

UNIVERSIDAD ICESI

MAESTRÍA EN ADMINISTRACION

**APLICACIÓN DE MODELOS ESTADÍSTICOS EN LA EVALUACIÓN DE LA
FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UN EXPERIMENTO DE FERTILIZACIÓN
EN UN INGENIO AZUCARERO Y SU USO EN EL MEJORAMIENTO DE
GESTIÓN DEL ÁREA DE CAMPO**

GUSTAVO ADOLFO MEJIA MURILLO



**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGISTER EN ADMINISTRACION DE EMPRESAS**

(JULIO CÉSAR ALONSO C)

DIRECTOR DEL TRABAJO

CALI

12-1-2007



T
30.0LS19S
A 5LC a

ADVERTENCIA

“Ni la universidad ni el jurado de grado serán responsables de las ideas expuestas por el graduando”.

Reglamento Estudiantil.

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, 12 de Enero de 2007

DEDICATORIA

**A mi esposa y a mi hija, quienes cedieron
pacientemente parte de su tiempo a
compartir en familia, para el desarrollo de
este programa.**



TABLA DE CONTENIDO

TEMA		Pág.
	Introducción.....	19
1.	PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	24
1.1.	Título	24
1.2.	Problema	24
1.3.	Justificación	24
1.4.	Objetivos	28
1.4.1.	Objetivos Generales	28
1.4.2.	Objetivos Específicos	28
1.5.	Alcance	29
2.	MARCO TEÓRICO	30
2.1.	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DE SACAROSA EN LA CAÑA DE AZÚCAR	30
2.1.1.	El Clima	30
2.1.1.1.	La precipitación, el drenaje y el riego	31
2.1.1.2.	La luminosidad	34
2.1.1.3.	La temperatura	34

2.1.2.	El tipo de suelo	35
2.1.3.	La variedad de caña	38
2.1.4.	La nutrición y la fertilización	41
2.1.5.	La aplicación de madurantes	46
2.1.6.	La maduración o edad de la planta al momento de la cosecha	49
2.2.	El análisis de varianzas o prueba de ANOVA	52
2.3.	Modelos de regresión múltiple	56
3.	MARCO METODOLÓGICO	60
3.1.	Metodología	60
3.2.	Áreas administrativas del proyecto	61
3.3.	Proceso de análisis	61
3.4.	Apoyo de conocimiento teórico	62
3.5.	Productos esperados	64
3.6.	Recursos requeridos	64
3.6.1.	Económicos	64
3.6.2.	Humano	65
3.6.3.	Bibliográfico	65
4.	CONSTRUCCIÓN DEL ESTUDIO	66
4.1.	Selección preliminar de variables a incluir en el modelo	66
4.1.1.	Asociadas a los factores Clima y Suelo	66
4.1.2.	Variedad de caña sembrada	68

4.1.3.	Asociadas a los factores fertilización y nutrición ...	68
4.1.4.	Asociadas al factor maduración	69
4.1.5.	Asociadas al factor reguladores de crecimiento ...	70
4.1.6.	Otras asociadas al Cultivo	71
4.2.	VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE EL CONTENIDO TOTAL DE SACAROSA	72
4.2.1.	Fertilización de los cultivos	72
4.2.1.1.	Diseño del experimento de fertilización realizado .	72
4.2.1.1.1.	Condiciones para la fertilización	72
4.2.1.1.1.1.	Aplicaciones de Suelos	73
4.2.1.1.1.2.	Aplicaciones foliares	73
4.2.1.1.2.	La selección de lotes testigo	75
4.2.1.2.	Diseño de la prueba estadística	76
4.2.1.2.1.	Variables y pruebas	76
4.2.1.2.2.	Tipos de análisis y selección de muestras	78
4.2.2.	Otras variables de proceso	79
5.	RESULTADOS	80
5.1.	Acerca del experimento de fertilización	80
5.1.1.	Fertilización de suelo y foliar	80
5.1.2.	Aplicación de madurante	92

5.2.	Acerca del modelo de Relación para la sacarosa total obtenida	99
5.2. 1.	Resultados de la ecuación de regresión excluyendo la fertilización objeto del experimento..	103
5.2.1.1.	La matriz de correlación	103
5.2.1.2.	Ejecución del modelo y evaluación de la ecuación de regresión	105
5.2.1.2.1.	La multicolinealidad	107
5.2.1.2.2.	Análisis de varianzas residuales	108
5.2.1.2.3.	Prueba global: Prueba de validación para el modelo de regresión múltiple	111
5.2.1.2.4.	Evaluación de los coeficientes de correlación individuales	112
5.2.1.3.	Interpretación de los resultados de la ecuación de regresión	113
5.2.2.	Resultados de la ecuación de regresión incluyendo el efecto de fertilización objeto del experimento	116
5.2.3.	Los coeficientes de regresión estandarizados y la elasticidad	121
6.	CONCLUSIONES	125

6.1.	De la sacarosa en el campo	125
6.2.	De la administración del campo y la productividad en términos de sacarosa total obtenida	126
6.2.1.	La fertilización de los cultivos y del suelo y la aplicación de madurante	126
6.2.2.	El manejo de zonas agro ecológicas	128
6.2.3.	El manejo de variedades de caña	130
6.2.4.	La variedad adecuada en la zona indicada	134
6.2.5.	El manejo de la edad de cosecha	141
6.2.6.	La ubicación del cultivo respecto al ingenio	145
6.2.7.	El pol aparente	146
6.2.8.	Lo controlable de El Clima	147
7.	RECOMENDACIONES	149
	Bibliografía	163
	Anexos	171
1	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para fertilización foliar y de suelos	172
2	Matriz de intervalos de confianza para diferencias entre medias de tratamientos del primer análisis sobre fertilización	184

3	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para aplicación de madurante	186
4	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para zonas agro ecológicas, lotes no fertilizados...	190
5	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para variedades de caña, lotes no fertilizados	195
6	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para edad de cosecha del cultivo, lotes no fertilizados	199
7	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para número de corte del cultivo, lotes no fertilizados	202
8	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para tiempo de transporte, lotes no fertilizados	204
9	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para contenido aparente de sacarosa en la caña de azúcar, lotes no fertilizados	210
10	Resultados obtenidos en las pruebas ANOVA para año de siembra del cultivo, lotes no fertilizados	213
11	Matriz de correlación del modelo para la sacarosa total obtenida	217

12	Resultados del modelo para la sacarosa total obtenida	219
13	Diagramas de correlación para las variables climáticas	227
14	Diagramas de dispersión para las variables independientes del modelo de regresión lineal múltiple	230

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

1. Características descriptivas y distribución del área en caña en los Grupos de Manejo definidos por Cenicaña. Datos a febrero de 2004	36
2. Características descriptivas y distribución del área en caña en los Grupos de Humedad definidos por Cenicaña. Datos a febrero de 2004	37
3. Variedades semicomerciales de caña de azúcar y su comportamiento en relación con la variedad CC8592. Industria Azucarera Colombiana, noviembre 2002	41
4. Presentación de los resultados de una prueba ANOVA	55
5. Resultados de la estimación OLS del modelo para Lotes No Fertilizados	106
6. Resultados de la prueba de Homocedasticidad de la estimación OLS del modelo para Lotes No fertilizados	109
7. Resultados de la Prueba Global de la estimación OLS del modelo para Lotes No fertilizados.....	111

8. Resultados de la estimación OLS del modelo preliminar para todos los lotes	117
9. Resultados de la estimación OLS del modelo final para todos los lotes	120
10. Resultados de los coeficientes de regresión estandarizados y de elasticidad del modelo, y evaluación de la eficiencia del pronóstico	122
11. Toneladas de sacarosa por hectárea-mes, por zona y variedad, Ingenio, 1999-2005	135
12. Número de observaciones de la muestra por zona y variedad. Ingenio, 1999-2005	136
13. Toneladas de sacarosa por Hectárea-mes, por dupla Zona-variedad. Ingenio, 1999-2005	137
14. Productividades obtenidas por zona y variedad. Ingenio, 1999-2005	140
15. Aplicación de elementos mayores en el ingenio	155
16. Distribución de las tierras del Ingenio	192

FIGURAS

1. Toneladas de sacarosa obtenida según edad de cosecha. Ingenio, 1999-2005	142
2. Diagrama de dispersión de la edad de cosecha	142

3. Edad de cosecha del Sector Azucarero. Colombia, 1975-2005	144
4. Evolución de TCH y edad. Sector Azucarero Colombiano, 2004-2005	145
5. Diagrama de dispersión de Cerca/Lejos. Ingenio, 1999-2005	146
6. Sacarosa obtenida en función del pol aparente. Ingenio, 1999-2005	147
7. Diagrama de dispersión de pol aparente. Ingenio, 1999-2005	147
8. Diagrama de Correlación Precipitación – Humedad Relativa. Ingenio, 1999-2005	227
9. Diagrama de Correlación Radiación – Humedad Relativa. Ingenio, 1999-2005	227
10. Diagrama de Correlación Precipitación – Oscilación de Temperatura. Ingenio, 1999-2005	227
11. Diagrama de Correlación Radiación – Oscilación de Temperatura. Ingenio, 1999-2005	228
12. Diagrama de Correlación Humedad Relativa – Oscilación de Temperatura. Ingenio, 1999-2005	228
13. Diagrama de Correlación Oscilación de Temperatura – Temperatura media. Ingenio, 1999-2005	228
14. Diagrama de Correlación Precipitación – Temperatura media. Ingenio, 1999-2005	229

15. Diagrama de Correlación Temperatura media – Radiación. Ingenio, 1999-2005	229
16. Diagrama de Correlación Humedad Relativa – Temperatura media. Ingenio, 1999-2005	229
17. Diagrama de Correlación Precipitación – Radiación. Ingenio, 1999-2005	229
18. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – variedad de caña. Ingenio, 1999-2005	230
19. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – zona agro ecológica. Ingenio, 1999-2005	230
20. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – edad de cosecha. Ingenio, 1999-2005	231
21. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – pol aparente de caña. Ingenio, 1999-2005	231
22. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – aplicación de madurante. Ingenio, 1999-2005	231
23. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – Ubicación Cerca/Lejos. Ingenio, 1999-2005	232
24. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – fertilización foliar, sin fertilización al suelo. Ingenio, 1999-2005	232
25. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – precipitación. Ingenio, 1999-2005	232

26. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – Año de siembra. Ingenio, 1999-2005	233
27. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – Riegos. Ingenio, 1999-2005	233
28. Diagrama de dispersión Ton SAC./HM – Corte. Ingenio, 1999-2005	233

INTRODUCCIÓN

La industria agrícola del azúcar en Colombia es un sistema empresarial conformado por catorce ingenios azucareros¹ con tierras distribuidas en los departamentos de Caldas, Cauca, Cesar, Risaralda y Valle del Cauca y una capacidad instalada de molienda de 77 mil toneladas de caña por día.

La mayor parte del área sembrada se encuentra en el valle geográfico del río Cauca, donde hay cerca de doscientas mil hectáreas dedicadas al cultivo. En total existen 2,518 haciendas cañeras y aproximadamente 1,700 propietarios. El cultivo es manejado directamente por los ingenios en el 50% del área y por agricultores independientes en el 50% restante.

La industria provee una oferta global de 2,683,203 tmvc² de azúcar y 27.4 millones de litros de alcohol. El sector abastece un mercado interno de azúcar de 1,515,380 tmvc (56% de las ventas) y exporta a mercados internacionales, 1,179,642 tmvc (principalmente Perú, Venezuela, Haití,

¹ El nombre del ingenio objeto del estudio se omite por razones de confidencialidad.

² Toneladas métricas valor crudo

Rusia, Corea del Sur, Sri Lanka y Estados Unidos)³. El 44% de las ventas de azúcar que se exportan se distribuye entre la cuota americana (2%), el mercado andino (25%) y el mercado mundial (74%).

El ingenio en estudio se encuentra ubicado en el Valle del Cauca y maneja directamente el 80% del área cultivada y sus proveedores de caña el 20% restante. Asimismo, orienta el 63% de su producción al mercado interno y el resto los distribuye entre la cuota americana (1%), el mercado andino (75%) y el mercado mundial (24%).

Posee una organización funcional con la siguiente estructura: Un área de campo y cosecha dirigida por un superintendente, con un jefe de cosecha y mayordomos encargados de las haciendas propias; un área de Equipo móvil, dirigida por un superintendente, encargada de la logística del alce y transporte de la caña cortada hasta la fabrica; un área de producción dirigida por un superintendente, encargada de la supervisión, control y evaluación del proceso de producción de azúcar hasta su empaque y almacenamiento, con supervisores y personal de fabrica a lo largo del proceso; y unas áreas de staff especializadas, que proveen el soporte en lo concerniente a Recursos Humanos, Telecomunicaciones e Informática, Ventas, Facturación y Despachos, Administración de Bodegas e Inventarios, y Contraloría, que

³ Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia. **Aspectos Generales del Sector Azucarero 2005 – 2006**, pág.33-37

incluye el manejo de la Tesorería, la Auditoría Interna, la Contabilidad, y el control de Importaciones y Exportaciones.

A pesar de haber tenido una evolución continua en productividad, la agroindustria ve afectada su rentabilidad debido a costos de producción altos y fluctuaciones propias del mercado del azúcar.

Teniendo en cuenta el marco que plantea una estrategia corporativa de incremento de productividad y reducción de costos para mejorar competitividad, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar un modelo que le permita a su vez a la gerencia del ingenio evaluar la factibilidad económica del programa de fertilización iniciado en junio de 2002; el modelo pretende explicar el contenido de sacarosa total obtenida en cultivos de caña de azúcar, y a su vez le permitirá al área de campo del ingenio:

1. Identificar las variables que intervienen, de manera determinante, en el proceso de producción de sacarosa en la planta, su importancia relativa y la sensibilidad de la sacarosa a variaciones en ellas.
2. Diseñar un modelo para la sacarosa obtenida en los cultivos del ingenio, a utilizar como marco de referencia en la simulación de escenarios estratégicos que le permitan incrementar su productividad, la evaluación de su gestión y el pronóstico de su producción.

3. Mediante los resultados de pruebas y modelos estadísticos establecidos obtener una visión de su gestión frente a la del sector en el que se desenvuelve, que le permita incorporar tácticas dentro de un plan estratégico del área alineado con la estrategia general de la organización.

Así mismo se aprovecha el trabajo para evaluar los resultados del experimento de fertilización de los cultivos de caña que se ha venido realizando durante los últimos cuatro años.

Para proveer un marco conceptual y de referencia para el desarrollo del modelo, se incluye en el capítulo dos el marco teórico de los factores que intervienen en la producción de sacarosa en la caña de azúcar. También se incluyen en este capítulo los conceptos básicos del análisis de ANOVA, utilizado para la validación del efecto real de cada variable del campo sobre la sacarosa, y las bases teóricas de regresión y correlación múltiple sobre las que se apoya el desarrollo del modelo. En el capítulo tres se presenta el marco metodológico sobre el cual se desarrolla el modelo propuesto. La construcción del estudio se describe en el capítulo cuatro, partiendo de la selección de aquellas variables que teóricamente van a involucrarse en el modelo, para una posterior validación estadística de su real impacto sobre la sacarosa. En el capítulo cinco se establece, ajusta y valida el modelo de relación propuesto. En el capítulo seis se presentan las conclusiones

obtenidas acerca del manejo dado a las variables sobre las que se apoya el modelo, frente al sector, y en capítulo siete se incorporan una serie de recomendaciones basadas en el análisis del entorno del ingenio e interno del mismo, y los resultados obtenidos a través de los modelos estadísticos, para que se incorporen como parte de su plan estratégico.

1. PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. TÍTULO

“Aplicación de modelos estadísticos en la evaluación de la factibilidad económica de un experimento de fertilización en un ingenio azucarero y su uso en el mejoramiento de gestión del área de campo”

1.2. PROBLEMA

Identificar y validar estadísticamente aquellas variables inherentes a la administración de cultivos de caña que determinan el contenido total de sacarosa obtenido, para diseñar un modelo que permita evaluar la rentabilidad económica del experimento de fertilización y planificar el manejo de los recursos disponibles para alcanzar un nivel óptimo de sacarosa en el campo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El precio internacional del azúcar y su volatilidad presentan una tendencia a la reducción. Especialmente durante el periodo de crisis, 1997-1999, el precio internacional del azúcar crudo cayó de un promedio de 11.36 centavos de dólar por libra, US \$C/lb., a un promedio de 6.16 US \$C/lb., (7.38 US \$C/lb.

en 2004)⁴; precio bien diferente a la tendencia esperada de largo plazo entre los 10 y 12 US \$C/lb. De manera similar, el precio internacional del azúcar blanco cayó de un promedio de 312.65 US \$/Tm. a 192.78 US \$/Tm. (226.51 US \$/Tm. durante 2004)⁴.

Por otra parte se han venido realizando ampliaciones de capacidad de grandes productores de bajo costo. Brasil aumentó su producción de 9.45 millones de toneladas métricas valor crudo, en 1991 a 25.95 millones de toneladas en 2003 mientras India pasó de 13.11 millones de toneladas en 1991 a 21.70 en 2003. El resultado de estas ampliaciones ha sido el desplazamiento de productores de mayores costos como Cuba y La Unión Europea. Brasil ha incrementado su participación en las exportaciones mundiales de 5.9% en 1991 a 29.9% en 2003 mientras la Unión Europea ha pasado de 17.8 a 11.3% durante el mismo periodo.⁵

Estos fenómenos han generado un ciclo en el cual, por una parte, los productores internacionales de bajo costo presionan los precios internacionales a la baja y estos precios deprimidos a su vez presionan los mercados locales. Por otra parte, la reducción de los márgenes de rentabilidad ocasionados por los bajos precios internacionales presionan a los grandes productores de bajo costo a incrementar su capacidad y mejorar

⁴ Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia. **Aspectos Generales del Sector Azucarero 2004 – 2005**. pág.49-52

sus procesos, volviendo a presionar el precio internacional a la baja. La presión se acentúa debido a la sobreoferta y exceso de inventarios mundiales, que han pasado de 49.89 millones de toneladas de azúcar a finales de 1991 a 79.29 a finales de 2002. A estos factores se suma un peso sobrevaluado desde 2005, que afecta directamente los ingresos por azúcar exportada y por ende el flujo de caja de los ingenios del sector azucarero colombiano

El sector azucarero colombiano posee una productividad no competitiva bajo los nuevos estándares de la industria internacional: El costo total del sector para 2001 era de 11.4 US \$C/lb. de azúcar crudo contra un costo de 5.2 US \$C/lb. de crudo de Brasil ⁵.

Esta crisis, ha evolucionado en un lento proceso de mejoramiento a partir del año 2000. Uno de los pilares sobre los que se apoya la estrategia compartida del sector es la captura de oportunidades de reducción de costos a lo largo de la cadena de valor. Este proceso ha legado al sector una mejor gestión gerencial y técnica, orientada más a productividad que a producción; con indicadores más orientados hacia resultados económicos y a utilidades

⁵ McKinsey . Desarrollando una Estrategia Compartida en el Sector. Pág.10.

reales, enfatizando en los costos de producción y los gastos de ventas y administración ⁶.

Con este antecedente, y conociendo además que los costos fijos y variables de la caña constituyen aproximadamente el 50% del costo total de producción⁷, el ingenio consideró un proyecto específicamente orientado a lograr una mayor productividad en el campo a través de una mayor cantidad de sacarosa en la caña de azúcar que se traduzca en una mayor cantidad de azúcar producida, sin aumentar el área sembrada de caña.⁸

En un estudio realizado en el sector sobre el efecto de la aplicación de abonos foliares en plantaciones de caña de azúcar afectadas por exceso de humedad, se logró un índice TCH (toneladas de caña por hectárea) de 95.62 mediante la aplicación de AGROCAB 0.3, y de 98.59 mediante la aplicación de Desarrollo más fosfato de potasio, ambos superiores al de un testigo sin aplicación con 82.26 TCH.⁹

En otro estudio, el tratamiento básico acompañado de elementos menores Boro y Zinc, permitió obtener un índice TCH de 117.92 y un rendimiento de

⁶ Asociación Colombiana de técnicos de la caña de azúcar de Colombia, **V Congreso colombiano de la Asociación de Técnicos de la caña de azúcar**, pág. 1-6

⁷ Asociación Colombiana de técnicos de la caña de azúcar de Colombia, **Op. Cit.** pág.4.

⁸ Salcedo, Santiago. **Análisis económico del aparente resultado de aplicar AGROCAB 0.3 + RyzUp como desarrollo con bioestimulantes**. Pág.1.

⁹ Arcila Arias, Jorge y Otros. **Efecto de la aplicación de abonos foliares en la recuperación de plantaciones de caña de azúcar en condiciones de stress por exceso de humedad**. Pág. 13.

16.33% con respecto a un testigo con TCH de 112.22 y un rendimiento de 14.8%.¹⁰

Basados en dicha evidencia a partir del segundo semestre de 2002 el ingenio inició el uso de fertilización foliar y la aplicación de fertilizantes menores a suelos, en lotes propios; a cada lote aplicado se le asignó un lote testigo.

Después de cuatro años de implementado el proyecto se hace necesario evaluar su rentabilidad y determinar para la gerencia su continuidad.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos Generales

El objetivo general de este trabajo de investigación es:

Dotar a la Gerencia y al área de campo del ingenio de una herramienta que les permita planificar su gestión para incrementar su productividad en términos de una mayor cantidad de sacarosa obtenida con los mismos recursos disponibles.

1.4.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo de investigación son:

¹⁰ Penagos Luna, Carlos Alberto. **Respuesta a la aplicación de elementos menores (B y Zn) en caña de azúcar.** Pág 5

1. Establecer aquellas variables que de acuerdo a un marco teórico inciden sobre la producción de sacarosa en la caña de azúcar.
2. Recopilar y validar información estadística sobre estas variables y otras posiblemente asociadas a la sacarosa obtenida en caña de azúcar en el ingenio, entre 1999 y 2005.
3. Validar estadísticamente el efecto de cada variable a considerar sobre la sacarosa final obtenida en planta, incluido el experimento de fertilización desarrollado, y analizar la gestión de estas variables en el ingenio.
4. Desarrollar un modelo estadístico que permita explicar la sacarosa total obtenida en caña de azúcar, simularla bajo ciertas condiciones, y diagnosticar la gestión en el área de campo del ingenio, de acuerdo a los resultados obtenidos y a los resultados del sector. El diagnóstico permitirá a su vez tomar decisiones acerca de la continuidad de las estrategias adoptadas en el campo.

1.5. ALCANCE

El trabajo de investigación se centrará en el estudio de la variable sacarosa total obtenida en caña de azúcar, en cultivos del ingenio y al manejo de ella por parte del área de campo; el marco de referencia de desempeño del sector se establecerá a través de las entidades CENICAÑA y ASOCAÑA.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DE SACAROSA EN LA CAÑA DE AZÚCAR

El incremento de sacarosa que el área de Campo provee a la Fábrica del ingenio puede lograrse por varias vías:

1. Aumentando las toneladas de caña que se cosechan; el término asociado a esta variable es tonelaje o producción y para independizarlo del área del lote se expresa como toneladas de caña por hectárea sembrada, TCH.
2. Aumentando el contenido de sacarosa en cada planta; el término asociado a esta variable es rendimiento.
3. Aumentando ambas variables.

Los factores más relevantes que afectan producción y/o rendimiento serán descritos a continuación.

2.1.1. El clima

El clima es la tendencia cuantitativa de las condiciones de la atmósfera en el largo plazo en una región geográfica, definida por los valores de las variables climatológicas: precipitación, humedad relativa, temperatura media, oscilación de temperatura y radiación solar.

2.1.1.1. La precipitación, el drenaje y el riego^{11, 12}

La humedad interna en la planta de caña es el factor dominante para la síntesis y traslocación de los azúcares (es decir, su reubicación en la planta, como la que ocurre por la acción del madurante que permite incrementar el contenido de sacarosa en el tercio superior del tallo). Cuando la planta se encuentra en desarrollo requiere un suministro adecuado de agua que le permita absorber los nutrientes del suelo, transportarlos al tallo y asimilarlos para realizar los procesos fisiológicos. Al momento del corte, es necesario reducir el contenido de humedad para aumentar la calidad del jugo.

Si el contenido de humedad en el suelo es bajo, la cantidad de agua presente en los entrenudos más jóvenes disminuye y como resultado, el crecimiento se reduce en forma gradual y prácticamente cesa cuando se alcanza el marchitamiento. Cuando el desarrollo de la planta se retarda, disminuye la demanda de azúcares y estos se almacenan en los tallos. Sin embargo,

¹¹ Torres, Jorge y Ricardo Cruz y Fernando Villegas. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. Pág.1-44.

cuando la humedad en el suelo se recupera por las lluvias o por el riego, se puede reiniciar el desarrollo vegetativo del cultivo, lo que disminuye la calidad de los jugos.

En años normales, en la zona de estudio, la precipitación oscila entre 800 y 2600 Mm., con dos periodos lluviosos que abarcan los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre. Precisamente, los menores requerimientos de riego se asocian con las cañas comerciales sembradas o cosechadas entre junio y agosto debido a que el periodo de rápido crecimiento, que para variedades tempranas se extiende de los 4 a los 10 meses, coincidió con meses relativamente lluviosos. Esto nos lleva a establecer que los requerimientos de riego de la caña de azúcar dependen de las fechas de siembra y de cosecha. CENICAÑA ha encontrado en sus experimentos que el periodo inicial (4 a 7 meses), es crítico desde el punto de vista de disponibilidad de humedad para la caña. Los riegos al inicio del cultivo se reducen a un riego de germinación, al momento de la siembra, y dos riegos adicionales posteriores para el establecimiento del cultivo, con frecuencia de 10 a 15 días.

