus
GRAM

01
T(184)
C.3

Guatemala,
13 de noviembre de 1965

Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Eduardo D. Goyzueta V.
Ciudad Universitaria

Señor Decano:

En cumplimiento de la honrosa designación que la Honorable Junta Directiva me hiciera, por este medio me permito el honor de hacer de su conocimiento que he asesorado al P. Agr. Julio Aníbal Palencia Ortiz en la elaboración de su tesis de grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Dicho trabajo, intitulado "Determinación del tamaño óptimo de parcela para estudios experimentales en Caña de Azúcar (*S. officinarum* L.) bajo las condiciones de la Estación Experimental Agrícola "Sabana Grande", por un lado llena ampliamente los requisitos para ser aceptada como tesis profesional y, por otro, constituye una efectiva aportación en el importante campo de la experimentación agrícola de nuestro medio.

Complacido por haber servido a Ud. tal información, aprovecho la oportunidad para suscribirme como su atento y seguro servidor.

Ing. Agr. Edgar L. Ibarra A.

JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano	Ing. Agr. Eduardo D. Goyzueta
Vocal 1o.	Ing. Agr. Mario A. Martínez G.
Vocal 2o.	Ing. Agr. Héctor E. Murga G.
Vocal 3o.	Ing. Agr. Otto Slowing H.
Vocal 4o.	Br. Baudilio Jordán
Vocal 5o.	Br. Carlos Salcedo
Secretario	Ing. Agr. Leopoldo Sandoval V.

Tribunal que practicó el Examen General Privado

Decano	Ing. Agr. Eduardo D. Goyzueta
Examinador	Ing. Agr. Mario Molina Llardén
Examinador	Ing. Agr. Luis Roberto Osorio
Examinador	Ing. Agr. Héctor E. Murga G.
Secretario	Ing. Agr. Gonzalo A. Fletes G.

DEDICO ESTE ACTO

A Dios Todopoderoso

A mis padres

Atilano Palencia Barrios
Carlota O. de Palencia

A mi esposa

Mayra Bolaños de Palencia

A mis hijos

Luz Carlota
Mayra Roxana
Francisco Aníbal
Astrid Eugenia

A mis hermanos

Marta Esther
Carlos Roque
César Renaldo
José Raúl

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

A MI PATRIA, GUATEMALA

CONTENIDO

	Página
Presentación	i
Dedicatoria	ii
Reconocimiento	iii
INTRODUCCION	1
REVISION BIBLIOGRAFICA	3
MATERIALES Y METODOS	6
Material Experimental	6
Metodología Estadística	8
RESULTADOS EXPERIMENTALES	14
DISCUSION DE RESULTADOS	26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
RESUMEN	30
BIBLIOGRAFIA	33

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

PRESENTACION

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador

De conformidad con lo estipulado por los Estatutos de la Universidad de San Carlos, me permito el alto honor de presentar ante vuestro ilustrado criterio, el presente trabajo de tesis intitulado:

"DETERMINACION DEL TAMAÑO OPTIMO DE PARCELA PARA ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.) BAJO LAS CONDICIONES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL AGRICOLA "SABANA GRANDE".

Al presentarlo como requisito previo para optar al Título de INGENIERO AGRONOMO en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, espero que merezca vuestra aprobación.

Sin otro particular, aprovecho para testimoniar a vosotros, las seguridades de mi más alta consideración.

J.A. Palencia O.

DEDICATORIA

A Mayra mi esposa

A los investigadores Agrícolas
de Guatemala, como un peque-
ño homenaje a sus esfuerzos.

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo constituye la culminación de un proyecto que, sobre problemas de técnica experimental, formuló el Departamento de Investigaciones Agrícolas de la Facultad de Agronomía dentro de su programa general de actividades. Como tal, fue desarrollado bajo su patrocinio con el decidido apoyo de su Director el Ingeniero Agrónomo don Mario A. Martínez G.

Por tal motivo, el autor deja constancia de su reconocimiento hacia el Director del Departamento de Investigaciones Agrícolas y las Autoridades de la Facultad de Agronomía.

De manera muy especial, reconoce y agradece el incalculable valor de la Asesoría del Ingeniero Agrónomo don Edgar L. Ibarra A., ya que sin su concurso y su acertada orientación el presente trabajo difícilmente hubiera llegado a ser una realidad.

Para todas aquellas personas, que en una u otra forma brindaron su desinteresada colaboración, también deja constancia de su gratitud.

EL AUTOR

INTRODUCCION

El auge alcanzado por la explotación cañera en Guatemala como consecuencia de la creciente demanda de azúcar en el mercado internacional, impone la necesidad de mejorar los sistemas de cultivo actuales para aumentar los rendimientos y bajar los costos a un nivel que permita competencia. Esta aseveración cobra mayor relevancia si se consideran las estimaciones de Barnes (1), quien calcula, en base al crecimiento demográfico y al aumento en el consumo per-capita, que para 1980 la demanda mundial requerirá un incremento de 21 millones de toneladas métricas sobre la producción actual.

Para lograr tal finalidad, conviene plantear los distintos problemas que en una u otra forma limitan el aspecto económico de la explotación, para luego de establecer prioridades, enfocar su resolución mediante estudios concienzudos de tipo experimental.

Los objetivos fundamentales de los programas de experimentación agrícola, se relacionan estrechamente con el logro de información confiable cuya aplicabilidad práctica tienda a superar la productividad de las empresas agrícolas actuales o potenciales. La confiabilidad de tal información, aumenta como consecuencia de originarla en experiencias de carácter local, pues es evidente el riesgo que se corre al usar incondicionalmente la de otros países, debido a que los resultados son influenciados directamente, por las condiciones ecológicas reinantes en el medio, las cuales no solamente varían de un lugar a otro, sino aún dentro de áreas aparentemente uniformes.

Ante tal circunstancia, habrá de impulsarse este tipo de actividad pero mediante técnicas experimentales igualmente confiables para derivar recomendaciones útiles a los agricultores interesados.

Entre los principales problemas que afronta el investigador agrícola, se encuentra la elección del tamaño más adecuado de parcela experimental. En general por falta de información precisa, la alternativa de escogencia es más o menos arbitraria, ya que solamente obedece a la experiencia de otros países o a la disponibilidad de terreno, semilla y recursos económicos, sin tomar en consideración el importante aspecto de la heterogeneidad del suelo y la variabilidad individual inherente a la población con que se trabaja, factores éstos que afectan en mayor grado el tamaño más eficiente de la parcela que habrá de utilizarse como unidad experimental.

