

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS Y AMBIENTALES

EVALUACIÓN DE VEINTE METODOS DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA  
EN PIE DE UNIDADES EXPERIMENTALES EN ENSAYOS DE CAÑA DE AZUCAR  
(*Saccharum sp.*); CHICACAO, SUCHITEPEQUEZ

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JUAN ADALBERTO CHAMO CARDONA

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 2,004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUANTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Doctor Ariel Abderramán Ortiz Lopez
VOCAL I	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL II	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL III	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL IV	Maestro Juvencio Chom Canil
VOCAL V	Maestro Bayron Geovany González Chavajay
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos Miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

EVALUACIÓN DE VEINTE METODOS DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA  
EN PIE DE UNIDADES EXPERIMENTALES EN ENSAYOS DE CAÑA DE AZUCAR  
(*Saccharum sp.*); CHICACAO, SUCHITEPEQUEZ

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado de Licenciado.

En espera de su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,

F) \_\_\_\_\_  
Agr. Juan Adalberto Chamo Cardona

**ACTO QUE DEDICO****A:****DIOS:** SER SUPREMO Y TODOPODEROSO QUE ME DA LA VIDA Y PERMITIO LLEGAR A ESTE MOMENTO.**MIS PADRES:** ADALBERTO CHAMO CONTRERAS Y MARCOLFA CARDONA VALENZUELA, GRACIAS POR SUS ESFUERZOS Y SACRIFICIOS PARA PROPORCIONARME LA FORMACIÓN ACADÉMICA.**MIS HERMANOS:** ROXANA MARIBEL, ERIKA ADELINA, LEONEL ANTONIO Y ENIO MAURICIO; QUE LES SIRVA COMO ESTIMULO PARA SEGUIR ADELANTE.**MI ESPOSA:** FRANCISCA DEL CARMEN, GRACIAS POR SU AMOR, PACIENCIA, APOYO Y COMPRENSIÓN.**MIS HIJAS:** MARIA FERNANDA Y MARIA ISABEL, TESOROS LINDOS QUE DIOS ME DIO, SIGAN ADELANTE.**MIS TIOS:** EN ESPECIAL A PEDRO CHAMO Y BALDIVIO CARDONA, POR SUS ENSEÑANZAS Y SABIOS CONSEJOS.**FAMILIA:** HERRARTE ROSALES, POR SU MOTIVACIÓN A SALIR ADELANTE**FAMILIA:** BARRERA GODOY, POR SU CONSEJOS Y APOYO INCONDICIONAL, DURANTE LA CULMINACIÓN DE MIS ESTUDIOS EN LA ENCA. SIEMPRE LOS LLEVO EN MI CORAZON.**TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.**

## **TESIS QUE DEDICO**

**A:**

**DIOS SOBERANO Y OMNIPOTENTE**

**MI PATRIA GUATEMALA**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Ing. Agr. Marino Barrientos García, por su confianza y asesoría en la realización del presente trabajo de tesis.

Ing. Agr. Francisco Ibarra (Q. E. P.), por su motivación en la realización del presente trabajo de tesis.

Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón, por su motivación y apoyo incondicional en la realización del presente trabajo de tesis

Ing. Agr. Marco Vinicio Paz Chávez, por darme la oportunidad de realizar el presente trabajo de tesis en el Ingenio Palo Gordo, S. A.

Ing. Agr. Byron De Paz, por su contribución a este trabajo de tesis.

Ingenio Palo Gordo, S. A., por su apoyo económico y logístico en la realización de este trabajo de tesis.

## **INDICE GENERAL**

### **PAGINA**

<b>INDICE GENERAL</b>	i
<b>INDICE DE CUADROS</b>	iii
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	iv
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	3
<b>3. MARCO TEORICO</b>	4
3.1 Marco Conceptual	4
3.1.1 Descripción de la caña de azúcar	4
3.1.2 Características relevantes que conforma el prototipo varietal	5
3.1.2.1 Características agronómicas	5
3.1.2.1.A Crecimiento y deshoje	5
3.1.2.1.B Diámetro de la caña	5
3.1.2.1.C Porcentaje de fluoración natural	5
3.1.2.1.D Incidencia y severidad de corcho	6
3.1.2.1.E Oquedad	6
3.1.2.1.F Afate o pubescencia, raíces aéreas y brotación de yemas	6
3.1.2.1.G Rajaduras en la corteza	6
3.1.2.1.H Porcentaje de fibra	7
3.1.2.1.I Composición varietal	7
3.1.3 Tonelaje de caña por hectárea y rendimiento de azúcar	7
3.1.4 Aspectos fitosanitarios	7
3.1.5 Otras características relevantes	8
3.1.6 Generalidades sobre investigación agrícola	9
3.1.7 Teoría de muestreo	9
3.1.7.1 Elementos del problema de muestreo	10
3.1.8 Correlación lineal	10
3.1.9 Modelos de regresión lineal	12
3.1.9.1 Usos de la regresión	13
3.1.9.2 El modelo de regresión lineal simple	14
3.1.9.3 Evaluación de la adecuación del modelo de regresión	15
3.1.9.4 Análisis de residuos	17
3.1.9.5 Predicción y Pronóstico	19
3.1.10 Estudios realizados en otros países	20
3.2 Marco Referencial	23
3.2.1 Localización del área experimental	23
3.2.2 Condiciones climáticas	23
3.2.3 Condiciones edáficas	23
<b>4. OBJETIVOS</b>	26
4.1 General	26
4.2 Específicos	26
<b>5. HIPÓTESIS</b>	27
<b>6. METODOLOGÍA</b>	28
6.1 Materiales y Equipo	28
6.2 Desarrollo del trabajo de investigación	28
6.2.1 Manejo agronómico del área del ensayo experimental	28
6.2.1.1 Preparación del suelo	29

## PAGINA

6.2.1.2	Siembra	29
6.2.1.3	Fertilización	29
6.2.1.4	Riego	29
6.2.1.5	Control de plagas	29
6.2.1.6	Control de malezas	30
6.2.1.7	Cosecha	30
6.3	Técnica experimental	30
6.3.1	Tamaño de la unidad experimental	30
6.3.2	Tamaño de muestra y formas para el conteo de la población de tallos molederos	31
6.3.2.1	Tamaño de muestra	31
6.3.2.1.A	Extracción de 15 tallos molederos	32
6.3.2.1.B	Extracción de 20 tallos molederos	33
6.3.2.1.C	Extracción de 25 tallos molederos	34
6.3.2.1.D	Extracción de 30 tallos molederos	35
6.3.2.2	Formas para el conteo de la población de tallos molederos	35
6.3.2.2.A	Un surco exterior	36
6.3.2.2.B	Un surco interior	36
6.3.2.2.C	Dos surcos exteriores	37
6.3.2.2.D	Un surco interior y otro exterior	37
6.3.2.2.E	Tres surcos	38
6.3.3	Variables medidas	39
6.3.4	Análisis de la información	40
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	41
7.1	Análisis de Varianza	40
7.2	Análisis de correlación entre la producción real y la producción estimada	41
7.3	Regresión lineal entre la producción real y las producciones estimadas por los mejores métodos de estimación	44
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	50
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	51
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	52
<b>11.</b>	<b>APENDICE</b>	54



## INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. Tabla general del análisis de varianza para el modelo de regresión lineal simple	16
2. Resultado del análisis de suelo. Finca Agrícola Manacales, S. A. Ingenio Palo Gordo, S. A. Noviembre 1998. Laboratorio de Soluciones Analíticas.	25
3. Métodos de estimación de la producción de caña en pie (combinación entre una forma de conteo de la población de tallos molederos y un tamaño de muestra).	39
4. Resultados del Análisis de Varianza	41
5. Resumen de los resultados del análisis de correlación entre la producción real y la producción estimada dado por los métodos evaluados.	43
6. Resultado del análisis de regresión para los métodos de estimación con mejor correlación.	44
7. Resultados del análisis de varianza para la producción real y las producciones ajustadas por las ecuaciones de regresión	47
8. Cuadro de Agrupaciones Tukey.	49
9 "A". Resultados del análisis de correlación entre la producción y las producciones estimadas por los métodos evaluados. Coeficiente de correlación de Pearson / Prob >  R  under Ho: Rho =0/N =48.	57

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
1. Algunos diagramas de dispersión típicos con valores aproximados de $r$ . El valor de $r$ fluctúa entre $-1 \leq r \leq 1$ , entre más cercano este a 1 evidencia mayor correlación.	11
2. Riesgo de extrapolación en regresión	13
3. Diagrama de dispersión que muestra la recta de regresión verdadera.	14
4. Banda de predicción o banda de confianza para un modelo ajustado, mostrando dos claras observaciones atípicas.	18
5. Banda de predicción al 95% de confianza para un modelo ajustado	19
6. Esquema de la Unidad Experimental	31
7. Ubicación de la extracción de 15 tallos molederos extraídos de la parcela neta.	32
8. Ubicación de la extracción de 20 tallos molederos de la parcela neta.	33
9. Ubicación de la extracción de 25 tallos de la parcela neta.	34
10. Ubicación de la extracción de 30 tallos molibles de la parcela neta.	35
11. Ubicación del surco exterior que se utilizó para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.	36
12. Ubicación del surco interior que se utilizó para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.	36
13. Ubicación de los surco exteriores que se utilizaron para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.	37
14. Ubicación del surco interior y el surco exterior que se utilizaron para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.	37
15. Ubicación de los tres surcos que se utilizaron para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.	38
16. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método de estimación: pesar 15 tallos y contar la población de los tres surcos de la parcela neta y los datos de la producción real.	45
17. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método estimación: Pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores de la parcela neta y los datos de la producción real.	45
18. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método estimación: pesar 25 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores de la parcela neta y los datos de la producción real.	46

19.	Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método estimación: pesar 30 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores de la parcela neta y los datos de la producción real.	46
20 “A”	Aleatorización de la ubicación de las variedades en el ensayo experimental.	55

## FIGURA

## PAGINA

21 “A”.	Curvas del comportamiento de la producción de caña y rendimiento de azúcar en una unidad experimental.	56
22 “A”.	Croquis de ubicación y acceso a la finca Agrícola Manacales, S. A.	58

EVALUACION DE VEINTE METODOS DE ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA EN  
PIE DE UNIDADES EXPERIMENTALES EN ENSAYOS DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum sp.*);  
CHICACAO, SUCHITEPEQUEZ

EVALUATION OF TWENTY METHODS OF SUGAR CANE PRODUCTION ESTIMATION ON THE  
FIELD OF EXPERIMENTAL UNITS IN SUGAR CANE TRIALS (*Saccharum sp.*); CHICACAO,  
SUCHITPEQUEZ.

RESUMEN

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum sp.*), es de gran importancia económica para Guatemala, representa una fuente importante de divisas y contribuye en la generación de empleo.

Actualmente; debido a las características del mercado donde compite, la tendencia es a la reducción del área de cultivo pero sí al aumento de la producción de caña por unidad de superficie cultivada y al incremento en los rendimientos de azúcar por tonelada de caña.

Para aumentar la producción de caña por hectárea de cultivo en incrementar los rendimientos de azúcar por tonelada de caña, es necesario realizar mayor investigación; pero al aumentar la investigación también aumentan los problemas inherentes al desarrollo de esta.

Con la presente investigación se pretende contribuir a la solución de los problemas que afronta el investigador al momento de llevar a cabo la última y más importante etapa de un experimento que consiste en el corte, pesado y transporte de la caña.

Para lo cual se realizó una evaluación de veinte diferentes métodos de estimación de la producción de caña en pie, que se obtienen de la combinación entre un tamaño de muestra y una forma de conteo de la población de tallos molederos, utilizando para ello un ensayo experimental que tenía la finalidad de evaluar el comportamiento de doce variedades tardías, ubicado en la Finca Agrícola Manacales, S. A; Chicacao, Suchitepequez.

Posteriormente los resultados se sometieron a dos técnicas estadísticas: Correlación y Regresión, tomando como variables la producción real de la unidad experimental y la producción estimada, con dichas técnicas se

determinaron los métodos de estimación más confiables: pesar 15 tallos y contar la población de tallos molederos de los tres surcos; pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores, pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores y pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores, se consideran confiables ya que son lo que poseen los coeficientes de correlación más altos: 0.75615, 0.75590, 0.76877, y 0.77189 respectivamente y que se seleccionan por su facilidad de aplicación en el campo.

Y la precisión de estos métodos de estimación más confiables se midió a través del coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado de: 0.562457, 0.562062, 0.582118 y 0.587022 respectivamente; sin embargo estas precisiones se consideran como no aceptables.

Con los resultados obtenidos se puede decir que la estimación de la producción de caña en pie a través de una metodología de conteo de la población de tallos molederos y la extracción de una muestra, al menos dentro de los métodos de estimación evaluados, es confiable pero no precisa para ser utilizados cuando se quiere juzgar estadísticamente el efecto de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales utilizando como indicador el peso de la caña.

Cuando existan condiciones muy adversas que no permitan la cosecha completa del experimento y dado que independientemente del método de estimación de la producción de caña en pie que se utilice ya que la aplicación de este no afecta los resultados del análisis de varianza, y las unidades experimentales sean de cinco surcos de diez metros de largo cada uno y únicamente se requiera conocer los dos mejores tratamientos a través del peso de la caña. Se recomienda utilizar el método de estimación de caña en pie que consiste en pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores, aplicándole a los resultados la

fórmula  $Y_i = \frac{PTM}{TM} * \frac{PT}{2} * 3$ , donde  $Y_i$  = Producción estimada,  $PTM$  = Peso del tamaño de muestra,  $TM$  =

Tamaño de muestra,  $PT$  = Población de tallos dada por la forma de conteo; el resultado obtenido será la producción estimada que luego deberá ser corregida por la ecuación Producción Real =  $443.541 + 0.621Pest$ , los resultados serán las producciones que utilizarán para los análisis estadísticos respectivos con una confiabilidad de 0.76877 y una precisión de 0.582118.

Sin embargo se debe continuar con la evaluación de otros métodos de estimación de la producción de caña en pie de las unidades experimentales, para aumentar la confiabilidad y precisión.

## 1. INTRODUCCIÓN

Para obtener y mantener la competitividad en el mercado nacional como internacional la investigación juega un papel importante, contribuyendo en el desarrollo de tecnología en la agroindustria azucarera.

En Guatemala, para la zafra 2000/2001, se alcanzó una producción de 1.69 millones de toneladas métricas de azúcar, pese a que el rendimiento fue menor en 3.46% con respecto a la zafra 1999/2000 (231 lbs. de azúcar/ton).

El área de cultivo caña de azúcar para la zafra 2000/2001, se estimó en 179,471 hectáreas lo que representó una reducción en el área de cultivo de 0.29% con respecto a la zafra 1999/2000; sin embargo la caña molida para la zafra 2000/2001 es de 16.45 millones de toneladas métricas de caña, lo que representa un incremento de 5.82% con respecto a la zafra anterior; esto último se atribuye a que para la zafra 2000/2001 hubo un rendimiento de 92 toneladas de caña por hectárea lo que representa un incremento de 2 ton/ha de caña con respecto a la zafra 1999/2000 ( 8 ).

Observando la tendencia a la reducción del área de cultivo y al incremento del rendimiento de azúcar por tonelada y el rendimiento de caña por hectárea; la Agroindustria Azucarera será más competitiva tanto en el mercado nacional como internacional.

La participación de la investigación en este ámbito competitivo, es de mucha importancia en el desarrollo de tecnología agrícola en programas de nutrición vegetal, de control de plagas y enfermedades, de control de malezas, de riego, de aplicación de madurantes e inhibidores de floración y conservación del ambiente por mencionar algunos.

Incrementar el rendimiento de azúcar por tonelada y la producción de caña por hectárea, requiere mayor esfuerzo e inversión en investigación por parte de los ingenios azucareros; pero al aumentar las áreas experimentales en campo, aumentan también las dificultades en su manejo (corte, pesado y transporte de la caña), principalmente en los procedimientos de medición de las variables respuesta de interés, en particular cuando para juzgar el efecto de los tratamientos se recurre a la medición de la producción de caña de azúcar por unidad de área; lo cual requiere un incremento considerable de tiempo, equipo y personal necesario, que redundará en mayor costo en la investigación.

En la búsqueda de un método indirecto para determinar la producción de caña, se han utilizado procedimientos de muestreo con el propósito de resolver esta situación, es decir en aquellos experimentos que ameriten la estimación de la producción de caña en pie de los experimentos que lo ameritan; utilizando para ello: el conteo y pesado de los tallos del surco central de las unidades experimentales; el conteo y pesado de los tallos de un metro lineal del surco central de la unidad experimental, los cuales no fueron evaluados estadísticamente para probar su confiabilidad.

La implementación de un sistema de muestreo para predecir la producción de caña en pie de las unidades experimentales, es considerada como una forma rápida, confiable y oportuna de medir la variable de interés, para este caso la producción de caña en toneladas por hectárea. En consecuencia de que dentro de los experimentos, la principal variable utilizada para evaluar la bondad de los tratamientos es la producción de caña.

Los métodos de estimación de la producción de caña en pie de las unidades experimentales evaluados, provienen de la combinación entre de las formas de conteo de la población de tallos molederos y los diferentes tamaños de muestra.

Se determinó la confiabilidad y precisión de la distribución espacial del conteo de la población de tallos y el tamaño de la unidad de muestreo, en la validez de las estimaciones de la producción de caña en parcelas experimentales de cinco surcos por diez metros de largo.

La evaluación se llevó a cabo en una de las áreas experimentales del Ingenio Palo Gordo, ubicada en la Finca Agrícola Manacales, S. A.; en jurisdicción del municipio de Chicacao, departamento de Suchitepequez.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación en el cultivo de la caña de azúcar, durante la zafra 1999/2000 fue principalmente en el desarrollo de proyectos como: desarrollo de variedades apropiadas para la agroindustria azucarera, diagnóstico y control de enfermedades, manejo integrado de plagas, uso y manejo óptimo de fertilizantes, manejo de suelo, uso óptimo del agua de riego y otros ( 7 ).

Estas investigaciones requieren considerables extensiones de área, ya que se tienen que realizar en diferentes regiones dentro de los tres estratos o zonas de producción (estrato I o zona alta: > 300 msnm, estrato II o zona media 100 – 300 msnm y estrato III o zona baja: <100 msnm, que comprende la región cañera ( 19 ).

La mayoría de los experimentos ubicados en las diferentes regiones dentro de los estratos o zonas de producción, requieren de la medición de la producción de caña como variable principal para medir las bondades de los tratamientos. Para llevar a cabo la medición de la producción de caña, es necesario realizar el corte, pesado y transporte de la caña experimental, que amerita la utilización de una considerable cantidad de personal calificado, maquinaria y equipo especial; que son necesarios para minimizar el error experimental.

Para lograr el mínimo de error experimental en el corte o cosecha, es necesario que el personal que se utiliza debe estar capacitado en la ejecución de experimentos. Algunos de los criterios que el personal debe conocer son: que un bloque o repetición sea cosechada y pesada el mismo día, que no confundan las unidades experimentales, que distingan entre una parcela bruta y una parcela neta, que tengan el mismo criterio de corte, que eliminen los tallos no molederos, por mencionar algunos.

En la tarea de pesado y transporte de la caña de experimentos, además del personal, se requiere de equipo a tiempo completo (alzadora, brazos mecánicos y grúas y pesas especiales de gran precisión),

El requerir personal capacitado y equipo a tiempo completo, representa un alto costo para los programas de investigación, y según la experiencia en casi todos los casos hay limitación de personal y equipo para el desarrollo de las actividades de corte, pesado y transporte de la caña experimental; dado que se le da prioridad a la cosecha comercial.



### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 Marco Conceptual

##### 3.1.1 Descripción de la caña de azúcar

Es una gramínea gigante, perenne, con la característica de ser una de las mejores captadoras de energía y transformadoras de carbohidratos en azúcar; se ubica dentro del género Saccharum y está asignada a la especie Saccharum spp. ( 3 ).