El drenaje agrícola se define como la evacuación del exceso de agua en el suelo. En el cultivo de caña de azúcar, el drenaje es tan importante como el riego, ya que en forma conjunta mantienen en el suelo un ambiente propicio

¹² Torres Aguas, Jorge. Riegos. Pág.193-210.

para obtener producciones óptimas de caña de azúcar. El exceso de humedad produce una reducción en el contenido de oxígeno en el suelo, que disminuye la tasa de respiración de las raíces de la planta, la mineralización del nitrógeno, la absorción de agua y nutrientes, y propicia la formación de sustancias tóxicas. Si la planta de caña crece en estas condiciones durante un tiempo prolongado, especialmente durante el periodo de rápido crecimiento, se produce un retardo en su desarrollo vegetativo y, por ende, una disminución en la producción. Si la humedad excesiva ocurre durante las épocas de adecuación del terreno, la preparación y la siembra o la cosecha, estas labores sufren retraso, ya que los suelos se compactan y el porcentaje de germinación se reduce, aumentando los costos por concepto de resiembras y, por consiguiente, los costos totales de producción.

El Balance Hídrico balancea las variables precipitación, riego y drenaje, en el suelo de los lotes, comparando las ganancias y las pérdidas de humedad. El suelo aumenta su humedad cuando ocurre una precipitación (P) o cuando se le aplica riego (R). En el campo también ocurren ganancias de humedad por contribución del nivel freático (NF), escorrentía (Es) o por flujo subsuperficial desde áreas cercanas. Las pérdidas de humedad desde el suelo se deben principalmente al agua que transpira la planta (Tr), a las pérdidas por evaporación desde la superficie del suelo (Ev) y por percolación profunda (Pp). El balance entre las ganancias y las pérdidas de humedad determina los cambios en el contenido de ésta en el suelo (CHS) durante un periodo de

tiempo determinado. Este balance se puede expresar como: $CHS = (P+R+NF)-(Ev+Tr+Pp)=P+R+NF-Eta-Pp$

2.1.1.2. La luminosidad

La luz es la fuente principal de energía para la fotosíntesis, y la caña de azúcar es una de las plantas que mejor la aprovecha. La disminución en la intensidad de la luz trae como resultado una disminución en la elaboración y el almacenamiento de azúcares, y una acumulación de almidones en las hojas.

2.1.1.3. La temperatura

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrimentos por la planta, y por tanto, su crecimiento y desarrollo. Las bajas temperaturas en el invierno reducen, casi totalmente, el crecimiento de la caña, debido a que afectan la formación de la clorofila y la absorción de nitrógeno y potasio, aun cuando los niveles de ambos sean los adecuados en el suelo. En condiciones tropicales, la temperatura tiene su mayor efecto sobre la calidad del jugo en los periodos secos, cuando la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima oscila entre 11° C y 12° C, lo cual estimula el almacenamiento de sacarosa. En épocas lluviosas, esta oscilación es menor y los rendimientos decrecen; por tal razón, estos periodos se aprovechan para el mantenimiento de los equipos en los ingenios azucareros. Por otra parte, la temperatura es el factor que más influye en la maduración de la caña de azúcar.

2.1.2 El tipo de suelo

CENICAÑA, en una primera aproximación a la identificación de zonas relativamente homogéneas en relación con la respuesta del cultivo en producción, caracterizadas por factores biofísicos de largo plazo relativamente estables, estableció en 1992, diez grupos de manejo de suelos basado en las unidades de suelo identificadas en el estudio semidetallado publicado por el IGAC en 1980. Los criterios de agrupación se basaron en las características del suelo que pueden llegar a definir un manejo agro económico similar, con la expectativa de obtener resultados comparables en términos de la producción potencial del cultivo.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS Y DISTRIBUCIÓN DEL
 ÁREA EN CAÑA EN LOS GRUPOS DE MANEJO DE SUELOS DEFINIDOS
 POR CENICAÑA. DATOS A FEBRERO 2004.

Grupo de Manejo	Características principales	Área sembrada ha	Caña %
1	Suelos profundos, bien drenados y de alta fertilidad (Mollisols secos)	15,485	7.0
2	Suelos moderadamente profundos, bien drenados y de alta fertilidad. (Mollisols e Inceptisol secos)	45,711	20.8
3	Mollisols secos, superficiales y de mediana a baja fertilidad	6,309	2.9
4	Mollisols secos, arenosos y superficiales	7,200	3.3
5	Mollisols húmedos, profundos pero con horizontes inferiores masivos	24,088	11.0
6	Suelos arcillosos, perfectamente drenados y de alta fertilidad (Vertisols secos)	51,759	23.6
7	Suelos arcillosos, moderadamente profundos y pobremente drenados	7,433	3.4
8	Suelos moderadamente profundos, con grietas, imperfectamente drenados y de fertilidad mediana a alta (Inceptisols secos)	15,593	7.1
9	Suelos superficiales, con grietas, pobremente drenados y de baja fertilidad (Inceptisols y Entisols muy húmedos)	34,015	15.5
10	Suelos superficiales limitados por horizontes compactados superficiales (Alisols)	12,077	5.5

CENICAÑA conformó en una segunda aproximación, en 2000, seis grupos de humedad para identificar la distribución y la magnitud de las áreas afectadas por diferentes grados de humedad en el valle del río Cauca,

mediante la combinación de información sobre la zonificación climática por balance hídrico y la permeabilidad de los suelos. Para tal efecto, los suelos fueron clasificados según tres niveles de permeabilidad (alto, medio, bajo) definidos mediante equivalencias a partir de la caracterización del drenaje natural realizada en los estudios semidetallados de suelo.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS Y DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA EN CAÑA DE LOS GRUPOS DE HUMEDAD DEFINIDOS POR CENICAÑA. DATOS A FEBRERO DE 2004.

Grupo de Humedad	Características principales	ha Área sembrada	% Caña
C0 Déficit de humedad	Áreas con déficit de humedad y suelos de permeabilidad media a alta donde con frecuencia hay presencia de sales	58,561	26.9
C1 Humedad normal	Áreas con exceso de humedad inferior a 200 mm./año y áreas donde a pesar de presentar déficit de humedad, pueden ocurrir encharcamientos debido a la poca pendiente del terreno o a la existencia de suelos de permeabilidad baja	76,667	35.2
C2 Humedad baja	Áreas con exceso de humedad entre 200 mm./año y 400 mm./año y suelos de permeabilidad media a alta; se incluyen también áreas con excesos inferiores a 200 mm./año y suelos de permeabilidad baja.	42,174	19.4
C3 Humedad media	Áreas con exceso de humedad entre 400 mm./año y 600 mm./año y suelos de permeabilidad media a alta; también, áreas con exceso entre 200 mm./año y 400 mm./año y suelos de permeabilidad baja.	26,368	12.1
C4 Humedad alta	Áreas con exceso de humedad superior a 600 mm./año y suelos de permeabilidad alta; se incluyen también áreas con exceso entre 400 mm./año y 600 mm./año donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad baja y relieve plano.	8,438	3.9
C5 Humedad muy alta	Áreas con exceso de humedad superior a 600 mm./año donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad baja a media y el relieve es plano	5,573	2.6

La tercera aproximación de CENICAÑA para establecer una zonificación agro ecológica, en 2001, pretende integrar las variables suelo y clima ¹³.

La zonificación agro ecológica así definida por CENICAÑA es el resultado de unir los Grupos de Manejo de Suelos y los Grupos de Humedad. En ella se utilizaron registros diarios de evaporación y de precipitación atmosférica. La evaporación depende de la interacción de variables climatológicas como la radiación solar, la velocidad del viento y la temperatura del aire, de manera que constituye un buen indicador del clima regional. En esta aproximación se incorporaron 106 consociaciones de suelos clasificadas en los 10 grupos de manejo establecidos.

A través del análisis de productividad en las zonas agro ecológicas, es posible observar diferencias entre variedades en términos de biomasa, contenido de sacarosa y producción de azúcar, estimar el potencial de productividad según niveles de insumos e identificar las prácticas de cultivo que contribuyen a incrementar el rendimiento en cada sitio, entre otros.

2.1.3. La variedad de caña ^{14,15, 16}

Las variedades de caña seleccionadas y producidas por CENICAÑA incorporan características fundamentales como alta sacarosa, alta

¹³ CENICAÑA. Desarrollo de un sistema interactivo de información en Web con el enfoque de agricultura específica por sitio. Pág. 25-36.

¹⁴ CENICAÑA. Política de manejo de las variedades obtenidas por Cenicafña. Pág. 28-31

¹⁵ CENICAÑA. Informe anual 2003. pág.

producción de caña y resistencia a enfermedades, y características deseables como resistencia al volcamiento y buen deshoje natural. La selección de las variedades se realiza para zonas agro ecológicas específicas, con prioridad en variedades de alta sacarosa estable.

El proceso incluye tres estados de selección, pruebas regionales, pruebas de manejo agronómico y seguimiento de las variedades sobresalientes en áreas mayores a las experimentales.

Cada año se inicia un proceso de selección de variedades en sitios representativos de las condiciones semiseca, húmeda y de piedemonte. Las pruebas regionales se establecen mediante convenios entre CENICAÑA y los ingenios azucareros. Las variedades se localizan en zonas agro ecológicas representativas del área sembrada con caña y la evaluación se realiza durante tres cortes (plantilla y dos socas).

Durante las pruebas semicomerciales, en la etapa de evaluación, los ingenios observan la adaptación de las variedades en las zonas agro ecológicas y su productividad con diferentes paquetes de manejo agronómico, edad de corte y número de corte, antes de tomar la decisión de multiplicarla a escala comercial. Una vez concluida la evaluación

¹⁶ Rangel, Hernando y otros. **Nuevas variedades de caña de azúcar: un reto constante.** Pág. 6-22

semicomercial, los ingenios suministran las variedades a los proveedores de caña.

Aunque las variedades CC 8592 y CC 8475 son actualmente las más cultivadas en la industria azucarera colombiana, es importante que los cultivadores conozcan el desempeño de otras variedades nuevas producidas por CENICAÑA, cuyo potencial se observa en la siguiente tabla ¹⁷

¹⁷ Victoria Jorge, Hernando Rangel y Carlos Viveros. **Panorama actual de variedades en la industria azucarera colombiana**. Pág.18-22.

(K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl) y molibdeno (Mo). Las plantas obtienen el C, el H y el O de la atmósfera y del agua. Los trece restantes son minerales y las plantas los toman principalmente de suelo por medio de las raíces. Los elementos esenciales para las plantas han sido clasificados como primarios o mayores (N, P, K), secundarios (Ca, Mg, S) y micro nutrientes o elementos menores (Fe, Mn, B, Cu, Cl, Mo). Por la calificación de esencial que tienen, todos los nutrientes son igualmente importantes; sin embargo, la clasificación de primarios, secundarios o menores guarda relación directa con la cantidad requerida por las plantas para lograr un desarrollo normal.

En las condiciones de suelo y de clima que predominan en la parte plana del Valle del río Cauca la caña de azúcar requiere para su desarrollo mayores cantidades de K que de cualquier otro nutriente. El N es el segundo nutriente en cantidad que necesita la caña de azúcar; no obstante, las mayores respuestas del cultivo se han encontrado con la aplicación de este nutriente debido a que los suelos de la región tienen mayor limitación para suministrar N que K. Los requerimientos de Ca y Mg son muy similares entre sí y superiores a los de P, lo que explica parcialmente la baja respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de este elemento en estos suelos. Los factores que modifican la extracción de nutrientes por la caña son, de acuerdo a experimentos realizados por CENICAÑA:

TABLA 3. VARIETADES SEMICOMERCIALES DE CAÑA DE AZÚCAR Y SU COMPORTAMIENTO EN RELACIÓN CON LA VARIEDAD CC 8592.

INDUSTRIA AZUCARERA COLOMBIANA, NOVIEMBRE 2002.

Variedad	Diferencia en TAH vs. CC8592 (%) a	Área total (ha)	Área semilleros (ha)	Zona agro ecológica de mejor ubicación	Ingenios b	Características sobresalientes
CC87-434	Mayor	3235	40	2C0, 6C0	CA, PR, MN	Alta producción de azúcar y caña, alto volcamiento
CC87-505	Mayor	1100	15	10C1, 3C1	PC, PR, CC, CB, SC, RP	Alta producción de azúcar y caña, alto volcamiento
CC89-2000	Mayor	120	15	2C0, 6C0	MN, CC, MY	Alta producción de azúcar, alto deshoje, erecta
CC91-1999	Igual	70	3	6C1	CC, RP	Alta producción de caña, alto deshoje
CC93-4223	Igual	300	20	5C3	CB	Alta producción de azúcar, alto deshoje
CC93-7513	Mayor	230	10	2C1, 6C1	CC, RP	Alta producción de azúcar y caña, alto deshoje, erecta
CC93-7510	Mayor	150	10	6C1, 7C2	CC, RP	Alta producción de azúcar y caña, alto deshoje, erecta
CC87-251	Igual	100	7	6C0, 6C1	PC	Alta producción de azúcar, buen deshoje
CC92-2198	Igual	160	16	2C0, 3C2, 6C0, 8C5	CB, CC, RP, MY	Alta producción de azúcar y caña, alto deshoje

a. TAH: toneladas de azúcar por hectárea. b. CA=Incauca, PR=Providencia, MN=Manuelita, PC=Pichichí, CC=Central Castilla CB=La Cabaña, SC=Sancarlos, RP=Riopaila, MY=Mayagüez

2.1.4. La nutrición y la fertilización ¹⁸

En la naturaleza existen dieciséis elementos químicos considerados como esenciales para el desarrollo normal de las plantas. Estos elementos son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio

¹⁸ Quintero, Rafael. Extracción de nutrientes por la caña de azúcar. Pág.4-7.

1. El número de corte. Las extracciones reales de N fueron mayores en cultivos de plantilla que en cultivos de primera soca. En general, los resultados de las investigaciones sobre fertilización indican que al aumentar los contenidos de N en las hojas de la caña de azúcar, los contenidos foliares de K tienden a disminuir y viceversa. Los contenidos de elementos menores también variaron con el número de corte.
2. La variedad de caña de azúcar. Las extracciones reales de elementos mayores de tres variedades de caña de azúcar, sembradas simultáneamente en un mismo suelo, muestran variaciones significativas entre ellas.
3. Las condiciones del suelo. Los suelos de los conjuntos Palmira (Mollisols, grupo de manejo No. 1, franco-arcilloso, bien drenado y profundo, con medianos contenidos de materia orgánica que hacen medianamente limitado el suministro de N) y Burrigá (Vertisols, grupo de manejo No.7, arcilloso pobremente drenado, con contenidos medianos de materia orgánica, que hacen muy limitado el suministro de N) se caracterizan por sus condiciones físicas y químicas contrastables. Las diferencias en fertilidad de ambos suelos dieron lugar a amplias variaciones que se detectaron en las extracciones de N, P, K y Ca.

Casi cinco lustros de investigación continua desarrollada por CENICAÑA en colaboración con los ingenios azucareros y cultivadores de caña de azúcar sobre diversos temas relacionados con la nutrición y la fertilización del cultivo permiten establecer las siguientes pautas sobre fertilización de la caña de azúcar ¹⁹, aquí se mencionan solo aquellos de manejo en el ingenio:

1. En las plantas que se desarrollan en condiciones deficitarias de N, las cepas presentan poco vigor, se reduce el número de tallos y además son cortos y delgados; en consecuencia la producción de caña por unidad de superficie disminuye tremendamente. Las condiciones climáticas del Valle del río Cauca impiden la acumulación de materia orgánica en el suelo, por tanto, el aporte natural de N es relativamente restringido. Se sugiere aplicar el N totalmente alrededor de los 45 días de edad del cultivo y hasta 60 días cuando las condiciones de humedad del suelo no permitan hacer las aplicaciones mecánicas a los 45 días.
2. El P es un nutrimento esencial para la síntesis de clorofila y está íntimamente relacionado con la formación de la sacarosa. Las experimentaciones realizadas con las variedades de caña de azúcar más sembradas en la parte plana del Valle del río Cauca han mostrado bajas respuestas a las aplicaciones al suelo de este nutrimento. Esta baja respuesta se explica por el predominio de suelos

¹⁹ Quintero, Rafael. Fertilización de la Caña de Azúcar. Pág.7-20.

con altos contenidos de P disponible y por el requerimiento relativamente bajo de P por parte del cultivo.

3. Dados los efectos del K en la actividad fotosintética, resistencia a las enfermedades y a la sequía, metabolismo de proteínas y activación de varias enzimas que intervienen en el metabolismo de carbohidratos, investigaciones realizadas en suelos de la parte plana del Valle del río Cauca han demostrado que las aplicaciones de K en suelos deficientes incrementan la producción de caña por unidad de superficie y mejoran los contenidos de sacarosa de los tallos molederos.
4. El B es absorbido en la forma de borato por las raíces o por las hojas e interviene en la actividad mitótica y en el transporte de azúcares a través de membranas. Resultados de análisis correspondientes a suelos de las 15 series más importantes del Valle del río Cauca indican que la probabilidad de respuesta por parte de la caña de azúcar es relativamente alta.; se recomienda aplicar entre 1 y 3 Kg. de B/ha para suelos con contenidos de B por debajo de 0,4 ppm; aplicados en plantilla al momento de la siembra junto con el P y el K o en banda incorporado al suelo junto con el N a los 45 días después de la siembra o del corte en socas.
5. El Zn es absorbido por las plantas en forma catiónica o como sales orgánicas. Interviene en el metabolismo de auxinas, utilización del agua, actividad enzimática y crecimiento celular (López, 1992;

Malavolta 1982; Price, Clark y Funkouser, 1972; Kanwar y Youngdahl, 1985). Los experimentos de campo establecidos en cuatro sitios del Valle del río Cauca no mostraron diferencias estadísticas significativas debido a la aplicación de Zn, pero en dos suelos con contenidos entre 1 y 4 ppm de Zn hubo incrementos en la producción de caña y también hubo incrementos en el contenido de sacarosa de los tallos en tres suelos con contenidos entre 1 y 3 ppm. Estos resultados preliminares y las cantidades extraídas por la caña de azúcar en nuestras condiciones han servido como base para recomendar entre 3 y 5 Kg. de Zn para suelos que presenten bajos contenidos de este nutrimento.

2.1.5. La aplicación de madurantes^{20,21}

La aplicación de madurante puede incrementar la producción de azúcar en un 25%, pero para lograrlo es indispensable provocar una disminución en el ritmo de crecimiento de la planta, de tal forma que se almacene una mayor cantidad de sacarosa en el tallo. Desde el momento de aplicación hasta las 6 o 12 semanas, las plantas presentan un crecimiento entre 10 y 25 centímetros menor al que tendrían sin aplicación. Si esto tuviera un efecto directo en la producción de caña, podría esperarse una disminución entre un 3% y un 8% debido a la acción del madurante. Sin embargo,

²⁰ Villegas, Fernando y Jorge Arcila. Maduradores en caña de azúcar. Manual de procedimientos y normas para su aplicación. Pág.2-26, 53-54.

1. Parte del mayor crecimiento de las plantas sin madurante se debe al mayor desarrollo del cogollo, que se deja en el campo al momento de la cosecha. Los cogollos de las plantas aplicadas con madurante son más cortos
2. La acción del madurante incrementa apreciablemente el contenido de sacarosa en el tercio superior del tallo, lo cual justifica hacer el corte más alto al momento de la cosecha. El contenido de sacarosa en el tercio superior del tallo en cultivos sin aplicación de madurante es muy bajo.

Por las razones anteriores, las aplicaciones de madurante no tienen porque afectar la producción de caña si el descogolle se hace en forma adecuada al momento de cosechar. Para mantener niveles satisfactorios de rendimiento se deben tener en cuenta los siguientes factores que afectan la respuesta de la planta al madurante:

1. La variedad de caña. Los efectos de los madurantes son diferentes en las distintas variedades de caña, dependiendo de su capacidad para concentrar azúcares, asociada con factores de edad, clima y suelo.
2. La humedad. La aplicación de madurante ocasiona una condición de estrés en la planta y como consecuencia se disminuye la tasa de

²¹ Villegas, Fernando y Jorge Torres. **El madurante y la producción**. Pág. 1-4.

crecimiento de los tallos. Si lo anterior coincide con un estrés debido a un déficit severo de humedad, entonces la producción de caña puede ser afectada en forma negativa. Se recomienda suprimir los riegos después de los 10 meses de edad para favorecer el agostamiento natural. El aumento de la humedad en el suelo por la precipitación o el riego favorece el crecimiento de los tallos, y en estas condiciones la aplicación de madurantes favorece un mayor incremento de sacarosa, ya que esta no se utilizará en los procesos de desarrollo; esto no indica que el máximo rendimiento posible que se puede obtener con el uso de madurantes se logra en los periodos de lluvias.

3. El suelo. Los cultivos que crecen en suelos de baja fertilidad con limitaciones en sus condiciones físicas o con baja capacidad de retención de humedad deben recibir una dosis menor de madurante.
4. La edad de la planta. La aplicación debe hacerse al final de la etapa de crecimiento, un poco antes del inicio de la maduración fisiológica (Arcila, 1986), sin que la planta haya alcanzado un estado avanzado de maduración fisiológica, entre los 10 y 12 meses de edad para la mayoría de las variedades cultivadas en la zona. Aplicaciones antes de los 10 meses tienen un efecto severo sobre el crecimiento y después de los 12 meses tiene una probabilidad de respuesta menor, debido a que a esta edad el cultivo tiene una mayor madurez obtenida naturalmente.

5. El tiempo entre la aplicación y el corte. Este tiempo es variable entre las diferentes variedades de caña. En el Valle del río Cauca se ha encontrado con la mayoría de las variedades cultivadas, que este rango se encuentra entre 6 y 12 semanas después de la aplicación (Arcila, 1986; Villegas, 1992; Villegas y Buenaventura, 1990). Las mejores respuestas se han obtenido cosechando entre 6 y 10 semanas después de la aplicación. El incremento en el contenido de sacarosa obtenido es de 7% en promedio y en lotes experimentales hasta del 25% (Villegas et al., 2000).

2.1.6. La maduración o edad de la planta al momento de cosecha²²

En la caña de azúcar se pueden considerar los estados de maduración botánica, fisiológica y económica.

1. Desde el punto de vista botánico, se considera madura después de la emisión de flores y la formación de semillas que pueden dar origen a nuevas plantas.
2. La maduración fisiológica se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, o sea el punto de máxima acumulación de azúcar posible. La caña de azúcar alcanza su maduración botánica antes de la fisiológica: esto significa que la

²² Cassalet, C, J Torres e Isaacs C. El cultivo de la caña azucarera de Colombia. Pág.297-331.

acumulación de sacarosa continua, por lo general, por 1 o 2 meses mas, después del inicio de la caída de las semillas.

3. El concepto de maduración económica está sobre la perspectiva de las prácticas agronómicas. En este sentido la caña se considera madura, o en condiciones para el beneficio industrial, a partir del momento en que presenta un contenido mínimo de sacarosa y un pol por encima de 13% con base en el peso de la caña.

Varios investigadores (citados por Humbert, 1970) sostienen que si el agua y el nitrógeno son abundantes, la planta no madura. Estos investigadores encontraron que la fertilización con altas dosis de nitrógeno es la causa principal de las bajas acumulaciones de sacarosa en la caña, aunque este nutrimento puede incrementar la capacidad potencial de almacenamiento de una determinada variedad.

Los principales factores que actúan en forma combinada y determinan el rendimiento de la caña son:

1. La Humedad en el suelo. Es el factor dominante para la síntesis y tras locación de los azúcares. Al momento del corte, es necesario reducir el contenido de humedad para aumentar la calidad del jugo.
2. La Temperatura del aire. Este factor es el que más influye en la maduración de la caña de azúcar. La temperatura afecta la absorción

de agua y nutrimentos por la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo.

3. La Luminosidad. La luz es la fuente principal de energía para la fotosíntesis. La disminución en la intensidad de la luz trae como resultado una reducción en la elaboración y el almacenamiento de azúcares, y una acumulación de almidones en las hojas.
4. Los Nutrimentos. Afectan el crecimiento y desarrollo de la planta y su maduración. El nitrógeno es esencial durante la etapa inicial de desarrollo para obtener altas producciones de caña; sin embargo, cuando se aplica en exceso tiene un efecto negativo en la calidad del jugo. El fósforo es clave para la buena calidad de los jugos, es esencial para el desarrollo de la planta. Los compuestos fosfatados intervienen en el proceso de respiración y en la utilización del nitrógeno; por lo tanto, tienen especial importancia en el proceso de maduración. El potasio y su relación con el contenido de nitrógeno afectan el desarrollo del cultivo y su rendimiento. Cuando el contenido de nitrógeno de los tejidos es alto y el de potasio es crítico, la humedad y los azúcares reductores en la planta son altos, la sacarosa y la pureza son bajas, y el rendimiento, por lo tanto, es menor. A medida que disminuye el contenido de nitrógeno y aumenta el de potasio, la humedad y los azúcares reductores bajan y se incrementan la sacarosa y la pureza, mejorando la calidad de los jugos.

5. La Floración. Cuando ocurre la floración, la planta suspende la formación de nuevos entrenudos y promueve la formación de yemas laterales; se inicia, entonces, la formación de una medula corchosa en la parte superior del tallo que se extiende hacia abajo. En condiciones de sequía, esta medula ocupa gran parte del tallo y contiene poco jugo; en consecuencia, cuando los tallos se procesan hay una mayor producción de fibra y bajo rendimiento de azúcar. El periodo de tiempo entre la floración y la cosecha debe ser corto para evitar la formación de la medula corchosa y la inversión de la sacarosa.

2.2. EL ANALISIS DE VARIANZAS O PRUEBA DE ANOVA²³.

Con el fin de comparar de manera simultánea varias medias poblacionales se puede utilizar un análisis de la varianza, o modelo ANOVA. Al utilizar el modelo ANOVA para comparar varias medias muestrales para determinar si provienen de una sola población o de poblaciones con diferentes medias, se supone que:

1. Las poblaciones siguen la distribución normal.
2. Las poblaciones tienen desviaciones estándar iguales.
3. Las muestras se seleccionan de modo independiente.