Formalmente los trabajos experimentales en Caña de Azúcar (*S. officinarum* L.) apenas principiaron el año pasado en la Facultad de Agronomía, pero sin considerar a cabalidad, lo que a eficiencia experimental se refiere por no conocer el tamaño óptimo de parcela para controlar en mejor forma del Error Experimental.

Al reconocer esta deficiencia que obliga el conocimiento de técnicas experimentales adecuadas para nuestras condiciones, el presente estudio pretende ofrecer la información requerida para satisfacer esta necesidad.

REVISION BIBLIOGRAFICA

De acuerdo con Wasson y Kalton (11), los datos de ensayos de uniformidad vienen siendo usados desde hace 30 ó 40 años con distintos propósitos. Inicialmente fueron usados para determinar el grado de heterogeneidad del suelo mediante curvas de fertilidad, con resultados que indicaron que el suelo podía variar considerablemente aún en aquellas áreas de aparente uniformidad; que la fertilidad del suelo no está distribuida al azar y que las parcelas adyacentes eran más similares en promedio que aquellas más separadas entre sí. Luego fueron usados para corregir rendimientos en experimentos realizados consecutivamente en las mismas parcelas en un intento para aumentar su precisión, pero con resultados que probaron ser relativamente inefectivos. Más recientemente, estos datos han sido utilizados para investigar tamaños y formas de parcelas experimentales y para comparar la eficiencia relativa de diseños empleados en experimentación.

Aunque algunos autores (4 y 11) señalan como factores que determinan el tamaño de la parcela experimental, la cantidad de semilla, terreno y fondos con que cuente el investigador, la clase de cultivo y el grado de heterogeneidad del suelo, parece ser que los dos últimos son los más importantes en términos de eficiencia experimental. Así lo señalan Panse y Sukhatme (7) cuando expresan: "El cuadrado medio del error y por lo tanto el error standard de las comparaciones de los tratamientos, depende de la uniformidad de la tierra seleccionada para la experimentación así como de la forma y el tamaño de bloques y parcelas".

En experimentación de campo, aseveran Koch y Rigney (6), el tamaño óptimo de parcela depende de la variabilidad del suelo y de los costos derivados de las varias etapas que incluyen la prueba. Hatheway y Williams (5), opinan que el tamaño óptimo de parcela experimental depende de la

relación entre los costos fijos y los costos que varían con el número de unidades, y de la heterogeneidad del suelo. Bose y Khanna(2), señalan que los análisis estadísticos de ensayos de uniformidad han demostrado que el tamaño y forma óptimos de parcela para experimentos de campo, dependen principalmente del gradiente de fertilidad en el área bajo prueba; sin embargo, hay un tamaño de parcela adecuado para cada cultivo más o menos igual para diferentes lugares, excepto si existen diferencias marcadas en la naturaleza del suelo. Así por ejemplo, encontraron que para Arroz (Oriza sativa L.) en Bengala, Assam y Ceylan el mejor tamaño de parcela en ensayos de variedades varía de 1/40 a 1/80 de acre; y para Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.) en la India, según Sayer et. al. citado por Bose y Khanna (2), 1/20 de acre es el tamaño más adecuado en cañales no irrigados.

Para estimar el tamaño óptimo de parcela experimental a partir de datos de ensayos de uniformidad, han sido propuestos varios métodos, aunque según Wasson y Kalton (11), y Smith (9), una práctica general ha sido plotear sobre un eje de coordenadas, el Coeficiente de Variación como variable dependiente y el tamaño de la parcela como variable independiente, asumiendo la región de curvatura máxima como el óptimo tamaño. A este respecto, Smith (9), hace notar que esta consideración puede dar una respuesta errada debido a que dicha región de curvatura máxima, depende de la escala de coordenadas usada para plotear las observaciones.

De esta manera Bose y Khanna (2), trabajaron con tres variedades de caña de azúcar en 16 parcelas de 45 x 45 pies subdivididas en parcelas unitarias de 3 x 3 pies. Luego de tomar datos sobre rendimientos y población, compararon coeficientes de variación entre los distintos tamaños y formas mediante el análisis de covarianza de Fisher (1937) para encontrar que el porcentaje de variabilidad disminuye a medi-

da que aumenta el tamaño de la parcela. Haciendo consideraciones sobre la dificultad que ofrecen las parcelas pequeñas a las labores agrícolas, concluyeron recomendando el uso de parcelas de 5 surcos de 45 pies de longitud separados entre sí 3 pies, lo cual equivale a un área de $1/64$ de acre (63.2 metros cuadrados).

De acuerdo con Hatheway y Williams (5) y Koch y Rigney (6), la más útil medida de la heterogeneidad del suelo hasta ahora conocida es la propuesta por Smith (9) quien demostró que a partir de datos de ensayos de uniformidad existe una relación lineal empírica entre el logaritmo de la variancia y el logaritmo del tamaño de parcela. Utilizando el coeficiente de regresión de esta relación y considerando costos estimados, determinó el tamaño óptimo de parcela en términos del tamaño de una unidad básica. Encontró para el Trigo (Triticum vulgare L.) un tamaño óptimo de 5 pies cuadrados, sin ningún efecto consistente de la forma de la parcela sobre la variancia.

Wasson y Kalton (11) estimaron el tamaño y forma óptimos de parcela experimental en Bromegrass (Bromus inermis Leyss) analizando los rendimientos en forraje de 1296 parcelas unitarias de 3.5 x 4.0 pies, en tres campos sembrados, uno en surcos cada 3.5 pies y los otros al voleo. Luego de agrupar los rendimientos de las parcelas unitarias vecinas y conseguir nuevas formas y tamaños, calcularon variancias comparables y variancias por unidad básica para cada nuevo tamaño. Empleando el método de Smith (9) determinaron en los tres campos que la eficiencia relativa de los distintos tamaños no superó a la del tamaño de la unidad básica; sin embargo, al relacionar las variancias con factores de costo, usando 0.42 como coeficiente de regresión entre el logaritmo de la variancia por unidad básica y el logaritmo del tamaño de la parcela, concluyeron estimando el tamaño óptimo en aproximadamente 1.86 unidades básicas equivalente a un área de 3.5 x 7.5 pies.