- a) **Las raíces:** cumplen la doble función de anclaje y absorción de agua y nutrientes; hay dos tipos de raíces: raíces primordiales, se originan en el anillo de crecimiento del trozo que se siembra, duran hasta que aparecen raíces en los nuevos macollo; raíces permanentes; son emitidas por la macolla; la cantidad, longitud y edad de las raíces depende de la variedad, tipo de suelo y humedad ( 3 ).
- b) **El tallo:** constituye la parte de valor económico en la caña de azúcar, debido a que en el se almacenan los azúcares; son cilíndricos, más o menos erectos, de longitud y color variable, esta formado por secciones sucesivas denominadas entrenudos, divididos por zonas más duras y prominentes llamadas nudos. La caña forma cepas constituidas por: tallos primarios, si se originan; de una yema de la semilla vegetativa original; secundarios, si se originan de una yema del tallo primario, terciarios si se originan de una yema del tallo secundario y así sucesivamente ( 3 ).
- b.1) **Tallo moledero:** El tallo moledero se diferencia de los no molederos (mamones u otros) por su alto contenido de azúcar y su buen estado, lo cual se puede determinar por su paladar y observación; y generalmente los tallos molederos son el tallo prototipo de la variedad en cuanto a diámetro y altura, aunque pueden haber tallos molederos de menor tamaño al prototipo varietal.
- c) **La yema:** es el órgano vegetativo de la planta, se encuentra ubicada en la depresión del tallo en cada nudo, son escamosos y cónicas antes del desarrollo, tomando una forma arredondeada y aplastada después del mismo ( 3 ).
- d) **Las hojas:** poseen bordes duros y aserrados, se originan en forma alterna en cada entrenudo; están formados por lámina foliar y vaina o yagua. A la unión entre ambas se le llama lígula. La encargada de realizar la fotosíntesis es la lámina foliar ( 3 ).

- e) **La flor:** la inflorescencia es una panícula sedosa denominada espiga, posee flores hermafroditas. El proceso de floración es altamente sensitivo al ambiente. Influyen en la floración: el fotoperíodo, la temperatura, humedad, nivel de nutrientes del suelo y estado de crecimiento ( 3 ).

### **3.1.2 Características relevantes que conforma el prototipo varietal**

#### **3.1.2.1 Características agronómicas**

##### **3.1.2.1.A Crecimiento y deshoje**

Soto, GJ. 1995 ( 21 ); menciona que estas dos características van asociadas a la eficiencia de la cosecha. El crecimiento erecto de una variedad incrementa la eficiencia del corte, alce y transporte; mientras que el deshoje natural, facilita la cosecha en verde ya sea manual o mecánica.

##### **3.1.2.1.B Diámetro de la caña**

Soto, GJ. 1995 ( 21 ); apunta que el diámetro del tallo está negativamente correlacionado con el acampamiento o número de tallos por cepa o macolla y estos dos parámetros conjuntamente con la altura de planta son los tres componentes más importantes que inciden directamente sobre el tonelaje de caña por unidad de área.

##### **3.1.2.1.C Porcentaje de floración natural**

Para Soto, GJ. 1995 ( 18 ); es importante resaltar dos aspectos sobre la floración: a) la floración inducida por fotoperíodo, pero la intensidad es modificada por condiciones ambientales; como resultado de la floración, la maduración fisiológica de los tallos se acelera y el contenido de sacarosa se incrementa en el corto plazo. Lo anterior sugiere planificar la cosecha dentro de un período de 6 a 8 semanas después del inicio de floración, que posterior a este período los rendimientos en tonelaje de caña y libras de azúcar se afectan por el incremento de corcho y contenido de fibra; b) ciertos genotipos alcanzan su maduración fisiológica sin mostrar floración, aunque la formación de corcho se puede dar en este tipo de materiales. Por lo anterior, en evaluación de variedades se hace necesario evaluar la incidencia de floración y corcho para determinar curvas de maduración y poder clasificar las variedades en las categorías de maduración temprana, intermedia y tardía.

#### **3.1.2.1.D Incidencia y severidad de corcho**

Soto, GJ. 1995 ( 21 ); menciona que el corcho en sus dos parámetros de medición, intensidad o incidencia está muy relacionado con la maduración y floración de la caña y considerado en general como parte del deterioro de la misma. Su presencia incide en pérdidas de azúcar y tonelaje en el campo o una contrariedad en el proceso de extracción en fábrica. Una variedad excelente debe tener menos del 5% de incidencia de corcho.

#### **3.1.2.1.E Oquedad**

Para Soto, GJ. 1995 ( 21 ); La oquedad o “ahuecamiento de la caña” que se presenta en la base del tallo debe ser mínima. Este fenómeno conduce a pérdidas en el rendimiento de caña por deterioro del sistema fibrovascular de la planta.

#### **3.1.2.1.F Afate o pubescencia, raíces aéreas y brotación de yemas**

Para Soto, GJ. 1995 ( 21 ); el afate, pelusa o tuna es una molestia para el cortador de caña comercial, especialmente de caña verde y corte de semilla. La brotación de yemas o yemas protuberantes son problema por la formación de brotes laterales o lalas y por el deterioro de las yemas por golpes durante el manejo de semilla. Las raíces aéreas son indeseables por el incremento de “trash” en una variedad.

#### **3.1.2.1.G Rajaduras en la corteza**

Soto, GJ. 1995 ( 21 ); menciona que en sí la rajadura de la corteza de los tallos no es el problema central, son que ésta es puerta de entrada a muchas enfermedades fungosas causantes del deterioro de las cañas en condiciones de campo.

### **3.1.2.1.H Porcentaje de fibra**

Para Soto, GJ. 1995 ( 21 ); los estudios sobre el contenido de fibra no son concluyentes, aunque se menciona que la fibra esta relacionada con el poder calorífico, resistencia a barrenadores y contenido de fibra mayor al 16% no son muy deseadas por los cortadores.

### **3.1.2.1.I Composición varietal**

Según Soto, GJ. 1995 ( 21 ); la estrategia general del programa de variedades de CENGICAÑA es producir en igual proporción variedades de maduración temprana, intermedia y tardía. En Guatemala, las variedades de maduración temprana coinciden generalmente con materiales que tienen arriba del 50% de floración, bajo las condiciones de la zona cañera guatemalteca. Existen variedades que presentan menos del 50% de floración, como el caso de las variedades CP 722086 y CP 57603, las cuales presentan menos deterioro en el campo, lo que permite cosecharlas en enero y febrero. Finalmente, las variedades que no muestran floración bajo condiciones naturales del área cañera guatemalteca son generalmente de maduración tardía que presentan niveles adecuados de azúcar cuando la planta es sometida a estrés especialmente hídrico conforme avanza la época de sequía o verano.

### **3.1.3 Tonelaje de caña por hectárea y rendimiento de azúcar**

Para Soto, GJ. 1995 ( 21 ); las variedades seleccionadas, sea cual sea su tipo de maduración, deben producir como mínimo 1.15 toneladas de azúcar por hectárea mes “TAHM” (ciclo de 12 meses), lo que se obtiene como referencia con una producción de 125.5 toneladas métricas de caña por hectárea (96.6 ton/mz) y 100 kilos de azúcar por tonelada métrica de caña (220 lbs/ton). Incrementos en cualquiera de esas dos variables van a repercutir directamente en incrementos de TAHM. Sin embargo, el criterio actual del programa de variedades es seleccionar aquellos materiales con el más alto rendimiento de azúcar, en virtud de que los tonelajes de caña son más dependientes del ambiente.

### **3.1.4 Aspectos fitosanitarios**

Soto, GJ. 1995 ( 21 ); menciona que de las enfermedades presentes en Guatemala el carbón (Ustilago scitaminea Sydow), la roya (Puccinia melanocephala H. Syd, & O. Syd) y mosaico (SCMV) son a las que en general se les da mayor atención en cualquier programa de mejoramiento. Sin embargo, en el país existen

otras enfermedades como la escaldadura (Xanthomonas albilineans), la raya roja (Pseudomonas rubrilineans Lee\_et al) y últimamente el síndrome del amarillamiento de la caña (YLS). Una buena variedad será aquella que presente los niveles de tolerancia siguientes:

Carbón < 10%

Mosaico < 10%

Roya < de 5 en escala de 0-9 para reacción de la planta

Escaldadura 10%

Raya roja < 10% de tallos muertos

Síndrome del amarillamiento de la caña (YLS) 0%

Los agentes causales son hongos para el carbón y la roya; bacterias para la raya roja y la escaldadura. Un virus para el mosaico y etiología dudosa para el síndrome del amarillamiento de la caña.

Barrenadores en general < 5% de intensidad de infestación.

### **3.1.5 Otras características relevantes**

Para Soto, GJ. 1995 ( 21 ); algunos aspectos adicionales que deben tomarse en cuenta para el prototipo varietal son:

- a) Las variedades deberán evaluarse por su susceptibilidad a los herbicidas comunes y su respuesta a madurantes, tanto en incremento de azúcar como sus efectos en rebrote.
- b) Los sistemas radiculares deberán ser profundos y que haya una tolerancia al pisoteo por maquinaria.
- c) Se debe generar materiales con tolerancia a sequía.
- e) Las enfermedades se debe evaluar en más de una localidad para evitar la discriminación por enfermedades de carácter focal como escaldadura y raya roja.

### 3.1.6 Generalidades sobre investigación agrícola

Arnon, I. 1978 ( 2 ); apunta que la misión de la investigación agrícola se define en los siguientes términos: a) aplicar todas las fuentes de descubrimiento científico a la solución de problemas técnicos y prácticos de la agricultura; b) trabajar en investigación básica cuando la falta de conocimientos fundamentales puede impedir el progreso, y c) resolver los problemas específicos que confronta la agricultura.

Para De La Loma, J. L. 1966 ( 14 ), La importancia considerable de la experimentación agrícola se debe, principalmente a que descansa en ella el progreso de la agricultura mundial. Cualquier idea formulada en relación con la producción rural, por genial que pueda ser, necesita pasar por el crisol de la experimentación agrícola, para que pueda ser aceptada y divulgada. La introducción y generalización de variedades nuevas, en determinadas regiones o países, el establecimiento de métodos genéticos para la mejora de plantas, las normas en que descansa la aplicación de fertilizantes, la modificación paulatina que han ido sufriendo las prácticas culturales en el transcurso del tiempo, los métodos de combate y prevención de plagas y enfermedades y cuantos hechos han contribuido a la evolución de la agricultura, se han establecido como consecuencia de ensayos y experimentos de campo, llevados a cabo en cada ocasión de acuerdo con el grado de perfección alcanzado en el momento de la técnica experimental.

### 3.1.7 Teoría de muestreo

Para De La Loma, J. L. 1966 ( 14 ), La teoría de muestreo es un estudio de las relaciones existentes entre una población y muestras de la misma. El muestreo permite estimar cantidades desconocidas de la población (tales como la media poblacional, la varianza, etc.), frecuentemente llamados parámetros poblacionales o brevemente parámetros, a partir del conocimiento de las correspondientes cantidades muestrales (tales como la media muestral, la varianza, etc.), a menudo llamados estadísticos muestrales o brevemente estadísticos.

La teoría de muestreo es también útil para determinar si las diferencias que se puedan observar entre dos muestras son debidas a la aleatoriedad de las mismas o si por el contrario son realmente significativas. Decidir si un método es mejor que otro envuelven a los llamados ensayos e hipótesis de significación, que tienen gran importancia en teoría de decisión ( 22 ).

En general un estudio de inferencias, realizado sobre una población mediante muestras extraídas de la misma, junto con las indicaciones sobre la exactitud de tales inferencias aplicadas a la teoría de la probabilidad, se conoce como inferencia estadística ( 22 ).

### 3.1.7.1 Elementos del problema de muestreo

según Scheaffer, RL; Mendenhall, W; Ott, L. 1987 (19), el objetivo de la estadística es hacer inferencias acerca de una población con base en la información contenida en una muestra. En la mayoría de los casos, la inferencia estará en la forma de una estimación de un parámetro poblacional, tal como una media, un total o una proporción con un límite para el error de estimación.

Cada observación o elemento tomado de la población contiene cierta cantidad de información acerca del parámetro o parámetros de interés. Ya que la información cuesta dinero, el experimentador debe determinar que tanta información debe comprar. Muy poca información impide al experimentador realizar buenas estimaciones, mientras que mucha información ocasiona un despilfarro de dinero. La cantidad de información obtenida en la muestra depende del número de elementos muestreados y de la cantidad de variación en los datos. Este último factor puede ser controlado por el método de selección de la muestra, llamado el diseño de la muestra. El diseño y el tamaño de la muestra determinan la cantidad de información pertinente a un parámetro poblacional.

### 3.1.8 Correlación lineal

La correlación lineal se utiliza cuando interesa determinar el grado de asociación que existe entre dos variables ( 1 ). Es decir cuando es necesario tener un indicador de la intensidad o fuerza de la relación lineal entre dos variables  $y$  y  $x$ , independientemente de sus respectivas escalas de medición ( 15 ).

La medida de correlación comúnmente usada en estadística se llama coeficiente de correlación del momento producto de *Pearson*.

Esta cantidad, denotada por el símbolo  $r$ , se define en la forma siguiente:

$$-1 \leq \rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \leq 1$$

y se estima por

$$r = \frac{SC_{xy}}{\sqrt{SC_x SC_y}}$$

donde

$$SC_y = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}$$

$$SC_x = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}$$

$$SC_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}$$

$r = 0$  implica que no hay correlación lineal entre  $y$  y  $x$ . Un valor positivo de  $r$  implica que la recta es creciente hacia la derecha, mientras que un valor negativo indica que la recta es decreciente hacia la derecha (figura 1) ( 15 ).

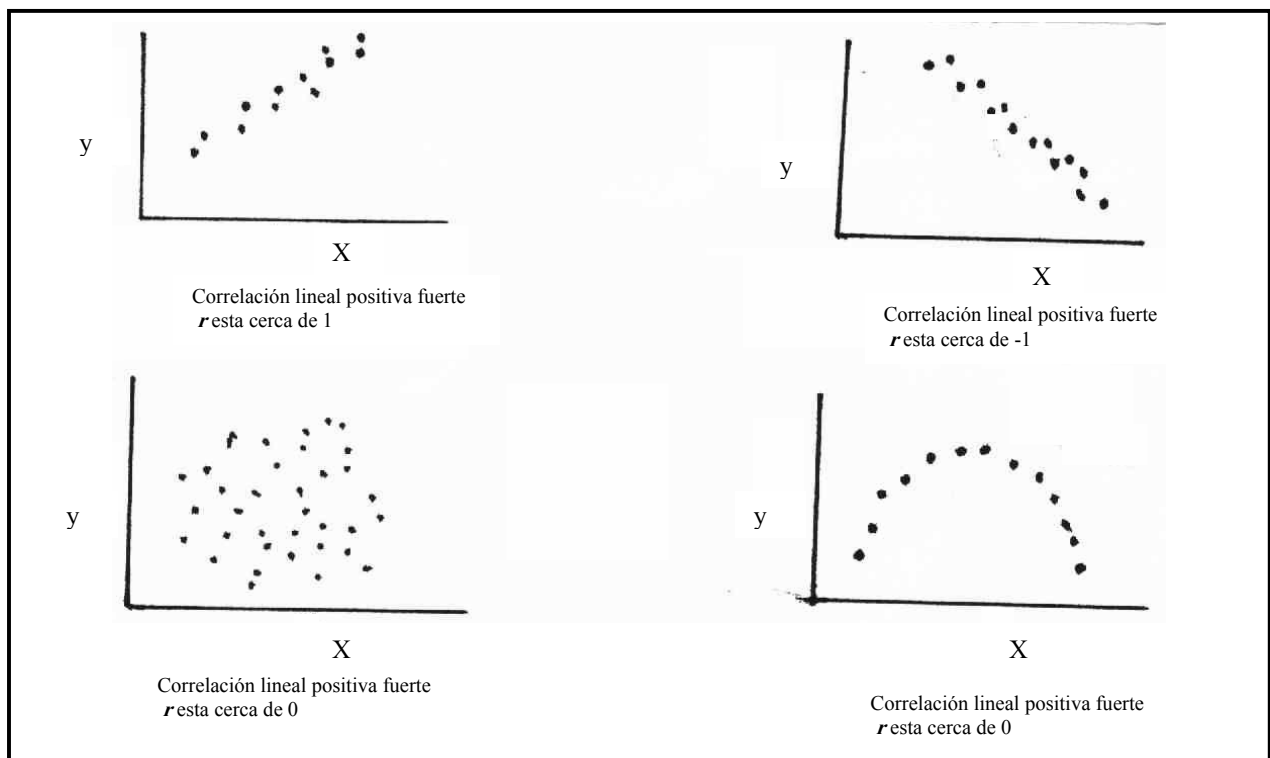


Figura 1. Algunos diagramas de dispersión típicos con valores aproximados de  $r$ . El valor de  $r$  fluctúa entre  $-1 \leq r \leq 1$ , entre más cercano este a 1 evidencia mayor correlación ( 1 ).



### 3.1.9 Modelos de regresión lineal

El análisis de regresión es una técnica estadística que se utiliza para modelar la relación entre variables. Las aplicaciones de regresión son numerosas y ocurren en casi todos los campos, incluyendo la ingeniería, las ciencias físicas, las ciencias biológicas, las ciencias sociales y la economía, entre otras. De hecho, el análisis de regresión puede ser considerado como la técnica estadística más ampliamente utilizada ( 17 ).

El objetivo más importante del análisis de regresión está siempre relacionado con el de estimar parámetros desconocidos en el modelo de regresión. Este proceso también se conoce como el ajuste del modelo a los datos ( 17 ).

Un modelo de regresión no implica necesariamente una relación causa – efecto entre las variables. Si bien una relación empírica fuerte puede existir entre dos o más variables, esto no debe considerarse como una evidencia de que las variables explicatorias y las variables respuesta estén relacionadas como una relación causa – efecto. El análisis de regresión puede ayudar en confirmar una relación causa – efecto, pero no puede ser la base única del tal reclamo. En casi todas las aplicaciones de regresión, la ecuación de regresión es sólo una aproximación a la relación real que existe entre las variables ( 17 ).

Generalmente las ecuaciones de regresión son válidas sólo bajo la región o dominio de las variables regresoras contenidas en los datos observados. Por ejemplo, considérese la figura 2, y supóngase que los datos sobre el eje  $X$  y  $Y$  fueron colectados dentro del intervalo  $x_1 \leq x \leq x_2$ . Sobre este intervalo la ecuación de regresión lineal mostrada en la figura 2, es una buena aproximación de la verdadera relación. Sin embargo, supóngase que esta ecuación se usa para predecir valores de  $Y$  para valores de la variable regresoras en la región  $x_2 \leq x \leq x_3$ . Claramente el modelo de regresión lineal es inservible para este rango de  $X$ (ver figura 3) ( 17 ).