²³ Lind , Douglas A, William G Marchal y Samuel A Wathen. **Estadística Aplicada a los Negocios y a la Economía** Pág. 359-407.

Cuando se cumplen estas condiciones se puede utilizar la F como la distribución del estadístico de la prueba.

Como lo que se desea determinar es si las diferentes medias de las muestras provienen de una sola población o de poblaciones con diferentes medias, el modelo ANOVA compara estas medias a través de sus varianzas. El requerimiento de ANOVA, acerca de que las desviaciones estándar de las diferentes poblaciones normales deben ser las mismas, se utiliza en la prueba; la estrategia subyacente es calcular la varianza de la población a través de dos formas y luego encontrar la razón de ambos cálculos. Si esta razón es aproximadamente 1, llegamos a la conclusión de que las medias de la población no son iguales. La distribución F sirve de árbitro al indicar en que momento la razón de las varianzas de las muestras es mucho mayor a 1 y, por tanto, no se haya presentado por casualidad.

La prueba ANOVA utilizada en este trabajo implica los siguientes pasos:

1. Cálculo de la MEDIA TOTAL O GENERAL, X_g , que corresponde a la razón entre la suma de las observaciones de la muestra y el número de ellas.
2. Cálculo de la VARIACION TOTAL, SS. Corresponde a la suma de las diferencias elevadas al cuadrado, entre cada observación y la media total de las observaciones.

3. Clasificación de la variación total en dos componentes: los que se deben a los tratamientos (combinaciones de fertilizaciones aplicadas) y los que son aleatorios (casualidad).

La VARIACIÓN DE TRATAMIENTO, SST, corresponde a la suma de las diferencias elevadas al cuadrado, entre la media de cada tratamiento y la media total.

La VARIACIÓN ALEATORIA, SSE, corresponde a la suma de las diferencias elevadas al cuadrado, entre las observaciones y sus medias de tratamiento.

Normalmente la variación debida al tratamiento, SST, se calcula como la diferencia entre la diferencia Total, SS, y la variación aleatoria, SSE.

4. Cálculo de la ESTADÍSTICA DE PRUEBA, F, que corresponde a la razón de los dos cálculos de la varianza de la población:

$$F \equiv \frac{\text{(Cálculo de la varianza de la población basado en las diferencias entre las medias de las muestras)}}{\text{(Cálculo de la varianza de la población basado en la variación dentro de las muestras)}}$$

5. Si la razón F es muy diferente a 1, se puede concluir que las medias de tratamiento no son las mismas, es decir, existe diferencia entre las medias de las muestras y provienen de poblaciones diferentes.

TABLA 4. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE UNA PRUEBA
ANOVA

Tabla ANOVA				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	SST	k-1	SST/(k-1)	MST/MSE
Error	SSE	n-k	MSE/(n-k)	-
Total	SS	n-1	-	-

Para determinar cuales son las medias de tratamiento que difieren, se emplearán pruebas t de diferencias de medias. Como una de las suposiciones del modelo de ANOVA es que las varianzas de la población son las mismas para todos los tratamientos, este valor común de la población es el error cuadrado de la media, MSE, que se determina a través de $SSE/(n - k)$. Un intervalo de confianza para la diferencia que existe entre dos poblaciones se obtiene a través de la expresión:

$$(X_1 - X_2) \pm t \sqrt{MSE \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

Donde X_1 es la media de la primera muestra, X_2 es la media de la segunda muestra, t se obtiene de la distribución t de Student con n-k grados de libertad, MSE es el error cuadrado de la muestra que se obtiene de la tabla ANOVA, y n_1 y n_2 corresponden a el número de observaciones de la primera y segunda muestra respectivamente. Ahora bien, si el intervalo de confianza calculado incluye el cero, no existe ninguna diferencia entre las medias de tratamiento.

En el análisis en una dirección (modelo de ANOVA de una sola vía), la variación total se clasifica en dos categorías: la variación entre los tratamientos y la variación dentro de los tratamientos. A la variación dentro de los tratamientos se la denomina error o variación aleatoria. Es posible considerar otros factores para reducir la variación del error, es decir, para explicar mayor parte del error y así reducirlo, a este análisis se le conoce como ANOVA en dos direcciones.

En el caso del experimento a evaluar, dentro de una muestra de cortes de lotes, un tratamiento corresponde a una combinación de fertilizaciones efectuadas sobre cada individuo de la muestra; así por ejemplo al tratamiento NN pertenece el grupo de individuos de la muestra a los que no se aplicó fertilización de suelo y tampoco fertilización foliar, al tratamiento NC pertenece el grupo de individuos a los que no se aplicó fertilización de suelo pero sí fertilización foliar tipo C, y al tratamiento SB pertenece el grupo de individuos a los que se aplicó fertilización de suelo y fertilización foliar tipo B.

2.3. MODELOS DE REGRESION MULTIPLE ^{24, 25}

Este tipo de modelo se basa en el concepto de regresión y correlación múltiple. En la regresión se expresa la relación entre variables que describe

²⁴ **Ibid.** pág.429-501.

²⁵ Pindyck, Robert y Daniel Rubinfeld. **Econometría: Modelos y Pronósticos**. Pág.59-149.

el patrón general de una variable dependiente para una variable independiente o de explicación.

En general el modelo de regresión lineal múltiple implica la siguiente relación:

$$Y_i \equiv \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

Donde, para la observación i , Y es la variable dependiente, las x 's son las variables independientes, ε es el término de error aleatorio cuyo valor se basa en una distribución de probabilidad subyacente, α es la intersección con el eje Y , y es el valor de Y cuando todas las x son cero, β es la cantidad en la que cambia Y cuando la variable explicativa X_i se incrementa en una unidad manteniendo lo demás constante.

El modelo de relación múltiple contiene supuestos que de no cumplirse por completo conllevan a resultados parcialmente no válidos desde el punto de vista estadístico. Estos supuestos son:

1. Las variables independientes y la variable dependiente tienen una relación lineal
2. La variable dependiente es continua o por lo menos está definida en escala de intervalo
3. La variación en la diferencia entre los valores reales y los proyectados es la misma para todos los valores calculados de Y . Es decir, $(Y - Y')$

debe ser casi igual para todos los valores de Y' . Cuando este es el caso, las diferencias presentan homocedasticidad.

4. Todas las varianzas residuales, calculadas a través de $Y - Y'$, tienen una distribución normal con una media de cero.
5. Las observaciones sucesivas de la variable dependiente no están correlacionadas. La violación de esta suposición se denomina auto correlación, o multicolinealidad, y, por lo general se presenta cuando la información se reúne sucesivamente durante varios periodos

En nuestro caso, se definirá la variable de estudio Y , como las toneladas de sacarosa obtenidas, X_1 a X_{15} indican si el cultivo se ubica o no en cada una de quince fincas, X_{16} define la ubicación respecto al ingenio (0-Cerca/1-Lejos), X_{17} a X_{20} indican si se hicieron o no aplicaciones de elementos mayores (N, P, K, S) respectivamente, X_{21} a X_{28} indican si el cultivo se ubicó o no en cada una de ocho Zonas agro ecológicas, X_{29} a X_{35} indican si el cultivo se sembró o no con cada una de siete Variedades de Caña, X_{36} define la edad de Cosecha en meses, X_{37} especifica el área liquidada del lote cosechado, en hectáreas, X_{38} indica el pol % de la caña cosechada, X_{39} indica si se aplicó o no Madurante al cultivo, X_{40} especifica el número de corte del lote, X_{41} referencia la temperatura media del cultivo, en °C, X_{42} la oscilación de temperatura, en °C, X_{43} la humedad relativa (%), X_{44} la radiación (cal/cm² x día), X_{45} la precipitación (Mm.), X_{46} el número de riegos

aplicados al cultivo, X_{47} a X_{55} indica si se realizaron o no cada una de diecinueve labores culturales al corte del lote.



3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología

En el desarrollo del proyecto de investigación se utilizaron las siguientes herramientas como apoyo metodológico:

1. Estudio documental de los conceptos teóricos desarrollados por diferentes autores e investigadores sobre la producción de sacarosa en la caña de azúcar y las variables asociadas al proceso.
2. Pruebas de hipótesis para muestras de poblaciones independientes, análisis de la varianza y prueba ANOVA, y estudio de regresión lineal múltiple y análisis de correlación lineal múltiple, para desarrollar modelos de relación.
3. Obtención y análisis de información general del sector y del ingenio en particular, directamente de la gerencia y del personal de la empresa y de los gremios del sector, investigación a través de Internet, bases de datos internas y externas al ingenio, y archivos públicos, entre otros.
4. Desarrollo de entrevistas con ejecutivos del ingenio, personal investigativo de los gremios del sector, con el objetivo de obtener y validar información.

5. Obtención de información estratégica seleccionada mediante el acceso a registros confidenciales y a través de entrevistas con ejecutivos de la Organización.
6. Diseño y desarrollo de programas de computador para extraer la información desde las bases de datos del ingenio, validarla, depurarla y procesarla.
7. Estudio y utilización de programas de computador desarrollados para análisis estadístico de datos y desarrollo de modelos matemáticos estadísticos.

3.2. Áreas administrativas del proyecto

El proyecto de investigación toca básicamente las áreas administrativas de: Estrategia de negocios, Planeación, Producción y Estadística Industrial, unas en forma más directa que otras.

3.3. Proceso de Análisis

En el proceso de análisis se aplican las siguientes herramientas:

1. El modelo ANOVA de una y dos direcciones, para evaluar si muestras sin tratamiento alguno y muestras afectadas por un tratamiento, provienen de la misma población, es decir, si el tratamiento no surte ningún efecto estadísticamente representativo sobre el contenido total de sacarosa obtenido y por lo tanto, la variable asociada no explica la variación total de esta variable independiente.

2. El coeficiente de correlación, para establecer la porción de la variación total de la variable independiente contenido total de sacarosa obtenido, que es explicada por una variable dependiente o tratamiento.
3. El modelo de regresión lineal múltiple para definir el tipo de relación que describe el patrón general de la variable contenido total de sacarosa obtenido, en términos de variables explicativas independientes como: zona agro ecológica, variedad de caña, fertilización foliar y de suelos, ubicación del lote con respecto al ingenio, edad al corte, aplicación de madurante, precipitación y prácticas culturales.
4. Tablas y diagramas elaborados periódicamente por CENICAÑA para evaluar los resultados del sector, que se comparan con los resultados obtenidos por la gestión del ingenio en el campo.
5. Conceptos, teoremas y métodos estadísticos desarrollados para validar los supuestos del modelo.

3.4. Apoyo de conocimiento teórico

La presente investigación está enmarcada en una serie de técnicas y procedimientos estadísticos, de planeación y programación de producción y de estrategia de negocios que integrados permiten organizar y formular una estrategia del área de campo, buscando la maximización de la sacarosa obtenida en las plantas de caña cultivadas. De acuerdo con los datos que se

recopilen, validen y depuren, sobre cultivos sembrados durante los años 1999 y 2005, se hará un análisis del efecto real de cada una de las variables que intervienen en el proceso de la obtención de sacarosa en las plantas, a través del modelo estadístico ANOVA y la determinación del grado en que las variables independientes explican la variación de la sacarosa total, a través del coeficiente de correlación. Posteriormente, se utilizarán los conceptos de regresión y correlación lineal múltiple para desarrollar el modelo de relación deseado. Paralelamente, se utilizarán la matriz de correlación, pruebas de multicolinealidad, coeficiente de determinación múltiple ajustado, error estándar de estimación múltiple y valores t heterocedásticamente consistentes, para ajustar el modelo y la prueba global de validación del modelo, la evaluación de los coeficientes de regresión individuales y el análisis de varianzas residuales, para validarlo. Para comparar el efecto relativo de las variables del modelo de relación, sobre la sacarosa total obtenida y la sensibilidad de ésta a las variables independientes, se utilizarán los conceptos de coeficientes de regresión estandarizados y de elasticidad, respectivamente. Finalmente se utilizarán los estudios periódicos elaborados por CENICAÑA para el sector, para comparar la gestión del ingenio en cada componente del modelo, frente al sector, producir una especie de matriz DOFA y convertir cada recomendación en una oportunidad del área a incorporar como una táctica dentro del plan estratégico del área, alineado con la estrategia general del negocio.

3.5. Productos esperados

Como resultado principal de este trabajo de investigación, se obtuvieron los siguientes productos:

Un documento que contiene un modelo que permite incrementar la productividad del área de campo del ingenio, en lo concerniente a la administración eficiente de las variables que intervienen en el proceso de producción de sacarosa en las plantas de caña, orientada a obtener una mayor cantidad de azúcar extraíble, en términos de los índices de productividad y políticas culturales y agronómicas definidas por el ingenio.

Un documento que sirva como base metodológica de análisis estadístico de información, construcción de modelos de relación, análisis de gestión y generación de estrategias que permitan alinear el área a las estrategias del negocio.

3.6. Recursos requeridos

3.6.1. Económicos

Insumos, toma de muestras y análisis de laboratorio, papelería, programas de computador y equipos requeridos para captura y procesamiento de los datos, otros varios, provistos por el ingenio.

El tiempo asociado con la disponibilidad del personal involucrado en el proyecto por parte del ingenio, de la universidad ICESI y de las entidades gremiales del sector.

3.6.2. Humano

Por parte del ingenio: Gerente, Gerente de Producción, Superintendente de Campo, quien ejerció la tutoría del proyecto desde el punto de vista agronómico, Superintendente de equipo móvil, Jefe de Laboratorio, el autor.

Por parte de la Universidad Icesi: Julio César Alonso, Tutor del proyecto en las áreas matemática y estadística

Por parte de CENICAÑA: Rafael Quintero Durán, edafólogo, especialista en suelos y fertilidad, M.Sc., Javier Carbonell González, Jefe del Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología.

3.6.3. Bibliográfico

Documentación y Publicaciones; Sistemas interactivos de información en Web y Bases de Datos con información científica, técnica y económica de las entidades del Sector y del mismo ingenio y de los ingenios La Cabaña y Providencia: ASOCAÑA, Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia, CENICAÑA, Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia, TECNICAÑA, Asociación de técnicos de la caña de azúcar.

4. CONSTRUCCIÓN DEL ESTUDIO

4.1. SELECCIÓN PRELIMINAR DE VARIABLES A INCLUIR EN EL MODELO.

4.1.1. Asociadas a los factores Clima y Suelo

Los factores de clima y suelo se integrarán mediante la variable zona agro ecológica por las siguientes razones:

1. Las zonas agro ecológicas para el cultivo de caña en el Valle del río Cauca han sido conformadas de acuerdo a los siguiente aspectos: (1) El balance hídrico, en el cual están involucrados la precipitación y la evo transpiración (2) el estudio semidetallado de los suelos del valle del río Cauca (3) los grupos de manejo de suelos, conformados con base en la clasificación taxonómica del suelo, su posición geomorfológico, el régimen de humedad, la familia textural y el drenaje y (4) los grupos de humedad, conformados con base en el balance hídrico y el drenaje natural, para lo cual se han tenido en cuenta la permeabilidad del suelo y el rango de humedad ²⁶

²⁶ Rangel, Hernando, Carlos Viveros y otros. Evaluación regional de variedades: Análisis de los resultados de dos cortes. Pág.17.

2. En la tercera aproximación de la zonificación agro ecológica se utilizaron registros diarios de evaporación y de precipitación atmosférica. La evaporación depende de la interacción de variables climatológicas como la radiación solar, la velocidad del viento y la temperatura del aire, de manera que constituye un buen indicador del clima regional²⁷.
3. Las zonas agro ecológicas integran elementos de suelo y clima y caracterizan condiciones relativamente homogéneas que inciden en el manejo agronómico del cultivo y en la producción²⁸.
4. En el valle geográfico del río Cauca, las fluctuaciones mensuales de temperatura, brillo solar y evaporación son pequeñas²⁹
5. El programa de balance hídrico permite conocer en forma aproximada el agua aprovechable en el suelo para cada uno de los lotes sembrados con caña, establecer prioridades de riego por tipo de cultivo según su edad y la clase de suelo, y programar los riegos con una semana de anticipación³⁰. Esto garantiza, en consecuencia, respetar, de manera uniforme para todos los lotes del ingenio, la condición asociada a los requerimientos de riego cuidadoso durante el periodo crítico de rápido crecimiento de la caña, entre los 4 y 7 meses.

²⁷ Cenicaña, Op. Cit. Pág. 27.

²⁸ Torres, Jorge, Ricardo Cruz y Fernando Villegas. Op. Cit. Pág. 44.

²⁹ Cassalet, C, J Torres e Isaacs C. Op. Cit. Pág.

³⁰ Cassalet, C, J Torres e Isaacs C. Op. Cit. Pág.205.

La variable zona agro ecológica está pues asociada a tonelaje de caña producido y a contenido de sacarosa en la planta, por la naturaleza misma de los componentes que la definen: precipitación y riego (que afectan tonelaje y rendimiento), luminosidad y diferencia de temperaturas máxima y mínima (que afectan rendimiento) y grupo de manejo de suelos (que afecta tonelaje y rendimiento).

4.1.2. Variedad de caña sembrada

Esta variable está asociada a tonelaje de caña y a rendimiento puesto que las variedades sembradas por el ingenio corresponden a aquellas seleccionadas y producidas por CENICAÑA para incorporar entre otras características alta sacarosa y alta producción. La política seguida por el ingenio al respecto consiste en sembrar aquellas variedades producidas por CENICAÑA en aquellas zonas agro ecológicas que la entidad ha determinado mediante pruebas regionales, agronómicas, semicomerciales y comerciales, que alcanzan su mejor productividad en términos de producción y rendimiento, entre otras variables.

4.1.3. Asociadas a los factores Nutrición y Fertilización

La política del ingenio con respecto a fertilización de suelos con elementos mayores consiste en la aplicación de N, P y K, de acuerdo a mapas de fertilidad de cada lote, en los cuales mediante convenciones específicas se indican los contenidos de estos elementos en esas áreas. Con respecto a la

fertilización del suelo con elementos menores, en el ingenio se adicionaron boro (B, 20 Kg./Ha) y zinc (Zn, 25 Kg./Ha), de acuerdo al experimento planteado. Con respecto a fertilización foliar, el ingenio aplicó AGROCAB AG3 (10 lts/Ha en una primera aplicación y 10 lts/Ha en una segunda), de acuerdo al experimento planteado.

Por lo tanto, para efecto de establecer el modelo, se incluyen como variables de fertilización la aplicación o no al suelo de elementos Mayores (N, P, K), de elementos Menores (B y Zn) y la aplicación foliar de AGROCAB AG3 en dos dosis. No se incluyen las dosis de fertilizantes como variables del modelo por ser siempre las mismas, por hectárea, independientes de tipo de suelo, variedad o número de corte.

La variable fertilización así definida está directamente asociada a producción y rendimiento, pues los elementos mayores están relacionados con tonelaje (N, K) y contenido de sacarosa (P, K); los elementos menores están asociados a tonelaje (Zn) y rendimiento (B, Zn); y el agrocab AG3 por estar compuesto de N, P, K, Zn, y ácido giberélico, está asociado básicamente con tonelaje y sacarosa.

4.1.4. Asociadas al factor Maduración

La variable a considerar es la edad de cosecha de la caña, que por política del ingenio se determina mediante el índice de madurez con base en el brix refractométrico de los tercios superior e inferior de la planta.

Esta variable está directamente asociada a contenido de sacarosa; existen curvas de maduración para cada variedad de caña según las cuales aumenta el contenido de sacarosa en la planta a medida que la edad de cosecha aumenta, a partir de cierta edad se estabiliza y es ahí donde se debe cosechar. Si se cosecha a temprana edad se pierde sacarosa y si se cosecha tarde se pierde la oportunidad de haberla procesado y se incrementan los gastos en su cultivo.

4.1.5. Asociadas al factor Reguladores de Crecimiento

La variable a considerar es la aplicación o no de madurante al cultivo. La política del ingenio con respecto a la aplicación de madurantes consiste en la aplicación de glifosato (8) semanas antes de cosechar el cultivo, considerando que, si la variedad aplicada es Puerto Rico 61632, la dosis es de 1.5 lts/Ha de glifosato con 0.75 lts/Ha de carrier y para el resto de variedades la dosis es de 1.25 lts/Ha de glifosato con 0.62 lts/Ha de carrier. No se aplica madurante en aquellos cultivos ubicados en lotes con restricción establecida en los convenios con CVC, tales como cercanía a fuentes de

agua, viviendas, otros cultivos distintos a caña, a vías, en cumplimiento de todas aquellas normas y restricciones estipuladas en ³¹.

Como las políticas del ingenio estipulan el mismo producto madurador, un rango muy pequeño en la diferencia entre las dosis de aplicación y una edad estipulada para la planta al aplicar, no vamos a considerar en el modelo ni tipo de madurante utilizado, ni dosis, ni edad al aplicar, ni tiempo entre la aplicación y el corte.

Esta variable en teoría está directamente asociada a contenido de sacarosa o rendimiento, pues aplicada a la edad correcta inhibe el crecimiento sin afectar el tonelaje pero incrementando la producción de sacarosa hasta en un 25%.

4.1.6. Otras Asociadas al Cultivo

Otra variable a considerar es el número de corte. Cuando se siembra por primera vez un lote o se renueva la cepa de caña que existe en el suelo se habla de primer corte o plantilla; de ahí en adelante cada que se cosecha y se inicia un nuevo cultivo con la cepa existente, se habla de cortes 2, 3, 4.. o socas. Tal como apunta CENICAÑA en sus estudios realizados³², las recomendaciones de nutrimentos no dependen solamente de las

³¹ Villegas, Fernando y Jorge Arcila. OP. Cit. pág.36.

características del suelo sino también de la variedad de la caña de azúcar y del número de corte; esto estaría relacionado con los fertilizantes aplicados durante el experimento, pues las extracciones reales de nutrimentos son mayores en cultivos de plantilla que en cultivos de soca, tanto para elementos mayores como menores.

Existe en el ingenio un análisis de productividad que indica si el lote después de cosechado debe renovarse (si se paga el cambio de cepa con base en el potencial productivo del lote), es decir, si pasa de soca a plantilla.

La variable número de corte está pues asociada a tonelaje y a contenido de sacarosa, tanto por su relación con la extracción de nutrimentos, como con la productividad de una variedad y la dosis aplicada de madurante al cultivo.

4.2. VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE EL CONTENIDO TOTAL DE SACAROSA OBTENIDO

4.2.1. Variable Fertilización de los Cultivos

4.2.1.1. Diseño del Experimento de Fertilización Realizado

4.2.1.1.1. Condiciones para la fertilización

³² Quintero R y Luz A Jaramillo. Pruebas de manejo del nitrógeno en caña de azúcar. pág.3.

Semanalmente se evalúan las edades de los cultivos de caña en lotes propios del ingenio con el fin de establecer un programa de aplicación de fertilizantes foliares y de suelo para la semana siguiente. Las condiciones establecidas para la aplicación de fertilizantes fueron las siguientes:

4.2.1.1.1 Aplicaciones de Suelos, (20) kg. de Boro y (25) Kg. de Zinc, por Hectárea.

- Si la edad del cultivo al momento de programar la aplicación es mayor a (18) semanas, no se aplica fertilizante porque el nitrógeno contenido en el fertilizante puede afectar negativamente el rendimiento de la caña.
- Si la edad del cultivo al momento de programar es menor de (6) semanas se programa para aplicar al cumplir las (6) semanas, de lo contrario se programa para aplicación inmediata

4.2.1.1.2 Aplicaciones Foliares

- Si la edad del cultivo al momento de programar la aplicación es mayor a (27) semanas, o tiene restricciones de vuelo que impidan la aplicación aérea o el área básica es inferior a 1.5 hectáreas, no se aplica.
- Si la edad al momento de programar es menor o igual a (15) semanas: Si ya se le aplicó la primera dosis de fertilizante y la edad es menor a

(13) semanas se programa para aplicar cuando cumpla las (13) semanas, si es mayor se programa para aplicación inmediata. La segunda dosis se programa para cuando la edad sea (25) semanas.

- Si la edad al momento de programar está entre (15) y (25) semanas, incluida la (25):
 1. Si no se le ha aplicado primera dosis de fertilizante se programa una aplicación inmediata única tipo B.
 2. Si la edad es menor a (25) semanas se programa para aplicar segunda dosis cuando cumpla (25) semanas sino se programa para aplicación inmediata de la segunda dosis
- Si la edad al momento de programar está entre (25) y (27) semanas, incluida la (27): Si no se le ha aplicado primera dosis de fertilizante se programa una aplicación inmediata única tipo C, sino se programa para aplicación inmediata de la segunda dosis.

Las dosis programadas de fertilizante, por hectárea del lote, orientadas a obtener el mayor rendimiento de la planta de acuerdo a la edad de aplicación, corresponden a:

1. Aplicación tipo A: (10) litros de Agrocab para la primera dosis y (10) litros para la segunda.
2. Aplicación única tipo B: (15) litros de Agrocab más (17) centímetros cúbicos de ácido giberélico

3. Aplicación única tipo C: (13) litros de Agrocab más (24) centímetros cúbicos de ácido giberélico

4.2.1.1.2. La selección de lotes testigo

Los lotes que se utilizarán para comparar el rendimiento de una planta aplicada con fertilizante contra una no aplicada se seleccionaron de la siguiente manera:

Se excluyen del proceso de selección aquellos lotes que no se encuentran en crecimiento, es decir, se están renovando y por lo tanto no se les ha sembrado aún. Tampoco se incluyen aquellos con cultivos de edades superiores a 18 Semanas para fertilización de suelos y 27 para foliar.

En primera instancia se trata de ubicar un lote con edad similar a la del lote fertilizado, dentro de un margen de más o menos 2-4 Semanas, que pertenezca a la misma zona agro ecológica, que esté cultivando la misma variedad de caña del lote fertilizado, que no pertenezca al ingenio, o tenga limitaciones de vuelo o un área básica menor a 2 hectáreas.