MATERIALES Y METODOS

Material Experimental

El presente estudio se llevó a cabo en un lote de la Estación Experimental Agrícola "Sabana Grande", propiedad de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

Está localizada en la jurisdicción del Municipio de Escuintla, Departamento de Escuintla, a 750 metros de altitud sobre el nivel del mar, a una latitud de 14°23' Norte y una longitud de 90°49' Oeste.

El clima es cálido-húmedo, con una temperatura media de 26°C y una precipitación pluvial de más de 4000 milímetros distribuida en todo el año aunque más intensamente durante los meses comprendidos entre mayo y octubre. Durante la época considerada como seca (noviembre-abril) soplan vientos en dirección NS y NO con velocidades que alcanzan más de 60 kms. por hora.

Los suelos pertenecen a la serie Alotenango, tipo Franco-arenoso, cuya descripción de acuerdo con Simmons et. al. (8), es la siguiente:

"Los suelos Alotenango son profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica reciente, suelta y de color oscuro. Ocupan pendientes inclinadas y se encuentran a elevaciones entre 750 y 1800 metros sobre el nivel del mar. Se asemejan a los suelos Yepocapa, pero éstos están desarrollados sobre ceniza cementada y ocupan pendientes de una inclinación más suave que los suelos Alotenango. La mayoría de las áreas se encuentran en las faldas del volcán de Fuego, pero algunas se encuentran a altitudes medianas en otros volcanes. Casi todo se encuentra libre de piedras, pero en algunas localidades se encuentran rocas de un diámetro mayor de 30 centímetros".

El perfil del suelo, Alotenango Franco-Arenoso, muestra:

1. En algunas áreas vírgenes existe en la superficie una capa parcialmente descompuesta de materia orgánica de 2 a 4 centímetros de espesor, pero en otras que han sido limpiadas o cultivadas, esta capa se ha lavado, quemado o se ha mezclado con el suelo superficial. La reacción es de ligeramente ácida o neutra, pH alrededor de 6.5.
2. El suelo de la superficie, a una profundidad de 25 a 40 cms. es franco-arenoso suelto ó franco-arenoso fino de color café oscuro a café muy oscuro. En algunos lugares, particularmente en áreas cultivadas, este material no tiene estructura, pero en otros se ha desarrollado una estructura granular poco manifiesta. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.
3. El subsuelo, a una profundidad alrededor de 75 cms. es franco-arenoso suelto de color café a café grisáceo oscuro. En la mayoría de los lugares este material no tiene estructura, pero en otros se ha desarrollado una estructura granular poco manifiesta. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.
4. El subsuelo más profundo, a una profundidad aproximada de 110 cms., es ceniza volcánica máfica suelta, parcialmente intemperizada de color gris o gris cafésáceo. En casi todos los lugares existe un contenido alto de grava fina y gruesa. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.
5. El substrato es ceniza volcánica o escoria máfica, angular y suelta que varía en textura de menos de 1 mm. a más de 1 cm. de diámetro. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.

El lote experimental, de 1872 metros cuadrados (36 x 52 metros) corresponde a un área cultivada con Caña de Azúcar (*S. officinarum* L.) de la variedad Barbados 37-172 de aproximadamente 3.5 años de edad (tercer corte). Fue sembrada en surcos separados entre sí 2.0 metros, bajo el sistema de hilera doble continua a más o menos 40 cms. de profundidad. El cultivo no recibió ningún tratamiento de fertilización ni de riego.

Metodología Estadística

Para los efectos del análisis estadístico correspondiente, el área bajo estudio fue dividida en 468 parcelas unitarias de 4 metros cuadrados (2 x 2 metros) formadas por un surco de 2 metros de longitud. Luego fue cosechada la caña y tomado el rendimiento en peso de cada una de dichas parcelas. Estos rendimientos fueron tabulados (Cuadro No. 1) sin corregirlos por efecto de población faltante, ya que aunque se observaron fallas, se quiso conservar, como fuente de variabilidad, esa condición común en las plantaciones de más de dos cortes debida a la muerte de las cepas, causada especialmente por el paso de los vehículos utilizados para transportar la caña del campo al Ingenio.

A partir de estos datos se integraron parcelas de mayor tamaño, sumando los rendimientos de las parcelas unitarias o unidades básicas vecinas y conservando la forma cuadrada para obtener los siguientes seis tamaños que fue posible formar (Cuadros Nos. 2, 3, 4, 5, 6 y 7):

1. 4 unidades (16 metros cuadrados)
2. 9 unidades (36 metros cuadrados)
3. 16 unidades (64 metros cuadrados)
4. 25 unidades (100 metros cuadrados)
5. 36 unidades (144 metros cuadrados)
6. 49 unidades (196 metros cuadrados)

Para estimar el tamaño óptimo de parcela experimental, se utilizó el método propuesto por Smith (9), considerando en principio la información sobre la variancia por unidad básica, debida al grado de heterogeneidad del suelo y a la variación inherente a la población objeto de estudio, y el tamaño de la parcela.

Dicho método expresa la relación entre la variancia por unidad básica y el tamaño de la parcela, mediante la forma:

$$V_x = \frac{V_i}{X^b}$$

y logarítmicamente por:

$$\text{Log. } V_x = \text{Log. } V_i - b \text{ Log. } X$$

donde:

- V_x = Variancia calculada para cada tamaño.
- V_i = Variancia observada en la unidad básica.
- X = Tamaño de la parcela.
- b = Coeficiente de Regresión.

La forma logarítmica expresada como $Y_c = K - bZ$ al ser usada como modelo lineal para la variancia observada, deberá incluir al error (e), quedando:

$$Y_o = K - bZ + e$$

De esta expresión se obtuvo la estimación del Coeficiente de Regresión b , a partir de los datos consignados en el Cuadro No. 9, mediante el método de mínimos cuadrados, quedando:

$$b = \frac{(\text{Log. } V_1) \sum \text{Log. } X_i - \bar{\text{Log.}} X_i \bar{V}_{xi}}{\sum \text{Log.}^2 X_i}$$

Los datos de rendimiento en peso tomados, que según lo han comprobado varios autores (6, 9, 11) están distribuidos normalmente, permitieron efectuar análisis de variancia para conocer la variabilidad entre parcelas unitarias y entre las de los distintos tamaños considerados y, calcular los coeficientes de variación respectivos.