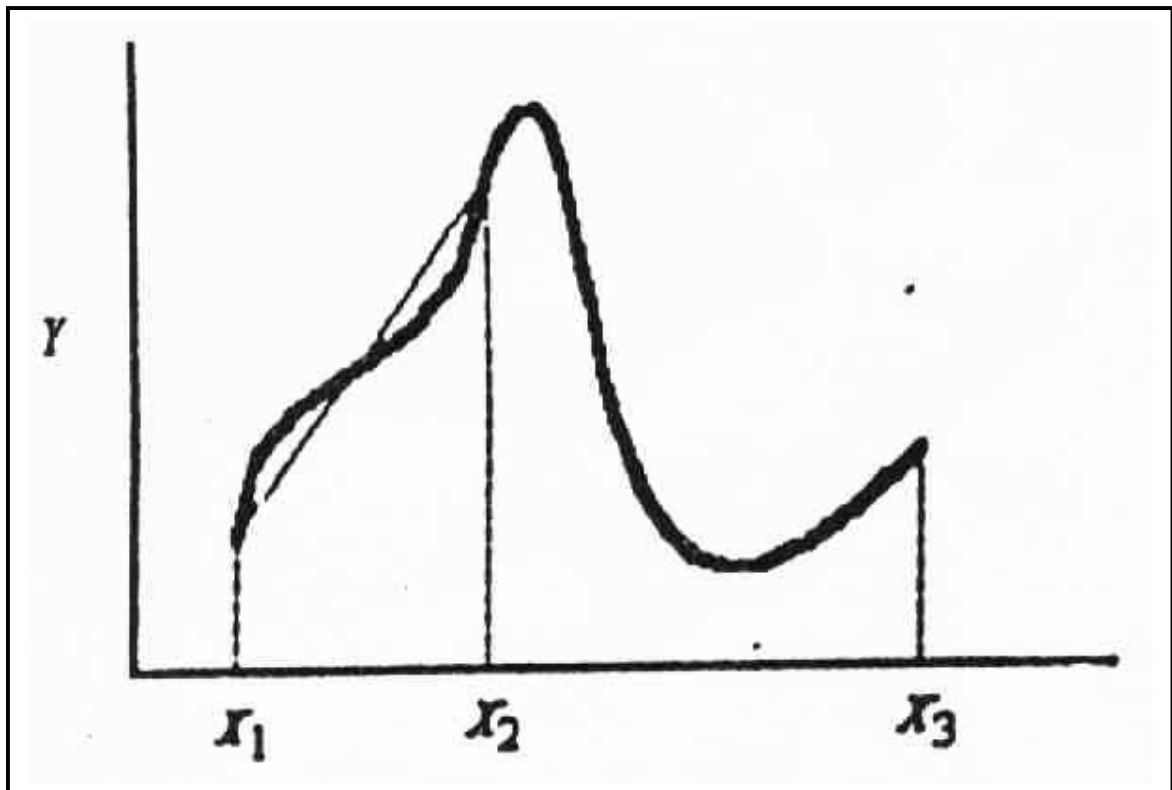


Figura 2. Riesgo de extrapolación en regresión

Un aspecto esencial del análisis de regresión es la colección de los datos. Dado que las conclusiones del análisis son condicionales sobre los datos, un buen esfuerzo de colección de datos puede tener muchos beneficios, incluyendo un análisis simplificado y un modelo generalmente más aplicable. Los datos usados en un análisis de regresión deben ser representativos del sistema estudiado. Sin datos representativos, el modelo de regresión, y en consecuencia las conclusiones obtenidas de éste, podrían tener un gran error ( 17 ).

### 3.1.9.1 Usos de la regresión

Los modelos de regresión se usan para varios propósitos, incluyendo los siguientes:

- a) La descripción de datos
- b) La estimación de parámetros
- c) Predicción y estimación
- d) Control ( 17 ).

### 3.1.9.2 El modelo de regresión lineal simple

El modelo de regresión lineal simple tiene la siguiente forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i; i = 1, 2, \dots, n$$

Este modelo se establece para un conjunto de  $n$  observaciones en  $(X, Y)$ ; es decir, para los datos

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n).$$

En la ecuación  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i; i = 1, 2, \dots, n$ ,  $\beta_0$  es la ordenada al origen, y se interpreta como el valor esperado para  $Y$  cuando  $x = 0$ , y  $\beta_1$  es la pendiente de la recta, que se interpreta como la proporción de incremento en  $Y$  para cada unidad de incremento de  $X$  (ver figura 3) ( 17 ).

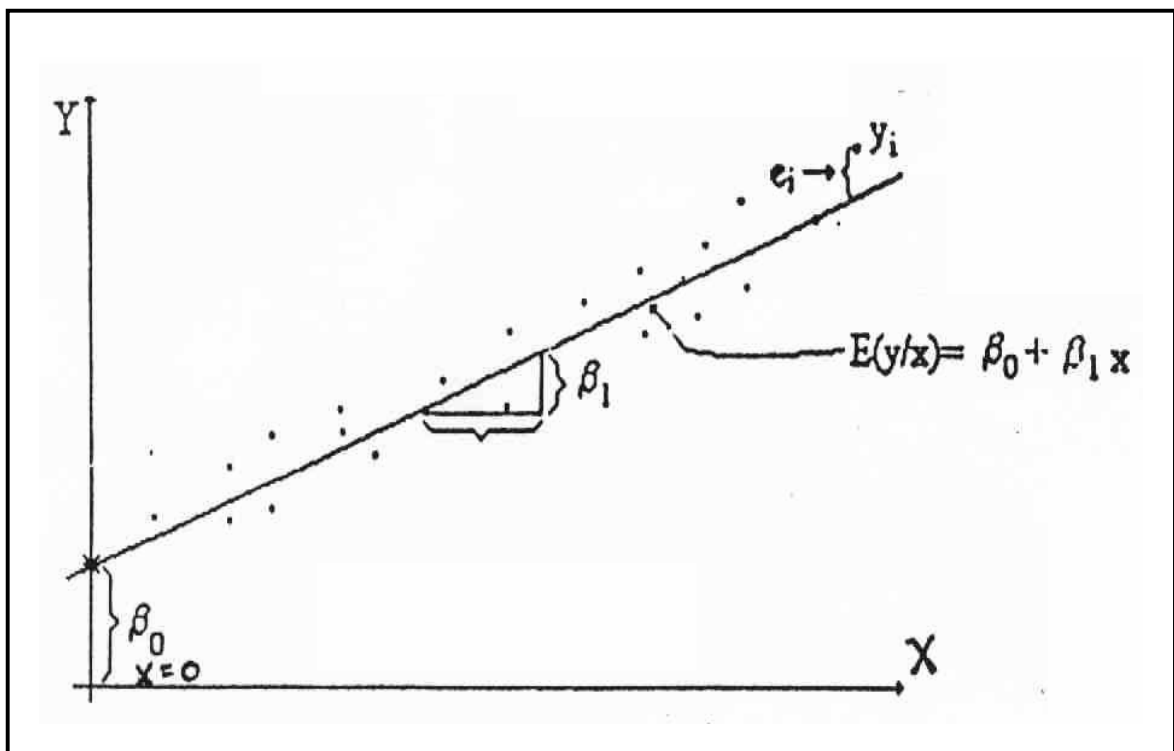


Figura 3. Diagrama de dispersión que muestra la recta de regresión verdadera.

Para postular un modelo de regresión lineal simple es necesario tener en cuenta que debe haber una justificación razonable en cuanto a que la relación causa – efecto o la relación empírica de  $X$  con  $Y$  es de tipo lineal. Las suposiciones básicas que se establecen para el caso del modelo de regresión lineal simple son:

- a) Relación lineal entre  $X$  y  $Y$ .
- b) Los valores de  $X$  son fijos, y se miden sin error.
- c)  $e_i \sim NI(0, \sigma^2)$  ( 17 ).

### 3.1.9.3 Evaluación de la adecuación del modelo de regresión

Una cantidad que indica la bondad del ajuste del modelo en términos de variación explicada por la ecuación es el llamado coeficiente de determinación, el cual mide la proporción de variabilidad en  $Y$  que es explicada por el modelo. Esta cantidad, que es el cuadrado del coeficiente de correlación de *Pearson*, se define alternativamente como:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} = 1 - \frac{SCE}{SCT}$$

donde

$$SCT = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

y

$$SCR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

Se puede verificar que  $SCT = SCE + SCR$ , a la cual se le llama identidad básica del análisis de varianza. Aquí  $SCT$  es denominada la suma de cuadrados total y  $SCR$  la suma de cuadrados de la regresión.

El coeficiente de determinación  $R^2$  es un indicador que nos dice qué tanta variabilidad en  $Y$  es explicada por el modelo; entre más cerca de 1 esté este coeficiente, es mejor el ajuste del modelo. Sin embargo, es necesario realizar un estudio más detallado de la variabilidad, para lo que se construye una tabla de análisis de varianza, la cual, para este caso, toma la forma del cuadro 1. ( 17 ).

Cuadro 1. Tabla general de análisis de varianza para el modelo de regresión lineal simple.

<i>F. V.</i>	<i>G. L.</i>	<i>S. C.</i>	<i>CM</i>	$F_c \sim F(1, n - 2)$
<i>Regresión</i>	1	SCR	$\frac{SCR}{1}$	$F_c = \frac{CMR}{CME}$
<i>Error</i>	N - 2	SCE	$\frac{SCE}{n - 2} = \hat{\sigma}^2$	
Total	N - 1	SCT		

A partir de esta tabla se puede probar la hipótesis general de que la regresión ayuda a explicar significativamente la respuesta  $Y$ . Esta hipótesis se establece para el modelo de regresión lineal simple en términos del coeficiente  $\beta_1$ , y toma la forma siguiente:

$$H_o : \beta_1 = 0$$

vs

$$H_a : \beta_1 \neq 0$$

Esta hipótesis se prueba usando el valor del estadístico  $F$ , el cual, si tiene asociado un p-value bajo indica evidencia en contra de la hipótesis nula, lo que nos llevaría a rechazarla.

Los criterios específicos para la prueba de hipótesis a partir de la observación del p-value son los siguientes:

Si  $p > 0.1$  se declara que no existe evidencia suficiente para rechazar  $H_o$ .

Si  $0.05 < p \leq 0.1$  entonces se declara que hay evidencia, pero baja, en contra de  $H_o$ , por lo que se dice que  $H_o$  se rechaza con baja significancia.

Si  $0.01 < p \leq 0.05$  entonces se dice que existe suficiente evidencia para rechazar  $H_o$ : se dice también que  $H_o$  se rechaza con evidencia significativa.

Si  $p \leq 0.01$  se dice que existe evidencia altamente significativa para rechazar  $H_o$  (17).

### 3.1.9.4 Análisis de residuos

Se ha definido a los residuos como

$$\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

donde  $y_i$  es una observación y  $\hat{y}_i$  es el valor estimado correspondiente. Un residuo puede pensarse como la desviación entre el dato y el predicho por la ecuación de ajuste; es una medida de la variabilidad no explicada por el modelo de regresión.

Los residuos tienen diversas propiedades importantes. Los residuos tienen media cero y su varianza es estimada, para la regresión simple, por

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n-2} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{e}_i^2}{n} = \frac{SCE}{n-2} = CME = \hat{\sigma}^2$$

que se denomina el cuadrado medio del error; los residuos no son independientes; sin embargo, esta no independencia de los residuos tiene poco efecto sobre su uso para investigar el ajuste del modelo siempre que  $n$  no sea tan pequeña.

Un punto “outlier” es una observación extrema. Los **outliers o atípicos** son puntos asociados a datos que no son típicos. Dependiendo de su ubicación en el espacio de los valores de  $\mathbf{X}$ , los outliers pueden tener moderados o severos efectos en el modelo de regresión.

El problema de identificación de casos atípicos es de suma importancia en la regresión. En la figura 4 podemos ver que hay un par de puntos que caen fuera del patrón esperado, definido por la banda de predicción. Esa sería una primera señal de que posiblemente esos casos fueran atípicos (outliers). Hay varios criterios, basados en varios tipos de residuos, que nos pueden guiar en la identificación concreta de puntos atípicos. Estos tipos de residuos son:

- a)  $\hat{e} = y_i - \hat{y}_i$ , residuos crudos.
- b)  $d_i = \hat{e}_i / \sqrt{CME}$ , llamados residuos estandarizados que siguen una distribución aproximada normal estándar.

- c)  $ri = \hat{e}_{ii}/SE(-1) \sqrt{(1-h_{ii})}$ , donde  $h_{ii}$  es el valor de la matriz Hat, los cuales son llamados residuos estudentizados.

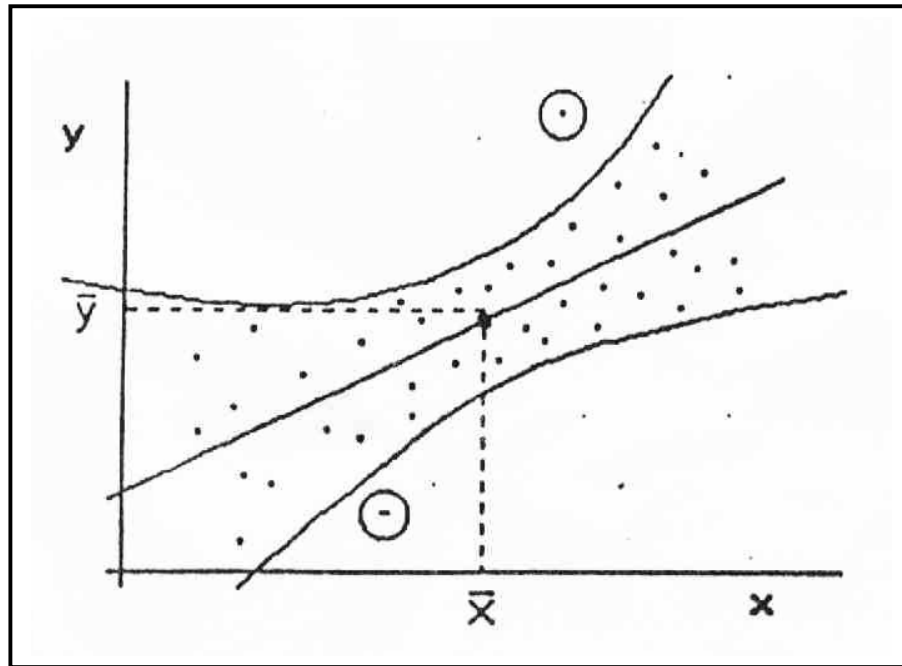


Figura 4. Banda de predicción o banda de confianza para un modelo ajustado, mostrando dos claras observaciones atípicas.

Una primera inspección de un gráfico de residuos estandarizados puede mostrar si una observación es candidata a declarar atípica, cuando  $di > 3$ .

Se dice que una observación es influyente a la estimación de la regresión cuando el modelo estimado sin la observación es muy diferente al obtenido con la observación.

Para “medir” la influencia se han propuesto varios criterios. Se declara una observación atípica:

- a) Si  $h_{ii} > 2(k+1)/n$ , donde  $k$  es el número de variables regresoras.

- b) Si  $|di| > 3$

- c) Si  $di = \frac{ri}{k+1} \times \frac{h_{ii}}{1-h_{ii}} > 1$ .

**Estos resultados son equivalentes ( 17 ).**

### 3.1.9.5 Predicción y Pronóstico

El modelo de regresión se puede usar con propósito predictivo, así, un valor  $X_0$  dado, la predicción puntual para  $Y$  es

$$\hat{Y}_o = \beta_0 + \beta_1 x_o$$

La predicción por intervalo para esta observación en particular es:

$$\hat{Y}_o \pm t(\alpha/2) \sqrt{CME} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{SCx}\right)}$$

Si este intervalo es graficado para cada valor de  $x$  en el dominio de valores de  $x$ , se produce lo que se llama una banda de confianza. Si estos intervalos se grafican junto con los puntos observados y la recta de regresión estimada, la gráfica nos brinda una visión de la capacidad predictiva de nuestro modelo ajustado (ver figura 5).

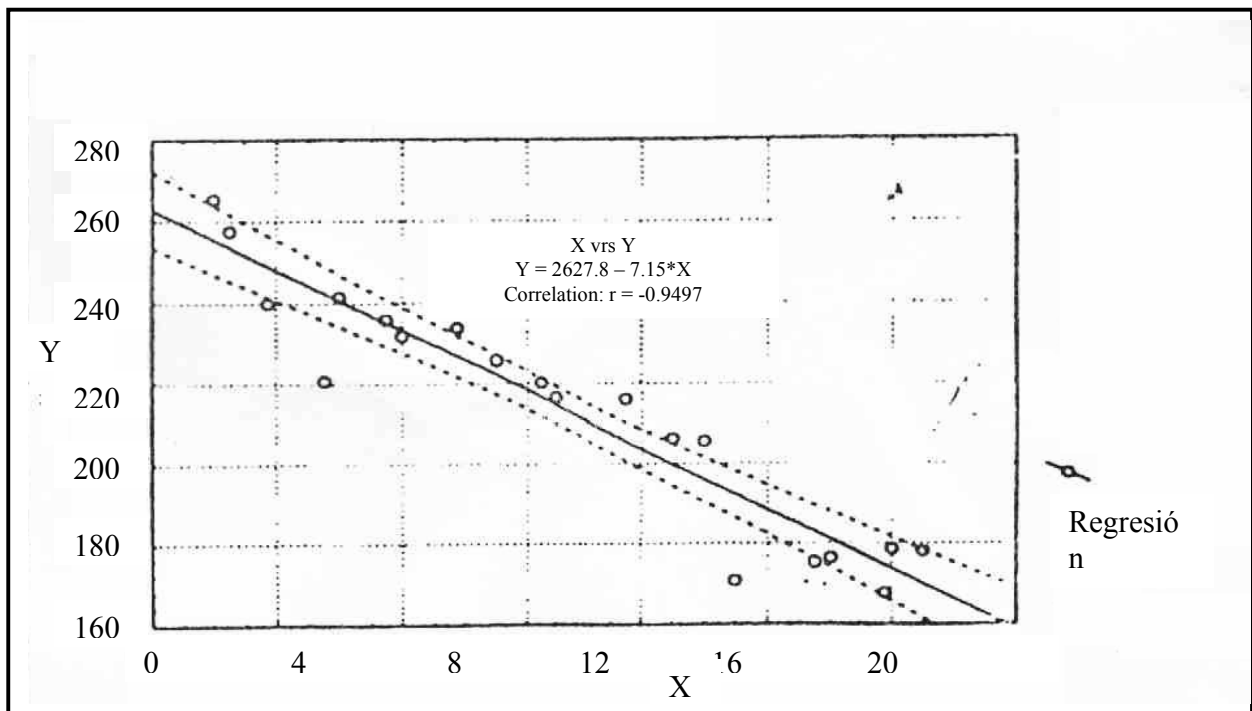


Figura 5. Banda de predicción al 95% de confianza para un modelo ajustado



A veces nos interesa una predicción para el valor promedio de  $Y$  en  $X_0$ , es decir, para  $\mu = E(Y/X_0)$ . En el intervalo al  $(1 - \alpha) \times 100\%$  de confianza para este valor sería:

$$\hat{Y}_0 \pm t(\alpha/2) \sqrt{CME} \sqrt{\left( \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{SSx} \right)}$$

Cabe llamar la atención de que la predicción, entendida como la estimación de un promedio o valor específico, es válida totalmente siempre que el valor de  $X$  se encuentre en el rango de valores ensayados en el experimento o estudio. A esto también se le llama interpolación. Sin embargo, a veces interesa predecir fuera del dominio de los valores de  $X$  ensayados; a esto se llama pronóstico o extrapolación (17).

### 3.1.10 Estudios realizados en otros países

**Díaz, JC; Reyes, F; Méndez, F.** 1,978 (9), tomaron como primicia la magnitud del trabajo que se presenta en los meses de zafra, buscaron un método rápido, poco trabajoso y suficientemente preciso para estimar el rendimiento de caña de las parcelas experimentales; y no descartaron que en los experimentos no se requiere gran exactitud en los datos, sino principalmente el establecimiento de una adecuada comparación entre variables.

Dichos autores evaluaron diferentes métodos para estimar la producción en experimentos: a) método poblacional, que consistió en contar la población de tallos molibles de distintos números de surcos, desde 1 hasta 4, y multiplicar estos valores por el peso de muestras de distintos números de cañas representativas de toda la parcela, desde 10 hasta 40; b) método zonal, que consistió en pesar la caña de distintos números de muestras, de 1 a 3, de 2 m lineales de surco; c) método que consistió en contar toda la población de tallos molibles de la parcela; y d) método que consistió en el pesaje de una muestra de 40 cañas representativas de la parcela.

Utilizando para llevar a cabo esta investigación un ensayo de 12 variedades, en Bloques al Azar con 4 repeticiones; con unidades experimentales de 4 surcos de 12 m de largo y un distanciamiento entre surcos de 1.6 m para el cálculo, y dejando 2 surcos laterales de protección.

Los distintos métodos y variantes fueron analizados biométricamente de la siguiente forma: se determinó el coeficiente de correlación, su significancia, y el coeficiente de variación de todas las combinaciones

estudiadas. Previamente se habían trazado diagramas de regresión entre combinaciones representativas de distintos métodos de estimación y el pesaje total de la caña, los que se ajustaban a una línea recta. Posteriormente, del total de variantes y combinaciones estudiadas, se sometieron al análisis estadístico las variantes más prometedoras y el pesaje de toda la caña de las parcelas. El análisis consistió en las determinaciones a que normalmente se someten los resultados del rendimiento de caña de los experimentos comparativos de variedades, o sea, análisis de varianza y prueba de Dunnett, para comparar con el testigo.