Si no se encuentra un lote testigo que reúna todas esas características, se trata de ubicar alguno, así pertenezca al ingenio, con la menor área básica, edad similar a la del lote fertilizado, perteneciente a la misma zona agro ecológica, y que esté cultivando la misma variedad de caña.

4.2.1.2. Diseño de la Prueba Estadística

Los datos corresponden a cosechas de lotes sembrados entre el último trimestre de 1999 y primer trimestre de 2005. El experimento de fertilización inició en el segundo semestre de 2002.

4.2.1.2.1. Variables y Prueba

Como la sacarosa total obtenida en el campo depende del área sembrada del lote y de la edad de cosecha de las plantas, para realizar el análisis estadístico es necesario independizar la cantidad de sacarosa obtenida de ambas variables, para lo cual se define la variable de estudio Y , como las toneladas de sacarosa por hectárea-mes (TSac/HM).

La variable Y se calcula para cada corte de lote mediante el análisis de pol % realizado en el laboratorio a tres muestras de caña proveniente del lote, las toneladas de caña cosechadas del mismo, la edad en meses de esta caña y el área sembrada que se cosechó en hectáreas, de acuerdo a la expresión:

$$Y \equiv (\text{pol}\% \times \text{toneladas caña}) / (\text{Edad cosecha} \times \text{Area cosechada} \times 100)$$

Dentro de la muestra de cortes de lotes obtenida existen las siguientes combinaciones de fertilizantes aplicados, que en adelante se denominan tratamientos:

NN: Sin fertilización de suelo, Sin fertilización foliar.

NA: Sin fertilización de suelo, Con fertilización foliar tipo A.

NB: Sin fertilización de suelo, Con fertilización foliar tipo B.

NC: Sin fertilización de suelo, Con fertilización foliar tipo C.

SN: Con fertilización de suelo, Sin fertilización foliar.

SA: Con fertilización de suelo, Con fertilización foliar tipo A.

SB: Con fertilización de suelo, Con fertilización foliar tipo B.

La prueba se centra en la comparación simultánea de las medias de las muestras obtenidas para la variable Y, tanto para lotes sin aplicación de fertilizante como para lotes aplicados con alguna de las combinaciones de fertilizantes mencionadas. Esta comparación se realiza mediante el análisis de la varianza, ANOVA.

Los cálculos del estadístico F se resumen en una tabla ANOVA que se construye siguiendo los pasos descritos en el capítulo 2. Este estadístico F se compara con un valor crítico del mismo, que se obtiene de la Tabla de Valores Críticos de la Distribución F, para un nivel de significancia específico, los grados de libertad en el numerador (que corresponden al número de tratamientos, k , menos 1) y el número de grados de libertad en el denominador (que corresponden al número total de observaciones, n , menos el número de tratamientos, k).

Si el estadístico F calculado es mayor que el valor crítico se rechaza la hipótesis nula acerca de que las medias de las muestras son iguales y se concluye que las medias de Y para cada tratamiento provienen de poblaciones diferentes, es decir, difieren estadísticamente.

4.2.1.2.2. Tipos de Análisis y Selección de Muestras

Para realizar el análisis estadístico es posible tomar la totalidad de la muestra clasificada por tratamiento, incluyendo no fertilización como uno de estos, lo que se denomina primer análisis. Pero también es posible trabajar con el concepto de lote testigo asociado a un lote aplicado con un tratamiento, de tal manera que existen una sacarosa por hectárea-mes obtenida para un corte de lote fertilizado y una sacarosa por hectárea-mes obtenida para su respectivo testigo, no fertilizado.

Existen dos maneras de realizar la prueba para determinar si hubo un incremento estadísticamente relevante debido a la aplicación del tratamiento:

1. Calculando la diferencia entre la sacarosa obtenida en el lote con tratamiento y la sacarosa obtenida en su lote testigo asociado. La prueba trata de establecer si las diferencias en sacarosa (incrementos o decrementos) son las mismas para cada tratamiento.
2. Realizando la prueba sobre los datos de sacarosa obtenida para lotes aplicados y lotes testigos, es decir, en este caso se forman grupos de resultados de sacarosa por cada tratamiento y un grupo adicional con

resultados de sacarosa obtenida en los lotes testigos. La prueba trata de establecer si las sacarosas medias obtenidas para cada tratamiento son las mismas, incluyendo lotes testigo como un tratamiento.

La diferencia entre los dos métodos estriba en que en el primer caso, el dato analizado corresponde exactamente a una pareja de lote aplicado-lote testigo, dato que corresponde a un valor pequeño (por ser una diferencia de sacarosas que están oscilando entre 0.6 y 2.6 toneladas por hectárea-mes), lo que puede hacer difícil la detección de diferencias entre esas diferencias. En el segundo caso, se conforman grupos de manejo (tratamientos y testigos), sin establecer una relación directa de un dato con su correspondiente, sino de cada grupo fertilizado contra un grupo de testigos que funciona como un tratamiento adicional.

El segundo análisis realizado se refiere a la primera manera arriba mencionada y el tercer análisis a la segunda.

4.2.2. Otras Variables de Proceso.

Se realizaron pruebas ANOVA similares sobre la totalidad de la muestra para las variables: zona agro ecológica, variedad de caña, edad de cosecha, número de corte, tiempo de transporte, contenido aparente de sacarosa en caña y año de siembra del cultivo, que se incluyen en los Anexos 4 a 10 respectivamente.

5. RESULTADOS

5.1. ACERCA DEL EXPERIMENTO DE FERTILIZACIÓN

5.1.1. Fertilización de suelo y foliar

Primer análisis:

En este caso los 1,934 datos totales se separan en muestras para: cortes de lotes sin tratamiento (NN), cortes de lotes con tratamiento NA, y así sucesivamente. La formulación de hipótesis y los resultados de la prueba se presentan en el Anexo 1; de acuerdo al criterio establecido, para niveles de confianza del 95% y 99%, la prueba rechaza la hipótesis nula, es decir, existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para algunos tratamientos.

Podría pensarse que la alta participación de los 1,276 datos de lotes sin tratamiento en la muestra total (66%), puede afectar los resultados obtenidos, sesgando de alguna manera el resultado; que unas producciones de sacarosa en el campo, mas bajas o más altas durante 1999-2001, que las del periodo en cuestión, afectaran la evaluación contra 658 observaciones de lotes aplicados del experimento. Para descartar este juicio se eliminan de la

muestra las observaciones correspondientes a cosechas de lotes sembrados entre esos años, obteniéndose una nueva muestra de 1,017 observaciones.

La formulación de hipótesis y los resultados de la prueba sobre la nueva muestra, en una dirección, se presentan en el Anexo 1 e indican que para niveles de confianza del 99% y del 95%, existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para algunos tratamientos. Es, por lo tanto válida la conclusión obtenida a partir de la muestra inicial, con la que se continuará durante todo el trabajo de validación estadística.

Para determinar las medias de tratamiento que difieren se realiza la prueba con base en la distribución t, con 1,927 grados de libertad, cuyos resultados se observan en el anexo 2; de estos se puede concluir que, con una confianza del 95% difieren en gran medida las medias de tratamiento para:

$\mu_{NN} > \mu_{SN}$; $\mu_{NA} > \mu_{SN}$; $\mu_{NC} > \mu_{SN}$, μ_{SB} ., $\mu_{SA} > \mu_{SN}$: ; es decir:

1. Fue mayor la sacarosa obtenida sin fertilizar (1.547), que la de lotes con fertilización de suelos (1.4528). Este resultado confirma estadísticamente la nula efectividad de la fertilización al suelo solamente.
2. Es mayor la sacarosa obtenida al realizar solo fertilización foliar tipo A (1.5659), que al fertilizar solo suelo

3. Es mayor la sacarosa obtenida al realizar solo fertilización foliar tipo C (1.7411), que al fertilizar solo suelo (1.4528).

Estos dos últimos resultados confirman la nula efectividad de la fertilización solo al suelo con respecto a solo a foliares tipo A y C.

4. Es mayor la sacarosa obtenida al realizar fertilización simultánea de suelo y foliar tipo A (1.5431), que al fertilizar solo suelo (1.4528). Aunque este resultado confirma la desventaja de la fertilización solo al suelo con respecto a una combinación de fertilización de suelo y foliar tipo A, también se observa que al introducir la fertilización al suelo, actúa negativamente sobre la foliar aplicada simultáneamente pues la media de la sacarosa obtenida con el tratamiento combinado, es menor que la de la aplicación de solo foliar tipo A.
5. Es mayor la sacarosa obtenida al realizar solo la fertilización foliar tipo C (1.7411), que al fertilizar simultáneamente suelo y foliar tipo B (1.3936). Este resultado confirma la ventaja de la fertilización foliar tipo C con respecto a la tipo B, probablemente por la influencia negativa de la fertilización al suelo aplicada simultáneamente con la foliar B.

Al aumentar el nivel de confianza al 99% ya no existe diferencia estadísticamente importante entre la sacarosa obtenida al aplicar solo

fertilización tipo C y las obtenidas al aplicar solo fertilización al suelo o fertilización al suelo combinada con foliar tipo B. Las demás diferencias se conservan.

Puede observarse en este análisis que la variación total de la sacarosa por hectárea-mes está explicada solo en el 1% por los tratamientos. Esto corrobora la poca efectividad de las fertilizaciones efectuadas e indica que la fertilización objeto del experimento, es una variable que no se debe incluir en el modelo.

Se introdujeron al análisis dos fuentes adicionales de variación de la sacarosa obtenida, la zona agro ecológica y la variedad de caña, como variables de control. Los datos se clasificaron entonces, en primera instancia, por zona agro ecológica, y para cada zona-tratamiento se calculó la media de sacarosa/hectárea-mes. La formulación de hipótesis y los resultados de la prueba en dos direcciones se presentan en el Anexo 1 y de ellos se puede concluir que, con niveles de confianza del 95% y 99%:

- La sacarosa por hectárea-mes obtenida para los diferentes tratamientos es estadísticamente la misma, no se obtuvo un incremento estadísticamente notable de sacarosa mediante fertilización.

- La sacarosa por hectárea-mes obtenida para las diferentes zonas agro ecológicas es estadísticamente diferente para algunas.

Se puede observar que, en estas dos direcciones, la variación total sólo proviene en un 1.5% de los tratamientos, en un 64.7% de las zonas agro ecológicas y el restante 33.8% de diferencias aleatorias (casualidad y otras variables no consideradas). Estas cifras permiten establecer que la variación obtenida en la sacarosa por hectárea-mes obedece mucho más a las diferentes zonas agro ecológicas en las que se ubican los lotes sembrados que a los tratamientos aplicados o al azar.

La formulación de hipótesis y los resultados de la prueba en dos direcciones , tratamientos y variedades de caña, se presentan en el Anexo 1 y permiten concluir que con niveles de confianza del 95% y 99%:

- La sacarosa por hectárea-mes obtenida para los diferentes tratamientos es estadísticamente la misma, no se obtuvo un incremento estadísticamente notable mediante fertilización.
- La sacarosa por hectárea-mes obtenida para las diferentes variedades es estadísticamente diferente para algunas de ellas.

Se puede observar que ahora la variación total sólo proviene en un 10.57% de los tratamientos, en un 57.7% de las variedades y el restante 31.8% de

diferencias aleatorias. Estas cifras permiten establecer que la variación en la sacarosa total obtenida por hectárea-mes obedece mucho más a las diferentes variedades sembradas que a los tratamientos aplicados o al error en el proceso; Incluso la explica mejor que las zonas agro ecológicas.

Segundo análisis:

Sobre una muestra de 373 observaciones seleccionadas se observa que en el 59.8% de los casos se presentó un decremento en la sacarosa obtenida en lotes fertilizados con respecto a su testigo. Esta cifra sugiere un efecto aleatorio o de casualidad en el experimento. La formulación de hipótesis y los resultados de la prueba en una dirección se presentan en el Anexo 1 y permiten establecer que para significancias del 1% y del 5%, no existe una diferencia en las medias de las diferencias en toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para los tratamientos; es decir, no existe un incremento o decremento en sacarosa por hectárea-mes, estadísticamente significativo, por efecto de fertilización, basados en los resultados de cada pareja lote aplicado-lote testigo.

Para un análisis en dos direcciones, tratamiento y zona agro ecológica, los conjuntos de hipótesis y los resultados de la prueba se presentan en el Anexo 1 y permiten concluir que, para niveles de confianza del 95% y 99%:

- La diferencia en sacarosa por hectárea-mes obtenida para los diferentes tratamientos es estadísticamente la misma, no se obtuvo un

incremento/decremento de sacarosa estadísticamente diferente mediante fertilización.

- El incremento o decremento en sacarosa por hectárea-mes obtenido para las diferentes zonas agro ecológicas es estadísticamente el mismo.

Se puede observar que ahora la variación total esta concentrada en la casualidad y otras variables no consideradas, 62.8%. Las zonas agro ecológicas solo explican el 31.8% de la variación y los tratamientos explican solo el 5.4% de esta. Estas cifras permiten establecer que la variación obtenida en la diferencia en sacarosa por hectárea-mes obedece mucho más a diferencias aleatorias que a los tratamientos aplicados o a las diferentes zonas agro ecológicas en las que se ubican los lotes sembrados. También se puede establecer que el decremento general en sacarosa obtenido no se debió al efecto de la zona en la que se ubica el cultivo.

Los conjuntos de hipótesis y resultados de la prueba en dos direcciones, tratamiento y variedad, se presentan en el Anexo 1 y permiten establecer que, para niveles de confianza del 95% y 99%:

- La diferencia en sacarosa por hectárea-mes obtenida para los diferentes tratamientos es estadísticamente la misma, no se obtuvo un

incremento/decremento en sacarosa estadísticamente significativo mediante fertilización.

- La diferencia en sacarosa por hectárea-mes obtenida para las diferentes variedades es estadísticamente la misma.

Se puede observar que la variación total proviene principalmente de las diferencias aleatorias y otras variables no consideradas, 41.1%; los tratamientos sólo explican el 27.9% de esa variación y las variedades el 31% restante. Estas cifras permiten establecer que la variación obtenida en la diferencia en sacarosa por hectárea-mes, entre un lote fertilizado y su testigo, obedece mucho más al error en el proceso y que la fuente siguiente de variación la constituyen las variedades de caña sembradas antes que los tratamientos. También se puede establecer que el decremento medio general en sacarosa obtenido no se debió al efecto de variedad de caña sembrada.

Tercer Análisis

Se trabaja con una muestra de 373 datos totales de lotes fertilizados más los 373 lotes testigos que se clasifican en submuestras para: cortes de lotes testigo (NN), cortes de lotes con tratamiento NA, y así sucesivamente. A diferencia del segundo análisis, en el que se comparan lotes individuales fertilizados con sus testigos, en este caso se comparan grupos de lotes fertilizados según los diferentes tratamientos contra un grupo de lotes no fertilizados. Este análisis es similar al primero en cuanto a la conformación de

grupos pero se diferencian en el tamaño de la muestra, pues aquí solo se estudian aquellos cultivos sembrados a partir del momento en que inició el experimento.

La formulación de hipótesis y los resultados de la prueba en una dirección se presentan en el Anexo 1 y permiten concluir que, para significancias del 1% y del 5%, existe una diferencia estadísticamente significativa en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para algunos tratamientos; hubo incremento en la sacarosa obtenida por fertilización.

La variación total se explica en un 3% por los tratamientos y en un 97% al error o variación aleatoria y otras variables no consideradas, es decir, la variación en las medias de sacarosa obedece en grado mínimo a los tratamientos aplicados.

Los conjuntos de hipótesis para la diferencia en sacarosa y los resultados de la prueba en dos direcciones, tratamiento y zona agro ecológica, se presentan en el Anexo 1 y permiten establecer que, con niveles de confianza del 95% y 99%:

- La sacarosa por hectárea-mes obtenida para los diferentes tratamientos es estadísticamente la misma, no se obtuvo un incremento estadísticamente significativo de sacarosa mediante fertilización.

- La sacarosa por hectárea-mes obtenida para las diferentes zonas agro ecológicas es estadísticamente la misma.

La variación total solo proviene en un 13.8% de los tratamientos, en un 12.8% de las zonas agro ecológicas y el restante 73.4% de diferencias aleatorias y otras variables no consideradas. Estas cifras permiten establecer que la variación obtenida en la sacarosa por hectárea-mes obedece mucho más al error o a otras variables no consideradas, que a las diferentes zonas agro ecológicas en las que se ubican los lotes sembrados o a los tratamientos aplicados.

Los conjuntos de hipótesis para la diferencia en sacarosa y los resultados de la prueba en dos direcciones, tratamiento y variedad, se presentan en el Anexo 1 y permiten establecer que:

- Con una confianza del 99%, la sacarosa por hectárea-mes obtenida para los diferentes tratamientos es estadísticamente la misma, no se obtuvo un incremento estadísticamente significativo mediante fertilización.
- Con una confianza del 99%, la sacarosa por hectárea-mes obtenida para las diferentes variedades es estadísticamente la misma, pero con una confianza del 95%, la sacarosa por hectárea-mes obtenida para

las diferentes variedades es estadísticamente diferente para algunas de ellas.

La variación total se explica en un 11% por los tratamientos, en un 47.9% por las variedades y el restante 41.1% por diferencias aleatorias y otras variables no consideradas. Es decir, la variación obtenida en la sacarosa por hectárea-mes obedece mucho más a las diferentes variedades sembradas que al error que o a los tratamientos aplicados. A su vez las variedades afectan más la variación total que los tratamientos.

Conclusión acerca de los tres análisis

Las pruebas estadísticas #1 y #3 tienen el mismo objetivo: establecer si las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes obtenidas son las mismas para cada tratamiento de fertilización aplicado y con respecto a no aplicar tratamiento alguno. Los resultados obtenidos en una dirección en ambas pruebas permiten afirmar que el experimento de fertilización no produjo contenidos de sacarosa diferentes con respecto a la media de lotes sin tratamiento. La prueba #3 indica que si se reducen, el tamaño de la muestra y el número de elementos con tratamiento, desaparecen esas débiles diferencias entre los tratamientos que la prueba #1 detecta. El término débil hace referencia a que el valor de F calculado es similar al valor crítico.

El análisis ANOVA en dos direcciones de ambas pruebas confirma por una parte que no existe diferencia entre las medias de sacarosa obtenida mediante los tratamientos y la obtenida sin tratamiento, es decir, la fertilización explica pobremente la variación total, pero indica a la vez, que las zonas agro ecológicas y las variedades sembradas explican mucho mejor cualquier variación en el contenido de sacarosa obtenido en el experimento y que las variedades explican mejor cualquier variación en la sacarosa total obtenida que las zonas agro ecológicas.

El objetivo de la prueba ANOVA #2 es establecer si existe alguna diferencia entre las medias de los incrementos o decrementos de sacarosa obtenidos en un lote con respecto a su testigo, mediante los tratamientos de fertilización aplicados. La prueba establece que el valor medio de toneladas de sacarosa por hectárea-mes en que se contrae el contenido de sacarosa de cada muestra (-0.06019) es igual para todos los tratamientos, es decir, las diferencias en contenido de sacarosa de los lotes contra sus testigos, no son estadísticamente significativas y no las explican los tratamientos; el análisis ANOVA en dos direcciones confirma esto y además que tampoco lo explican las zonas agro ecológicas o las variedades sembradas

Los tres análisis conllevan a incluir las variables zona agro ecológica y variedad de caña en el modelo que se busca establecer, lo cual se valida más adelante para una muestra de mayor tamaño, y a excluir la fertilización.

5.1.2. Aplicación de Madurante

Para efecto de este análisis se clasifica la muestra de cortes de lotes según se haya aplicado o no tanto fertilizante como madurante:

NN: Sin fertilización, Sin Madurante.

NM: Sin fertilización, Con Madurante

FN: Con fertilización, Sin Madurante.

FM: Con fertilización, Con Madurante.

El objetivo de la prueba en este caso es establecer si existe alguna diferencia, estadísticamente válida, entre la sacarosa obtenida en lotes con alguno, ambos o ninguno de los tratamientos arriba indicados.

Primer Análisis

Se trabajó con los 1,276 datos totales de cortes de lotes sin fertilización, que se distribuyeron en muestras para: cortes de Lotes a los que se aplicó madurante y lotes a los que no se aplicó.

La formulación de Hipótesis para el análisis en una dirección y los resultados Obtenidos se presentan en el Anexo 3, de ellos se concluye, con confianzas del 95% y 99%, que difieren las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para lotes no fertilizados al aplicar o no madurante.

La sacarosa obtenida es mayor cuando se aplica madurante, un 11.2% en promedio, equivalente a que, con una confianza del 99%, el incremento de sacarosa debido a la aplicación de madurante oscila entre 5.64% y 17.22%. El 5% de la variación total de sacarosa es explicado por la aplicación de madurante, el 95% restante tiene como causa el error aleatorio o variables no consideradas.

Segundo Análisis

Se trabajó con los 1,934 datos totales de cortes de lotes, que se distribuyeron en muestras para: cortes de Lotes no fertilizados a los que se aplicó madurante, cortes de lotes no fertilizados a los que no se aplicó madurante, cortes de lotes fertilizados a los que se aplicó madurante y cortes de lotes fertilizados a los que no se aplicó madurante.

La formulación de Hipótesis en una dirección y los resultados obtenidos, presentados en el Anexo3; permiten establecer que existe una diferencia en algunas de las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para los tratamientos establecidos.

Para determinar las medias de tratamiento que difieren, se calcula la matriz con los respectivos intervalos de confianza, incluida en el Anexo 3, de la que se concluye que, con una confianza del 95% difieren las medias de

tratamiento para: $\mu_{FM} > \mu_{FN}$, μ_{NN} : , $\mu_{FM} < \mu_{NM}$, $\mu_{NM} > \mu_{FN}$, μ_{NN} : . Es decir:

1. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes fertilizados (1.5488), cuando se aplicó madurante que cuando no (1.4428).
2. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes fertilizados, cuando se aplicó madurante (1.5488), que en lotes no fertilizados a los que no se aplicó madurante (1.4299).
3. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes no fertilizados, cuando se aplicó madurante (1.5904), que en lotes fertilizados a los que se aplicó madurante (1.5488). Este resultado confirma el efecto negativo de la fertilización objeto del experimento. Si lotes fertilizados producen menos sacarosa que aquellos sin tratamiento, ambos en iguales condiciones de aplicación de madurante, entonces fertilizar está disminuyendo la productividad de sacarosa.
4. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes no fertilizados, cuando se aplicó madurante (1.5904), que en lotes fertilizados a los que no se aplicó madurante (1.4428).
5. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes no fertilizados, cuando se aplicó madurante (1.5904) , que en lotes no fertilizados a los que no se aplicó madurante (1.4209).

Al aumentar la confianza al 99% ya no existe diferencia estadísticamente importante entre la sacarosa obtenida en lotes no fertilizados a los que se

aplicó madurante, y la sacarosa obtenida en lotes fertilizados a los que se aplicó madurante. Si bien esto saca del panorama la afirmación acerca de que en condiciones de aplicación de madurante, un lote fertilizado produce menos sacarosa que uno no fertilizado, también es cierto que la prueba al decir que no existe diferencia entre ambos contenidos de sacarosa, cuestiona directamente la efectividad de la fertilización. Las demás diferencias se conservan.

En este análisis la variación total de la sacarosa por hectárea-mes está explicada en un 95% por la variación aleatoria; el 5% restante lo explican los tratamientos.

Tercer Análisis

En este caso se trabajó solo con los 373 datos de cortes de lotes fertilizados, que se distribuyeron en muestras para: cortes de Lotes fertilizados a los que se aplicó madurante y cortes de lotes fertilizados a los que no se aplicó madurante. Simultáneamente, con sus respectivos testigos se conforman otros dos grupos que corresponden a lotes no fertilizados con y sin aplicación de madurante.

La formulación de Hipótesis en una dirección y los resultados de la prueba, presentados en el Anexo 3, permiten concluir que existe una diferencia en las

medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes de algunos de los tratamientos establecidos.

Para determinar las medias de tratamiento que difieren, se realiza una prueba con base en la distribución t., presentada en mismo Anexo, que indica que con una confianza del 95% y del 99%, difieren las medias de tratamiento para: $\mu_{FM} < \mu_{FN}$, μ_{NM} , μ_{NN} . Es decir:

1. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes fertilizados, cuando no se aplicó madurante (1.6396), que cuando se aplicó (1.4954).
2. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes no fertilizados, cuando se aplicó madurante (1.5821), que en lotes fertilizados a los que se aplicó madurante (1. 4954). Este resultado confirma el efecto negativo de la fertilización objeto del experimento. Si lotes fertilizados producen menos sacarosa que aquellos sin tratamiento, ambos en iguales condiciones de aplicación de madurante, entonces fertilizar está disminuyendo la productividad de sacarosa.
3. Fue mayor la sacarosa obtenida en lotes no fertilizados, cuando no se aplicó madurante (1.6099), que en lotes fertilizados a los que se aplicó madurante (1. 4954).

La variación total de la sacarosa por hectárea-mes, en este caso, está explicada en un 96.6% por la variación aleatoria, el 3.4% restante lo explican los tratamientos.

Conclusiones acerca de la fertilización y la aplicación de Madurante

La primera prueba permite afirmar que existe un incremento notable en la sacarosa obtenida al aplicar madurante en lotes no fertilizados. Este resultado permite establecer que si en el experimento se presenta, al fertilizar, una reducción en la sacarosa obtenida, no es a causa de la aplicación de madurante.

La segunda prueba, permite evaluar la respuesta de cada tipo de lote, fertilizado o no, a la aplicación de madurante:

1. Se obtiene más sacarosa de un lote fertilizado cuando se aplica madurante que si no se aplica (lo que coincide con la teoría al respecto).
2. La sacarosa obtenida en lotes fertilizados a los que se aplica madurante se ubica entre la obtenida en lotes no fertilizados a los que no se aplica madurante y estos mismos lotes aplicados con madurante. Esto significa que la fertilización como se está realizando en el ingenio produce un efecto negativo sobre los lotes ocasionando que la producción de sacarosa, aún adicionándoles madurante, sea inferior a la obtenida en lotes sin fertilizar con aplicación de madurante; es decir, el efecto combinado de fertilizante y madurante supera a ningún motivador aplicado (fertilizante y/o madurante) pero

es inferior al solo efecto de madurante. Teóricamente un lote fertilizado al que se le aplica madurante debería producir más sacarosa que un lote sin fertilizar al que se aplica también madurante, pues la diferencia entre ambos corresponde al efecto que debería producir el fertilizante.