Con el propósito de una comparabilidad entre la eficiencia (en el sentido de menor variabilidad) de los distintos tamaños, se calcularon para cada uno de estos tamaños, variancias comparables y variancias por unidad básica. El cálculo de éstas se efectuó dividiendo las variancias de cada tamaño entre el número de parcelas unitarias contenidas en cada tamaño y, el cuadrado de este número respectivamente (Cuadro No. 8).

Conocido el coeficiente de regresión b , se calcularon los distintos valores de la variancia esperada o teórica de cada uno de los tamaños (Cuadro No. 10) mediante la ecuación de regresión:

$$V_x = V_1 X^{-b}$$

donde:

- V_x = Variancia esperada.
- V_1 = Variancia por unidad básica.
- X = Tamaño considerado de la parcela.
- b = Coeficiente de Regresión.

Resolviendo esta ecuación para cada valor de X , se ploteó la curva que aparece en el Gráfico No. 1

El paso final para determinar el tamaño óptimo de parcela, se llevó a cabo relacionando el coeficiente de regresión b con el aspecto económico de la prueba mediante la fórmula que complementa el método de Smith (9):

$$X = \frac{bK_1}{(1-b) K_2}$$

donde:

X = Tamaño óptimo de parcela dado en unidades básicas.

b = Coeficientes de regresión.

K_1 = Costos fijos.

K_2 = Costos variables.

El aspecto económico se refiere a los costos derivados de cada una de las etapas necesarias para obtener la información del ensayo de uniformidad utilizado. Dichos costos fueron considerados en dos formas:

- a) Costos fijos (K_1) es decir invariables para cualquier tamaño de parcela; y
- b) Costos variables (K_2) directamente con el tamaño de parcela.

Tanto los costos fijos como los variables, fueron estimados, mediante un análisis de covarianza, en términos del tiempo empleado para cosechar, pesar y anotar los datos correspondientes de parcelas del tamaño básico (4 metros cuadrados) y, 5 y 10 veces ese tamaño en una prueba que incluyó 4 repeticiones (Cuadro No. 11).

Para complementar el presente estudio, se llevó a cabo una estimación de la eficiencia relativa de dos diseños experimentales.

Con base en el valor de X obtenido como tamaño óptimo de parcela, para estimar y comparar la eficiencia relativa entre los diseños experimentales Cuadrado Latino y Bloques al Azar, se utilizaron los datos correspondientes al tamaño 36 metros cuadrados por ser el más cercano al tamaño óptimo (Cuadro No. 3). Con este propósito, sobre dichos datos se sorteó un Cuadrado Latino para estimar variancia como tal y como Bloques al Azar (Cuadro No. 12). En este último caso, se consideraron separadamente las Hileras y las Columnas como Repeticiones.

La eficiencia relativa de los dos diseños experimentales fue estimada de acuerdo con la fórmula propuesta por Fisher según Steel & Torrie (10):

$$E(\text{CL a BA}) = \frac{E_e(\text{BA})}{E_e(\text{CL})} \cdot \frac{(n_1 + 1)(n_2 + 3)}{(n_2 + 1)(n_1 + 3)} \cdot 100$$

donde:

- E = Eficiencia relativa del Cuadrado Latino sobre el Bloques al Azar.
- E_e = Variancia del Error en Bloques al Azar (BA) y Cuadrado Latino (CL)
- n₁ = Grados de Libertad del Error en el Cuadrado Latino.
- n₂ = Grados de Libertad del Error en el Bloques al Azar.

Para Bloques al Azar se calculó de acuerdo con la fórmula propuesta por Cochran y Cox (3):

$$E_e = \frac{N_c E_c + (N_t + N_e) E_e}{N_c + N_t + N_e}$$

donde:

- E_c = Variancia de Repeticiones (Hileras y Columnas)
 E_e = Variancia del Error en el Cuadrado Latino
 N_c = Grados de Libertad de Columnas
 N_t = Grados de Libertad de tratamientos (Cuadrado Latino)
 N_e = Grados de Libertad del Error (Cuadrado Latino) x

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Cuadro No. 1

Rendimiento en Kg. por Parcela de 4 metros cuadrados (2 x 2 m.)