Luego de correlacionar la producción real y la producción estimada concluyeron que el método que mejor destacó fue el poblacional, que consiste en contar el número de tallos molibles de un surco interior y otros exterior, por el peso de 20 cañas tomadas al azar; el método de estimación zonal, consistente en el pesaje de una o varias muestras de microparcels de 2 m lineales de surco (3.2 m<sup>2</sup>) resulta menos preciso y más laborioso que todos los métodos poblacionales, por lo cual recomiendan no utilizarlo; igualmente resultaron poco precisos los métodos de sólo pesar 40 cañas y el conteo de únicamente los tallos molibles de toda la parcela.

**Glaz, B; Kang, MS.** 1,985 ( 12 ), indican que medir el rendimiento en parcelas de campo de experimentos de caña de azúcar presenta grandes dificultades; y que un experimento normal en Florida de 0.3 hectáreas para prueba y pesado, requiere de 40 a 56 horas de trabajo para cortar y apilar los tallos de caña, y de 16 a 40 horas de trabajo son necesarias para coleccionar y pesar los tallos de caña.

Estos autores realizaron una investigación del peso de diferente número de tallos (5, 10, 15, 20, 25 y 30), extraídos por el número de tallos de la parcela. Utilizando para ello un ensayo de 12 variedades con 4 repeticiones con unidades experimentales de 4 surcos de 10.68 metros de largo y un espaciamento entre surcos de 1.5 metros. Luego de correlacionar la producción real y la producción estimada, concluyeron y recomendaron la extracción de una muestra de 15 tallos.

**Gongálves Da Silva, SA.** 1,989 ( 11 ), opina que un método de estimación de la producción en parcelas experimentales permite la obtención de resultados a lo largo del cultivo en un único ensayo, lo que permite la formación de curvas de desempeño del cultivo (toneladas de azúcar por hectárea) y a su vez curvas de desempeño económico en forma confiable. Para lo cual realizó una evaluación de dos métodos para estimar la producción, en cuanto a eficiencia y rapidez; para uso en programas de mejoramiento genético de la Cooperativa de productores de caña de azúcar y alcohol del estado de Sao Pablo (COPERSUCAR); a) método que consistió en encontrar el peso de un volumen de 15 y 30 cañas por parcela, utilizando para tal

propósito una densidad de 1.06 gr/cc; b) método de pesado de 15, 30, 45 y 60 cañas por parcela, por el número de cañas del surco del medio.

Utilizando para efectuar dicha evaluación un ensayo de 5 variedades en Bloques al Azar con 10 repeticiones y unidades experimentales de 5 surcos de 6 metros de largo y 1.40 entre surcos. Luego de correlacionar la producción real y la producción estimada recomendó extraer una muestra de 60 tallos por el número de tallos del surco del medio dado que presentó una eficiencia del 100% y menor coeficiente de variación (9%), comparado con el método real.

**Milanes, N.** ( 16 ), Muestra que para evaluar los estudios de campo en caña de azúcar, generalmente se determinan los parámetros brix en %, pol en jugo y peso de los tallos; y que para los dos primeros se toman muestras de tallos en las parcelas, y para el tercero se pesan todos los tallos existente, cuya operación resulta extremadamente trabajosa. Además cita a Skinner, J. C. 1972; en su trabajo Cane varieties, donde planteo que en Australia se emplea un método para estimar el rendimiento en caña en las parcelas experimentales, consistente en pesar un número de cañas representativas y multiplicarlo por el número de cañas de la parcela, alcanzando en ese momento un gran auge dicho método de cosecha por estimación, el cual se aplicó en casi la totalidad de áreas experimentales de ese país.

Para lo cual Milanes, N. (16 ), realizó una evaluación de muestreos para la estimación de caña en pie, además del muestreo para análisis azucareros; en el primero, realizó un conteo de la población de tallos por surcos individuales (surco exterior, surco interior, un surco exterior y otro interior) en cada parcela y se extrajeron dos muestras de 10 y 20 tallos tomadas al azar; con el objetivo de evaluar la variabilidad de estos criterios del rendimiento y determinar el tamaño y el número óptimos de las muestras para los análisis azucareros y obtener un método de estimación de caña en las parcelas experimentales en sustitución de la cosecha.

Utilizando para efectuar dicha evaluación 6 experimentos de campo (tres estudios comparativos de variedades, dos de fertilizantes orgánicos y uno de métodos de cultivo), con unidades experimentales de 4 surcos cosechables. Luego de correlacionar la producción real y la producción estimada, recomendó el conteo de dos surcos: uno interior y otro exterior y el pesaje de una muestra de 20 tallos tomados al azar. El método de cosecha por estimación puede sustituir a la cosecha por pesaje, en las áreas experimentales donde se comparen variedades, dosis de fertilizantes y métodos de cultivo.

## 3.2 Marco referencial

### 3.2.1 Localización del área experimental

El ensayo sobre el cual se efectuó la investigación se ubicó en la finca Agrícola Manacales, S. A., en jurisdicción de Chicacao, municipio del departamento de Suchitepequez; enmarcada en las coordenadas geográficas 14° 24' latitud norte y 91° 23' longitud oeste ( 10 ).

### 3.2.2 Condiciones climáticas

De acuerdo al mapa de zonas de vida de Guatemala, editado por el Instituto Nacional Forestal (INAFOR) ( 13 ); la finca se encuentra ubicada en la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical cálido. Las temperaturas oscilan entre 33° C la máxima y 19° C la mínima, con una precipitación pluvial promedio de 3,056 mm anuales ( 10 ).

### 3.2.3 Condiciones edáficas

De acuerdo con CENGICAÑA, 1996 ( 4 ); las características edáficas donde se ubicó el ensayo experimental, son las siguientes:

Unidad Cartográfica	:	Complejo PACIFICO-PORVENIR (PD-PR)
Posición Geomorfológica	:	Terraza aluvial
Uso Actual	:	Cultivo de caña de azúcar
Relieve:	:	Plano
Pendiente	:	1%
Nivel Freático	:	Muy profundo

**Ap 00-24 cm:** Color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subangulares moderados, medios; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, no plástica; abundantes poros medios, abundante actividad de macroorganismos; abundantes raicillas; reacción al floruro lento; límite claro y ondulado.

**Bw 24-75 cm:** Color pardo amarillento oscuro (10YR4/4); textura franco-arcillosa; estructura en bloques subangulares débiles, grandes; consistencia en húmedo muy friable, en mojada muy pegajosa y ligeramente

plástica; abundantes poros medios y grandes; escasos macroorganismos; escasas raicillas; no hay reacción al floruro; límite claro y plano.

**C1 75-92 cm:** Color pardo amarillento oscuro (10YR4/4); textura franco-arenosa; sin estructura (grano suelto); consistencia en húmedo suelta; muchos poros; no hay raicillas; abundantes macroorganismos; no hay reacción al floruro; límite abrupto y plano.

**C2 92-135 cm:** Color pardo oscuro (10YR3/3); textura arenosa; sin estructura (grano suelto); consistencia en húmedo muy suelta.

Cuadro 2. Resultado del análisis de suelo. Finca Agrícola Manacales, S. A. Ingenio Palo Gordo, S. A. Noviembre de 1998. Laboratorio Soluciones Analíticas.

Parámetros del suelo	Lectura	Rango adecuado
PH	5.8	5.5 – 7.2
Concentración de sales (C.S.)	0.27 dS/m	0.2 – 0.8
Materia Orgánica (M.O.)	5.27%	2.0 – 4.0
C.I.C.e	10.78 meq/100 ml	15.0 – 15.0
Saturación K	2.98%	4% - 6%
Saturación Ca	81.85%	60% - 80%
Saturación Mg	15.18%	10% - 20%
Saturación Al+H	0.00%	< 20%
Elemento	Conc. Ppm (p/v)	Rango adecuado
Nitrato N-N03	98.35	25 – 250
Fósforo P	< 10.0	30 – 75
Patásio K	125.8	150 – 300
Calcio Ca	1767.35	1000 – 2000
Magnesio Mg	196.23	
Cobre Cu	12.15	
Hierro Fe	66.08	
Manganeso Mn	4.85	
Zinc Zn	1.6	
Aluminio Al	< 8.0	

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Evaluar diferentes métodos de estimación (combinación entre una forma de conteo de la población de tallos molderos y un tamaño de muestra) de la producción de caña en pie de las unidades experimentales de ensayos de caña de azúcar.

### **4.2 Específicos**

- a) Determinar la confiabilidad y precisión de los diferentes métodos de estimación, en la validez de las estimaciones.
- b) Determinar un método, para estimar la producción de caña en pie de las unidades experimentales.

## 5. HIPÓTESIS

Existe por lo menos un método de estimación que pueda utilizarse con confiabilidad y precisión en la estimación de la producción de caña en pie, en unidades experimentales de cinco surcos, de diez metros de largo cada uno; en ensayos de caña de azúcar (Saccharum spp.)



## **6. METODOLOGIA**

### **6.1 Materiales y Equipo**

**Los materiales y equipo que se utilizaron para establecer el ensayo experimental de evaluacòn de 12 variedades y que se tomo como base para el desarrollo de este trabajo de investigación son:**

- Semilla de 12 variedades de caña de azúcar (MEX-68P23, B-76385, PR-872048, NA-5642, L-6268, CC-8475, MEX-69290, B-69613, PR-872080, PR-783025, B-71327, CB-4647).
- Tractor y sus implementos (rastra rompedora, surqueador)
- 8.36 kgs de Counter 10Gr
- 76 kgs de fertilizante 0-46-0
- 76 kgs de fertilizante 46-0-0
- 1.5 lts de herbicida Prowl
- 3 lbs de herbicida Gesaprim
- 3 lbs de herbicida Gesapax
- 3 lts de herbicida Igran
- 2 lts de herbicida 2-4D Amina
- Rafia
- Estacas
- Boletas para toma de datos
- Calculadora
- Pesa (Marca Silver-Brand, Modelo CS-3T; con precisión de  $\pm 2$  lbs.)
- Grúa
- Etiquetas

### **6.2 Desarrollo del Trabajo de Investigación**

#### **6.2.1 Manejo agronómico del área del ensayo experimental**

Las prácticas de manejo agronómico de la caña de azúcar que se efectuaron en el ensayo experimental fueron similares a las realizadas en la empresa comercial Palo Gordo, S.A., siendo éstas las siguientes:

### **6.2.1.1 Preparación del Suelo**

Para dicha labor se realizó: Un paso de rastra excéntrica, dejando más o menos 20 días expuestas a la radiación solar las cepas de la caña anterior; posteriormente se realizaron dos pasos de rastra a fin de desmenuzar bien las cepas arrancadas y luego se realizó el surqueo (aproximadamente a 40 cm de profundidad), a un distanciamiento de 1.50 metros entre sí.

### **6.2.1.2 Siembra**

La siembra se hizo en forma manual colocando 150 yemas viables por 10 metros lineales (por una parcela de 90 m<sup>2</sup>, se utiliza 6.25 paquetes de 30 cañas con 4 yemas cada caña; de 9 meses de edad). El tapado de la caña fué manual y bastante superficial con una capa de tierra de 5 a 7 cm de espesor.

### **6.2.1.3 Fertilización**

Al momento de la siembra se hizo una fertilización en forma manual con un fertilizante fosforado (0-46-0) a razón de 136.36 kg/ha; y a los 75 días después de la siembra una fertilización nitrogenada aprovechando el cultivo mecánico a base de Urea (46-0-0) a razón de 136.36 kg/ha)

### **6.2.1.4 Riego**

Debido a que la siembra se hizo al inicio del invierno no se aplicó riego en esta etapa, pero si fue necesario a los 11 días después de la siembra, debido a un período de escasez de lluvias. Se regó durante los meses de febrero, marzo y abril, a un intervalo de 8 días; aplicando 8 milímetros aproximadamente.

### **6.2.1.5 Control de plagas**

Al momento de la siembra se aplicó Counter 10Gr a razón de 33 kg/ha en forma preventiva para las plagas como gusano cogollero (Spodoptera sp.), Gusano alambre (Agriotis sp.), Gallina ciega (Phylophaga sp.).

### 6.2.1.6 Control de malezas

El control de las malezas se hizo utilizando 3 métodos de control: a) Químico, utilizando herbicidas; b) Mecánico y C) Manual. Siendo el primero en forma preemergente con una mezcla de Prowl (2.0 lts/ha) + Gesaprim (4 lbs/ha) + Gesapax (2.82 lbs/ha) + 2-4D Amina (1.5 lts/ha) sobre el surco y en forma postemergente a los 90 días con una mezcla de Igran (4.3 lts/ha) + Gesapax (4 lbs/ha) + 2-4D Amina (2 lts/ha) dirigido a la mesa; para el mecánico y manual se utilizó un cultivador para la mesa a los 55 y 75 días después de la siembra; y machete para el surco a los 60 y 80 días después de la siembra, respectivamente.

### 6.2.1.7 Cosecha

Dicha práctica se realizó a los 11 meses después de la siembra, el tipo de corte fué a granel, se quemó el experimento con fines de facilitar la cosecha; luego se hizo un conteo de tallos por surco de los tres surcos centrales; se peso un número de tallos de caña de acuerdo al método de muestreo; posteriormente se peso toda la parcela neta (producción real) de cada unidad experimental.

## 6.3 Técnica experimental

Para la ejecución de esta investigación se utilizaron las 48 unidades experimentales del ensayo experimental de 12 variedades, en estado de plantilla (primer corte) con una edad de 11 meses de edad. Ver croquis de campo en anexos.

Cada método de estimación propuesto (ver cuadro 3) se aplicó a cada unidad experimental, con lo cual se obtuvo 48 datos de cada variable evaluada por método de estimación; dichas variables fueron la producción real de la parcela y la producción estimada (toneladas de caña por hectárea) según el método de estimación propuesto.

### 6.3.1 Tamaño de la unidad experimental

Como se menciona anteriormente, se utilizaron las unidades experimentales del ensayo experimental de evaluación de 12 variedades tardías, el tamaño de dichas unidades experimentales consistió en 5 surcos de caña de azúcar en plantilla, con una longitud de 10 m cada uno y un distanciamiento entre surcos de 1.50 m ( $75 \text{ m}^2$ ), utilizando como parcela neta los 3 surcos centrales ( $45 \text{ m}^2$ ) como lo muestra la figura 6.

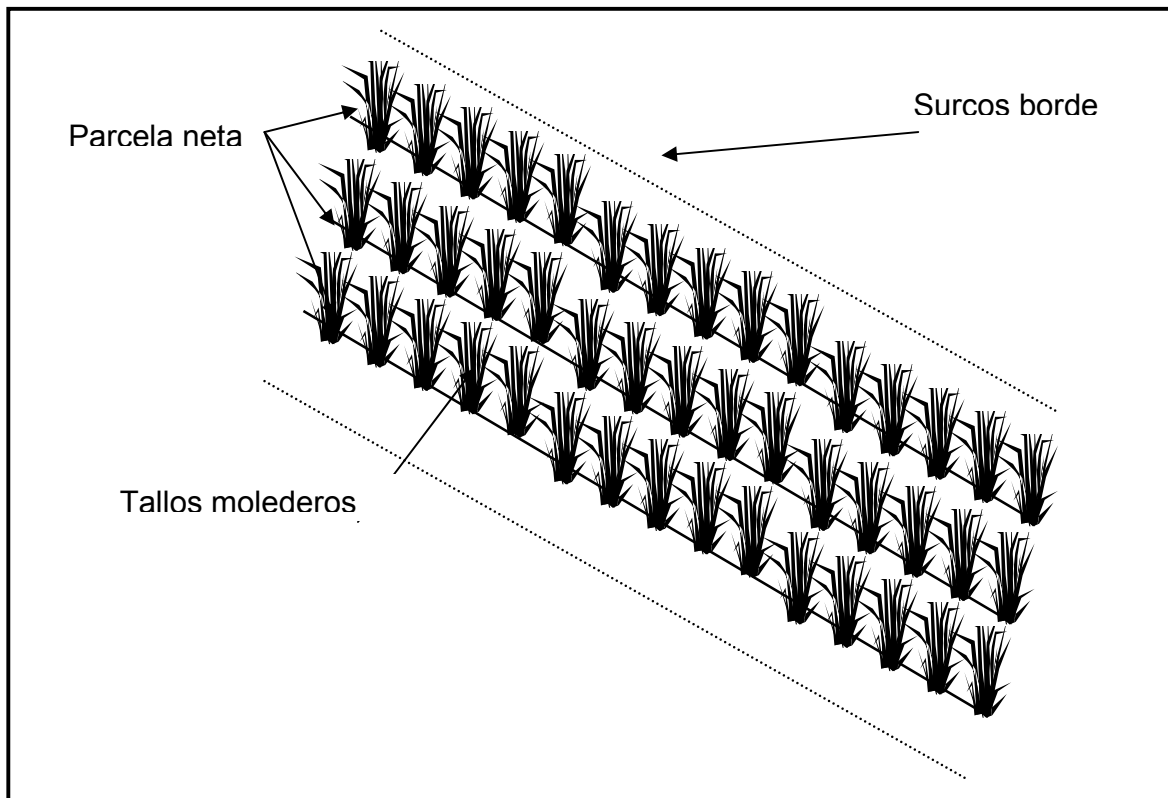


Figura 6. Esquema de la Unidad Experimental

### 6.3.2 Tamaño de muestra y formas para el conteo de la población de tallos molederos de tallos molederos

#### 6.3.2.1 Tamaño de muestra

Se evaluaron cuatro tamaños de muestra consistiendo, cada una en: 15, 20, 25 y 30 tallos molederos respectivamente y que fueron extraídos de cada unidad experimental (48 unidades experimentales); y que fueron pesadas para obtener el peso promedio de cada tallo. Se tomaron dichos tamaños basándose en estudios similares efectuados en otros países (ver pagina 19) y los métodos de estimación utilizados por algunos ingenios azucareros, dentro de los cuales podría estar el tamaño de muestra para estimar la producción de las unidades experimentales. Ver figuras 7, 8, 9, y 10.

### 6.3.2.1.A Extracción de 15 tallos molederos

Consistió en la extracción de 5 tallos molederos de cada uno de los surcos que componen la parcela neta (3 surcos), ver figura 7.

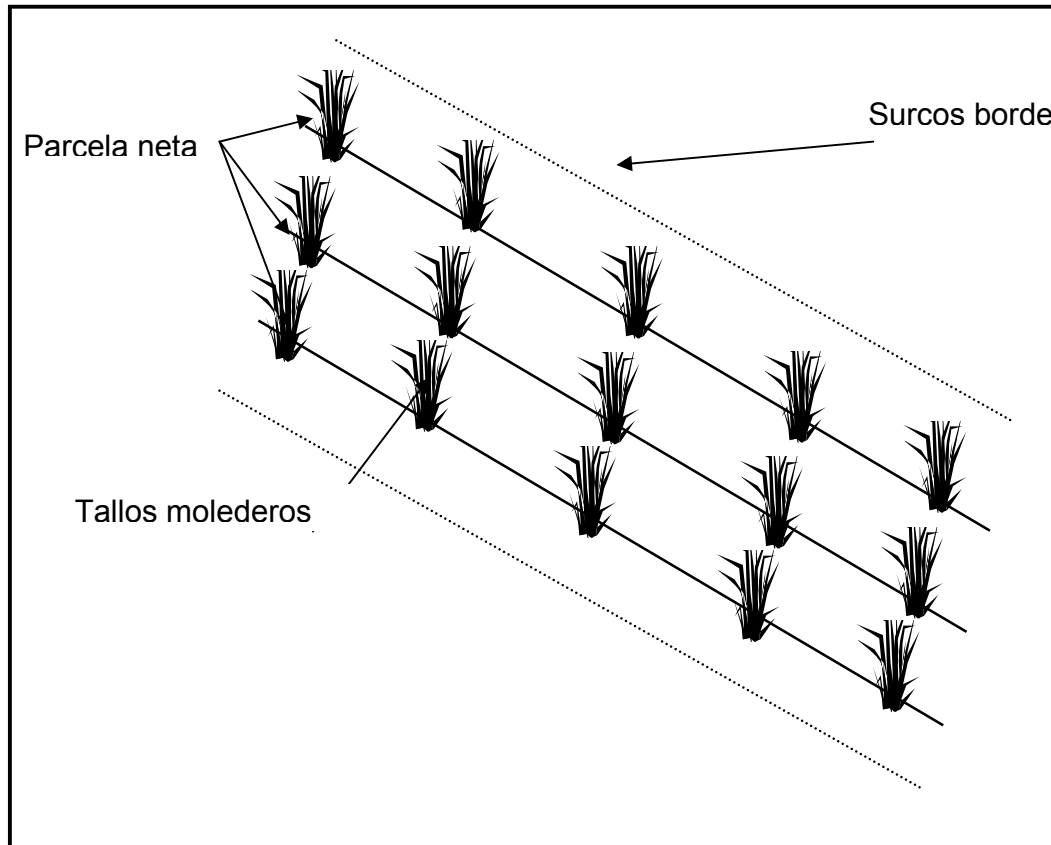


Figura 7. Ubicación de la extracción de 15 tallos molederos extraídos de la parcela neta.