3. La aplicación de madurante siempre tendrá un efecto positivo sobre la producción de sacarosa, aunque al fertilizar se disminuya ese efecto.
4. La aplicación de madurante en lotes fertilizados o no, siempre producirá una mayor producción de sacarosa que en lotes solo fertilizados.

La tercera prueba, más ácida, al reducir tanto el número de elementos fertilizados como de no fertilizados (testigos), confirma, en primera instancia, el resultado de la segunda prueba: Son diferentes los resultados obtenidos al aplicar o no madurante, a lotes fertilizados o no. En segunda instancia, permite reafirmar unas conclusiones de la segunda prueba pero también agravar otras, en términos negativos para el ingenio:

1. Se obtiene más sacarosa de un lote fertilizado cuando no se aplica madurante que si se aplica; el efecto del madurante se pierde en los lotes fertilizados.
2. La sacarosa obtenida en lotes fertilizados a los que se aplica madurante es menor a la obtenida en lotes no fertilizados a los que se

aplica madurante, es decir, el efecto combinado de fertilizante y madurante produce un resultado inferior al obtenido por el solo efecto del madurante.

3. Contrario al resultado de la segunda prueba, la aplicación de madurante a lotes fertilizados tiene un efecto negativo sobre la producción de sacarosa, se produce más sin fertilización y sin madurante.

5.2. ACERCA DEL MODELO DE RELACIÓN PARA LA SACAROSA TOTAL OBTENIDA

Las pruebas ANOVA realizadas con cada una de las variables teóricamente ligadas al contenido de sacarosa obtenida en la caña presentan varios inconvenientes:

1. Solo permiten explorar una variable independiente a la vez para varios tratamientos (máximo dos variables cuando se hace en dos direcciones), lo cual puede hacer dispendioso el estudio, dependiendo del número de variables que se desee analizar.
2. Cada prueba indica solo si la variable dependiente en realidad difiere estadísticamente entre tratamientos y qué tanto es explicada por la independiente; no es posible determinar la razón de cambio del contenido de sacarosa con una variación en la variable independiente
3. ANOVA no permite visualizar un panorama general que integre todas las variables y permita evaluar cuánto afecta cada una dentro del

grupo, el contenido de sacarosa obtenida, y a las demás variables independientes.

Plantear un modelo de relación mediante la siguiente ecuación lineal múltiple, en el cual se utilizan variables independientes lineales que ayudan a explicar o predecir la variable dependiente, permite explorar un gran número de variables de control (casi todos aquellos factores que intervienen sobre un cultivo), comparar el efecto relativo de las variables independientes (es decir, su importancia relativa dentro del grupo), y el efecto en la variable dependiente de una variación en la dependiente:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + \dots + b_{55}x_{55}$$

Donde para cada cultivo (corte de un lote específico), Y corresponde a la Sacarosa total obtenida (toneladas), X_1 a X_{15} son variables indicadoras en las que se asigna 1 sólo a aquella que corresponde a la finca en la que se ubica el cultivo, X_{16} indica la ubicación respecto al ingenio (0-Cerca/1-Lejos), X_{17} a X_{20} son variables indicadoras en las que se asigna 1 solo si se hizo aplicación de los elementos mayores (N, P, K, S) respectivamente, X_{21} a X_{28} son variables indicadoras en las que se asigna 1 sólo a aquella que corresponde a la zona agro ecológica donde se ubica el cultivo, X_{29} a X_{35} son variables indicadoras en las que se asigna 1 solo a aquella que corresponde a la variedad de caña sembrada, X_{36} indica la edad de cosecha (meses), X_{37} indica el área liquidada del lote (hectáreas), X_{38} indica el Pol % de la caña

cosechada, X_{39} indica si se hizo aplicación de madurante (1-Si/0-No), X_{40} indica el número de corte del lote, X_{41} especifica la Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), X_{42} mide la oscilación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), X_{43} indica la humedad relativa (%), X_{44} especifica la radiación ($\text{cal}/\text{cm}^2 \times \text{día}$), X_{45} indica la precipitación (Mm.), X_{46} especifica el número de riegos aplicados al cultivo, X_{47} a X_{55} son variables indicadoras que se definen como 1 sólo en aquellas labores culturales realizadas al corte del lote.

Los cálculos de la regresión múltiple y del estudio de correlación se realizan por medio del paquete EasyReg Internacional desarrollado en la Universidad del Estado de Pennsylvania, versión de noviembre 17 de 2,004.

Las variables cualitativas zona agro ecológica, variedad y finca se incorporan al análisis de regresión mediante el esquema de variables indicadoras o dummy, donde una de las dos condiciones posibles toma el valor de 1 y la otra 0. La variable X_{21} que denota la zona 6c1, por ejemplo, asume valor 1 cuando los datos correspondan a esa zona y 0 cuando no. Este tratamiento se hace para luego poder determinar en cuánto se incrementan las toneladas de sacarosa obtenida por ubicar el cultivo en esa zona; si se manejara solo una variable zona con un dígito asociado a cada una de las posibles, se podría evaluar el efecto total de la variable más no la contribución de cada zona al contenido total de sacarosa.

En el caso de las zonas agro ecológicas, se definen (9) variables dummy, una para cada zona de las 8 que corresponden al 89.33% de la muestra y una para el resto de zonas, que no se incorpora al modelo por obtenerse por diferencia de las otras. Del mismo modo se incluyen (8) variables dummy, una para cada variedad de caña sembrada de las 7 que corresponden al 98.81% de la muestra.

En el caso de las fincas, se definen (16) variables dummy, una para cada finca de las 15 que contienen el 70% de las toneladas totales cosechadas, incluidas las fincas con productividad atípica para su ubicación con respecto al ingenio.

Se evalúan dos modelos, uno para la situación del ingenio sin experimento de fertilización, es decir, con las 1,276 observaciones de cortes de lotes no fertilizados, y otro para la situación del ingenio con experimento, es decir, con las 1,934 observaciones de cortes de lotes que incluyen aquellos fertilizados.

Para tratar de reflejar lo más fielmente posible la situación inicial del ingenio en la ecuación de regresión, se incluyeron variables adicionales a las validadas en el capítulo anterior, asociadas a:

1. Fertilización con elementos mayores (cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio aplicados, en Kl./ha),

2. Una variable dummy para indicar la aplicación de azufre, cuya cantidad aplicada es constante,
3. Una variable dummy para la clasificación interna de los lotes en cerca y lejos, que combina la distancia a la cual se encuentran del ingenio y el tráfico de la ruta, que teóricamente deben reflejar el tiempo total transcurrido entre el corte y la fábrica, durante el cual se pierde sacarosa.
4. Nueve variables dummy para las labores culturales realizadas al lote: encalle (EC), aporque (AP), desaporque (DA), descepe (DC), cepillada (CP), subsuelo (SS), acequias (CA), resiembra (RS), replante (RP).
5. Número de riegos aplicados al lote durante ese corte.

5.2.1. Resultados De La Ecuación De Regresión Excluyendo La Fertilización Objeto Del Experimento

5.2.1.1. La Matriz de Correlación.

Una primera corrida permitió obtener la matriz de correlación presentada en el Anexo 11, que contiene los coeficientes que miden el grado de asociación existente entre cada variable con las demás, incluida la variable independiente. Esta matriz incluye solo las variables más relevantes del modelo pues, para un número superior a 20 variables independientes, el paquete no arroja la matriz de correlación.

La matriz permite por una parte, establecer las variables independientes con una fuerte correlación con la variable dependiente. En este caso las variables independientes más importantes corresponden a: las fincas 210201 (cantarrana), 240202 (Venecia), 310120 (yunde), la ubicación Cerca/Lejos, la zona 1c0, las variedades cc8475, cc8592 y v7151, el área sembrada y la aplicación de madurante. Poseen una débil correlación con la sacarosa obtenida: la zona 6c0, la variedad cc8475, la oscilación de temperatura.

Por otra parte, la matriz permite verificar la multicolinealidad, es decir, la alta relación entre las variables independientes; en presencia de esta, la interpretación de los coeficientes de regresión es difícil, pues implica que habrá pocos datos en la muestra para darle confianza a la interpretación.

Para el análisis de la matriz se aplicó la regla general que dice que si los coeficientes de correlación de variables independientes se encuentran entre -0.7 y 0.7 , no causan dificultades³³. A fin de minimizar la multicolinealidad se eliminó, cada vez, una de las variables independientes que se encuentran más correlacionadas y se volvió a calcular la ecuación de regresión.

Los resultados de la primera corrida del modelo permiten establecer que las variables independientes con una fuerte correlación entre ellas, son: temperatura media-oscilación de temperatura (0.9290), temperatura media-

humedad relativa (0.7756), temperatura media-radiación (0.9134), temperatura media-precipitación (0.7665), oscilación de temperatura-humedad relativa (0.7855), oscilación de temperatura-radiación (0.8480), oscilación de temperatura-precipitación (0.8957), y radiación-precipitación (0.7426). Puesto que los coeficientes de correlación más altos están asociados a la variable oscilación de temperatura, se optó por eliminar ésta del modelo, corrigiéndose los coeficientes pero elevando otros relacionados con el clima, por lo cual se eliminan también radiación y humedad relativa. En el Anexo 11 se adjunta también la matriz de correlaciones final obtenida.

No se eliminaron más variables del modelo pues, aunque las correlaciones simples relativamente altas entre varios pares de variables pueden indicar multicolinealidad, las conclusiones sobre su presencia deben hacerse con cuidado. Es posible que con algunos conjuntos de datos las correlaciones entre muchos pares de variables sean altas, pero los datos permitirán separar los efectos de las variables explicativas individuales sobre la variable dependiente.

5.2.1.2. Estimación del Modelo y Evaluación De La Ecuación De Regresión

Los resultados del modelo corregido se incluyen en el Anexo 12; un resumen de los mismos es el siguiente:

³³ Lind , Douglas, William G Marchal y Samuel A Wathen. Op. Cit. Pág. 487..

TABLA 5. RESULTADOS DE LA ESTIMACION OLS DEL MODELO PARA LOTES NO FERTILIZADOS

		VARIABLE DEPENDIENTE: Y_t (toneladas sacarosa)		
		Lotes no Fertilizados, Siembra 1999:4 - 2005:2, OLS		
	Variables Independientes	Coefficiente Regresión	Valor t HC	Error Estándar HC
H a c i e n d a s	$X_1=110201_t$ (HDA Transito)	0,4508	0,089	5,066
	$X_2=210102_t$ (HDA San Pablo)	12,0198	2,273	5,288
	$X_3=210201_t$ (HDA Cantarrana)	10,0709	1,937	5,200
	$X_4=210203_t$ (HDA La Burrera)	3,3575	0,512	6,558
	$X_5=220201_t$ (HDA Petite)	11,3848	2,917	3,902
	$X_6=230101_t$ (HDA La Estancia)	-18,7740	-2,206	8,510
	$X_7=230120_t$ (HDA Fundungo)	-11,4730	-1,689	6,793
	$X_8=240101_t$ (HDA Esperanza)	23,8513	4,955	4,813
	$X_9=240202_t$ (HDA Venecia)	14,9595	2,468	6,061
	$X_{10}=310108_t$ (HDA Magdalena)	-7,3265	-1,131	6,478
	$X_{11}=310120_t$ (HDA Yunde)	13,0662	2,728	4,789
	$X_{12}=310126_t$ (HDA Maravelez1)	25,8768	2,275	11,378
	$X_{13}=310127_t$ (HDA Maravelez2)	76,8103	4,857	15,814
	$X_{14}=310128_t$ (HDA Maravelez3)	27,6152	2,910	9,489
	$X_{15}=310129_t$ (HDA Maravelez4)	29,7812	3,298	9,031
M a y o	$X_{16}=(0\text{-Cerca}/1\text{-Lejos})_t$	-18,8693	-3,396	5,556
	$X_{17}=QN_t$ (Kg/Ha. Nitrogeno)	-0,0078	-0,573	0,014
	$X_{18}=QP_t$ (Kg/Ha. fósforo)	-0,0158	-0,591	0,027
	$X_{19}=QK_t$ (Kg/Ha. Potasio)	0,0156	0,385	0,041
	$X_{20}=St$ (Aplicó azufre 1-Si/0-No)	20,7449	1,478	14,037
A g r o e c o l ó g i	$X_{21}=6c1_t$	12,3803	3,132	3,953
	$X_{22}=6c0_t$	14,5205	3,054	4,755
	$X_{23}=10c0_t$	19,4586	2,501	7,781
	$X_{24}=1c1_t$	12,0879	2,688	4,498
	$X_{25}=2c0_t$	16,0621	3,935	4,082
	$X_{26}=9c1_t$	3,0295	0,315	9,611
	$X_{27}=1c0_t$	22,5706	5,366	4,206
	$X_{28}=8c0_t$	57,2271	2,103	27,213
v a r i e d a d	$X_{29}=pr61632_t$	-0,2051	-0,044	4,640
	$X_{30}=v7151_t$	3,1904	0,701	4,552
	$X_{31}=mzc74275_t$	-7,2466	-1,550	4,674
	$X_{32}=cc87434_t$	9,0781	1,541	5,890
	$X_{33}=cc8475_t$	16,1858	3,562	4,545
	$X_{34}=mezcla_t$	5,1152	0,887	5,766
	$X_{35}=cc8592_t$	14,2185	3,317	4,287
O t r a s	$X_{36}=\text{Edad cultivo}_t$ (meses)	6,5515	7,101	0,923
	$X_{37}=\text{Area cosechada}_t$ (hectáreas)	20,1606	62,986	0,320
	$X_{38}=\text{pol}_t$ (%caña)	4,1218	5,992	0,688
	$X_{39}=\text{Aplicó Madurante}_t$ (1-Si/0-No)	7,1684	3,449	2,078
	$X_{40}=\# \text{ corte}_t$	0,4984	1,515	0,329
	$X_{41}=\text{Temperatura media}_t$ (°C)	-2,2202	-0,544	4,083
	$X_{42}=\text{Precipitación}_t$ (mm)	-0,0332	-3,209	0,010
	$X_{43}=\# \text{ Riegos}_t$	-0,7036	-2,183	0,322
	$X_{44}=\text{EC}_t$ encalle (1-Si/0-No)	2,6193	1,289	2,032
	$X_{45}=\text{constante}$	-106,3557	-1,063	100,043
	R^2	0,94520		
	R^2 Ajustado	0,94380		
	F	480,65		
	# Observaciones	1.276		

Valor t 95% confiabilidad: 1,96
 Valor t 99% confiabilidad: 2,576
 OLS: Ordinary Least Squares

En Azul Variables explicativas con 95% confiabilidad
 En Rojo Variables explicativas con 99% confiabilidad
 HC: Heteroskedasticity Consistent

La evaluación del modelo comprende:

- Verificar que el coeficiente de determinación múltiple es mucho mayor que cero, para descartar que todas las variables independientes tengan coeficientes de regresión cero, es decir, que la variación explicada obtenida se presente por casualidad.
- Evaluar los coeficientes de regresión individuales para observar cuales no son iguales a cero, es decir, explican la variable dependiente.
- verificar que se cumplan las suposiciones de regresión.

5.2.1.2.1. La Multicolinealidad

El EasyReg no detecta multicolinealidad al evaluar el modelo, como sí lo hace en el caso de correrlo con la variable año de siembra y las variables climáticas, al tiempo, lo que permite establecer equivalencia en la explicación de estas variables dentro del modelo. La detección de multicolinealidad se basa en la matriz de momentos $(1/n) X' X$.

Por otra parte, por definición, los criterios que indican la presencia de multicolinealidad son³⁴:

³⁴ Pindyck, Robert y Rubinfeld. Op. Cit. pág. 100.

1. Errores estándar altos para algunos de los coeficientes de regresión; caso en el cual se elimina la variable, para disminuir los errores estándar de las variables restantes.
2. Una R^2 relativamente alta en una ecuación de regresión con una estadística t poco significativa.

Al observar los resultados finales: no se detectan altos errores estándar de los coeficientes de regresión estimados (entre 0.0103 y 27.2133), ni una R^2 (0.94) alta con un valor de F (480.65) poco significativo. Por lo tanto, se puede concluir que no existe alta correlación entre las variables independientes del modelo.

5.2.1.2.2. Análisis de los Residuales.

Para verificar que los supuestos en torno al error se cumplan, es necesario únicamente chequear la varianza del término del error pues por construcción los otros dos supuestos se cumplen. De hecho, el supuesto de que el término del error tiene un valor esperado de cero no se viola en este caso al incluirse un intercepto del modelo ³⁵.

³⁵ En este caso, como el modelo partió de datos de sacarosa obtenida entre 2.3 ton (en una zona 6c0, variedad v7151, en un área de 0.21 ha, aplicada con madurante) y 841.7 (zona 6c0, sembrada con pr61632, en un área de 39.7 ha, aplicada con madurante), no es de interés el significado de la sacarosa obtenida cuando todas las variables independientes son cero, puesto que el modelo solo se utilizará para predecir sacarosa en los rangos que determina la muestra.

Para un modelo con perturbaciones de error no constantes (heterocedásticas) la estimación de mínimos cuadrados da más ponderación a las observaciones con varianzas de error grandes que a aquellas con varianzas de error menores. Debido a esta ponderación implícita, los estimadores de parámetros de mínimos cuadrados son insesgados y consistentes, pero no son eficientes, es decir, las varianzas de los parámetros estimados no son las varianzas mínimas. Además las varianzas estimadas de los parámetros estimados serán estimadores sesgados de la varianza verdadera de los parámetros estimados.

Por medio de la prueba de Breusch-Pagan se puede rechazar la hipótesis nula de que los errores siguen una distribución homocedástica.

TABLA 6. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD DE LA ESTIMACION OLS DEL MODELO

Breusch-Pagan test = 1342.976108		
Null hypothesis:	The errors are homoskedastic	
Null distribution:	Chi-square(44)	
p-value =	0.00000	
Significance levels:	10%	5%
Critical values:	56.37	60.48
Conclusions:	reject	reject

White³⁶ ha sugerido un método para obtener estimadores consistentes de varianzas y covarianzas de estimados OLS (Ordinary Least squares) que proporcionan pruebas estadísticas para muestras grandes; el estimador consistente de heterocedasticidad (HCE, heteroscedasticity-consistent estimator) que se basa en el principio de máxima verosimilitud. En este caso, el Easy Reg utiliza la matriz de varianzas heterocedásticamente consistente de White para calcular los valores t y los errores estándar, heterocedásticamente consistentes (H.C. t -value, H.C. S.E.). Con estos nuevos valores que implican homocedasticidad, muy similares a los heterocedásticos, es posible realizar el análisis de evaluación de coeficientes de regresión.

Finalmente, el supuesto de normalidad de los errores del modelo estimado no es relevante en este caso, pues el teorema del límite central establece que, para muestras aleatorias grandes, la forma de la distribución muestral de medias se aproxima a una distribución de probabilidad normal. La aproximación es más precisa para muestras de gran tamaño y el teorema es válido para todas las distribuciones³⁷. Como en este caso se trata de una muestra de 1,276 observaciones, sea cual fuere la distribución probabilística

³⁶ White H. Op. Cit. pág.817-838.

³⁷ Lind , Douglas A, William G Marshal y Samuel A Wathen. Op. Cit. Pág.263.

del error, se aproxima a la normal estándar; superando la validación a este respecto.

5.2.1.2.3. Prueba Global: Prueba de validación para el modelo de regresión múltiple

Equivale a probar la capacidad de las variables independientes para explicar el comportamiento de la variable dependiente. Investiga si es posible que todas las variables independientes tengan coeficientes de regresión neta cero, es decir, si la cantidad de variación explicada R^2 , se podría presentar por casualidad.

Hipótesis nula, H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \dots = \beta_{45} = 0$

Hipótesis alternativa, H_1 : No todas las β_i son 0.

El paquete estadístico arroja los siguientes resultados:

**TABLA 7. RESULTADOS DE LA PRUEBA GLOBAL DE LA ESTIMACION
OLS DEL MODELO**

Overall F test: $F(44, 1231) = 480.65$		
p-value = 0.00000		
Significance levels:	10%	5%
Critical values:	1.28	1.37
Conclusions:	reject	reject

Como el valor calculado de F es mayor que los valores críticos, se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto, algunas de las variables independientes tienen la capacidad de explicar la variación de la sacarosa obtenida.

5.2.1.2.4. Evaluación de los coeficientes de regresión individuales.

Consiste en determinar qué coeficientes pueden ser o no cero. Un β_i igual a cero implica que la variable independiente asociada no tiene valor al explicar las variaciones de sacarosa obtenida, y tal vez debiera eliminarse del modelo. Así por ejemplo, para la variable dummy Cerca(0) / Lejos (1), la prueba de hipótesis es:

Hipótesis nula, $H_0: \beta_2 = 0$

Hipótesis alternativa, $H_1: \beta_2 \neq 0$

La estadística de prueba sigue la distribución t de student con 1,232 grados de libertad. El valor de t, calculado por el programa para esta variable es de -4.589, mayor, en valor absoluto, que los t críticos de 1.96 y 2.576 para confianzas del 95% y 99%. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, el coeficiente es diferente de cero, la variable explica las variaciones de sacarosa obtenida.

En los resultados del Anexo 12, valores calculados de t menores a 1.96, para: las fincas Transito, La Burrera y Magdalena; aplicación de elementos mayores; la zona 9c1; las variedades pr31632, v7151, mzc74275, mezcla y cc87434; temperatura media, conllevan a su exclusión del modelo.

5.2.1.3. Interpretación de los Resultados de la Ecuación de Regresión

Dado que los coeficientes de regresión negativos indican una relación inversa entre la variable explicativa y la variable sacarosa total obtenida; mientras los positivos indican una relación directa, se puede concluir entonces que:

1. Las variables que poseen una relación inversa con la sacarosa total obtenida, manteniendo en cada caso las demás variables constantes, son:
 - La ubicación en las fincas La Estancia, Fundungo y Magdalena; que disminuyen el contenido total de sacarosa obtenido en 18.77, 11.47 y 7.32 toneladas, respectivamente.
 - La ubicación del cultivo Lejos del ingenio, que disminuye la sacarosa total en 18.87 toneladas..
 - Sembrar la variedad mzc74275, que disminuye la sacarosa total en 7.25 toneladas.
 - Cada grado centígrado que se incremente la temperatura media del cultivo, el incremento en la precipitación y número de riegos, la

aplicación de nitrógeno y potasio al lote disminuyen en cantidades mínimas la sacarosa total obtenida.

2. Las variables que poseen una relación directa con la sacarosa total obtenida, manteniendo en cada caso las demás variables constantes, son:

- La ubicación del cultivo en las fincas Maravelez2, Maravelez4, Maravelez3, Maravelez1, Esperanza y Yunde, que incrementan la sacarosa total obtenida en 76.81, 29.8, 27.6, 25.9, 23.8 y 13.0 toneladas respectivamente.
- La ubicación del cultivo en las zonas agro ecológicas 8c0, 1c0, 10C0, 2C0, 6c0, 6c1 y 1c1, que incrementan en 57.2, 22.6, 19.5, 16 , 14.5, 12.4 y 12.1 toneladas la sacarosa total, respectivamente.
- Aplicar azufre, que incrementa la sacarosa total en 20.8 toneladas.
- Cada hectárea adicional sembrada, que incrementa la sacarosa total en 20.1 toneladas.
- Sembrar las variedades cc8475, cc8592, cc87434, mezcla y v7151, que incrementa la sacarosa total en 16.2, 14.2, 9.1, 5.1, y 3.2 toneladas, respectivamente.
- Aplicar madurante, que incrementa la sacarosa total en 7.2 toneladas.
- Cada mes adicional en la cosecha de la caña, que incrementa la sacarosa total en 6.5 toneladas.

- Cada 1% adicional en el pol en caña, que incrementa la sacarosa total en 4.1 toneladas.
- Cada corte adicional, que la incrementa en 0.5 toneladas.

Como las unidades de medida de cada variable independiente son diferentes, a excepción de las dummy que indican solo si está o no presente en la observación, la importancia relativa o peso de cada una en el modelo solo puede hacerse a través de los coeficientes de regresión estandarizados, como se muestra en la sección 5.2.3.

La magnitud del incremento en sacarosa obtenida según el modelo para las variables zona, variedad, aplicación de madurante y pol, es consistente con los porcentajes de la variación total que explican esas variables en las respectivas pruebas ANOVA, 12.3%, 18.7%, 4.7% y 3%.

Por definición, el coeficiente de determinación múltiple R^2 , corresponde al porcentaje de la variación total explicada a través de la regresión. Es una estadística de bondad de ajuste que permite comparar los resultados de la regresión bajo especificaciones alternativas de las variables independientes. En este caso indica que la ecuación de regresión explica el 94.5% de la variación en las toneladas de sacarosa total obtenidas.

El R^2 obtenido en este caso indica que la ecuación de regresión explica el 94.3% de la variación en las toneladas de sacarosa obtenidas.