15.84	14.71	19.91	24.89	9.05	25.79	19.46	17.65	7.24	11.31	8.60	8.37	21.95	29.41	13.57	4.07	12.90	13.57	14.48	11.31	15.38	16.74	19.91	19.46	20.36	23.53	419.46
21.49	22.17	18.10	20.81	14.93	26.24	16.74	18.55	12.90	13.35	3.17	11.99	18.10	15.38	16.74	9.95	21.72	14.93	11.31	17.19	19.46	23.53	27.15	21.27	20.36	14.03	451.56
15.38	25.34	16.29	16.74	12.22	16.74	14.48	22.40	12.22	3.17	11.54	10.18	10.63	21.72	3.62	7.24	11.76	14.93	9.95	12.44	25.34	19.00	18.55	27.15	16.06	21.27	396.36
17.65	16.29	21.72	22.40	17.65	23.08	19.46	15.84	11.31	4.52	20.36	8.60	7.47	23.53	9.50	12.22	22.17	25.34	16.74	11.76	18.10	25.34	24.43	17.65	20.81	20.36	454.30
12.67	17.65	22.17	19.91	16.74	16.74	11.54	16.29	13.12	10.41	8.37	16.74	8.14	17.19	20.81	9.73	10.41	18.10	12.67	16.29	19.46	17.65	18.55	19.23	12.67	12.90	396.15
14.48	22.62	11.09	24.43	18.10	20.81	21.27	30.77	8.60	7.24	20.59	16.29	11.31	9.05	15.84	10.41	16.29	19.46	17.87	20.36	15.84	14.48	18.10	20.81	21.72	16.74	444.57
18.55	18.78	24.43	22.85	19.91	20.36	19.00	18.55	17.42	19.00	7.69	13.12	14.25	15.38	13.57	12.22	19.00	14.93	21.27	14.48	19.23	12.22	17.19	8.82	18.10	18.78	439.10
23.98	28.96	24.89	18.78	19.91	18.55	23.53	21.27	17.87	10.86	9.05	11.76	5.43	15.38	10.86	7.24	15.38	16.29	24.43	26.24	18.10	25.34	19.00	14.93	5.43	452.46	
16.06	16.97	24.89	22.85	15.38	21.27	14.03	19.46	10.86	27.60	7.05	16.74	24.43	11.54	23.98	10.86	18.55	14.03	21.27	20.36	24.87	25.79	20.81	32.58	16.74	32.13	511.10
20.36	19.00	28.51	23.30	21.72	22.17	15.38	27.60	17.65	19.46	5.88	33.94	9.05	19.00	13.57	10.86	19.00	26.70	12.67	23.98	22.85	28.51	15.84	21.27	8.14	23.53	509.94
21.49	24.43	23.53	26.24	18.55	22.62	21.27	18.55	4.07	19.91	19.46	13.80	17.65	28.05	22.62	23.08	23.08	18.55	21.27	27.60	8.82	23.53	23.98	21.72	17.65	25.79	537.31
20.14	13.12	14.48	25.79	22.62	23.08	18.55	27.15	15.38	25.11	23.76	23.53	14.48	26.70	24.89	20.36	17.65	19.00	19.91	24.43	22.17	19.00	20.81	17.19	14.48	531.43	
16.74	24.43	19.91	25.79	22.62	13.57	23.08	23.76	9.50	12.90	28.05	27.83	18.55	13.12	28.96	20.36	16.74	23.98	37.56	24.43	27.15	31.67	32.13	14.48	12.44	566.49	
19.91	21.72	16.74	26.24	11.09	14.03	8.82	18.55	15.16	16.06	30.09	20.81	25.34	41.63	34.39	26.92	23.08	18.10	18.55	20.36	22.17	18.10	19.91	15.38	17.19	23.08	543.42
23.08	22.62	21.49	23.08	22.62	7.92	16.97	18.10	11.31	18.10	19.46	19.00	26.70	38.46	23.53	20.36	27.15	18.10	26.70	25.34	29.19	27.15	18.55	36.20	18.55	20.14	579.87
14.48	3.17	27.15	26.02	18.10	19.23	18.55	19.46	9.95	22.62	21.72	19.00	31.67	29.86	23.53	25.79	23.08	21.72	17.65	25.34	26.02	29.41	19.00	23.98	35.75	26.24	578.49
16.29	24.66	23.98	22.62	10.18	13.12	12.44	23.98	11.76	19.46	22.40	21.72	22.62	40.27	17.65	26.70	29.41	25.79	20.81	29.86	18.10	19.00	25.79	28.96	22.62	20.36	570.55
11.99	12.67	13.57	16.29	15.16	13.57	13.12	12.67	13.35	15.84	14.03	22.62	22.62	29.86	31.67	21.27	19.00	24.89	23.08	21.72	27.15	17.65	15.84	22.62	21.27	21.95	495.47

Total..... 8878.03

Cuadro No. 2

Rendimiento en Kg. por Parcela de 16 metros cuadrados (4 x 4 m.)

74.21	83.71	76.01	72.40	44.80	32.13	84.84	44.33	63.12	54.29	75.11	87.79	78.28
74.66	77.15	69.69	72.18	31.22	50.68	63.35	32.58	74.20	50.89	87.78	87.78	78.50
67.42	77.60	72.39	79.87	39.37	61.99	45.69	56.79	64.26	67.19	67.43	76.69	64.03
90.27	90.95	78.73	82.35	65.15	41.62	50.44	43.89	65.60	86.42	74.89	64.01	57.24
72.39	99.55	80.54	76.47	75.57	63.61	64.02	59.27	78.28	78.28	102.02	90.50	80.54
79.18	90.04	86.87	85.52	64.47	80.55	86.88	90.95	76.93	87.78	78.95	85.51	75.11
82.80	88.68	61.31	74.21	53.62	106.78	98.64	110.63	74.66	100.45	91.85	99.09	67.19
63.35	92.74	67.87	73.08	61.98	79.18	126.69	93.21	90.05	95.03	111.77	97.73	100.68
65.61	76.46	52.03	62.21	60.41	80.77	115.37	97.29	99.09	95.47	81.90	93.21	86.20

Total..... 8878.03

Cuadro No. 3

Rendimiento en Kgs. por parcela de 36 metros cuadrados (6 x 6 M)

169.23	167.41	141.64	81.68	151.12	111.07	136.86	192.76
156.34	179.86	148.20	113.12	122.84	144.13	149.09	176.24
197.51	179.86	161.99	122.87	134.82	128.50	190.25	180.75
185.06	206.09	165.60	184.85	176.01	176.93	180.53	196.83
186.64	166.96	145.25	192.30	250.68	187.55	228.28	226.24
147.96	154.29	135.28	179.41	249.75	217.65	209.73	202.25
TOTAL:							8190.26

Cuadro No. 4

Rendimiento en Kgs. por parcela de 64 metros cuadrados
(8 x 8 M)

309.73	290.28	158.83	225.10	242.50	338.46
326.24	313.34	208.13	196.81	283.47	283.02
341.16	329.40	284.20	301.12	321.27	356.98
332.57	276.47	301.56	429.17	360.19	400.44

Total: 7210.44

Cuadro No. 5

Rendimiento en Kgs. por parcela de 100 metros cuadrados
(10 x 10 M)

520.80	380.55	345.68	343.18	503.61
452.72	470.58	354.75	434.13	480.28
528.47	423.52	610.86	548.19	551.55

Total: 6948.89

Cuadro No. 6

Rendimiento en Kgs. por parcela de 144 metros cuadrados
(12 x 12 M)

672.84	484.64	529.16	654.95
768.52	635.31	616.26	748.36
655.85	652.24	905.63	866.50

Total : 8190.26

Cuadro No. 7

Rendimiento en Kgs. por parcela de 196 metros cuadrados
(14 x 14 M.)