### 6.3.2.1.B Extracción de 20 tallos molederos

Consistió en la extracción de 6 tallos molederos de los surcos exteriores y 8 tallos molederos del surco medio de la parcela neta (ver figura 8).

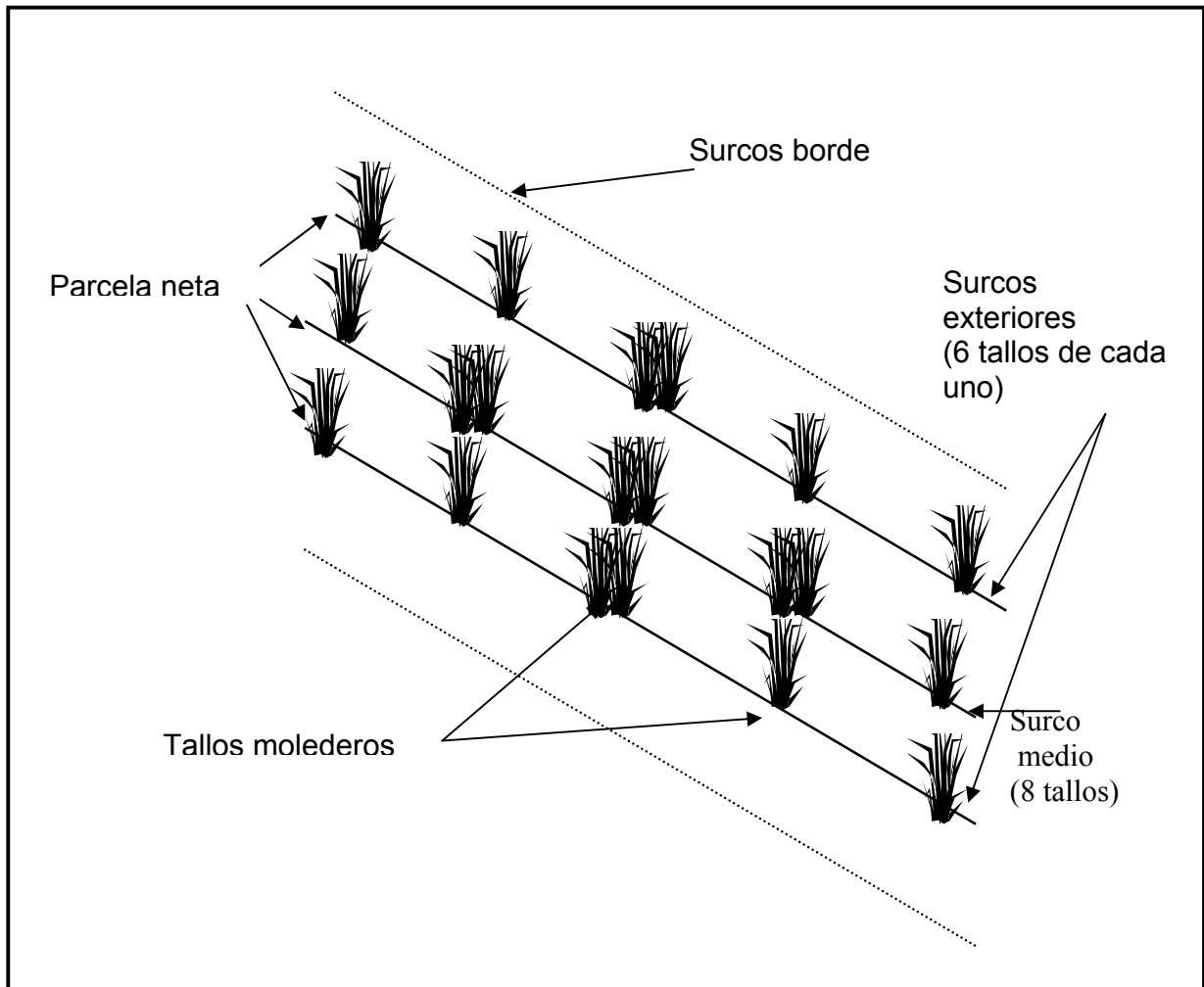


Figura 8. Ubicación de la extracción de 20 tallos molederos de la parcela neta.

### 6.3.2.1.C Extracción de 25 tallos molederos

Consistió en la extracción de 8 tallos molederos de los surcos exteriores y 9 tallos molederos del surco medio de la parcela neta (ver figura 9).

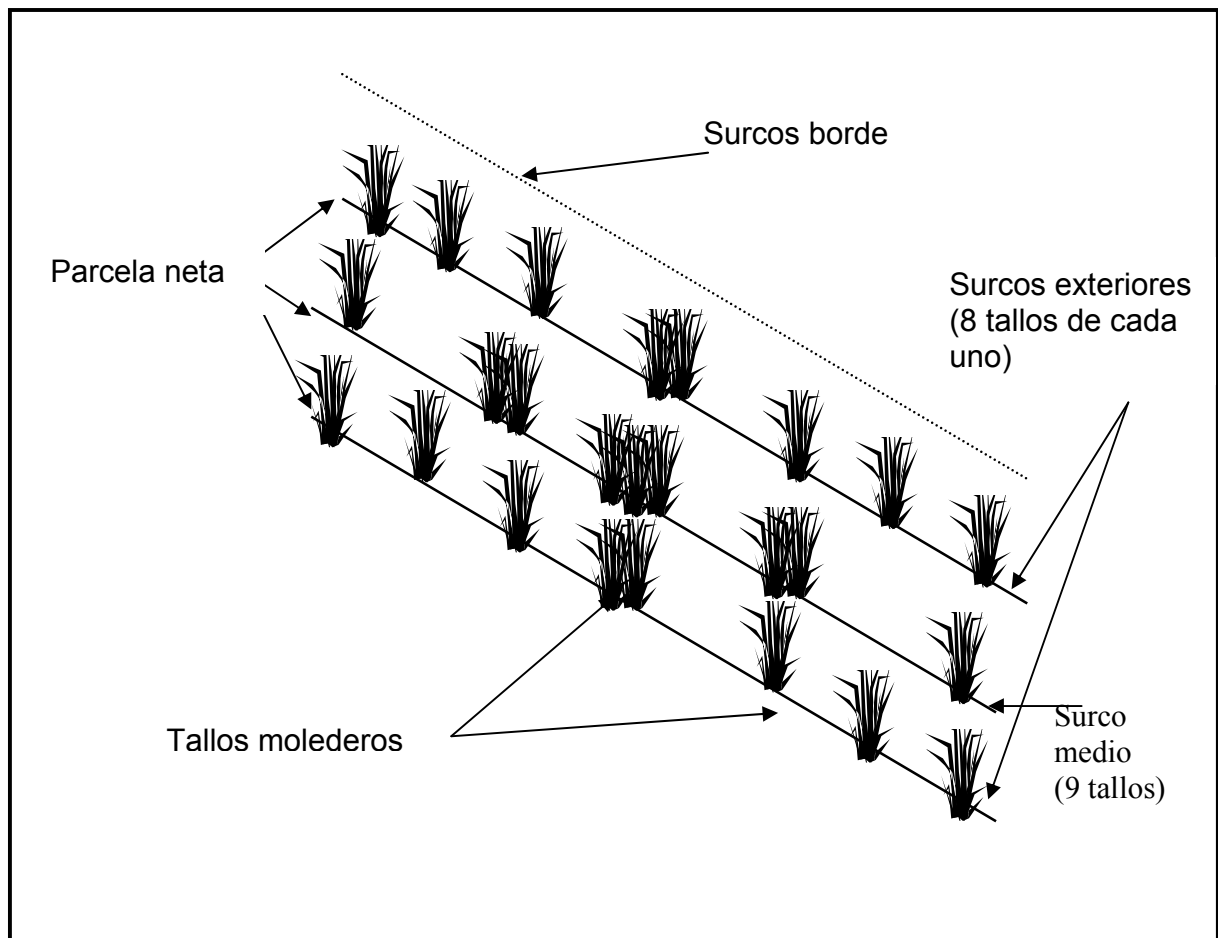


Figura 9. Ubicación de la extracción de 25 tallos de la parcela neta.

### 6.3.2.1.D Extracción de 30 tallos molederos

Consistió en la extracción de 10 tallos molederos de cada uno de los surcos que componen la parcela neta (ver figura 10).

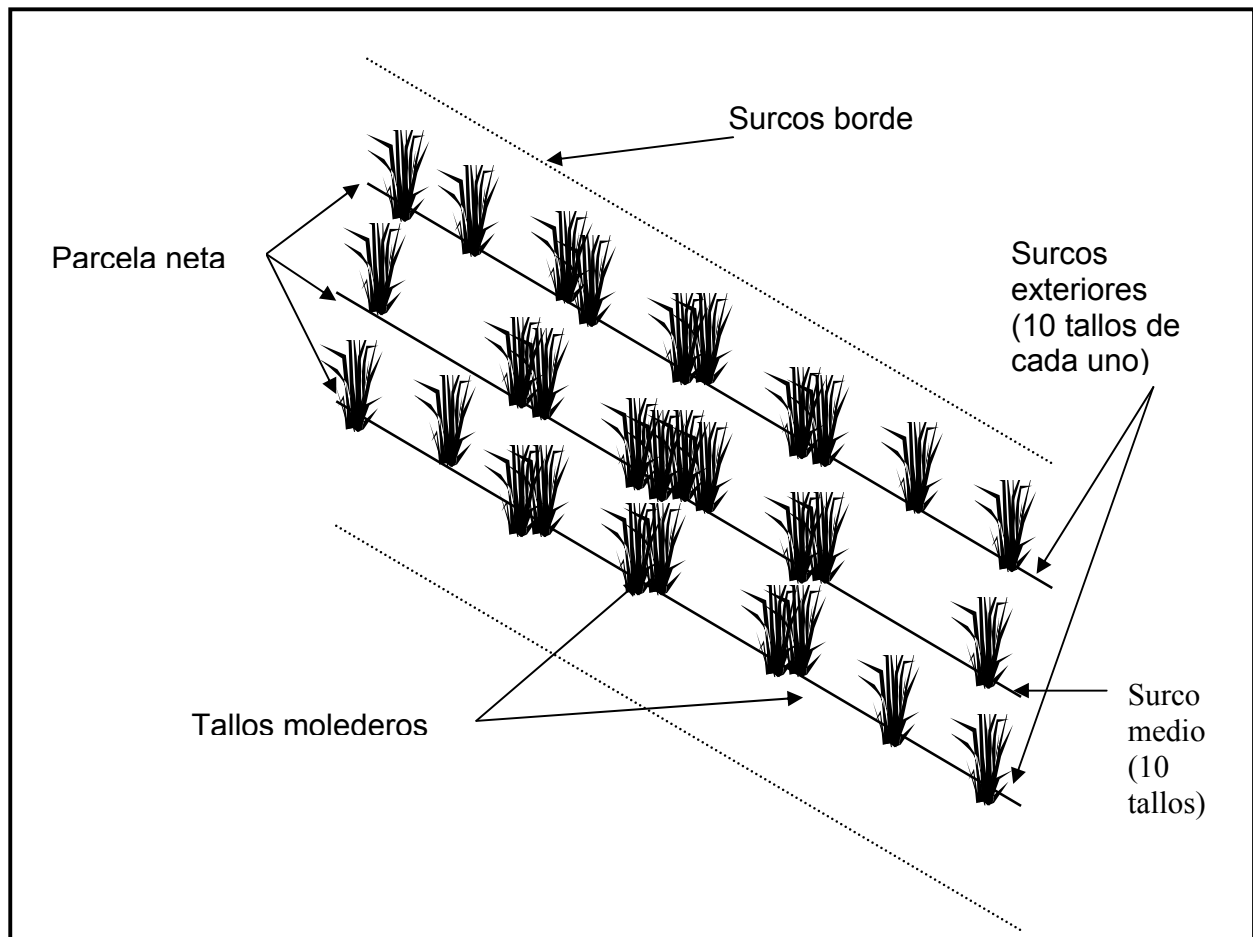


Figura 10. Ubicación de la extracción de 30 tallos molederos de la parcela neta.

### 6.3.2.2 Formas para el conteo de la población de tallos molederos

Las formas o lugares para el conteo de la población tallos molederos, se realizó de tal manera que el efecto del ambiente (luz, aireación, agua, nutrientes, etc.) que se traduce en competencia, no afecte en la estimación de la producción de caña en pie; ya sea por subestimación o sobreestimación (ver en anexos gráfica del comportamiento de la producción).



Los lugares para el conteo de la población de tallos molederos, para estimar la población total de tallos de las unidades experimentales utilizadas para desarrollo de la investigación, fueron las siguientes:

#### 6.3.2.2.A Un surco exterior

Consistió en el conteo de los tallos molederos en un surco exterior de la parcela neta; como lo muestra la figura 11.

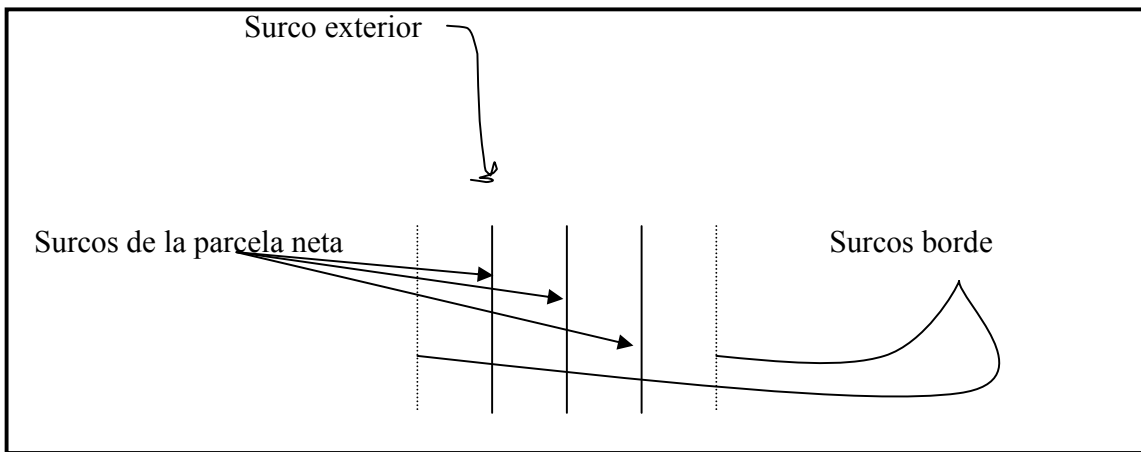


Figura 11. Ubicación del surco exterior que se utilizó para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.

#### 6.3.2.2.B Un surco interior

Consistió en el conteo de la población de los tallos molederos en el surco medio de la parcela neta; como lo muestra la figura 12.

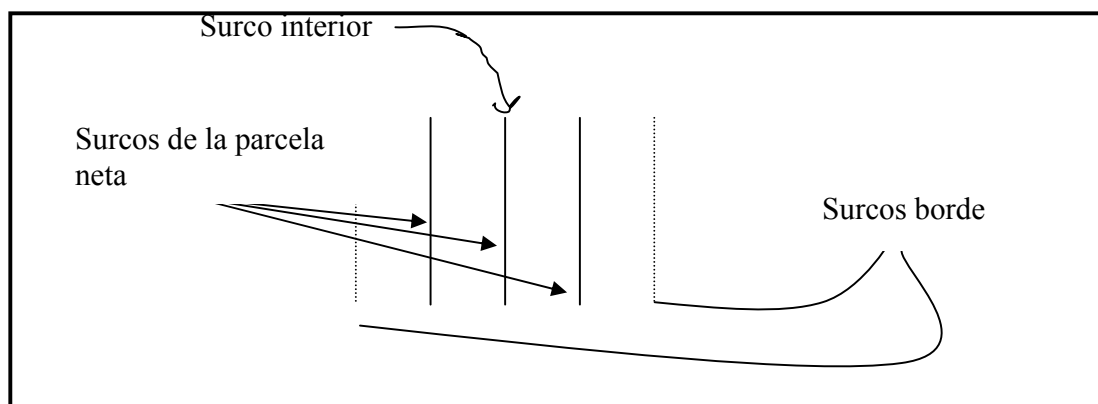


Figura 12. Ubicación del surco interior que se utilizó para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.

### 6.3.2.2.C Dos surcos exteriores

Consistió en el conteo de la población de los tallos molederos en los surcos exteriores de la parcela neta; como lo muestra la figura 13.

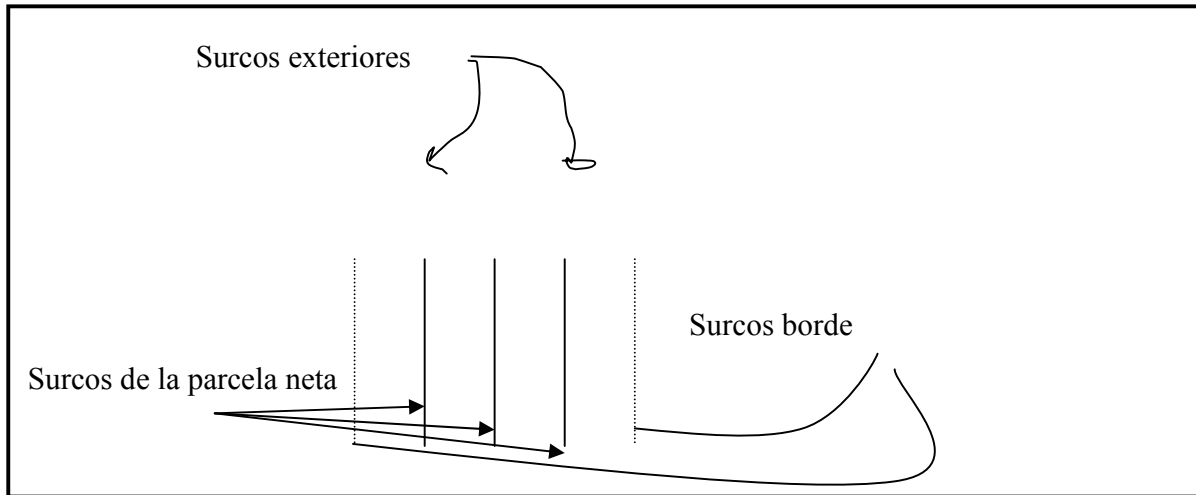


Figura 13. Ubicación de los surco exteriores que se utilizaron para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.

### 6.3.2.2.D Un surco interior y otro exterior

Consistió en el conteo de la población de tallos molederos en un surco interior y otro exterior de la parcela neta; como lo muestra la figura 14.