5.2.2. Resultados De La Ecuación De Regresión Incluyendo El Efecto De Fertilización Objeto Del Experimento

El Anexo 12 incluye los resultados de una nueva ecuación de regresión, ampliada para incluir las variables asociadas a la fertilización foliar y de suelos, que se presenta a continuación:

TABLA 8. RESULTADOS DE LA ESTIMACION OLS DEL MODELO PARA TODOS LOS LOTES

		VARIABLE DEPENDIENTE: Y_t (toneladas sacarosa)		
		Lotes no Fertilizados, Siembra 1999:4 - 2005:2, OLS		
Variables Independientes		Coefficiente Regresión	Valor t HC	Error Estándar HC
M e n o r e s	$X_1=NA_t$ (fertilización: no suelo+foliar A)	4,731	1,290	3,667
	$X_2=NB_t$ (fertilización: no suelo+foliar B)	-2,534	-0,487	5,203
	$X_3=NC_t$ (fertilización: no suelo+foliar C)	11,164	2,467	4,525
	$X_4=SA_t$ (fertilización: suelo+foliar A)	0,308	0,140	2,204
	$X_5=SB_t$ (fertilización: suelo+foliar B)	-7,953	-0,956	8,317
	$X_6=SN_t$ (fertilización: suelo+no foliar)	-4,792	-1,972	2,429
	$X_7=110201_t$ (HDA Transito)	-5,604	-1,372	4,083
H a c i e n d a s	$X_8=210102_t$ (HDA San Pablo)	12,231	3,113	3,929
	$X_9=210201_t$ (HDA Cantarrana)	9,029	2,147	4,205
	$X_{10}=210203_t$ (HDA La Burrera)	-3,883	-0,717	5,412
	$X_{11}=220201_t$ (HDA Petite)	11,132	3,581	3,109
	$X_{12}=230101_t$ (HDA La Estancia)	-24,791	-4,422	5,607
	$X_{13}=230120_t$ (HDA Fundungo)	-13,371	-2,744	4,872
	$X_{14}=240101_t$ (HDA Esperanza)	21,812	6,323	3,449
	$X_{15}=240202_t$ (HDA Venecia)	18,193	3,904	4,659
	$X_{16}=310108_t$ (HDA Magdalena)	-6,489	-1,179	5,506
	$X_{17}=310120_t$ (HDA Yunde)	14,257	3,585	3,977
	$X_{18}=310126_t$ (HDA Maravelez1)	26,278	2,575	10,206
	$X_{19}=310127_t$ (HDA Maravelez2)	79,824	5,368	14,869
	$X_{20}=310128_t$ (HDA Maravelez3)	30,067	3,394	8,859
	$X_{21}=310129_t$ (HDA Maravelez4)	32,214	4,059	7,936
a y o r	$X_{22}=(0\text{-Cerca}/1\text{-Lejos})_t$	-20,076	-4,474	4,487
	$X_{23}=QN_t$ (Kg/Ha. Nitrógeno)	-0,015	-1,480	0,010
	$X_{24}=QP_t$ (Kg/Ha. fósforo)	-0,010	-0,373	0,026
	$X_{25}=QK_t$ (Kg/Ha. Potasio)	-0,002	-0,046	0,038
	$X_{26}=St$ (Aplicó azufre 1-Si/0-No)	6,538	1,484	4,405
A g r o e c o l ó g i	$X_{27}=6c1_t$	9,648	3,068	3,145
	$X_{28}=6c0_t$	10,127	2,596	3,901
	$X_{29}=10c0_t$	17,966	3,115	5,768
	$X_{30}=1c1_t$	9,018	2,714	3,323
	$X_{31}=2c0_t$	13,979	4,301	3,250
	$X_{32}=9c1_t$	0,530	0,062	8,577
	$X_{33}=1c0_t$	19,178	5,215	3,678
	$X_{34}=8c0_t$	40,824	2,740	14,902
v a r i e d a d	$X_{35}=pr61632_t$	0,720	0,174	4,133
	$X_{36}=v7151_t$	5,472	1,363	4,015
	$X_{37}=mzc74275_t$	-7,468	-1,738	4,296
	$X_{38}=cc87434_t$	7,372	1,376	5,356
	$X_{39}=cc8475_t$	17,716	4,328	4,094
	$X_{40}=mezcla_t$	4,262	0,798	5,341
	$X_{41}=cc8592_t$	10,936	2,805	3,899
O t r a s	$X_{42}=Edad\ cultivo_t$ (meses)	6,950	9,814	0,708
	$X_{43}=Area\ cosechada_t$ (hectáreas)	20,124	70,255	0,286
	$X_{44}=pol_t$ (%caña)	4,655	8,207	0,567
	$X_{45}=Aplicó\ Madurante_t$ (1-Si/0-No)	7,330	4,462	1,643
	$X_{46}=\# \text{ corte}_t$	0,191	0,715	0,267
	$X_{47}=Temperatura\ media_t$ (°C)	-2,146	-0,594	3,612
	$X_{48}=Precipitación_t$ (mm)	-0,033	-3,440	0,010
	$X_{49}=\# \text{ Riegos}_t$	-0,431	-1,531	0,282
	$X_{50}=EC_t$ encalle (1-Si/0-No)	2,297	1,827	1,257
	$X_{51}=\text{constante}$	-116,740	-1,310	89,147
	R^2	0,9452		
	R^2 Ajustado	0,9438		
	F	650		
	# Observaciones	1.934		

Valor t 95% confiabilidad: 1,96
 Valor t 99% confiabilidad: 2,576
 OLS: Ordinary Least Squares

En Azul Variables explicativas con 95% confiabilidad
 En Rojo Variables explicativas con 99% confiabilidad
 HC: Heteroskedasticity Consistent

Los coeficientes de regresión de las variables independientes son muy similares a los de las variables del modelo inicial, varían un poco por el ajuste, sin desvirtuar lo anteriormente afirmado con respecto a cada variable. La ecuación explica el mismo 94% de la variación en sacarosa producida en el campo. Sin embargo, permite afirmar adicionalmente que las combinaciones de fertilización: solo foliar tipo B (NB), solo boro y zinc (SN), y la combinación de ambas (SB), disminuyen las toneladas de sacarosa obtenidas. La aplicación de fertilización solo foliar tipos A (NA) y C (NC) aumentan las toneladas de sacarosa obtenidas.

Estos resultados concuerdan con la prueba de ANOVA realizada para validar el efecto de la fertilización, en la que se obtiene que la aplicación al suelo sola o combinada con alguna foliar, afecta negativamente la sacarosa total obtenida, y que la fertilización foliar no produce un efecto estadísticamente significativo sobre esta sacarosa, con respecto a cortes de lotes no fertilizados.

Los valores t heterocedásticamente consistentes calculados por el paquete para las variables independientes asociadas al experimento de fertilización, tratamientos NB, SA, SB, son inferiores a 1.96 y 2.576 para niveles de

confianza del 95% y 99%, por lo tanto, se eliminaron del modelo, no contribuyen a explicar la variación total en sacarosa obtenida.

El nuevo modelo satisface todas las validaciones realizadas al primero, referentes a los supuestos de la regresión lineal múltiple: no existe multicolinealidad, la cantidad de variación explicada R^2 (0.9438) no se presenta por casualidad, los coeficientes con valores HC-t superiores a 1.96 y 2.576 para confianza del 95% y 99%, según se quiera considerar, contribuyen significativamente a explicar la variación de la sacarosa, las varianzas residuales siguen una distribución normal y se corrige la heterocedasticidad observada.

Finalmente, se establece un modelo eliminando aquellas variables con valores t heterocedásticamente consistentes inferiores a 2, solo en términos de: Aplicación solo de foliar tipo C, aplicación solo de de menores al suelo (Boro y Zinc), haciendas: 210102, 210201, 220201, 230101, 230120, 240101, 240202, 310120, 310126, 310127, 310128, 310129, Cerca/Lejos, zonas: 6c1, 6c0, 10c0, 1c1, 2c0, 1c0, 8c0, variedades: v7151, mzc74275, cc8475, cc8592, edad de cosecha, área sembrada, pol caña, aplicación de madurante, precipitación y encalle; con tendencia a salir del modelo la variable Encalle. Los resultados, en el mismo Anexo 12, son:

TABLA 9. RESULTADOS DE LA ESTIMACION OLS DEL MODELO PARA TODOS LOS LOTES

		VARIABLE DEPENDIENTE: Y_t (toneladas sacarosa)		
		Lotes no Fertilizados, Siembra 1999:4 - 2005:2, OLS		
	Variables Independientes	Coefficiente Regresión	Valor t HC	Error Estándar HC
e r t	$X_1=NC_t$ (fertilización: no suelo+foliar C)	9,8863	1,966	5,030
	$X_2=SN_t$ (fertilización: suelo+no foliar)	-5,7928	-2,863	2,023
H a c i e n d a s	$X_3=210102_t$ (HDA San Pablo)	12,7019	3,873	3,279
	$X_4=210201_t$ (HDA Cantarrana)	10,9381	3,529	3,100
	$X_5=220201_t$ (HDA Petite)	11,5726	4,885	2,369
	$X_6=230101_t$ (HDA La Estancia)	-24,6189	-4,504	5,466
	$X_7=230120_t$ (HDA Fundungo)	-12,7519	-2,637	4,836
	$X_8=240101_t$ (HDA Esperanza)	23,6780	7,564	3,130
	$X_9=240202_t$ (HDA Venecia)	20,1437	5,448	3,698
	$X_{10}=310120_t$ (HDA Yunde)	16,6329	6,923	2,403
	$X_{11}=310126_t$ (HDA Maravelez1)	31,8720	5,659	5,632
	$X_{12}=310127_t$ (HDA Maravelez2)	85,3790	6,960	12,267
	$X_{13}=310128_t$ (HDA Maravelez3)	35,2929	4,344	8,124
	$X_{14}=310129_t$ (HDA Maravelez4)	37,5886	9,016	4,169
	$X_{15}=(0\text{-Cerca/1-Lejos})_t$	-21,3796	-7,773	2,750
	A g r o c o l i d g	$X_{16}=6c1_t$	9,3497	3,403
$X_{17}=6c0_t$		9,7433	3,536	2,755
$X_{18}=10c0_t$		17,6893	3,616	4,892
$X_{19}=1c1_t$		8,5291	2,644	3,226
$X_{20}=2c0_t$		13,7246	4,963	2,766
$X_{21}=1c0_t$		17,4695	5,671	3,083
$X_{22}=8c0_t$		39,7413	2,716	14,632
v r i e d a	$X_{23}=v7151_t$	3,9927	1,979	2,017
	$X_{24}=mzc74275_t$	-8,8675	-3,116	2,846
	$X_{25}=cc8475_t$	15,9057	6,328	2,514
	$X_{26}=cc8592_t$	8,9421	4,416	2,025
O t r a s	$X_{27}=\text{Edad cultivo}_t$ (meses)	7,0329	10,966	0,641
	$X_{28}=\text{Area cosechada}_t$ (hectáreas)	20,1117	71,443	0,282
	$X_{29}=\text{pol}_t$ (%caña)	4,6374	8,293	0,559
	$X_{30}=\text{Aplicó Madurante}_t$ (1-Si/0-No)	7,9498	5,008	1,587
	$X_{31}=\text{Precipitación}_t$ (mm)	-0,0299	-4,844	0,006
	$X_{32}=\text{EC}_t$ encalle (1-Si/0-No)	1,6501	1,348	1,224
	$X_{33}=\text{constante}$	-170,1249	-13,045	13,04175
	R^2	0,94470		
	R^2 Ajustado	0,94370		
	F	1.013,99		
	# Observaciones	1.934		

Valor t 95% confiabilidad: 1,96
 Valor t 99% confiabilidad: 2,576
 OLS: Ordinary Least Squares

En **Azul** Variables explicativas con 95% confiabilidad
 En **Rojo** Variables explicativas con 99% confiabilidad
 HC: Heteroskedasticity Consistent

Se puede observar que el nuevo modelo conserva sus características básicas, y continúa explicando el 94% de la variación total de sacarosa con

un error probable de 27.6 toneladas, al pronosticar las toneladas de sacarosa a obtener.

5.2.3. Los Coeficientes De Regresión Estandarizados Y La Elasticidad

Aunque comparar el efecto relativo de las variables independientes sobre la dependiente, cuando se trata de variables dummy, es sencillo, pues el coeficiente de regresión indica en ese caso cuánto se incrementa o disminuye el valor de la variable dependiente por el hecho de poseer la característica asociada a la variable, en las demás variables es imposible porque cada una posee unidades diferentes (meses, hectáreas, %, Mm.). Se

define entonces el coeficiente estandarizado como: $\beta_j^* = \beta_j \frac{S_{xj}}{S_y}$, para

describir la importancia relativa de la variable en el modelo. Utilizando los coeficientes de regresión y los errores estándar calculados por el paquete, se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 10. RESULTADOS DE LOS COEFICIENTES DE REGRESION ESTANDARIZADOS Y DE ELASTICIDAD DEL MODELO Y EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL PRONOSTICO

Parameters	Descripcion	Estimate	t-value	H.C. t-value	S.E.	H.C. S.E.	p-value	H.C. p-value	Media	Desv Stdar	C.Stdrzdo	Elasticidad	A	B	C
X 1	Foliar A	4.73124	1.309	1.29	3.61552	3.66679	0.19067	0.19695	0.03723	0.18857	0.00770	0.00114	0	0	0
X 2	Foliar B	-2.53431	-0.524	-0.487	4.83391	5.20284	0.60009	0.62619	0.01965	0.13682	-0.00302	-0.00032	0	0	0
X 3	Foliar C	11.16415	0.892	2.467	12.51846	4.52548	0.37249	0.01363	0.00259	0.05079	0.00487	0.00019	0	0	0
X 4	B, Zn, foliar A	0.30795	0.142	0.14	2.17368	2.20442	0.86734	0.8889	0.18563	0.38990	0.00103	0.00037	0	0	0
X 5	B, Zn, foliar B	-7.95333	-0.868	-0.956	8.9594	8.31686	0.3747	0.33893	0.00517	0.07174	-0.00490	-0.00027	0	0	0
X 6	B, Zn	-4.7918	-1.788	-1.972	2.67997	2.42932	0.07378	0.04855	0.08997	0.28621	-0.01178	-0.00278	0	1	1
X 7	11201	-5.60444	-1.304	-1.372	4.29881	4.08356	0.19233	0.18993	0.04470	0.20618	-0.00993	-0.00161	0	0	0
X 8	210102	12.23066	3.084	3.113	3.96359	3.92886	0.00198	0.00185	0.05016	0.21832	0.02294	0.00395	0	0	0
X 9	210201	9.02857	2.514	2.147	3.59073	4.20505	0.01192	0.03179	0.08221	0.27476	0.02131	0.00478	0	0	0
X 10	210203	-3.88272	-0.646	-0.717	6.00705	5.41179	0.51805	0.47309	0.01603	0.12562	-0.00419	-0.00040	0	0	0
X 11	220201	11.13211	3.568	3.581	3.1201	3.10897	0.00036	0.00034	0.10858	0.31120	0.02976	0.00779	0	1	0
X 12	230101	-24.79051	-6.423	-4.422	3.86949	5.60655	0	0.00001	0.03619	0.18682	-0.03979	-0.00578	0	0	0
X 13	230120	-13.37066	-3.312	-2.744	4.03659	4.87193	0.00092	0.00606	0.04292	0.20272	-0.02329	-0.00370	0	0	0
X 14	240101	21.81196	5.676	6.323	3.84255	3.44943	0	0	0.09824	0.29772	0.05575	0.01381	0	0	0
X 15	240202	18.19293	4.497	3.904	4.04531	4.65973	0.00001	0.00009	0.06670	0.24957	0.03901	0.00782	0	0	0
X 16	310108	-8.48937	-1.411	-1.179	4.80073	5.50571	0.15839	0.23853	0.05330	0.22867	-0.01275	-0.00223	0	0	0
X 17	310120	14.25727	3.925	3.585	3.83278	3.97717	0.00009	0.00034	0.14271	0.34967	0.04265	0.01311	0	0	0
X 18	310126	26.27808	2.191	2.575	11.96303	10.20576	0.02844	0.01003	0.00414	0.06420	0.01449	0.00070	0	0	0
X 19	310127	79.82436	7.53	5.968	10.60032	14.8694	0	0	0.00620	0.07855	0.05387	0.00319	0	0	0
X 20	310128	30.06697	2.101	3.394	14.31209	8.85929	0.03566	0.00069	0.00207	0.04544	0.01174	0.00040	0	0	0
X 21	310129	32.21385	3.628	4.059	8.87828	7.9383	0.00029	0.00005	0.00827	0.09990	0.02507	0.00172	0	0	0
X 22	Cerca/Lejos	-20.07591	-5.611	-4.474	3.57797	4.48768	0	0.00001	0.73681	0.44048	-0.07597	-0.09534	0	1	0
X 23	Nitrogeno	-0.01487	-1.456	-1.48	0.01022	0.01005	0.14536	0.13899	107.78438	79.16281	-0.01011	-0.01033	161.00	161.00	161.00
X 24	Fosforo	-0.0096	-0.269	-0.373	0.03614	0.02573	0.7905	0.70909	10.40176	21.67336	-0.00179	-0.00064	0.00	30.00	0.00
X 25	Potasio	-0.00174	-0.019	-0.046	0.0577	0.0378	0.97583	0.96326	2.38521	12.17832	-0.00018	-0.00003	0.00	23.00	0.00
X 26	Azufre	6.53768	1.45	1.484	4.51014	4.40455	0.14718	0.13773	0.02689	0.16180	0.00909	0.00113	0	0	0
X 27	bc1	9.64821	3.017	3.068	3.19757	3.1448	0.00255	0.00216	0.15253	0.35963	0.02981	0.00949	0	1	0
X 28	bc0	10.12668	2.901	2.596	3.49104	3.90083	0.00372	0.00943	0.28852	0.45319	0.03943	0.01883	1	0	1
X 29	10c0	17.98612	3.949	3.115	4.54969	5.76819	0.00008	0.00184	0.06583	0.28019	0.04325	0.00994	0	0	0
X 30	1c1	9.01794	2.164	2.714	4.16757	3.32303	0.03048	0.00685	0.04240	0.20155	0.01582	0.00246	0	0	0
X 31	2c0	13.97852	4.05	4.301	3.45115	3.24973	0.00005	0.00002	0.15512	0.36211	0.04346	0.01386	0	0	0
X 32	9c1	0.5301	0.076	0.062	6.98012	8.57852	0.93946	0.95072	0.02482	0.15561	0.00071	0.00008	0	0	0
X 33	1c0	19.17794	4.741	5.215	4.04485	3.67754	0	0	0.11841	0.32317	0.05325	0.01464	0	0	0
X 34	8c0	40.82403	5.354	2.74	7.62441	14.90186	0	0.00615	0.01034	0.10119	0.03549	0.00272	0	0	0
X 35	pr61632	0.72031	0.103	0.174	7.00947	4.13316	0.91814	0.86165	0.11272	0.31633	0.00196	0.00052	1	0	0
X 36	v7151	5.47202	0.79	1.363	8.92808	4.01507	0.42963	0.17292	0.22079	0.41488	0.01950	0.00779	0	0	0
X 37	mzc74275	-7.46773	-1.042	-1.738	7.16359	4.29588	0.2972	0.08215	0.06515	0.24685	-0.01584	-0.00314	0	0	0
X 38	cc87434	7.37161	0.875	1.376	8.42344	5.35662	0.3815	0.18869	0.01603	0.12582	0.00796	0.00076	0	0	0
X 39	cc8475	17.71649	2.551	4.328	6.94488	4.09368	0.01074	0.00002	0.13340	0.34010	0.05177	0.01523	0	0	0
X 40	mezcla	4.26161	0.547	0.798	7.78445	5.34134	0.58407	0.42496	0.02534	0.15718	0.00575	0.00070	0	0	0
X 41	cc8592	10.93598	1.601	2.805	6.8286	3.89852	0.10927	0.00503	0.41727	0.49324	0.04634	0.02941	0	1	1
X 42	Edad	8.95049	10.33	9.814	0.67282	0.70823	0	0	12.93509	1.05045	0.06273	0.57950	12.83	13.87	12.93
X 43	Area	20.12442	137.22	70.255	0.14666	0.28645	0	0	7.76559	5.43134	0.33904	1.00731	39.70	0.81	5.85
X 44	Pol	4.6546	8.034	8.207	0.57505	0.56716	0	0	17.27071	1.24809	0.04891	0.51815	16.24	18.61	17.17
X 45	Mascurante	7.32985	4.253	4.462	1.72337	1.64264	0.00002	0.00001	0.72079	0.44873	0.02826	0.03405	1	0	1
X 46	Corte	0.19102	0.618	0.715	0.30887	0.26726	0.53626	0.47476	3.40486	2.60526	0.00428	0.00419	9	1	1
X 47	T. Media	-2.14595	-0.595	-0.594	3.60822	3.81232	0.58202	0.55247	23.12229	0.32180	-0.00593	-0.31983	22.50	23.40	23.50
X 48	Precipitacion	-0.03303	-3.407	-3.44	0.00969	0.0096	0.00096	0.00058	575.30765	106.09794	-0.03011	-0.12248	841.00	550.00	535.00
X 49	Riegos	-0.4312	-1.5	-1.531	0.28756	0.2816	0.13374	0.12571	4.40279	2.97247	-0.01101	-0.01224	5	7	3
X 50	Encalle	2.29719	1.731	1.827	1.32678	1.25707	0.08338	0.06784	0.25646	0.50798	0.01003	0	1	0	0
X 51	Y	-116.74046	-1.312	-1.31	88.9681	89.14675	0.18946	0.19035			-377.0834		-116.7	-116.74	-116.7
Y									155.14374	118.39772			788.55	15.50	122.78
Y Real													841.88	13.04	111.53
% Error													-6.7%	15.9%	0.1%
Error Ton													-53.13	2.47	11.23

Donde un coeficiente estandarizado de 0.07597 para la variable Cerca/Lejos, por ejemplo, significa que un cambio de una desviación estándar en la variable C/L, conduce a un cambio de 0.07597 desviación estándar en la sacarosa obtenida.

De acuerdo a esto, las variables con mayor importancia dentro del modelo son: Área sembrada, Ubicación Cerca/Lejos, Edad, las prácticas de las Haciendas 240202 y 310127, la zona agro ecológica 1c0, la variedad cc8475, el pol aparente de la caña, la variedad cc8592, la zona agro ecológica 2c0 y las prácticas de la hacienda 310120, en ese orden; las demás tienen una importancia muy similar.

La elasticidad, calculada como $\varepsilon_j = \beta_j \frac{\text{media de } x_j}{\text{media de } y}$, mide el efecto en la variable dependiente, de un 1% de cambio en la variable independiente. Así, por ejemplo, la elasticidad de 0.5795 de la edad, nos permite decir que, alrededor de la media de las variables un incremento del 1% en la edad conduce a un incremento del 0.58% en la sacarosa obtenida. Igualmente, un incremento del 1% en el área sembrada, en el pol y en la precipitación, conducen a incrementos del 1%, 052% y un decremento del 0.12% en la sacarosa obtenida, respectivamente. Se puede afirmar que la sacarosa obtenida es más sensible a cambios en el área sembrada, la edad de cosecha, el pol de la caña y la precipitación, en ese orden.

Para probar la eficiencia de la ecuación de regresión para pronosticar valores de toneladas de sacarosa obtenidas, se seleccionaron tres lotes de características muy diferentes, correspondientes a tonelajes alto (A, con 5,183), medio (C, con 649.66) y bajo (B con 12.82) y se evaluó el pronóstico

de toneladas de sacarosa para cada uno, obteniéndose valores de Y de: 788.55, 15.5 y 122.78 que están asociados a unos valores reales en la muestra de: 841.675, 13.038 y 111.552 que corresponden a errores de: - 6.7%, 15.9% y 9.1% respectivamente. El error más alto se presenta con los más bajos tonelajes.

6. CONCLUSIONES

6.1. DE LA SACAROSA EN EL CAMPO

El modelo de regresión lineal desarrollado permite concluir que la sacarosa total obtenida en cultivos de caña de azúcar, sembrados entre 1999 y 2005, se explica en un 94%, con un nivel de confianza del 95%, por medio de las siguientes variables:

1. Se incrementa mediante la aplicación de fertilización foliar tipo C, la ubicación del cultivo en las fincas: Maravelez, Cantarrana, Yunde, Esperanza, Venecia, San Pablo, Petite; la siembra en las zonas agro ecológicas 8c0, 1c0, 2c0, 10c0, 1c1, 6c0, 6c1; la siembra de las variedades cc8475, cc8592 y v7151; el área sembrada, la edad de cosecha, la aplicación de madurante y el pol aparente de la caña.
2. Se destruye cuando se aplica fertilización al suelo (B y Zn); se encuentra el cultivo "Lejos" del ingenio; se ubica en las fincas Estancia y Fundungo; se siembra la variedad mzc74275; existe precipitación.

El efecto más fuerte lo ocasionan: el área sembrada, la localización del cultivo "Lejos" del ingenio, la edad, la ubicación en las fincas Esperanza y

Maravelez, las zonas agro ecológicas 1c0 y 2c0, las variedades cc8475 y cc8592, y el pol aparente de la caña. La sacarosa obtenida es más sensible a oscilaciones en las hectáreas adicionales de tierra disponible para la siembra, la edad de la caña al momento de cosechar, el pol aparente de la caña, la precipitación sobre los cultivos, y la ubicación del cultivo "Lejos" del ingenio.

6.2. DE LA ADMINISTRACION DEL CAMPO Y LA PRODUCTIVIDAD EN TERMINOS DE SACAROSA TOTAL OBTENIDA

Como la debilidad más fuerte del área de campo se encuentra en la ausencia de un plan estratégico, de una táctica de mejoramiento, y de unas metas claras y medibles en todas aquellas variables bajo su control, es de utilidad un análisis de su gestión de las variables que administra para optimizar la sacarosa que entregara a la fábrica, que puede integrarse como una serie de estrategias a seguir dentro del plan general a construir:

6.2.1. La Fertilización de los cultivos y del suelo y la Aplicación de Madurante

La aplicación de fertilización foliar y al suelo, en todas sus modalidades, no ha tenido ningún efecto sobre el incremento deseado de sacarosa en las plantas; los coeficientes de regresión de estas variables en el modelo son negativos (indicando la destrucción de sacarosa) y/o sus valores t heterocedásticamente consistentes son muy pequeños (indicando que no

contribuyen a explicar la sacarosa total obtenida en las plantas), con excepción de la aplicación de Boro y Zinc al suelo (sin foliar), que impacta negativamente el potencial de sacarosa en las plantas.