919.67	680.98	735.93
1001.09	920.83	1003.34
Total: 5261.84		

Cuadro No. 8

No. parc. unitarias	Variancia	C. V.	Var. com- parable	C.V. comp.	Var./Unid. Básica
1	39.85	33.16	39.85	33.16	39.85
4	323.35	23.69	80.84	11.84	20.21
9	1250.21	20.71	138.91	6.90	15.43
16	3893.33	20.77	243.33	5.19	15.21
25	6837.57	17.84	273.50	3.57	10.94
36	15194.05	18.06	422.06	3.01	11.72
49	18685.30	15.69	381.33	2.23	7.78

Cuadro No. 9

Tamaño (X)	Log. (X)	Var. por Unid. básica (V_1)	Log. (V_1)	(Log. X) x (Log. V_1)
4	0.602060	39.85	1.600428	0.963554
16	1.204120	20.21	1.305566	1.572058
36	1.556303	15.43	1.188366	1.849458
64	1.806180	15.21	1.182129	2.135138
100	2.000000	10.94	1.039017	2.078034
144	2.158362	11.72	1.068928	2.307134
196	2.292256	7.78	0.890980	2.042354
Total	11.619281			12.947730

$$b = \frac{1.600428 \times 11.619281 - 12.947730}{21.409711}$$

$$b = 0.263809 \quad \text{Error standard de } b = \pm 0.112272$$

Cuadro No. 10

Valores de V_x para cada valor de X de acuerdo con la ecuación de regresión $V_x = V_1 X^{-b}$

Tamaño (X)	Variación Teórica (V_x)
4	27.65
16	19.18
36	15.45
64	13.31
100	11.83
144	10.74
196	9.90

Cuadro No. 11

Tiempos empleados para cosechar, pesar y anotar los datos respectivos en parcelas de tres tamaños.

Area de la Parcela	R e p e t i c i o n e s				Suma
	I	II	III	IV	
4 M ²	7.13'	6.90'	6.47'	6.50'	27.00'
20 M ²	20.50'	20.27'	20.83'	18.10'	79.70'
40 M ²	39.33'	38.57'	39.70'	34.20'	151.80'
T o t a l:					258.50'

$$B = \frac{93288 - 16544}{90664.8 - 4096}$$

$$B = 0.8865$$

$$A = \frac{258.5 - 64B}{12}$$

$$A = 16.8137$$

$$\text{Si } A + B = 100\%$$

$$A = K_1 = 95\%$$

$$B = K_2 = 5\%$$

Determinación del tamaño óptimo de parcela en términos de unidades básicas:

$$X = \frac{bK_1}{(1-b)K_2}$$

$$X = \frac{0.263809 \times 0.95}{(1-0.263809)0.05}$$

$$X = 6.81$$

Tamaño unidad básica : 4 metros cuadrados

$$\text{Tamaño óptimo de parcela: } 6.81 \times 4 \text{ m}^2 = 27.24 \text{ m}^2$$

Estimación de la eficiencia relativa entre los diseños Cuadrado Latino y Bloques al Azar para el tamaño de parcela de 36 metros cuadrados. (Ver Cuadro No. 12)

✱

Cuadro No. 12

Rendimiento de caña en Kgs. por parcela de 36 metros cuadrados, tabulados sobre un Cuadrado Latino 6 x 6

B	169.23	F	167.41	C	141.64	E	81.68	A	151.12	D	111.07
E	156.34	C	179.86	F	148.20	B	113.12	D	122.84	A	144.13
A	197.51	E	179.86	B	161.99	D	122.87	F	134.82	C	128.50
F	185.06	D	206.09	A	165.60	C	184.85	E	176.01	B	176.93
C	186.64	A	166.96	D	145.25	F	192.30	B	250.68	E	187.55
D	147.96	B	154.29	E	135.28	A	179.41	C	249.75	F	217.65

Total Tratamientos

A	1004.73	D	856.08
B	1026.24	E	916.72
C	1071.24	F	1045.44

ANALISIS DE VARIANCA

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio
Tratamientos	5	5740.77	1148.15
Hileras	5	14545.32	2909.06
Columnas	5	6399.88	1279.98
Error	20	18359.88	917.99
Total:	35	45045.85	

Cálculo de Ee para Bloques al Azar

a) Tomando las Hileras como Repeticiones

$$Ee = \frac{5 \times 1279.98 + (5+20) 917.99}{5 + 5 + 20}$$

$$Ee = 978.32$$

b) Tomando las Columnas como Repeticiones

$$Ee = \frac{5 \times 2909.06 + (5+20) 917.99}{5 + 5 + 20}$$

$$Ee = 1249.83$$

Cálculo para estimar la eficiencia entre los dos diseños experimentales

a) Tomando las Hileras como Repeticiones

$$E(CL \text{ a } BA) = \frac{978.32}{917.99} \cdot \frac{(20+1)(25+3)}{(25+1)(20+3)} \cdot 100$$

$$= 1.07 \times 98.32$$

$$= 105.20\%$$

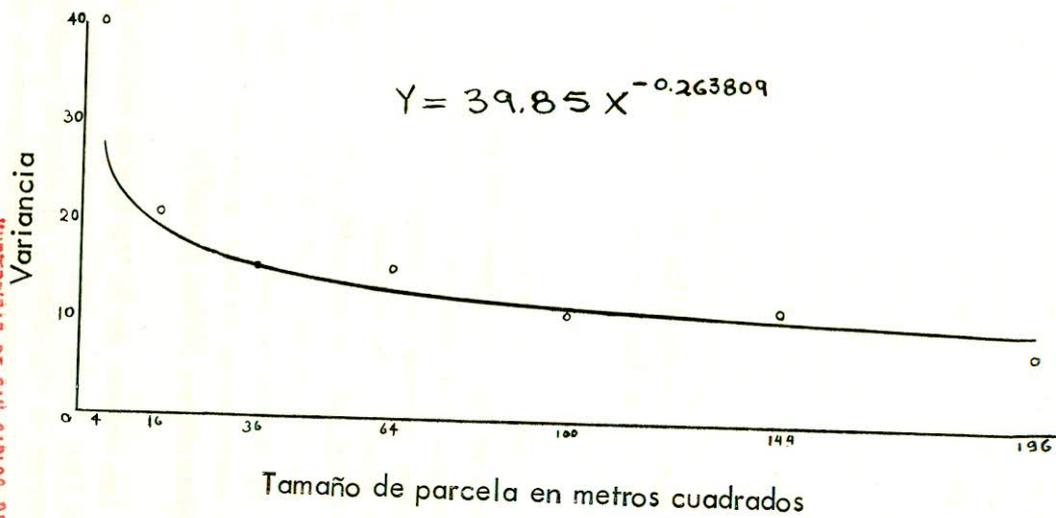
b) Tomando las Columnas como Repeticiones

$$E(CL \text{ a } BA) = \frac{1249.83}{917.99} \cdot 98.32$$

$$= 1.36 \times 98.32$$

$$= 133.72\%$$

Gráfico N° 1



DISCUSION DE RESULTADOS

La marcada diferencia entre rendimientos observada en cada parcela del área objeto de este estudio, da clara idea de la variabilidad debida al efecto de la heterogeneidad del suelo y de la variación entre los individuos de la población por fallas o por factores intrínsecos.