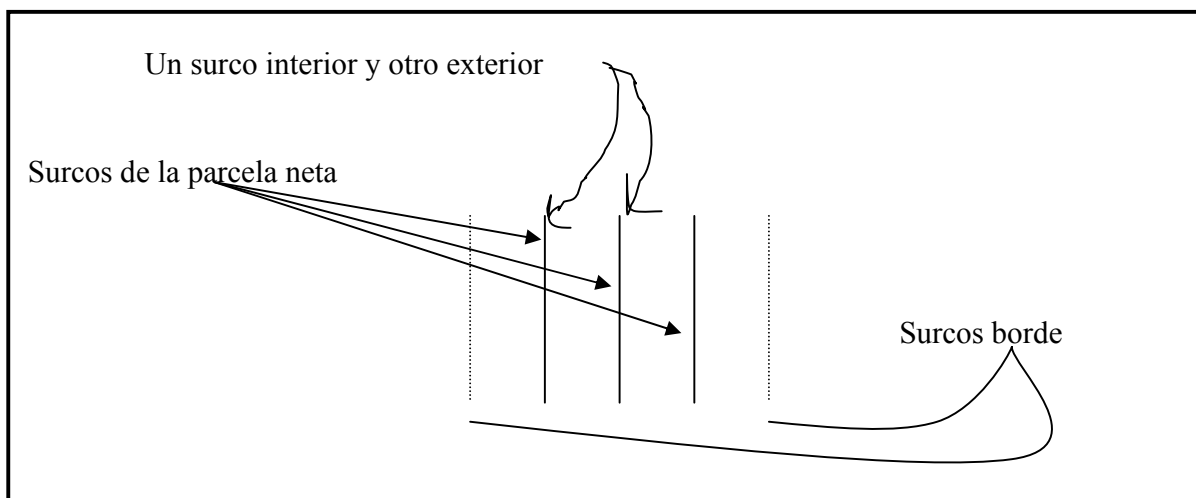


Figura 14. Ubicación del surco interior y el surco exterior que se utilizaron para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.

### 6.3.2.2.E Tres surcos

Consistió en el conteo de la población de tallos molederos en los tres surcos de la parcela neta; como lo muestra la figura 15.

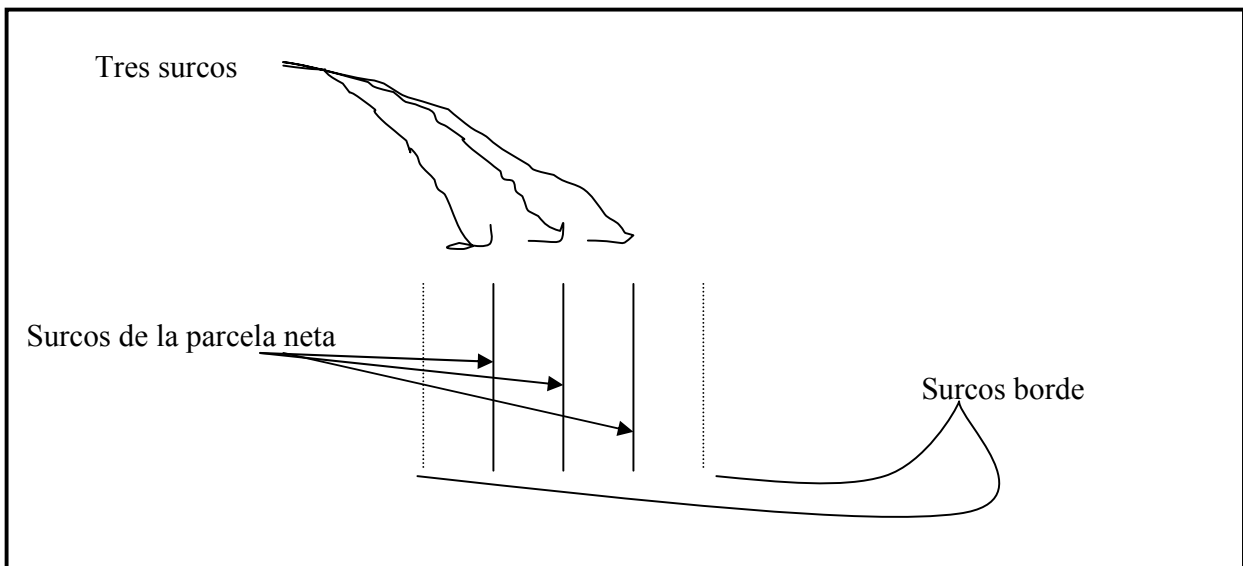


Figura 15. Ubicación de los tres surcos que se utilizaron para el conteo de la población de tallos dentro de la parcela neta.

Al realizar las combinaciones entre el tamaño de la unidad de muestreo y la distribución espacial para el conteo de la población de tallos molederos, obtenemos 20 métodos de estimación del rendimiento (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Métodos de estimación de la producción de caña en pie (combinación entre una forma de conteo de la población de tallos molederos y un tamaño de muestra).

Método de estimación	Forma para el conteo de la población de tallos molederos	Tamaño de muestra
1	Un surco exterior de la parcela neta	15
2	Un surco interior de la parcela neta	15
3	Los surcos exteriores de la parcela neta	15
4	Un surco exterior y un surco exterior de la parcela neta	15
5	Los tres surcos de la parcela neta	15
6	Un surco exterior de la parcela neta	20
7	Un surco interior de la parcela neta	20
8	Los surcos exteriores de la parcela neta	20
9	Un surco exterior y un surco exterior de la parcela neta	20
10	Los tres surcos de la parcela neta	20
11	Un surco exterior de la parcela neta	25
12	Un surco interior de la parcela neta	25
13	Los surcos exteriores de la parcela neta	25
14	Un surco exterior y un surco exterior de la parcela neta	25
15	Los tres surcos de la parcela neta	25
16	Un surco exterior de la parcela neta	30
17	Un surco interior de la parcela neta	30
18	Los surcos exteriores de la parcela neta	30
19	Un surco exterior y un surco exterior de la parcela neta	30
20	Los tres surcos de la parcela neta	30

### 6.3.3 Variables medidas

$X_i$  = Producción Real (producción completa de cada parcela neta)

$Y_i$  = Producción Estimada (peso dado por el método de estimación propuesto)

**La producción estimada se obtuvo utilizando el número de tallos pesados (tamaño de muestra) y la población de tallos según la forma de conteo, utilizando las formulas siguientes:**

$$Y_i = \frac{PTM}{TM} * pt * 3, \text{ para los métodos de estimación } 1, 2, 6, 7, 11, 12, 16 \text{ y } 17.$$

$$Y_i = \frac{PTM}{TM} * \frac{pt}{2} * 3, \text{ para los métodos de estimación 3, 4, 8, 9, 13, 14, 18 y 19.}$$

$$Y_i = \frac{PTM}{TM} * pt, \text{ para los métodos 5, 10, 15 y 20.}$$

Donde:

$Y_i$  = Producción estimada

$PTM$  = Peso del tamaño de muestra

$TM$  = Tamaño de muestra

$pt$  = Población de tallos molederos dado por la forma de conteo

### 6.3.4 Análisis de la información

#### Supuestos

- Relación lineal entre la producción real ( $\mathbf{x}$ ) y la producción estimada ( $\mathbf{y}$ ).
- Los valores de la producción real ( $\mathbf{x}$ ) son fijos, y se miden sin error.
- $E_i \sim NI(0, \sigma^2)$ ; para una producción real ( $\mathbf{x}$ ), las producciones estimadas están normal e independientemente distribuidas con media 0 y varianza  $\sigma^2$  ( 16 )

Para el análisis de la información se siguieron los siguientes pasos:

#### Paso 1.

Se determinó estadísticamente la diferencia entre repeticiones, variedades y métodos, a través de un análisis de varianza para la producción real y la producción estimada.

#### Paso 2.

Se realizó un análisis de correlación entre la producción real y la producción estimada.

#### Paso 3.

Luego determinar los mejores métodos de estimación a través de la correlación, se realizó un análisis de regresión para hacer el reajuste de las ecuaciones que tuvieron los más altos coeficientes de correlación.

#### Paso 4.

Se realizó un análisis de varianza para la producción estimada ajustada por la regresión lineal.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis de Varianza

Se realizó un análisis de varianza para la producción, considerando el diseño experimental en bloques al azar, que incluyó 12 variedades y 4 repeticiones; juzgando como fuente de variación los diferentes métodos de estimación de la producción de las unidades experimentales; de este análisis (Cuadro 4) se puede deducir que en general pueden utilizarse estos resultados experimentales toda vez que no se encuentra interacción de los métodos de estimación con las variedades ni con los bloques o repeticiones, o sea que la estimación de la producción no es alterada por el método de estimación que se utilice, o bien la estimación dada por un método es uniforme para todas las unidades experimentales y la diferencia de producción para todas las unidades experimentales esta dada por las características genéticas de las variedades.

Cuadro 4. Resultados del Análisis de Varianza:

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Variedad	11	18362644.810	1669331.346	35.98	0.0001
Repetición	3	17185241.403	5728413.801	123.47	0.0001
Método	20	533785.891	26689.295	0.58	0.9304
Variedad* Método	220	2624976.778	11931.713	0.26	1.0000
Repetición* Método	60	1507516.649	25125.277	0.54	0.9982
Error	693	32152464.289	46396.052		
Total	1007	72366629.819			
CV 17.65731			Peso Mean 1219.876974		

## 7.2 Análisis de correlación entre la producción real y la producción estimada

En el cuadro 5, donde se muestran los resultados del análisis de correlación entre la producción estimada por cada uno de los diferentes métodos de estimación y la producción real de cada unidad experimental; en este cuadro podemos observar que los métodos de estimación: pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos (método 5), pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores (método 8), pesar 20 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos (método 10), pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (método 13), pesar 25 tallos y contar la población de tallos los tres surcos (método 15), pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (método 18) y pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos (método 20), tienen las correlaciones mas

altas con la producción real de 0.75615, 0.75590, 0.77211, 0.76877, 0.78568, 0.77189 y 0.79079 respectivamente.

Al hacer comparaciones entre estos métodos de estimación, podemos descartar el método de pesar 20 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos (método 10), debido a que está altamente correlacionado con los métodos de pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos y el de pesar 20 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (métodos 5 y 8 respectivamente), con coeficientes de correlación del 0.97823 y 0.97728 respectivamente.

De la misma manera se puede descartar el método de pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos (método 15), ya que esta altamente correlacionado (0.96876, 0.97003 y 0.97709 respectivamente) con los métodos de pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos, pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores, pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (métodos 5, 8 y 13 respectivamente).

**El método de pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos centrales (método 20), se descarta ya que está altamente correlacionado (0.95751, 0.96478, 0.97448 y 0.97676 respectivamente) con los métodos pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos (método 5), pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores (método 8), pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores (método 13), pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (método 18).**

**Luego de realizar las comparaciones de los mejores métodos entre sí por su facilidad de aplicación en el campo se pueden seleccionar los métodos de pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos, pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores, pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores y pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (métodos 5, 8, 13 y 18 respectivamente), ya que estadísticamente poseen correlaciones con la Producción real de: 0.75615, 0.75590, 0.76877 y 0.77189 respectivamente (ver cuadro 5).**

Cuadro 5. Resumen de los resultados del análisis de correlación entre la producción real y la producción estimada dado por los métodos evaluados.

METODO DE ESTIMACION	DESCRIPCION	Producción real	Producción estimada por el método 5	Rendimiento estimado por el método 8	Producción estimada por el método 10	Producción estimada por el método 13	Producción estimada por el método 15	Producción estimada por el método 18	Producción Estimada por el método 20
Producción Real	Producción de la parcela neta								
Prod. est. por el método 5	Pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos.	0.75615* 0.0001**							
Prod. est. por el método 8	Pesar 20 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores.	0.75590 0.0001	0.96382 0.0001						
Prod. est. por el método 10	Pesar 20 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos.	0.77211 0.0001	0.97823 0.0001	0.97728 0.0001					
Prod. est. por el método 13	Pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores.	0.76877 0.0001	0.95422 0.0001	0.99256 0.0001	0.96858 0.0001				
Prod. est. por el método 15	Pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos.	0.78568 0.0001	0.96876 0.0001	0.97003 0.0001	0.99163 0.0001	0.97709 0.0001			
Prod. est. por el método 18	Pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores.	0.77189 0.0001	0.94139 0.0001	0.98566 0.0001	0.95874 0.0001	0.99547 0.0001	0.96985 0.0001		
Prod. est. por el método 20	Pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos.	0.79079 0.0001	0.95751 0.0001	0.96478 0.0001	0.98369 0.0001	0.97448 0.0001	0.99499 0.0001	0.97676 0.0001	

\*Coeficiente de Correlación \*\*Prob.>|r| bajo Ho:  $\rho = 0$



### 7.3 Regresión lineal entre la producción real y las producciones estimadas por los mejores métodos de estimación

Al realizar el análisis de la regresión lineal, encontramos que los métodos seleccionados por su mejor correlación con el producción real y su facilidad de aplicación en el campo: pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos, pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores, pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores, pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (métodos 5, 8, 13, y 18 respectivamente), no predicen confiablemente las producciones reales, dado que el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado es del 0.562457, 0.562062, 0.582118 y 0.587022 respectivamente (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Resultado del análisis de regresión para los métodos de estimación con mejor correlación.

Método	$\hat{R}_{real} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$	Error St	T	Prob> T	R <sup>2</sup> Adj	C. V.
<b>Método 5:</b> Pesar 15 tallos y contar la población de tallos molederos de los tres surcos de la parcela neta	$P_{real}=436.816+0.634Rest5$	0.0809	7.837	0.0001	0.5625	12.200
<b>Método 8:</b> Pesar 20 tallos y contar la población de tallos molederos de los dos surcos exteriores	$P_{real}=462.306+0.602Rest8$	0.0768	7.831	0.0001	0.5621	12.206
<b>Método 13:</b> Pesar 25 tallos y contar la población de tallos molederos de los dos surcos exteriores	$P_{real}=443.541+0.621Rest13$	0.0762	8.153	0.0001	0.5821	11.923
<b>Método 18:</b> Pesar 30 tallos y contar la población de tallos molederos de los dos surcos exteriores	$P_{real}=437.716+0.626Rest18$	0.0760	8.235	0.0001	0.5870	11.85

**En las figuras 16, 17, 18 y 19; se observa gráficamente el comportamiento de los datos de la producción real y la producción estimada de acuerdo al método de estimación.**

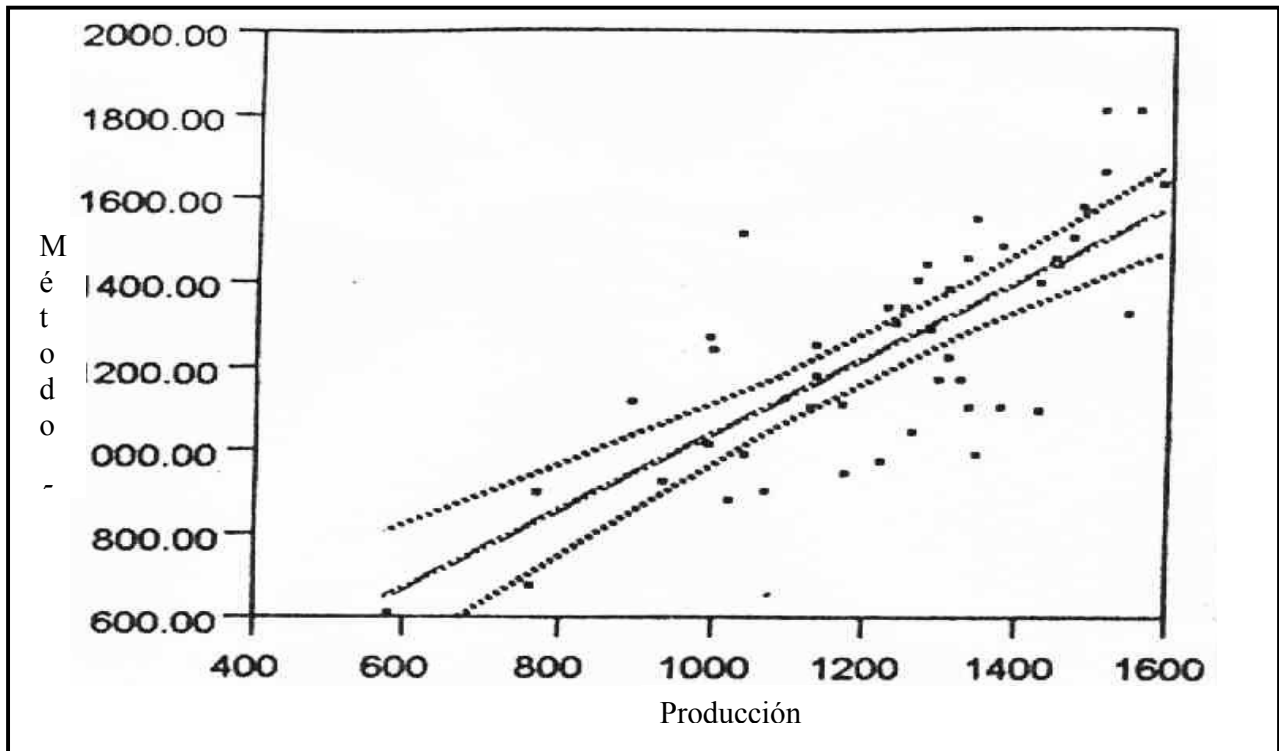


Figura 16. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método de estimación: pesar 15 tallos y contar la población de los tres surcos de la parcela neta (método 5) y los datos de la producción real.

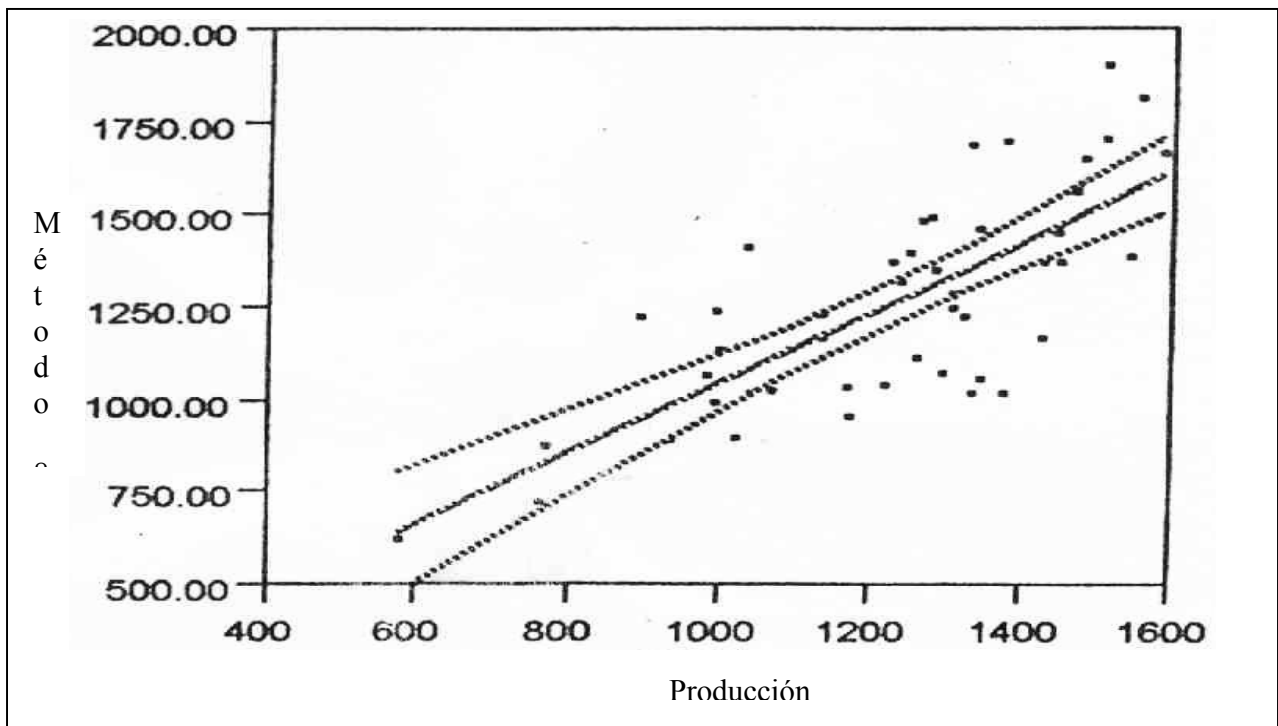


Figura 17. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método estimación: Pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores de la parcela neta (método 8) y los datos de la producción real.