La aplicación de madurante sí tiene un efecto relevante sobre la producción de sacarosa, tanto por el valor del coeficiente de regresión de la variable como por su valor t heterocedásticamente consistente. Las pruebas realizadas apuntan a que el efecto combinado de fertilización y aplicación de madurante destruye valor y tiende a debilitar esta fortaleza, al reducir la sacarosa obtenida con respecto a cultivos no fertilizados. Las pruebas permiten también establecer con claridad que el efecto positivo del madurante existe y es relevante y que la contracción en la sacarosa obtenida al fertilizar, observada en el 52% de la muestra, no se debe a la variedad sembrada ni a la zona agro ecológica en que se ubica el cultivo. La destrucción de valor se produjo en el 70% de los lotes fertilizados a los que se aplicó madurante y el resultado neto para el periodo al que corresponden las muestras equivale a una reducción media de 0.0602 toneladas por hectárea por mes, por cultivo.

Y finalmente, la situación se agrava porque el modelo cuestiona la eficacia de la aplicación de elementos mayores en los sitios en los que se hizo; ninguna de las variables asociadas a aplicación de nitrógeno, potasio, fósforo o azufre explica la variación en el contenido de sacarosa obtenido, a pesar de una

aplicación de nitrógeno al 58% de las observaciones, fósforo al 14% y potasio al 7%.

6.2.2. El manejo de Zonas Agro ecológicas

El 82% de la muestra se ubica en (5) de las (16) zonas incluidas: 10c0 (7.1%), 1c0 (15.2%), 2c0 (15.7%), 6c0 (30.3%) y 6c1 (13.8%); por otra parte la composición de la muestra es muy aproximada a la de todos los cultivos del ingenio como ya se demostró en el capítulo cuatro, por lo que el análisis que se hace a continuación sobre las (7) zonas que constituyen el 90% de la muestra y 88% de la distribución de tierras del ingenio, aplica de manera general al manejo de las tierras del ingenio.

Pruebas y modelo coinciden en establecer las zonas 8c0, 1c0, 1c1, 2c0 y 10c0 como las de mejor productividad. Sin embargo, el ingenio tiene ubicado solo el 40% de sus cultivos en zonas muy productivas (el 12% en una de las mejores (1c0), 19% en las zonas (2c0, 1c1) y 9% en la zona 10c0), el 60% restante se ubicaron en las zonas de baja productividad, concentrado un 44% de este 60% en las zonas 6c0 y 6c1. Zonas evaluadas como las mejores (8c0, 9c1) solo alcanzan una participación del 3.5% entre ambas. Esta debilidad geográfica que se puede contrarrestar mediante siembra de las variedades adecuadas y las labores culturales practicadas allí, evidencia problemas en la administración de la zona 6c0, puesto que teóricamente se

considera de buena productividad y los resultados obtenidos en ella fueron pobres.

CENICAÑA elaboró diagramas de dispersión de la producción de caña y el rendimiento para estudiar en detalle la productividad durante 2004, según zonas agro ecológicas y variedades cosechadas³⁸. En estos diagramas se clasifican las zonas con promedios:

1. Superiores al promedio de la industria en TCH y rendimiento (cuadrante I: 2c0, 6c0, 1c0, 1c1, 4c1, 7c3, 1c2, 7c1, 5c5, 2c4, 5c0, 8c1, 4c0, 6c3, 8c0).
2. Inferiores al promedio en TCH y superiores en rendimiento (cuadrante II: 6c1, 5c1, 7c2, 10c1, 3c1, 3c2, 10c2, 9c5, 8c5, 10c5, 3c3, 3c0, 3c4).
3. Inferiores al promedio en TCH y rendimiento (cuadrante III: 9c3, 9c4, 9c2, 5c2, 8c2, 5c3, 10c3, 8c3, 10c4).
4. Superiores al promedio en TCH e inferiores en rendimiento (cuadrante IV: 2c1, 6c2, 9c1, 2c3, 10c0, 2c5, 5c4, 4c2, 4c3, 8c4, 4c4).

Maximizar sacarosa, mediante mayor tonelaje y/o mayor rendimiento, apunta a los cuadrantes I, II y IV, sobretodo el I, que corresponde a zonas caracterizadas por condiciones secas y suelos de alta fertilidad. El ingenio tiene una ventaja frente al sector al poseer el 94% de sus cultivos ubicados

³⁸ Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Informe Anual 2004.. Op. Cit. pág.8.

en zonas muy deseables, concentrando el 64% en el cuadrante más productivo, el primero, con las zonas 6c0, 2c0, 1c0,1c1 y 8c0, 15% en el segundo y 14% en el cuarto cuadrante.

Sin embargo, mientras por una parte la prueba estadística confirma el buen manejo que se le está dando a las zonas 1c0, 1c1 y 2c0 del mejor cuadrante, y de la zona 10c0 del cuarto cuadrante, por otra parte advierte acerca del manejo de la zona 6c0 (30%) del primer cuadrante, 6c1 (14%) del segundo y 2c1 (5%) del cuarto, con resultados bajos. Como estas zonas corresponden a suelos bien drenados, de alta fertilidad ubicados en áreas con déficit de humedad, la fortaleza del 64% de cultivos en zonas del primer cuadrante, se reduce al 34%, debido solo al mal manejo de la zona 6c0. Es decir, en la administración de estas tres zonas está en juego el 49% de las oportunidades del ingenio.

6.2. 3. El manejo de Variedades de Caña

El 94% de la muestra sembró (5) de las (10) variedades totales incluidas: cc8592 (39%), v7151 (23%), cc8475 (13%), pr61632 (10%) y mzc74275 (9%). De acuerdo a la prueba, el ingenio sembró en el 52% de sus cultivos, variedades de muy buena productividad, cc8592 y cc8475, dejando una oportunidad de mejoramiento en el 48% restante, con variedades de deficientes resultados, v7151 y pr61632.

En los diagramas de dispersión de la producción de la caña y el rendimiento, elaborados por CENICAÑA en su Informe Anual 2004³⁹, se clasifican las variedades con promedios:

1. Superiores al promedio de la industria en TCH y rendimiento (cuadrante I: cc8592),
2. Inferiores al promedio en TCH y superiores en rendimiento (cuadrante II: mzc74275)
3. Inferiores al promedio en TCH y rendimiento (cuadrante III: cc8475, v7151)
4. Superiores al promedio en TCH e inferiores en rendimiento (cuadrante IV: pr1141).

Maximizar la sacarosa obtenida, vía tonelaje y/o rendimiento apunta a los cuadrantes I, II y IV, sobretodo el I, que corresponde una variedad que participó un 53% del área cosechada de (12) ingenios durante 2004.

Las (5) variedades sembradas, que constituyen el 94% de la muestra, se encuentran distribuidas: en el primer cuadrante, el 42% (cc8592), segundo cuadrante 7% (mzc74275), tercer cuadrante 35% (mzc8475, v7151) y cuarto cuadrante 11% (pr61632). El 42% de los cultivos ubicado en el primer cuadrante constituye una buena gestión administrativa, con una oportunidad

³⁹ Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia. Informe Anual 2004. Op. Cit. Pág.9.

de mejoramiento: como el sector sembró un 53% de esa misma variedad, existe la posibilidad de incrementar la participación de la variedad con la mayor productividad, sin llegar a depender solo de ella. La prueba estadística validó la clasificación de la cc8592 según CENICAÑA, como la de promedio superior al promedio de la industria tanto en TCH como en rendimiento. Esta variedad produjo 1.6 toneladas más de azúcar que el resto de variedades cosechadas en el periodo; su productividad fue superior tanto en plantilla como en socas. No obstante las ventajas, a medida que se incrementan sus áreas de siembra aumentan también los riesgos fitosanitarios debido a las contingencias que en este sentido puede conllevar el hecho de depender de una sola variedad.⁴⁰

Debe revisarse la siembra de las variedades:

- v7151, pues además de la baja productividad que confirma la prueba estadística, corresponde al 23% de la cosecha, ubicado en el tercer cuadrante, el de variedades inferiores al promedio en TCH y rendimiento. Lo mismo sucede con la variedad mzc74275, que a pesar de pertenecer al segundo cuadrante, de inferior promedio en TCH pero superior rendimiento, estadísticamente muestra una productividad regular y posee el 7% de la cosecha.

⁴⁰ Amaya, Álvaro. **Presente y Futuro de las variedades de caña de azúcar en la industria azucarera colombiana**, pág 1-2.

- pr61632 que, con la más baja de las productividades arrojada por la prueba estadística, corresponde a un 10% de la cosecha del ingenio.

En las variedades pr61632, v7151 y mzc74275 con deficiente productividad se concentra el 40% de la cosecha del ingenio, de la oportunidad de mejoramiento frente al sector, del 48% en cuanto a gestión de variedades.

La variedad cc8475 a pesar de ubicarse en el cuadrante de inferiores tonelaje y rendimiento, denota una buena gestión administrativa según los resultados de la prueba estadística; sin embargo, los estudios realizados por CENICAÑA en (11) zonas agro ecológicas muestran que la productividad en TCH y rendimiento de las variedades cc92-2804 y cc93-3895 superan la de la cc8475 y en algunos casos a la de la cc8592. Igual sucede con las variedades cc92-2198 y cc93-3826 en otro estudio realizado en (9) zonas agro ecológicas⁴¹. Existe pues la oportunidad de mejorar un 14% de la cosecha.

La prueba estadística advierte también que existen variedades como mezcla con muy buena productividad pero que corresponden al 2.5% de la cosecha; vale la pena considerar además de ésta, la siembra de variedades semicomerciales y comerciales estudiadas por CENICAÑA, aplicando los conceptos de agricultura específica por sitio, como la cc93-3895, cuya mejor

adaptación se ha hecho en las zonas agro ecológicas 1c0, 6c1, 6c2, 6c3 y 9c4, con resultados de productividad superiores a los de las variedades cc8475 y cc8592. La zona 6c1 es precisamente una de las que debe mejorar su productividad de acuerdo al análisis de zonas agro ecológicas anterior.

6.2.4. La Variedad adecuada en la zona indicada

A pesar de que el análisis independiente de las variables zona y variedad es válido y los resultados obtenidos denotan consistencia entre la pruebas, el modelo y las investigaciones de CENICAÑA, también es cierto que, puesto que las variedades desarrolladas por esta entidad y utilizadas en el ingenio están orientadas a una alta productividad y rentabilidad económica, y son seleccionadas para ambientes específicos, es lógico pensar que un análisis mas detallado del desempeño del área de campo debe hacerse considerando la siembra de variedades en las diferentes zonas agro ecológicas. Las matrices que muestran la distribución de variedades en las zonas, tanto para evaluar la sacarosa obtenida como para visualizar la participación de cada dupla en la muestra total, se muestran en los TABLAS 11 y 12, respectivamente.

⁴¹ Amaya, Álvaro. **ibid.**, pág. 6-7.

TABLA 11. TONELADAS DE SACAROSA POR HECTÁREAS/MES, POR
ZONA Y VARIEDAD, INGENIO 1999-2005

		VARIEDAD SEMBRADA										
		CC8475	CC8568	CC8592	CC87434	CC892000	MEZCLA	MZC74275	MZC8211	PR61632	V7151	Media
ZONA AGRO ECOLÓGICA	10C0	1,67132	1,53541	1,67132	1,67132	-	1,49415	1,17270	-	1,55826	1,45309	1,52845
	10C1	1,34345	-	1,06824	1,13205	-	-	-	-	1,26348	1,14554	1,19055
	1C0	1,85278	-	1,83569	-	1,39255	1,72551	1,50519	1,40532	1,60591	1,45555	1,59731
	1C1	-	1,56982	1,67274	1,72372	-	1,59645	1,43393	-	-	1,63554	1,60537
	1C2	-	-	1,29545	-	-	-	1,25388	-	-	-	1,27467
	2C0	1,73574	-	1,69511	-	-	1,78836	1,50076	-	1,45213	1,50981	1,61365
	2C1	1,34976	1,38310	1,38695	1,71130	-	1,44501	1,18960	-	1,34962	1,32938	1,39309
	2C2	1,53499	-	1,09895	-	-	-	1,06815	-	-	1,71883	1,35523
	3C1	0,94960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,94960
	5C1	1,79141	-	1,52877	-	-	-	1,34231	-	-	-	1,55416
	5C2	-	-	1,50783	-	-	-	-	-	-	1,09037	1,29910
	6C0	1,56124	-	1,69083	1,59282	-	1,61454	1,38702	-	1,22082	1,36274	1,49000
	6C1	1,56155	1,44211	1,72759	1,48091	-	-	1,37784	-	1,32055	1,47715	1,48396
	6C2	1,33278	-	0,94334	-	-	-	-	-	-	1,33826	1,20479
	8C0	-	-	1,90062	-	-	-	1,65190	-	-	1,71395	1,75549
	9C1	1,51226	-	1,80923	-	-	-	1,01491	-	-	1,45664	1,44826
	Media	1,51641	1,48261	1,52218	1,55202	1,39255	1,61067	1,32485	1,40532	1,39582	1,43745	1,46870

TABLA 12. NÚMERO DE OBSERVACIONES DE LA MUESTRA POR ZONA
Y VARIEDAD, INGENIO 1999-2005

		VARIEDAD SEMBRADA											
		CC8475	CC8568	CC8592	CC87434	CC892000	MEZCLA	MZC74275	MZC8211	PR61632	V7151	Participación	
ZONA AGRO ECOLÓGICA	10C0	13	2	13	13	-	7	4	-	7	30	7%	
	10C1	21	-	3	2	-	-	-	-	2	3	2%	
	1C0	10	-	-	-	4	9	25	2	5	22	15%	
	1C1	-	1	17	2	-	2	13	-	-	4	3%	
	1C2	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	0%	
	2C0	23	-	-	-	-	3	25	-	15	35	16%	
	2C1	5	2	-	2	-	6	6	-	7	11	5%	
	2C2	2	-	2	-	-	-	2	-	-	1	1%	
	3C1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0%	
	5C1	2	-	8	-	-	-	2	-	-	-	1%	
	5C2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	0%	
	6C0	39	-	-	12	-	13	15	-	57	126	30%	
	6C1	31	4	-	9	-	-	12	-	33	54	14%	
	6C2	9	-	5	-	-	-	-	-	-	3	1%	
	8C0	-	-	5	-	-	-	3	-	-	2	1%	
	9C1	7	-	-	-	-	-	1	-	-	7	3%	
	Participación		13%	1%	-	3%	0%	3%	9%	0%	10%	23%	100%

Que la media general de las duplas (1.4687), sea significativamente menor que la medias generales obtenidas para las pruebas ANOVA por variedad (1.5470) y por zona agro ecológica (1.5383), que son muy similares entre sí, evidencia una destrucción de valor en el agregado campo debido a la asignación de variedades de caña en las diferentes zonas agro ecológicas.

Los efectos de una buena variedad sembrada en una zona inadecuada o de sembrar una variedad poco productiva en una zona de alta fertilidad, tenderán a anular el efecto positivo en cada caso. Para visualizar lo que está pasando se construye la tabla 13.

TABLA 13 TONELADAS DE SACAROSA/HM POR DUPLA ZONA-VARIEDAD, INGENIO 1999-2005

DUPLA Zona-Variedad	Número de Observaciones	% Participación	Ton Sacarosa/HM		
			Dupla	Variedad	Zona AE
10c0-v7151	30	2%	1,45309	1,42134	1,55828
10c1-v7151	21	2%	1,14554	1,42134	1,55828
1c0-cc8592	117	9%	1,83569	1,70503	1,72627
1c0-mzc74275	25	2%	1,50519	1,42052	1,72627
1c0-v7151	22	2%	1,45555	1,42134	1,72627
2c0-cc8475	23	2%	1,73574	1,55834	1,62623
2c0-cc8592	99	8%	1,69511	1,70503	1,62623
2c0-mzc74275	25	2%	1,50076	1,42052	1,62623
2c0-v7151	35	3%	1,50981	1,42134	1,62623
2c1-cc8592	21	2%	1,38695	1,70503	1,35569
6c0-cc8475	39	3%	1,56124	1,55834	1,48435
6c0-cc8592	125	10%	1,69083	1,70503	1,48435
6c0-pr61632	57	4%	1,22082	1,31634	1,48435
6c0-v7151	126	10%	1,36274	1,42134	1,48435
6c1-cc8475	31	2%	1,56155	1,55834	1,43957
6c1-cc8592	33	3%	1,72759	1,70503	1,43957
6c1-pr61632	33	3%	1,32055	1,31634	1,43957
6c1-v7151	54	4%	1,47715	1,42134	1,43957
9c1-cc8592	28	2%	1,80923	1,70503	1,68502
Otras	330	26%	-	-	-
Total	1274	100%	1,4687	1,54702	1,53837

(19) duplas zona-variedad constituyen el 74% de la muestra de lotes cosechados. Se puede confirmar sobre el TABLA 8 que, en general:

1. Al combinar zona (9C1: 1.68502) y variedad (cc8592: 1.70503), con las mejores productividades, el resultado es superior al de cada una (sinergia), una productividad de 1.80923. Igual sucede al combinar las zonas (1C0: 1.72627) y variedad (cc8592: 1.70503), con las mejores productividades, el resultado es una productividad de 1.83569.
2. Al combinar una zona de productividad buena (2c0: 1.62623) con una variedad de productividad deficiente (v7151: 1.42134) se destruye valor, la productividad de la variedad contrarresta la de la zona, obteniéndose una productividad de 1.50981.
3. Al combinar una zona de productividad deficiente (2c1: 1.35569) con una variedad de productividad buena (cc8592: 1.70503) se destruye valor, la productividad de la zona contrarresta la de la variedad, obteniéndose una productividad de 1.38695.
4. El efecto de la productividad de la variedad sobre la productividad neta de la combinación es más fuerte que el que ejerce la productividad de la zona. Al combinar una zona de productividad buena (2c0: 1.62623) con una variedad excelente (cc8592: 1.70503) la productividad resultante es más similar a la de la variedad (1.69511). Lo mismo sucede al combinar la zona 6c0 de productividad deficiente (1.48435) con la mejor variedad, la cc8592 (1.70503), la productividad resultante

es más similar a la de la variedad (1.69083). Incluso al combinar la mejor zona (9c1: 1.68502) y la mejor variedad (cc8592: 1.70503), la productividad resultante (1.80923) es más similar a la de la variedad. Este resultado es consistente con la prueba ANOVA en dos direcciones realizada al validar el efecto de la fertilización, donde se afirma que la variedad explica en mayor grado la variación total en la sacarosa obtenida, que la zona y refuerza la recomendación hecha al analizar el efecto de zonas y variedades individualmente, acerca de trabajar más en la selección de variedades a sembrar un lote; CENICAÑA tiene estudios ya realizados y recomendaciones sobre los cuales apoyarse.

Clasificando las zonas y las variedades como de productividad excelente, buena, regular y mala, de acuerdo a los resultados de las ANOVAS respectivas, se obtiene la TABLA 14, del cual se puede inferir cuánto valor se está destruyendo en el campo por concepto de correcta asignación de variedades en las zonas donde se ubican los cultivos.

TABLA 14. PRODUCTIVIDADES OBTENIDAS POR ZONA Y VARIEDAD,
INGENIO 1999-2005

		VARIEDADES				Total
		Excelente	Buena	Regular	Mala	
ZONAS	PRODUCTIVIDAD					
	Excelente	2%	-	-	-	2%
	Buena	8%	2%	5%	-	15%
	Regular	22%	5%	23%	7%	57%
	Mala	-	-	-	-	-
	Total	32%	7%	28%	7%	74%

En el 74% de su cosecha, el área de campo tuvo un buen desempeño en el 12% de su cosecha solamente (combinando variedades y zonas de excelente/buena productividad entre sí; además no combinó zonas y variedades de mala productividad), afectó negativamente la productividad (destruyó valor) en el 39% de la cosecha (combinando zonas excelentes o buenas con variedades regulares o malas, o viceversa, o variedades regulares con zonas malas), no afectó la productividad del 23% de su cosecha (combinando zonas regulares con variedades regulares). Es decir, puede calificarse la gestión general como buena en un 12%, regular en un 23% y mala en un 39%; esta mezcla es la que origina el descenso en la media general de la sacarosa obtenida al combinar los efectos de zona y variedad, con respecto a la productividad individual de zonas y variedades.

La tabla 9 también permite explicar porqué a pesar de la clasificación de la variedad cc8475 como de inferiores tonelaje y rendimiento, para el ingenio las pruebas la cataloguen como de buena productividad: se sembró en las zonas 1c0, 2c0 y 1c1, con las mejores productividades.

6.2.5. El manejo de la Edad de Cosecha

De acuerdo a la teoría, a medida que aumenta la edad de la caña se incrementa el contenido de sacarosa, hasta un punto a partir del cual este se estabiliza. Sin embargo, la gráfica de las medias de sacarosa obtenida para los rangos de edades de cosecha estudiados, muestra una curva decreciente con tendencia de pendiente negativa en la sacarosa obtenida, para el rango estudiado, entre 10-14 meses de edad al cosechar, que se agudiza a partir de los 14 meses. Es decir, que entre los 9 y 11 meses de edad se obtuvieron las mejores productividades, antes o después de esta edades se presentan pérdidas de sacarosa total en la planta. Por otra parte, el diagrama de dispersión de la sacarosa obtenida en función de la edad confirma una leve tendencia neta negativa en el contenido de sacarosa a medida que aumenta la edad del cultivo cosechado.



FIGURA No. 1. TONELADAS DE SACAROSA OBTENIDA SEGÚN LA EDAD DE COSECHA, INGENIO 1999-2005

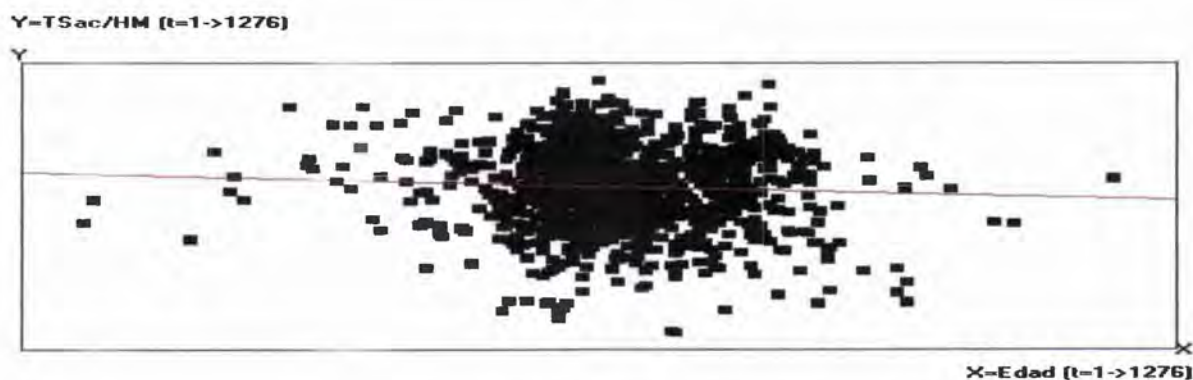


FIGURA No. 2. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE LA EDAD DE COSECHA, INGENIO 1999-2005

Combinando los resultados de la prueba y el modelo para la edad de cosecha, parece que el punto de cosecha está máximo a los (14) meses, a partir de allí el contenido total de sacarosa comienza a descender hasta los (16) meses que alcanza un mínimo.

Como el 96% de la muestra se cosechó entre los 11 y los 15 meses; el 75% entre 12 y 14 meses, se puede inferir una oportunidad de mejoramiento en el 25% de sus cultivos, cosechados a edades superiores a los 14 meses, o inferiores a (12),. Oportunidad clasificada como 11% bajo control y 14% fuera de su alcance, suponiendo que la cosecha antes de los (12) meses se debió a quemas criminales de los cultivos. En ambos casos, se perdió sacarosa total.

De acuerdo a la figura No. 3, la edad de cosecha de la caña en la industria azucarera colombiana, entre enero 1980-junio 2005; ha pasado de 17-18 meses, veinticinco años atrás, a 12-14 meses los últimos cinco. Este panorama evidencia un rápido ajuste del sector a los rangos establecidos por la prueba.

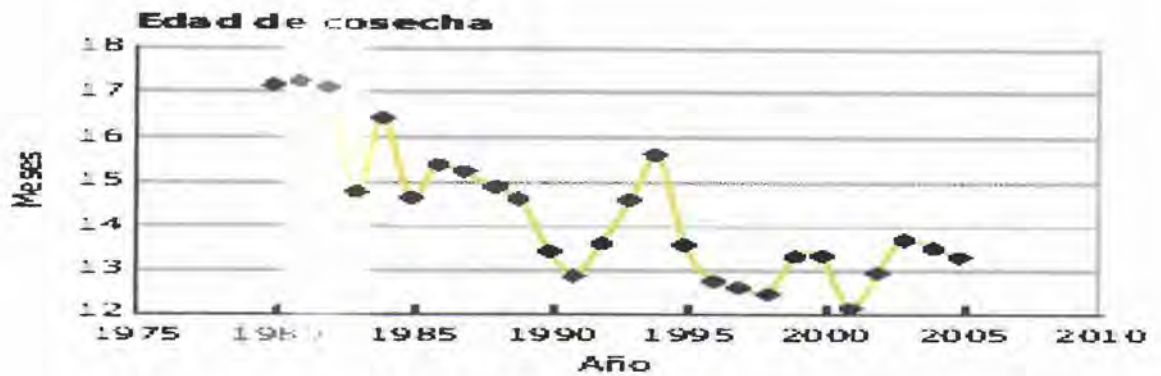


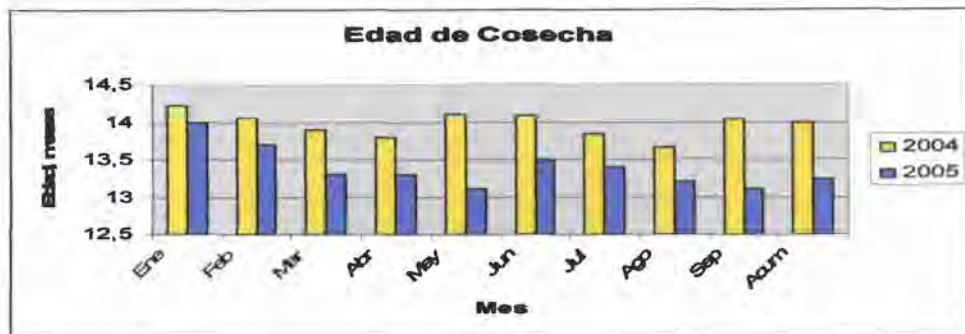
FIGURA No. 3. EDAD DE COSECHA DEL SECTOR, AZUCARERO
COLOMBIANO 1975-2005

Fuente: Carta trimestral v27, no.3 y 4 de 2005. Cenicaña

Según CENICAÑA⁴², la disminución de las toneladas de caña por hectárea se asocia con la cosecha de cañas de menor edad; lo cual nos lleva a establecer que cosechar antes de los 12 meses afecta más negativamente el tonelaje de caña cosechado que el rendimiento.