Al observar los coeficientes de variación (Cuadro No. 8) de cada tamaño, que nos dan el grado de variabilidad relativa, se nota que éstos disminuyen de 33.16% a 15.69% a medida que el tamaño aumenta de 4 a 196 metros cuadrados. Esto confirma el hecho, encontrado por otros autores, de que la variabilidad es menor entre parcelas adyacentes que entre aquellas más alejadas entre sí. La misma observación puede hacerse con los valores de la variancia por unidad básica.

El coeficiente de regresión b , que es en este caso, una medida de la heterogeneidad del suelo y de la correlación entre parcelas adyacentes, puede variar entre 0 y ± 1 para indicar correlación completa y ausencia de correlación respectivamente. De tal manera, el coeficiente de regresión $b = 0.263809$ encontrado, pone en evidencia un grado alto de correlación entre los rendimientos de las parcelas vecinas agrupados en cada uno de los tamaños considerados, y consecuentemente un bajo grado de heterogeneidad del suelo existente en dichas parcelas.

Los valores de la Variancia teórica ploteados en el Gráfico No. 1, dan una curva cuya tendencia marca un decremento de la Variancia, de efecto cuadrático, a medida que el tamaño aumenta. Este decremento se nota pronunciado entre los tamaños 4 y 16 metros cuadrados. A partir de este último, se torna suave hasta el tamaño 100 metros cuadrados y mucho más suave entre 100 y 196 metros cuadrados.

Si el decremento de la Variancia es máximo entre 4 y 16 metros cuadrados y mínimo entre 100 y 196 metros cuadrados, un punto intermedio entre 16 y 100 metros cuadrados podría adoptarse para señalar el tamaño óptimo al considerar que los puntos iniciales de la curva marcan la más alta variancia y los finales, tamaños demasiado grandes para no poder conceptuarlos como económicamente manejables. Sin embargo, como el problema estriba en determinar analíticamente el área de prueba más eficiente, fijar simplemente dicho punto intermedio como tamaño óptimo de parcela sería arbitrario. En consecuencia, el tamaño óptimo de parcela fue determinado mediante la fórmula propuesta por Smith (9) encontrándose que el tamaño óptimo de parcela es de 6.81 unidades básicas, lo cual equivale a 27.24 metros cuadrados ($6.81 \times 4 \text{ m}^2$). Sin consideraciones sobre los efectos de vecindad y marginales de los tratamientos en un ensayo, este tamaño se refiere a la parcela útil.

La estimación de la eficiencia relativa entre los diseños experimentales Cuadrado Latino y Bloques al Azar, se hizo sobre los datos correspondientes al tamaño 36 metros cuadrados debido a que constituyó el valor, con datos susceptibles de análisis, más cercano al fijado por el método de Smith como óptimo.

Así, se encontró que la eficiencia del diseño Cuadrado Latino sobre el diseño Bloques al Azar, fue de 105.20% cuando se tomaron las Hileras como Repeticiones y, de 133.72% cuando las Columnas fueron tomadas como Repeticiones. En otras palabras, se obtuvo una ganancia de precisión experimental de 5.2 y 33.72% respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De conformidad con las consideraciones expuestas en la discusión anterior, puede concluirse, siempre y cuando priven las mismas condiciones bajo las cuales se realizó el

presente estudio, en lo siguiente:

- a) Es evidente la variabilidad entre los rendimientos de parcelas vecinas en cañaverales de más de dos cortes, debido al grado de heterogeneidad del suelo y a la variación individual de la población por fallas u otras causas de naturaleza intrínseca.
- b) Se confirma la observación de otros autores, en el sentido de que la variancia disminuye a medida que aumenta el tamaño de parcela y, que la variabilidad entre los rendimientos es menor entre parcelas vecinas que entre aquellas más alejadas entre sí;
- c) El tamaño óptimo de parcela, en términos de eficiencia experimental o como área de prueba más eficiente, es de 6.81 veces el tamaño de la unidad básica considerada que fue de 4 metros cuadrados, es decir un área de 27.24 metros cuadrados; y
- d) Se confirmó que la eficiencia del diseño Cuadrado Latino es superior a la del diseño Bloques al Azar, especialmente cuando las Columnas (colineales con los surcos) fueron consideradas como Repeticiones.

En tal virtud, se recomienda:

- 1o. Emplear un tamaño de parcela útil de aproximadamente 28.0 metros cuadrados para estudios experimentales en Caña de Azúcar, cuyos datos de evaluación sean afectados por la heterogeneidad del suelo y la variación debida a las frecuentes fallas en la población. Esta superficie útil de parcela incluye dos surcos de 8.0 metros de longitud separados entre sí de 1.8 a 2.0 metros que es la distancia de siembra usual entre

los cañicultores de la zona; de tal manera, la parcela total sería de 4 surcos de 10.0 metros de longitud, para controlar los efectos de vecindad y marginales excluyendo los dos surcos laterales y 1.00 metro en cada extremo de los surcos; y

2. Utilizar preferiblemente el diseño Cuadrado Latino sobre Bloques al Azar, siempre y cuando el número de tratamientos no sea elevado.

RESUMEN

La necesidad de resultados experimentales cuya aplicabilidad tienda a aumentar la eficiencia de explotación de la Caña de Azúcar en nuestro medio, se ha hecho más apremiante a raíz del auge alcanzado por dicho cultivo durante los últimos años.

Esta circunstancia dió lugar a que el Departamento de Investigaciones de la Facultad de Agronomía se interesara por el problema para tratar de ofrecer las soluciones pertinentes. Para el efecto, incluyó dentro de su programa general de actividades, una serie de proyectos experimentales sobre problemas específicos en la Caña de Azúcar entre los cuales figura la determinación del tamaño óptimo de parcela, como medio más adecuado para mejorar la técnica experimental y de esta manera obtener resultados experimentales más confiables.