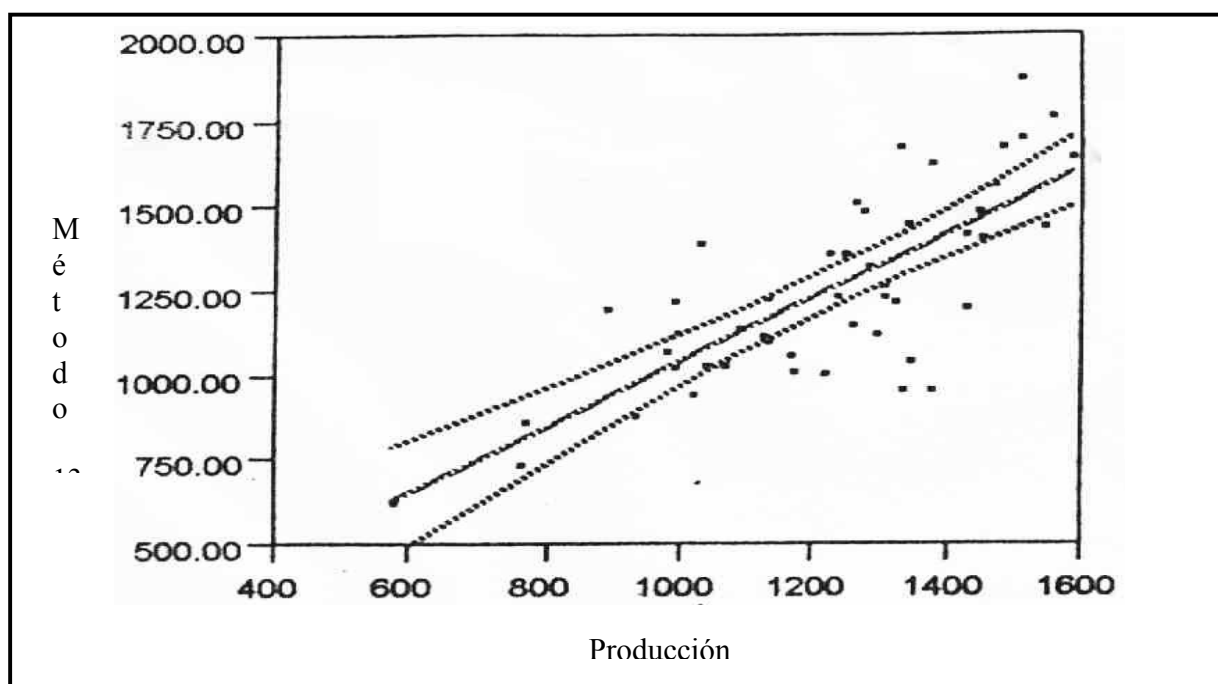


Figura 18. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método estimación: pesar 25 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores de la parcela neta (método 13) y los datos de la producción real.

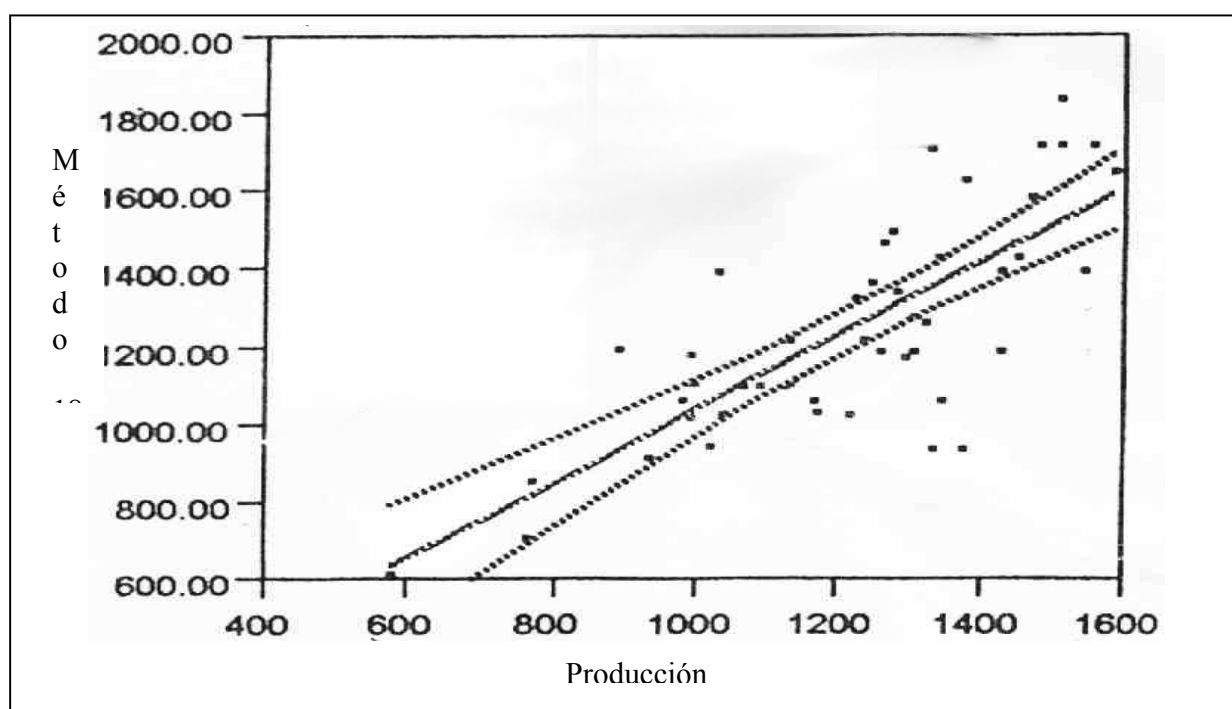


Figura 19. Grafica que muestra la curva generada por la interacción de los datos generados por el método estimación: pesar 30 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores de la parcela neta (método 18) y los datos de la producción real.

Lo anterior nos indica que la predicción de la producción real (ton de caña/ha) de una unidad experimental a través de una metodología de estimación a través de contar la población de tallos y el peso de una muestra de tallos de una unidad experimental de caña de azúcar, utilizando para el efecto las ecuaciones generadas por los diferentes métodos seleccionados por su mejor correlación, no es confiable para ser utilizada cuando se quiere juzgar estadísticamente el efecto de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales a través de su producción (ton de caña/ha).

La predicción no confiable se confirma al realizar un análisis de varianza para la variable producción (ton de caña/ha), tanto para la producción real y las producciones estimadas a través de los mejores métodos, ajustados por las ecuaciones generadas en el análisis de regresión (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza para la producción real y las producciones ajustadas por las ecuaciones de regresión.

Variable	Media	FV	F	Pr > F	C. V.
<b>Producción real</b>	1221.542	Repetición Variedad	5.77 1.89	0.0028 0.0772	14.99
<b>Producción ajustada por el método 5:</b> Prod. real = $436.816 + 0.634Pest5$	1221.227	Repetición Variedad	6.07 1.71	0.0021 0.1155	11.43
<b>Producción ajustada por el método 8:</b> Prod. real = $462.306 + 0.602Pest8$	1221.888	Repetición Variedad	7.37 1.81	0.0007 0.0923	11.04
<b>Producción ajustada por el método 13:</b> Prod. real = $443.541 + 0.621Pest13$	1221.561	Repetición Variedad	8.50 2.15	0.0003 0.0440	10.73
<b>Producción ajustada por el método 18:</b> Prod. real = $437.716 + 0.626Pest18$	1222.085	Repetición Variedad	8.51 2.10	0.0003 0.0492	10.81

En el análisis de varianza para el producción, tanto para la producción real como de las producciones estimadas a través de los métodos 5, 8, 13 y 18 (ver cuadro 7), se puede apreciar que tanto para la producción real como para las producciones estimadas ajustadas a través de las ecuaciones generadas a través de un análisis de regresión para los diferentes métodos de estimación, no existe diferencia significativa entre variedades; con lo cual podría decirse que los métodos de estimación si funcionan; pero al someterse la producción media de las variedades tanto para la producción real como las estimadas a una prueba de medias; el comportamiento no es el mismo, en la cual las agrupaciones de *tukey* de los métodos de estimación no es igual a la agrupación de *tukey* para la producción real (ver cuadro 8).

Cabe resaltar el comportamiento que se da en las agrupaciones de *tukey* para la producción real y las producciones estimadas ajustadas por los métodos de estimación 5, 8, 13 y 18; en el cual las variedades CB4647, B69613, B71327 y PR783025 ocupan el primer, segundo, penúltimo y último lugar respectivamente (ver cuadro 8).

Mientras que dentro de las agrupaciones *Tukey* en las producciones estimadas ajustadas por los métodos de estimación, el comportamiento de las variedades es más consistente dado que las variedades CB4647, B69613, NA5642, PR872080, MEX68P23, L6268, B71327 y PR783025 ocupan el primer, segundo, tercer, cuarto quinto, antepenúltimo, penúltimo y último lugar respectivamente a excepción del método de estimación 5 el antepenúltimo lugar es ocupado por la variedad MEX692909 (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadro de Agrupaciones Tukey

Producción Real: producción de la parcela neta (ton de caña/ha)			Prod. estimada ajustada por el método 5: Pesar 15 tallos y contar la población de los tres surcos			Prod. estimada ajustada por el método 8: Pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores			Prod. estimada ajustada por el método 13: Pesar 25 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores			Rento. ajustado por el método 18: Pesar 30 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores		
Variedad	Media	Tukey	Variedad	Media	Tukey	Variedad	Media	Tukey	Variedad	Media	Tukey	Variedad	Media	Tukey
CB4647	1395.5	A	CB4647	1361.4 1	A	CB4647	1383.2 8	A	CB4647	1384.4 1	A	CB4647	1373.4 1	A
B69613	1340.5	A	B69613	1345.8 7	A	B69613	1346.2 1	A	B69613	1349.6 7	A B	B69613	1355.5 0	A
PR872048	1339.0	A	NA5642	1302.9 2	A	NA5642	1303.9 5	A	NA5642	1310.5 3	A B	NA5642	1311.1 8	A
L6268	1318.0	A	PR872080	1254.3 0	A	PR872080	1259.4 3	A	PR872080	1277.2 9	A B	PR872080	1283.8 2	A
PR872080	1284.5	A	MEX68P23	1249.8 6	A	MEX68P23	1228.2 5	A	MEX68P23	1224.5 1	A B	MEX68P23	1221.3 3	A
NA5642	1250.0	A	B76385	1223.0 4	A	CC8475	1209.0 0	A	PR872048	1217.5 8	A B	PR872048	1218.3 2	A
MEX69290	1242.5	A	L6268	1218.8 6	A	B76385	1201.6 1	A	CC8475	1207.2 6	A B	B76385	1210.4 2	A
CC8475	1174.0	A	PR872048	1186.7 8	A	PR872048	1193.4 2	A	B76385	1199.9 7	A B	CC8475	1206.4 0	A
MEX68P23	1167.0	A	CC8475	1182.2 9	A	MEX69290	1176.9 0	A	MEX69290	1169.0 0	A B	MEX69290	1174.6 0	A
B76385	1118.5	A	MEX69290	1153.9 8	A	L6268	1176.2 7	A	L6268	1147.2 0	A B	L6268	1134.8 3	A
B71327	1027.5	A	B71327	1094.9 3	A	B71327	1121.4 5	A	B71327	1114.6 9	A B	B71327	1118.1 3	A
PR783025	1001.5	A	PR783025	1072.5 1	A	PR783025	1062.9 5	A	PR783025	1056.6 5	B	PR783025	1057.1 0	A

## 8. CONCLUSIONES

Tomando como primicia los objetivos perseguidos, la hipótesis planteada y la discusión de los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- 8.1 En cuanto a la evaluación de la confiabilidad de los diferentes métodos de estimación de la producción de caña en pie; los métodos de pesar 15 tallos y contar la población de tallos de los tres surcos, pesar 20 tallos y contar la población de los dos surcos exteriores, pesar 25 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores y pesar 30 tallos y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (métodos 5, 8, 13, 18 y 20 respectivamente), se consideran confiables ya que son los que poseen los coeficientes de correlación más altos: 0.75615, 0.75590, 0.76877 y 0.77189 respectivamente y que seleccionan por su facilidad de aplicación en el campo.
- 8.2 La precisión de los métodos estimación más confiables se midió a través del coeficiente determinación  $R^2$  ajustado de: 0.562457, 0.562062, 0.582118 y 0.587022 respectivamente, estas precisiones se consideran como no aceptables.
- 8.3 Independientemente del método de estimación de la producción de caña en pie que se utilice (tamaño de la muestra y forma de conteo de la población de tallos); no afecta los resultados del análisis de varianza.
- 8.4 La predicción de la producción real de caña en pie (ton/ha) a través de una metodología de conteo de la población de tallos y la extracción de una muestra de tallos, es confiable pero no precisa para ser utilizada cuando se quiere juzgar estadísticamente el efecto de los tratamientos aplicados a las unidades experimentales.

## 9. RECOMENDACIONES

- 9.1 Cuando exista dificultad para cosechar normalmente un experimento de caña de azúcar que posea unidades experimentales de cinco surcos de diez metros cada uno y únicamente se requiera conocer los dos mejores tratamientos, se recomienda utilizar el método estimación en todas las unidades experimentales, que consiste en pesar 25 tallos (ver figura 9) y contar la población de tallos de los dos surcos exteriores (ver figura 12) y aplicando la fórmula  $Y_i = \frac{PTM}{TM} * \frac{pt}{2} * 3$ , donde  $Y_i$  = Producción estimada,  $PTM$  = Peso del tamaño de muestra,  $TM$  = Tamaño de muestra,  $pt$  = Población de tallos dada por la forma de conteo; se obtendrá una producción estimada que luego deberá ser corregida por la ecuación:  $\text{Producción Real} = 443.541 + 0.621Pest$ , cuyos resultados serán las producciones que se utilizarán para los análisis estadísticos respectivos con una confiabilidad de **0.76877** y una precisión de **0.582118**. Aunque se debe continuar con la evaluación de este método en campo, para que pueda ser validado.
- 9.2 Evaluar otros métodos de estimación para aumentar la confiabilidad y precisión de la estimación de la producción de caña en pie de las unidades experimentales y por lo cual se recomienda realizar evaluaciones de tamaños de muestra arriba de los 30 tallos.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarez, V; Melgar, M. s.f. Regresión lineal simple y correlación. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 9 p.
2. Arnon, I. 1978. Organización y administración de la investigación agrícola. San José, Costa Rica, IICA. 433 p.
3. Campollo Figueroa, PS. 1992. Evaluación de cuatro dosis de glifosato aplicado como madurante, en caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) de tres edades. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 56 p.
4. CENGICANÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1996. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 137 p.
5. \_\_\_\_\_. 1996. Informe anual 1995-1996. Guatemala. 47 p.
6. \_\_\_\_\_. 1999. Memoria: presentación de resultados, zafra 1998-1999. Guatemala. 178 p.
7. \_\_\_\_\_. 2000. Informe anual 1999-2000. Guatemala. 51 p.
8. \_\_\_\_\_. 2001. Boletín estadístico no. 2. Guatemala. 4 p.
9. Díaz, JC; Reyes, F; Méndez, F. 1978. Métodos de estimación del rendimiento de la caña de azúcar en parcelas experimentales. Ciencias de la Agricultura (CU) no. 3:13-27.
10. García, JL. 1997. Diagnóstico sobre la situación actual de áreas renovadas y habilitadas en 1997, para el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), en la finca Agrícola Manacales, Chicacao; Suchitepequez. Mazatenango, Suchitepequez, Guatemala, USAC. 29 p.
11. Gonçalves, JA. 1989. Comparação entre métodos expeditos para estimativa de peso de parcelas em ensaios com cana-de-açúcar. Brasil, COPERSUCAR, Boletín Técnico no. 45. 5 p.
12. Glaz, B; Kang, MS. 1985. Alternative methods of estimating yields of sugarcane in research plots. Journal American Society of Sugar Cane Technology 6:64-71.
13. INAFOR (Instituto Nacional Forestal, GT). 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. 42 p.
14. Loma, De la. 1966. Experimentación agrícola. 2 ed. México, UTHEA. 493 p.
15. Mendenhall, W. 1987. Introducción a la probabilidad y la estadística. Trad. Carlos Segami. 2 ed. México, Iberoamericana. 626 p.
16. Milanes, N. 1979. Variabilidad de los criterios del rendimiento de la caña de azúcar. Ciencias de la Agricultura no. 4:117-127.

17. Ojeda, M. 1999. Modelación de regresión. México, Universidad Veracruzana, Facultad de Estadística e Informática, Laboratorio Investigación y Asesoría Estadística. 118 p.
18. Orozco, H; Soto, G. 1996. Pureza genética de la variedad de caña de azúcar CP 722086 en plantaciones comerciales en Guatemala y sus efectos en el tonelaje y producción de azúcar. Guatemala, CENGICAÑA. 29 p. (Documento técnico no. 9).
19. Scheaffer, RL; Mendenhall, W; Ott, L. 1987. Elementos de muestreo. Trad. por Gilberto Rendón Sánchez y José Roberto Gómez Aguilar. México, Iberoamericana. 321 p.
20. Soto, GJ. 1995. Prototipo varietal de caña de azúcar. Guatemala, CENGICAÑA. Guatemala. 14 p. (Documento Técnico no.5).
21. Soto, G; Orozco, H; Ceballos, L. 1999. Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala: análisis cuantitativo de las últimas dos décadas y comparación con otras industrias azucareras. Guatemala, CENGICAÑA. 27 p. (Documento Técnico no. 16).
22. Spiegel, MR. 1982. Estadística. Trad. por José Luís Gómez y Alberto Losada V. 2 ed. México, McGraw-Hill. 357 p.

## **11. APÉNDICE**

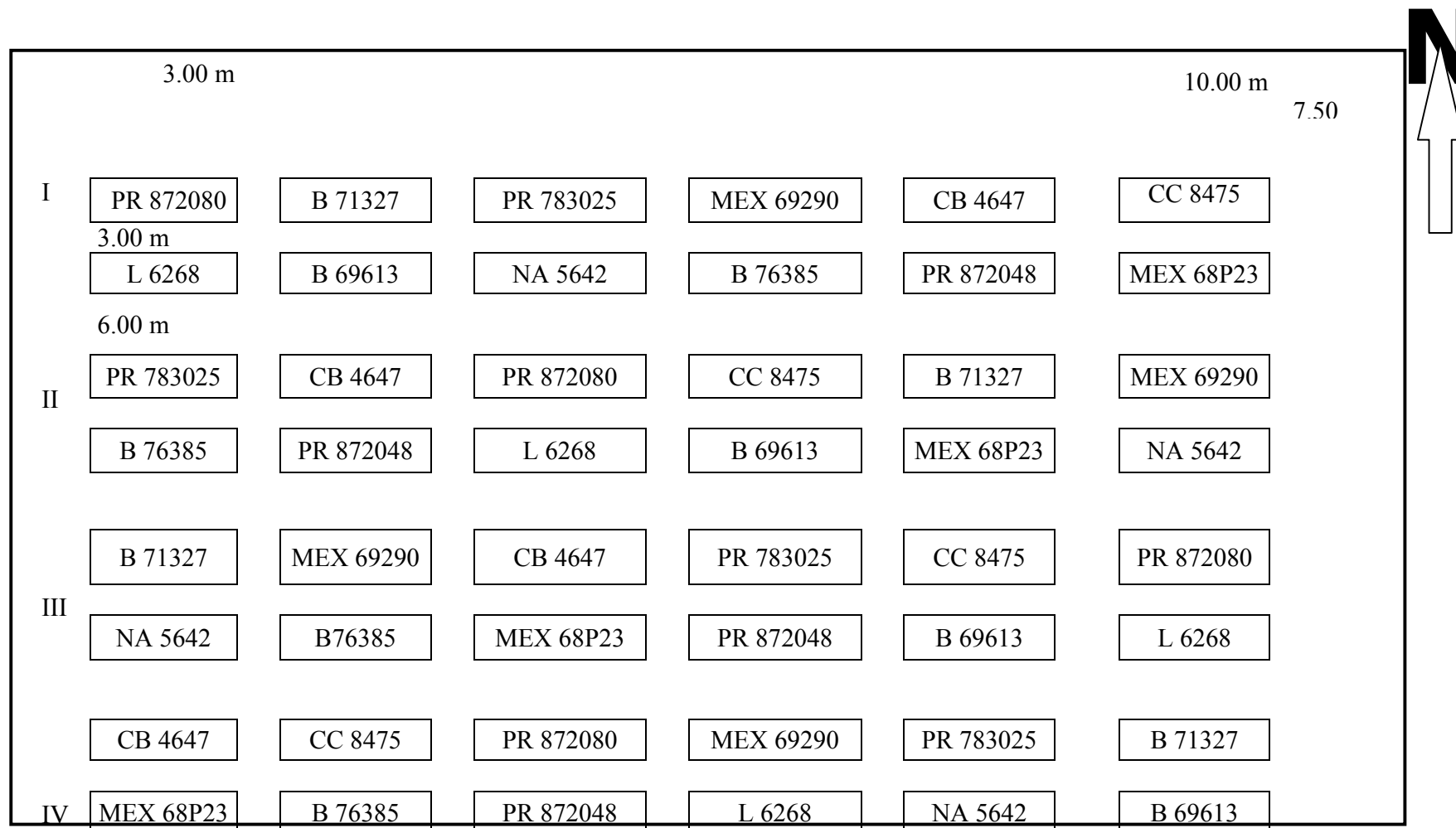


Figura 20 "A". Aleatorización de la ubicación de las variedades en el ensayo experimental.

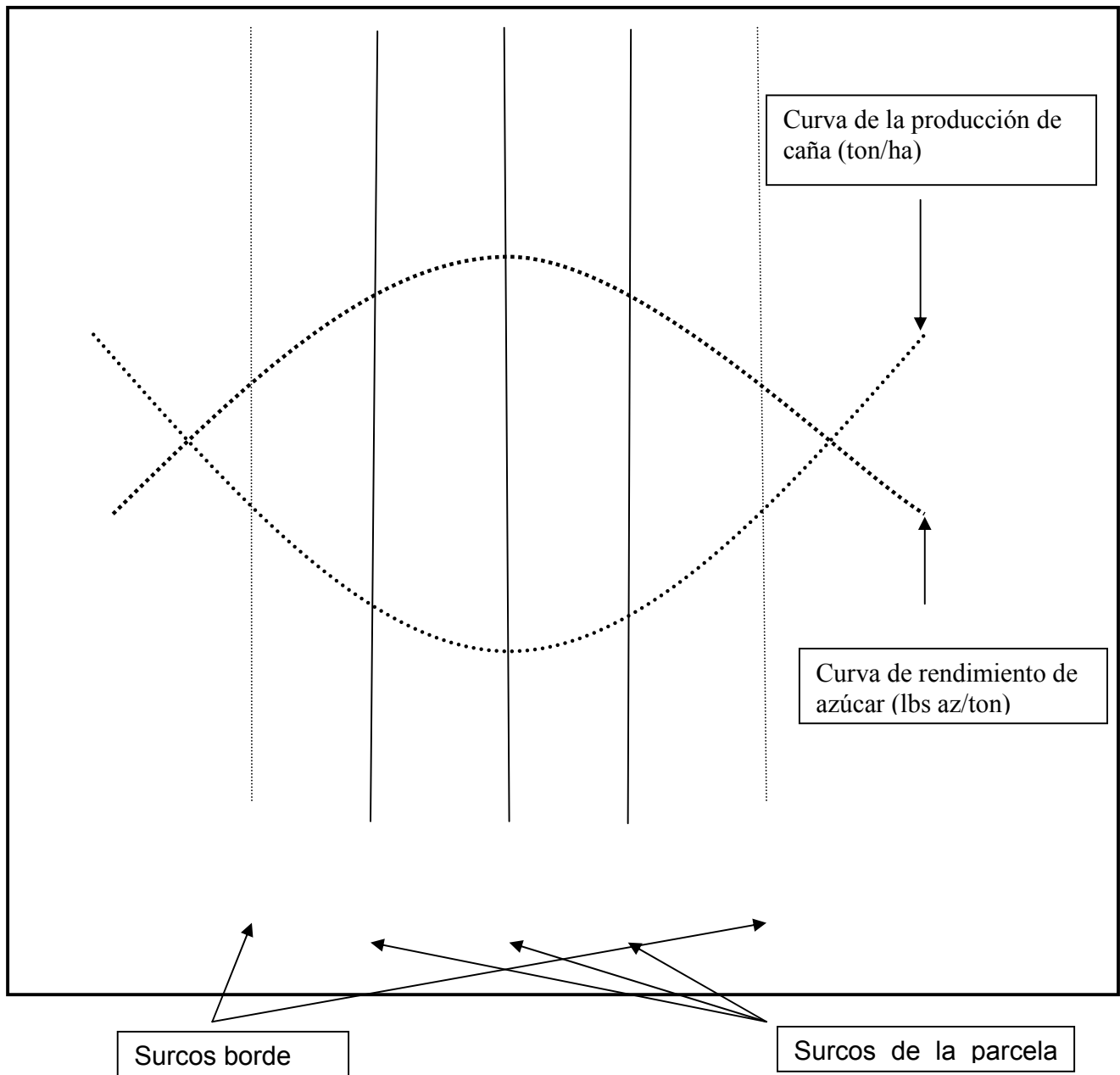
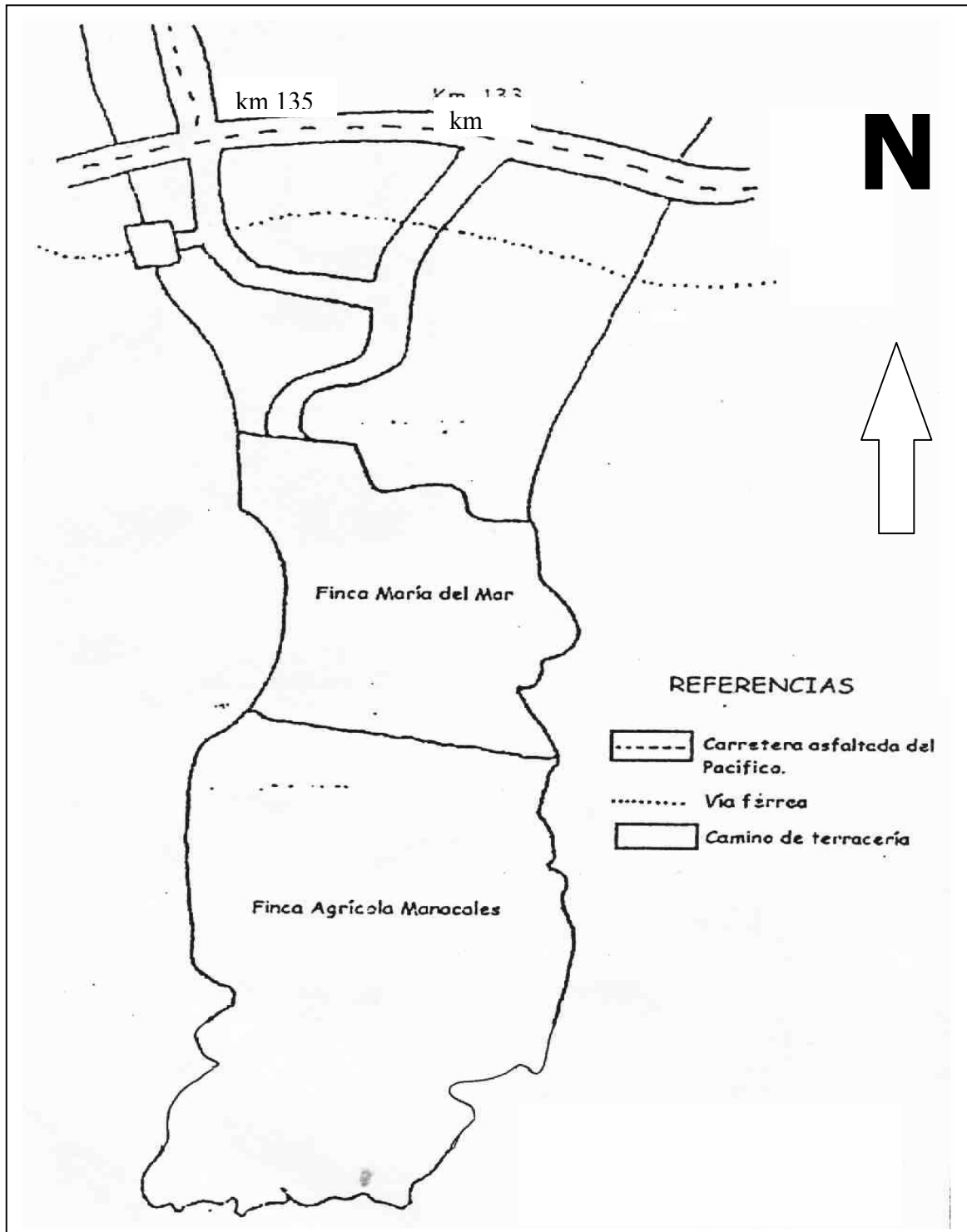


Figura 21 "B". Curvas del comportamiento de la producción de caña y rendimiento de azúcar en una unidad experimental

Cuadro 9 "A".

Resultados del análisis de correlación entre la producción y las producciones estimadas por los métodos evaluados. Coeficiente de correlación de Pearson / Prob > |R| under Ho: Rho = 0 / N = 48.

	Preal	Pest1	Pest2	Pest3	Pest4	Pest5	Pest6	Pest7	Pest8	Pest9	Pest10	Pest11	Pest12	Pest13	Pest14	Pest15	Pest16	Pest17	Pest18	Pest19	Pest20
Preal	1.00000 0.0	0.53059 0.0001	0.68206 0.0001	0.73631 0.0001	0.67191 0.0001	0.75615 0.0001	0.54852 0.0001	0.69009 0.0001	0.75590 0.0001	0.68710 0.0001	0.77211 0.0001	0.56658 0.0001	0.70188 0.0001	0.76877 0.0001	0.70677 0.0001	0.78568 0.0001	0.56992 0.0001	0.0774 0.0001	0.77189 0.0001	0.71320 0.0001	0.79079 0.0001
Pest1	0.53059 0.0001	1.00000 0.0	0.61180 0.0001	0.87022 0.0001	0.90618 0.0001	0.82840 0.0001	0.98184 0.0001	0.57751 0.0001	0.84933 0.0001	0.87414 0.0001	0.80007 0.0001	0.97429 0.0001	0.55375 0.0001	0.82551 0.0001	0.85814 0.0001	0.77550 0.0001	0.96528 0.0001	0.54494 0.0001	0.81564 0.0001	0.85057 0.0001	0.76656 0.0001
Pest2	0.68206 0.0001	0.61180 0.0001	1.00000 0.0	0.77944 0.0001	0.88892 0.0001	0.89381 0.0001	0.61227 0.0001	0.98145 0.0001	0.78159 0.0001	0.88116 0.0001	0.88971 0.0001	0.60902 0.0001	0.97183 0.0001	0.77042 0.0001	0.87859 0.0001	0.87890 0.0001	0.59108 0.0001	0.96030 0.0001	0.75273 0.0001	0.86337 0.0001	0.86307 0.0001
Pest3	0.73631 0.0001	0.87022 0.0001	0.77944 0.0001	1.00000 0.0	0.92065 0.0001	0.97761 0.0001	0.85045 0.0001	0.74307 0.0001	0.97973 0.0001	0.88851 0.0001	0.94913 0.0001	0.85373 0.0001	0.73465 0.0001	0.97155 0.0001	0.88836 0.0001	0.94097 0.0001	0.84348 0.0001	0.72679 0.0001	0.96193 0.0001	0.88024 0.0001	0.93268 0.0001
Pest4	0.67191 0.0001	0.90618 0.0001	0.88892 0.0001	0.92065 0.0001	1.00000 0.0	0.95758 0.0001	0.89591 0.0001	0.85914 0.0001	0.90970 0.0001	0.97730 0.0001	0.93898 0.0001	0.88980 0.0001	0.84024 0.0001	0.88994 0.0001	0.96666 0.0001	0.91897 0.0001	0.87499 0.0001	0.82898 0.0001	0.87476 0.0001	0.95414 0.0001	0.90533 0.0001
Pest5	0.75615 0.0001	0.82840 0.0001	0.89381 0.0001	0.97761 0.0001	0.95758 0.0001	1.00000 0.0	0.81441 0.0001	0.86155 0.0001	0.96382 0.0001	0.93197 0.0001	0.97823 0.0001	0.81567 0.0001	0.85229 0.0001	0.95422 0.0001	0.93100 0.0001	0.96876 0.0001	0.80231 0.0001	0.84279 0.0001	0.94139 0.0001	0.92008 0.0001	0.95751 0.0001
Pest6	0.54852 0.0001	0.98184 0.0001	0.61227 0.0001	0.85045 0.0001	0.89591 0.0001	0.81441 0.0001	1.00000 0.0	0.61408 0.0001	0.76776 0.0001	0.90431 0.0001	0.82563 0.0001	0.99350 0.0001	0.59124 0.0001	0.84453 0.0001	0.88959 0.0001	0.80179 0.0001	0.98728 0.0001	0.58560 0.0001	0.83739 0.0001	0.88540 0.0001	0.79590 0.0001
Pest7	0.69009 0.0001	0.57751 0.0001	0.98145 0.0001	0.74307 0.0001	0.85914 0.0001	0.86155 0.0001	0.61408 0.0001	1.00000 0.0	0.78343 0.0001	0.89223 0.0001	0.89734 0.0001	0.61218 0.0001	0.99201 0.0001	0.77339 0.0001	0.89142 0.0001	0.88789 0.0001	0.59747 0.0001	0.98047 0.0001	0.75889 0.0001	0.88002 0.0001	0.87555 0.0001
Pest8	0.75590 0.0001	0.84933 0.0001	0.78159 0.0001	0.97973 0.0001	0.90970 0.0001	0.96382 0.0001	0.86776 0.0001	0.78343 0.0001	1.00000 0.0	0.92024 0.0001	0.97728 0.0001	0.87221 0.0001	0.77612 0.0001	0.99256 0.0001	0.92157 0.0001	0.97003 0.0001	0.86473 0.0001	0.77145 0.0001	0.98566 0.0001	0.91682 0.0001	0.96476 0.0001
Pest9	0.68710 0.0001	0.87414 0.0001	0.89116 0.0001	0.88851 0.0001	0.97730 0.0001	0.93197 0.0001	0.90431 0.0001	0.89223 0.0001	0.92024 0.0001	1.00000 0.0	0.95775 0.0001	0.89956 0.0001	0.87484 0.0001	0.90152 0.0001	0.99114 0.0001	0.93900 0.0001	0.88805 0.0001	0.86732 0.0001	0.88959 0.0001	0.98258 0.0001	0.92895 0.0001
Pest10	0.77211 0.0001	0.80007 0.0001	0.88971 0.0001	0.94913 0.0001	0.93898 0.0001	0.97823 0.0001	0.82563 0.0001	0.89734 0.0001	0.97728 0.0001	0.95775 0.0001	1.00000 0.0	0.82814 0.0001	0.88943 0.0001	0.96858 0.0001	0.95842 0.0001	0.99163 0.0001	0.81781 0.0001	0.88341 0.0001	0.95874 0.0001	0.95116 0.0001	0.98369 0.0001
Pest11	0.56658 0.0001	0.97429 0.0001	0.60902 0.0001	0.85373 0.0001	0.88980 0.0001	0.81567 0.0001	0.99350 0.0001	0.61218 0.0001	0.87221 0.0001	0.89956 0.0001	0.82814 0.0001	1.00000 0.0	0.60325 0.0001	0.86269 0.0001	0.89987 0.0001	0.81880 0.0001	0.99579 0.0001	0.60009 0.0001	0.85766 0.0001	0.9819 0.0001	0.81527 0.0001
Pest12	0.70188 0.0001	0.55375 0.0001	0.97183 0.0001	0.73465 0.0001	0.84024 0.0001	0.85229 0.0001	0.59124 0.0001	0.99201 0.0001	0.77612 0.0001	0.87484 0.0001	0.88943 0.0001	0.60325 0.0001	1.00000 0.0	0.78130 0.0001	0.89071 0.0001	0.89624 0.0001	0.59100 0.0001	0.99540 0.0001	0.76951 0.0001	0.88251 0.0001	0.88697 0.0001
Pest13	0.76877 0.0001	0.82551 0.0001	0.77042 0.0001	0.97155 0.0001	0.88994 0.0001	0.95422 0.0001	0.84453 0.0001	0.77339 0.0001	0.99256 0.0001	0.90152 0.0001	0.96858 0.0001	0.86269 0.0001	0.78130 0.0001	1.00000 0.0	0.91898 0.0001	0.97709 0.0001	0.85740 0.0001	0.77943 0.0001	0.99547 0.0001	0.91698 0.0001	0.97442 0.0001
Pest14	0.70677 0.0001	0.85814 0.0001	0.87859 0.0001	0.88836 0.0001	0.96666 0.0001	0.93100 0.0001	0.88959 0.0001	0.89142 0.0001	0.92157 0.0001	0.99114 0.0001	0.95842 0.0001	0.89987 0.0001	0.89071 0.0001	0.91896 0.0001	1.00000 0.0	0.95682 0.0001	0.89077 0.0001	0.88639 0.0001	0.90966 0.0001	0.99456 0.0001	0.94974 0.0001
Pest15	0.78568 0.0001	0.77550 0.0001	0.87890 0.0001	0.94097 0.0001	0.91897 0.0001	0.96876 0.0001	0.80179 0.0001	0.88789 0.0001	0.97003 0.0001	0.93900 0.0001	0.99163 0.0001	0.81880 0.0001	0.89624 0.0001	0.97709 0.0001	0.95682 0.0001	1.00000 0.0	0.81086 0.0001	0.89334 0.0001	0.96985 0.0001	0.95260 0.0001	0.99499 0.0001
Pest16	0.56992 0.0001	0.96528 0.0001	0.59108 0.0001	0.84348 0.0001	0.87499 0.0001	0.80231 0.0001	0.98729 0.0001	0.59747 0.0001	0.86473 0.0001	0.88805 0.0001	0.81781 0.0001	0.99579 0.0001	0.59100 0.0001	0.85740 0.0001	0.89077 0.0001	0.81086 0.0001	1.00000 0.0	0.59644 0.0001	0.86106 0.0001	0.89860 0.0001	0.81645 0.0001
Pest17	0.70774 0.0001	0.54494 0.0001	0.96030 0.0001	0.72679 0.0001	0.82898 0.0001	0.84279 0.0001	0.58560 0.0001	0.98407 0.0001	0.77145 0.0001	0.86732 0.0001	0.88341 0.0001	0.60009 0.0001	0.99540 0.0001	0.77943 0.0001	0.88639 0.0001	0.89334 0.0001	0.59644 0.0001	1.00000 0.0	0.77663 0.0001	0.88814 0.0001	0.89361 0.0001
Pest18	0.77189 0.0001	0.81564 0.0001	0.75273 0.0001	0.96193 0.0001	0.87476 0.0001	0.94139 0.0001	0.83739 0.0001	0.75889 0.0001	0.98566 0.0001	0.88959 0.0001	0.95874 0.0001	0.85766 0.0001	0.76951 0.0001	0.99547 0.0001	0.90966 0.0001	0.96985 0.0001	0.86106 0.0001	0.77663 0.0001	1.00000 0.0	0.91755 0.0001	0.97676 0.0001
Pest19	0.71320 0.0001	0.85057 0.0001	0.86337 0.0001	0.88024 0.0001	0.95414 0.0001	0.92008 0.0001	0.88540 0.0001	0.88002 0.0001	0.91682 0.0001	0.98258 0.0001	0.95116 0.0001	0.89819 0.0001	0.88251 0.0001	0.91698 0.0001	0.99456 0.0001	0.95260 0.0001	0.89860 0.0001	0.88814 0.0001	0.91755 0.0001	1.00000 0.0	0.95595 0.0001
Pest20	0.79079 0.0001	0.76656 0.0001	0.86307 0.0001	0.93268 0.0001	0.90533 0.0001	0.95751 0.0001	0.79590 0.0001	0.87555 0.0001	0.96478 0.0001	0.92895 0.0001	0.98369 0.0001	0.81527 0.0001	0.88697 0.0001	0.97448 0.0001	0.94974 0.0001	0.99499 0.0001	0.81645 0.0001	0.89361 0.0001	0.97676 0.0001	0.95595 0.0001	1.00000 0.0



FUENTE: García, JL. 1997

Figura 22 "A". Croquis de ubicación y acceso a la finca Agrícola Manacales, S. A.