La determinación del tamaño óptimo de parcela experimental se llevó a cabo a partir de los datos obtenidos de un ensayo de uniformidad. Este ensayo se localizó en un área comercial de caña de azúcar de 3.5 años de edad, de la variedad B-37-172 cultivada en hileras separadas entre sí 2.0 metros, en suelos de la serie Alotenango, tipo Franco arenoso.

Los datos utilizados consistieron en el peso de la caña cosechada en 468 parcelas de 4 metros cuadrados (2×2 M) equivalente a un área total de 1872 metros cuadrados. A partir de estos datos, que representan los rendimientos por unidad básica, se lograron 6 tamaños mayores sumando los rendimientos de las parcelas unitarias vecinas.

Para determinar el tamaño óptimo de parcela, se empleó el método propuesto por H.F. Smith, el cual expresa la

relación que existe entre la variancia por unidad básica y el tamaño de la parcela mediante la forma:

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

y se complementa relacionando el Coeficiente de Regresión b como medida de la heterogeneidad del suelo y , los factores K_1 y K_2 que corresponden a la proporción de costos fijos y variables respectivamente, para estimar el tamaño óptimo mediante la forma:

$$X = \frac{bK_1}{(1 - b)K_2}$$

Para poder aplicar dicho método, se estimaron variancias para cada tamaño y a partir de éstas, se calcularon las variancias comparables y las variancias por unidad básica. Estas últimas dieron lugar a la estimación del Coeficiente de Regresión b , mediante el método de mínimos cuadrados aplicado sobre el modelo lineal, para la variancia observada, de la ley de Smith expresada en forma logarítmica.

Conocido el coeficiente de regresión b , que resultó ser igual a 0.263809 indicando un grado bajo de heterogeneidad del suelo donde se llevó a cabo el ensayo, se obtuvo la información necesaria para estimar los costos relativos a la prueba. Estos costos, estimados en términos del tiempo empleado para cosechar, pesar y tomar los datos en parcelas de 1, 5 y 10 veces el tamaño básico (4 metros cuadrados) se consideraron como costos fijos y como costos variables. Los valores de cada uno fueron estimados, porcentualmente, utilizando covariancia, obteniéndose un valor de 0.95 para K_1 (costos fijos) y un valor de 0.05 para K_2 (costos variables).

Al relacionar pues, el coeficiente de regresión b , con los factores de costo K_1 y K_2 , quedó determinado el tamaño

óptimo de parcela en términos de unidades básicas con un valor de 6.81 unidades básicas, es decir, 27.24 metros cuadrados (6.81 x 4 metros cuadrados). Esto dió lugar a concluir que el tamaño más eficiente de la parcela útil es de aproximadamente 28.0 metros cuadrados, para estudios experimentales en Caña de Azúcar cuyos datos de evaluación sean afectados por la heterogeneidad del suelo en un grado similar al de los suelos del área objeto de estudio.

Para complementar el presente estudio, se estimó la eficiencia relativa entre los diseños experimentales Cuadrado Latino y Bloques al Azar utilizando los datos correspondientes al rendimiento de las parcelas de 36 metros cuadrados. Sorteando un Cuadrado Latino sobre estos datos se estimó Variancia como tal y como Bloques al Azar; en este último caso, considerando independientemente las Columnas y las Hileras como Repeticiones. Al utilizar la fórmula propuesta por Fisher, se obtuvieron valores para la eficiencia del Cuadrado Latino sobre el Bloques al Azar de 105.20 y 133.72%, cuando fueron consideradas respectivamente, las Hileras y las Columnas como Repeticiones. Es decir que se obtuvo una ganancia de precisión experimental en el primer caso de 5.20% y en el segundo de 33.72% (las columnas fueron colineales con la dirección de los surcos.)

Guatemala, noviembre de 1965

Julio Aníbal Palencia O.

Vo.Bo.

Ing. Edgar L. Ibarra A.

Asesor

Imprimase

Ing. Eduardo D. Goyzueta

Decano

BIBLIOGRAFIA

1. BARNES, A.C. Producción Mecanizada de la Caña de Azúcar. Memoria de una conferencia internacional organizada por la Massey-Ferguson y celebrada en la Escuela de Mecanización Agrícola Massey-Ferguson cerca de Coventry, Warwickshire, Inglaterra. p. 18-19, 1964.
2. BOSE, S.S. & KHANNA, K.L. Note on the optimum shape and size of plots for sugarcane experiments in Bihar. Indian Journal of Agricultural Science. 9(6): 807-816, 1939.
3. COCHRAN, W.G. & COX, G.M. Experimental Designs. John Wiley & Sons, Inc. Chapman & Hall Limited. New York. London. p. 112, 1950.
4. DE LA LOMA, J.L. Tamaño y forma de las parcelas experimentales. Efecto de las orillas. Cap. XII. p. 205-222. Experimentación Agrícola. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. México. p. 427, 1955.
5. HATHEWAY, W.H. & WILLIAMS, E.J. Efficient Estimation of the Relationship between plot size and the Variability of Crop Yields. Biometrics 14(2): 207-222, 1958.
6. KOCH, E.J. & RIGNEY, J.A. A Method of Estimating Optimum Plot Size from Experimental Data. Agronomy Journal 43(1): 17-21, 1951.
7. PANSE, V.G. y SUKHATME, P.V. Métodos Estadísticos para Investigadores Agrícolas. Traducción al español de Ana María Flores y María G. Lomelí.

- Secretaría de Economía, México. Dirección General de Estadística. Departamento de Muestreo. Fondo de Cultura Económica. México. Buenos Aires. p. 137-150, 1959.
8. SIMMONS, C.L., TARANO, J.M. y PINTO, J.H. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional. Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura. Ministerio de Agricultura. Editorial del Ministerio de Educación Pública "José de Pineda Ibarra". Guatemala, C. A. 1000 p., 1959.
 9. SMITH, H.F. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science*. 28 : 1-23, 1938.
 10. STEEL, R.G. & TORRIEN, J.H. Principles and Procedures of Statistics, with special reference to the Biological Sciences. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London. p. 152-153, 1960.
 11. WASSOM, C.E. & KALTON, R.R. Estimations of Optimum Plot Size Using Data from Bromegrass Uniformity Trials. Research Bulletin 396. Agricultural Experiment Station, Iowa State College. Ames, Iowa. p. 296-320, 1953.

rrg.