⁴² Palma, Alberto, Liliana Calero y Enrique Cortés. Producción de caña de azúcar en el valle del río Cauca entre enero y septiembre de 2005, pág.3-4.



**FIGURA No. 4. EVOLUCIÓN DE TCH Y EDAD, SECTOR AZUCARERO
COLOMBIANO 2004-2005**

6.2.6 La Ubicación del Cultivo respecto al Ingenio

La relevancia de la ubicación "Cerca/Lejos" del cultivo con respecto al ingenio, en el modelo, denota la importancia de las pérdidas de sacarosa debidas a permanencia de la caña en el cultivo después del corte y en los equipos durante su transporte y hasta la entrega a patios en la fábrica. El 76% de la muestra se ubica Lejos y la distribución teórica del ingenio define al 66% de los lotes del ingenio como Lejos; el esfuerzo en este punto recae sobre la logística del transporte de la caña y garantizar ningún almacenamiento en patios.

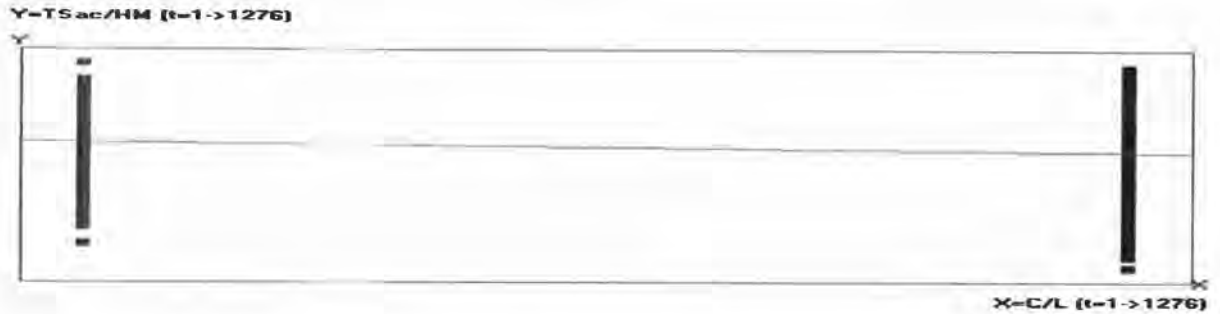


FIGURA No. 5. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE “CERCA/LEJOS” ,
INGENIO 1999-2005

6.2.7. El Pol Aparente

El 84% de la muestra se encuentra en el rango de pol del que se obtiene mayor sacarosa total, superior al 16 %caña y distribuido: 56% con productividad media y 27% con alta productividad; lo que constituye una fortaleza para el ingenio puesto que la sacarosa aparente observada en las muestras es una medida indirecta de la sacarosa total obtenida en el campo.

Tanto el diagrama de dispersión como el gráfico de las medias de pol de la caña muestran una tendencia a aumentar la sacarosa total obtenida con respecto al pol aparente de la caña.

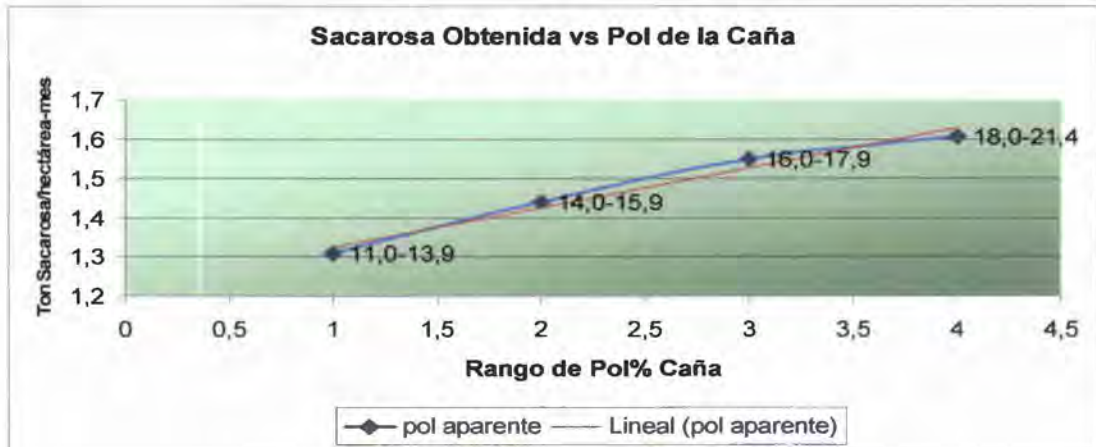


FIGURA No.6 – SACAROSA OBTENIDA EN FUNCIÓN DEL POL APARENTE MEDIDO, INGENIO 1999-2005



FIGURA No. 7. DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DEL POL APARENTE DE LA CAÑA, INGENIO 1999-2005

6.2.8. Lo controlable de El Clima

Como se puede observar en el Anexo 10, la prueba realizada a los años de siembra permitió validar la afirmación por parte de CENICAÑA acerca del

aumento en la productividad en la región debido a las características climáticas durante los años 2001 a 2004.

Tanto el diagrama de dispersión como el gráfico de las medias de sacarosa total obtenida muestran una tendencia a aumentar de un año a otro, a una tasa anual aproximada del 4% los últimos (3) años, pero no estadísticamente significativa. El único crecimiento estadístico notorio se presenta a partir del año 2002 en el cual a las condiciones climáticas normales se suma la aparición del fenómeno del niño. Por lo cual se puede establecer un efecto benigno al fenómeno, a considerar en caso de una simulación del modelo.

Por su parte, el modelo permitió establecer que las variables asociadas al clima, con excepción de temperatura media y precipitación, irradian su efecto a través de la zona agro ecológica. Por lo cual, la única variable a controlar en los cultivos, en el aspecto climático, es la precipitación, cuyo efecto negativo sobre los cultivos puede controlarse a través del balance hídrico semanal y la programación de riegos.

7. RECOMENDACIONES

El sector azucarero colombiano, y el ingenio objeto del estudio dentro de él, poseen dos oportunidades relevantes, por una parte, su ubicación en el valle geográfico del río Cauca, que posee la condición excepcional de presentar pronunciadas diferencias climáticas entre el día y la noche, condición necesaria para la concentración de sacarosa en la caña y que permite moler caña y producir azúcar a lo largo del año sin zafras, ventajas ambas que reducen comparativamente con otras zonas cañeras del mundo, los costos fijos de inversión en fábrica, equipos de campo y capital de trabajo por tonelada de caña producida, y por otra parte, las condiciones ya mencionadas aunadas a la notable fertilidad de los suelos hacen de la industria azucarera colombiana una de las cuatro más eficientes del mundo, en toneladas de caña por hectárea año y toneladas de azúcar por hectárea año. A su vez, sector e ingenio se enfrentan a serias amenazas en su entorno: aunque el experimento de fertilización y todo el trabajo que se ha venido desarrollando en el ingenio para incrementar la productividad tuvo su origen en la crisis del sector resultante de los precios internacionales más bajos observados para el azúcar entre 1999 y 2000, aun hoy la tendencia del precio mundial del azúcar continúa hacia la baja, sin indicios de una

recuperación en el corto y mediano plazo⁴³, la rentabilidad del producto depende del esquema de protección vigente, persisten las ampliaciones de capacidad de grandes productores de bajo costo, se observa una creciente participación de las mezclas alternativas de edulcorantes en el mercado, una sobreoferta y exceso de inventarios mundiales, y una productividad no competitiva del sector bajo los nuevos estándares de la industria internacional, entre otras. Una de las respuestas a todas estas amenazas ha sido una estrategia compartida del sector centrada en la captura de oportunidades de reducción de costos a lo largo de la cadena de valor y una gestión gerencial más orientada a productividad que a producción. Dentro de ese contexto una de las estrategias del ingenio se basa en lograr una mayor productividad del campo a través de una mayor cantidad de azúcar producida, sin aumentar el área sembrada de caña.

Un vistazo interno del ingenio, enfocado hacia al área en cuestión y sólo desde la perspectiva de productividad y costos, permiten una vez concluido el estudio establecer el siguiente panorama:

Fortalezas

1. Posee alrededor del 64% de sus cultivos en zonas agro ecológicas con TCHM y rendimientos superiores al promedio de la industria.

⁴³ McKinsey - Desarrollando una Estrategia Compartida en el Sector. Pág.10.

2. El 84% de la caña cultivada posee un pol aparente en el rango de productividad media y alta.
3. Posee una permanente retroalimentación por parte de entidades especializadas como CENICAÑA, encargadas de la investigación, el análisis y la divulgación de técnicas y resultados en el campo y la fábrica, para mejorar en el largo plazo las condiciones competitivas del sector.
4. El acceso a una perspectiva del mercado mundial del azúcar y alcohol, a un canal de comunicación con el gobierno y a la promoción de la evolución del sector, a través de ASOCAÑA.
5. La capacitación permanente de los técnicos del sector que permite una continua transferencia de tecnología, a través de TECNICAÑA y CENICAÑA.
6. El esfuerzo permanente de la Gerencia del ingenio por la capacitación técnica y administrativa del recurso humano y asistencia a foros de discusión y seminarios.
7. Una gran cantidad de datos recolectados del proceso, desde la preparación de las tierras y la siembra hasta los resultados obtenidos con esa caña en la fábrica, a lo largo de las tres últimas décadas.

Debilidades:

1. El 76% de los cultivos analizados se ubica Lejos del ingenio con las consecuentes pérdidas de sacarosa.

2. La falta de seguimiento permanente de los resultados de las acciones tomadas en el campo y el uso inexistente de herramientas estadísticas para el análisis de esa gran cantidad de datos recopilados.
3. La deficiente gestión administrativa de las variables que afectan la productividad del campo, evidenciada a través de las pruebas y modelos estadísticos establecidos y validados.
4. El débil conocimiento de las variables que realmente afectan la productividad del campo, la magnitud de su impacto y la sensibilidad del azúcar final obtenido con respecto a ellas.
5. La ausencia de un plan estratégico del área, alineado con el del ingenio y el del sector, y de metas claras acerca del resultado final deseado en cuanto a obtención de sacarosa y de cada una de las variables que afectan su productividad, y del seguimiento de los resultados obtenidos y la evaluación del desempeño logrado dentro del sector y a nivel mundial.
6. El poco uso de la gran cantidad de información que surten las entidades especializadas del sector y la escasa participación en programas piloto y experimentos que ellas promueven.
7. La casi nula participación de los mayordomos de las haciendas en el seguimiento, control y toma de decisiones alrededor del campo. Aunque constituyen el contacto directo del ingenio con el campo sólo se limitan a la ejecución operativa de labores culturales preexistentes sin detenerse a analizar los resultados obtenidos y a autoevaluar su

gestión técnica y administrativa, y menos a proponer planes de mejoramiento continuo.

8. La alta participación del tiempo del personal directivo del área y del ingenio en general en la gestión operativa, que restan capacidad administrativa y gerencial a la empresa.
9. Una toma centralizada de decisiones que dilata la respuesta a cambios en el entorno, la evaluación de gestión y el establecimiento oportuno de cursos de acción.
10. La especialización funcional que fragmenta información, metas, mediciones, y motivaciones, conducente a la obtención de logros individuales que no necesariamente corresponden al óptimo de la organización.

En este orden de ideas, tanto la metodología académica aplicada en el desarrollo del presente trabajo como los resultados obtenidos a través de los modelos estadísticos desarrollados y los modelos mismos, permiten alinear la gestión del campo con las estrategias organizacional y sectorial, a través de las siguientes recomendaciones:

1. Detener la destrucción de valor en la producción de sacarosa en la caña por fertilización, eliminar los costos y gastos en cultivos que no retornan el valor de esa inversión, y replantear estrategias y prácticas actuales, a través de las siguientes acciones:

- ✓ Suspender la aplicación de Boro y Zinc al suelo por su efecto negativo sobre la productividad de los cultivos y de Agrocab a las plantas de caña por su nulo efecto sobre la sacarosa total obtenida. Validar en el siguiente corte el efecto de las medidas adoptadas al tiempo que se revisan la metodología y condiciones de aplicación usadas contra las pruebas realizadas por otros ingenios, Cenicaña y proveedores del producto.
- ✓ Realizar un estudio detallado y comparativo de la metodología y condiciones definidas en el ingenio para la aplicación de elementos mayores (N, P, K, S) a los suelos y aquellas estudiadas y recomendadas por Cenicaña durante sus investigaciones para definir un curso de acción a seguir para lograr que la fertilización con esos elementos produzca el incremento teórico en productividad establecido en cada caso. Según Cenicaña⁴⁴ afectan la extracción de los elementos aplicados al suelo: el número de corte, la variedad sembrada, el tipo de suelo, la edad de aplicación y las dosis recomendadas difieren según sea el caso. Sin embargo, las condiciones de aplicación actuales en el ingenio son muy similares entre los estratos de suelos definidos, como se observa en la siguiente tabla:

⁴⁴ Quintero, Rafael. Extracción de nutrimentos por la caña de azúcar. Pág.4-7.

TABLA 15. APLICACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES EN EL INGENIO

ESTRATO	FERTILIZANTES y DOSIS EN Bultos/Hectárea		
	UREA(N)	PLANTILLA KCL (K)	SOCAS SFT, (P)
1	7		
2	8		
3	7	1	
4	8	1	
5	7	2	2
6	8	2	2
7	7	1	1

- ✓ Revisar igualmente metodología y condiciones de aplicación del madurante para lograr alcanzar el incremento teórico del 25% en sacarosa (actualmente un promedio del 11% en lotes sin fertilizar). Los factores teóricos que afectan el resultado son: variedad, edad suelo, humedad y tiempo entre la aplicación y el corte; sin embargo, en el ingenio se realiza aplicación de glifosato (8) semanas antes de cosechar el cultivo, considerando que, si la variedad aplicada es Puerto Rico 61632, la dosis es de 1.5 lts/Ha de glifosato con 0.75 lts/Ha de carrier y para el resto de variedades la dosis es de 1.25 lts/Ha de glifosato con 0.62 lts/Ha de carrier. Es recomendable también validar el cese en la destrucción del valor aportado por el madurante una vez suspendida las fertilizaciones al suelo y foliar.

- ✓ Revisar las condiciones de aplicación de riegos a los cultivos, pues aunque el valor t heterocedásticamente consistente del modelo para la variable, es levemente inferior a 1.96 para una confiabilidad del 95%, indica un efecto negativo sobre la sacarosa total obtenida, que sumado al efecto negativo que tiene en el modelo la variable precipitación (con un valor t HC alto, -3.44, y uno de los mayores pesos y elasticidades) indica que se agrava la situación de humedad en los cultivos. Es preciso anotar que los costos de levantamiento de socas en Brasil son cuatro veces menores que en Colombia, entre otros, por el mínimo riego, de acuerdo a estudios comparativos realizados⁴⁵.
2. Si el estudio de metodología y condiciones de aplicación de fertilizantes y madurante arroja resultados que indiquen un curso de acción de retoma del experimento, este debe ubicarse a nivel de fincas piloto que reflejen las condiciones de la totalidad de las existentes, y el proyecto en sí, como cualquier tipo de proyecto que se asigne en el área, debe ser objeto de un seguimiento y evaluación permanentes a través de las pruebas y modelos estadísticos ya establecidos, con responsables definidos y durante un lapso de tiempo específico, con una meta clara de retorno sobre la inversión.

⁴⁵ Cerón, H y Jaramillo G. Costos de producción de azúcar Colombia-Brasil, pág.44.

Una decisión acerca de la fertilización, sin embargo, debe tratarse de manera independiente del proyecto de mejora en el incremento de la productividad de sacarosa mediante el uso de madurante.

3. Trabajar más en equipo con CENICAÑA para aprovechar dos de sus mayores fortalezas: el gran acervo de información obtenido con resultados de investigación acerca de la siembra de diferentes variedades de caña en diversas zonas agro ecológicas con base en el índice de margen operacional, y que la selección, pruebas y producción de variedades que la misma entidad realiza anualmente se realiza en zonas agro ecológicas específicas de acuerdo a convenios con los mismos ingenios, orientados a obtener unas variedades comerciales de alta sacarosa, alta producción, resistentes a enfermedades y con otras características deseables. Ir de la mano con esta entidad permite por una parte reevaluar la gestión de siembra de variedades en las diferentes zonas agro ecológicas como está hecha actualmente, para realizar los ajustes necesarios, y por otra parte acceder a un amplio abanico de nuevas variedades ya comerciales con productividades superiores incluso que la CC8592 (CC87505, CC937513) para unas zonas agro ecológicas específicas, lo que le permitiría sustituir aquellas de baja y regular productividad que actualmente tiene sembradas el ingenio en las zonas agro ecológicas donde ubica sus cultivos (PR61631, V7151).

Dos de los factores que inciden en los menores costos de Brasil frente a Colombia son precisamente: la alta liberación de variedades comerciales y experimentación, aceptando mayores niveles de riesgo y el hecho de poseer dos instituciones de investigación⁴⁶, debe pues promoverse el establecimiento de fincas piloto en tierras del ingenio para probar tecnologías promisorias, con la participación activa de técnicos de los ingenios, productores de caña e investigadores de Cenicaña. Fincas establecidas en Incauca y Riopaila, por ejemplo, probaron tecnologías y variedades de manejo agronómico en condiciones difíciles de suelos arcillosos con alta humedad, e hicieron seguimiento al desarrollo y la producción de siete variedades en evaluación en su primera soca⁴⁷.

4. Validar la causa real de cosecha del 25% de los cultivos del ingenio a edades superiores a los 14 meses o inferiores a los 11 (quemadas criminales, por ejemplo), para definir un plan de acción respecto a esta oportunidad de mejora validada por el modelo. Puesto que la edad de cosecha posee en el modelo un peso muy significativo y una elasticidad muy alta, la recomendación está orientada, en este caso, a cosechar máximo a los (14) meses, balanceando curvas de maduración y la evaluación de los índices de madurez al momento de

⁴⁶ Cerón, H y Jaramillo G. **Costos de producción de azúcar Colombia-Brasil**, pág.46-47.

⁴⁷ Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. Informe Anual 2004.. **Op. Cit.** pág.8.

cosechar, pensando que a medida que se incrementa la edad, a partir de los 9 Meses y hasta este tope, se está creando valor en el campo.

5. Establecer procedimientos y contingencias orientados a minimizar los tiempos de permanencia de la caña cortada en los equipos de transporte y su almacenamiento en los patios de la fábrica, dadas la relevancia de la variable Ubicación del cultivo (Cerca/Lejos) respecto al ingenio en el modelo y la sensibilidad del modelo a ella.
6. Dado que el hecho de ubicar cultivos en las haciendas Maravelez, Esperanza, y Venecia incrementa sacarosa y que ubicarlos en las haciendas Estancia y fundungo la destruye, variables todas estas con pesos relevantes en el modelo y elasticidades altas (Esperanza), es prioritario desarrollar un estudio comparativo de las labores de adecuación y preparación de suelos, siembra, levantamiento y cosecha, realizadas en esos sitios y con las variedades que los tipifican, para establecer buenas y malas prácticas y definir una metodología estándar acorde a unas condiciones dadas.
7. Capacitar a los mayordomos en el manejo de herramientas de oficina (Hojas electrónicas, procesador de palabras) y de una estadística básica que les permitan analizar los datos sobre las actividades de campo del sistema, elaborar diagnósticos de la situación de su hacienda y proponer planes de acción a la gerencia, puesto que ellos son quienes están en contacto directo permanente con los cultivos durante todo el ciclo.

8. Promover el trabajo en equipo de los mayordomos y capacitar en el manejo de programas de mejoramiento continuo aplicados al campo basados en el ciclo PHVA: Planificar (desarrollar planes de acción para atacar problemas o mejorar situaciones), Hacer (implementarlos), Verificar (hacerles seguimiento permanente y evaluar los resultados obtenidos) y Actuar (detectar problemas o posibles mejoras en los procesos actuales y diagnosticarlos). Esta recomendación hacia el interior del ingenio alinea con las iniciativas estratégicas identificadas en la cadena de valor del sector por parte de un asesor externo⁴⁸: agricultura específica por sitio (AEPS) en el campo y transferencia de mejores prácticas en el campo y cosecha.

Puesto que la agricultura específica por sitio se define como el arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal de acuerdo con las condiciones espaciales y temporales del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su máximo rendimiento potencial, y el proyecto es liderado por Cenicaña en el sector para implementar estrategias de cooperación técnica y transferencia de tecnología con los productores de caña de azúcar con el objetivo de crear la cultura necesaria y facilitar su adopción, un trabajo mancomunado de directivos del área de campo del ingenio, mayordomos y Cenicaña, permitiría hacer transferencia de tecnología y mejores prácticas desde afuera del ingenio, al tiempo que se obtiene

⁴⁸ McKinsey . Desarrollando una Estrategia Compartida en el Sector. Pág.15.

el soporte adecuado para los programas de mejoramiento continuo abordados internamente.

9. Participación en la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología cuyo objetivo es desarrollar un programa de comunicación articulado entre Cenicaña, ingenios y proveedores de caña para impulsar la innovación tecnológica en las unidades productivas a través de metodologías grupales de transferencia, que se apoyan en el conocimiento e información, la difusión de los resultados de investigación y el diálogo en torno de las mejores prácticas utilizadas en la agroindustria según las características de cada sitio de cultivo⁴⁴.
10. Garantizar la alimentación permanente de los modelos estadísticos desarrollados con los resultados obtenidos en el campo y las características de cada corte.
11. Capacitar y promover el uso de las pruebas y modelos estadísticos utilizados en este trabajo por parte del personal de campo, para que visualicen continuamente evolución y tendencias de los parámetros que explican la sacarosa total obtenida, incorporen nuevas variables y excluyan otras ya existentes y autoevalúen por una parte, los resultados obtenidos en la gestión de cada parámetro, a nivel interno contra metas preestablecidas y a nivel externo frente al sector y a la competencia internacional y por otra, los planes de acción adoptados. Igualmente, el área de campo del ingenio esta en capacidad de analizar el efecto de cambios en las variables mas relevantes del

modelo, que estén bajo su control o por variaciones anormales en las condiciones externas, sobre la productividad, medida en términos de la sacarosa total que provee a la fábrica. Es decir, simular diferentes escenarios, pronosticar toneladas de sacarosa a producir, y realizar análisis de sensibilidad.

12. La metodología formal seguida durante el desarrollo de este proyecto para recoger información, depurarla, analizarla a través de herramientas estadísticas y paquetes de modelado existentes, la validación de los objetivos propuestos en el área a través de los resultados obtenidos, y el impacto sobre el desempeño global del ingenio y los cursos de acción a seguir, puede adoptarse como un marco de referencia para parte de la gestión y administración del área del campo en particular y otras áreas en general.

BIBLIOGRAFIA

ABBOTT LABORATORIES LA. *Ryzup Un Verdadero Promotor De Crecimiento Para Caña De Azúcar.* Cali. 1996.

ALONSO, Julio C. *Tutorial #1 EasyReg Internacional.* Cali. ICESI. 2004.

ALVARADO, Luis E y Olga L ARIAS. *Resultados Y Aplicaciones De La Agricultura Específica Por Sitio En Central Castilla SA.* Ingenio Central Castilla. 2000

AMAYA, Álvaro y Nohra PEREZ. *Política de Manejo de las Variedades Obtenidas por Cenicaña.* Carta Trimestral 4. Cali. Cenicaña. 2004.

ARCILA ARIAS, Jorge y Otros. *Efecto de la Aplicación de Abonos Foliares en la Recuperación de Plantaciones de Caña de Azúcar en Condiciones de Stress por Exceso de Humedad.* Cali. Cenicaña. 2000.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE TÉCNICOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. *Memorias Seminario Técnico Manejo De Suelos Y*

Fertilización En El Cultivo De La Caña De Azúcar. Monómeros Colombo – Venezolanos SA y Nutriabonos Ltda, 1998 - 1999

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE TÉCNICOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. *V Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar.* Cali. Nuevos Medios. 2000.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE TÉCNICOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. *VI Congreso Colombiano De La Asociación De Técnicos De La Caña De Azúcar; Volumen 1: Campo – Medio Ambiente.* Cali. Artes Gráficas Del Valle. 2003.

ASOCIACIÓN DE CULTIVADORES DE CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. *Aspectos Generales del Sector Azucarero.* Cali. Asocaña S.A. Informes 1999 a 2005

BARRERA SANDOVAL, Consuelo. *Informe De Ensayos, Ácido Giberélico.* Proquifar Ltda. 2001

BESOSA T, Ramiro. *Resultados En La Aplicación Del Fertilizante Foliar Agrocab Ag3, Departamento De Investigación Y Agronomía.* Ingenio Providencia. 2002.

CASSALETT, C; J TORRES e Isaacs C. EL CULTIVO DE LA CAÑA AZUCARERA DE COLOMBIA. Cali. Cenicaña. 1995.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA.
Carta Trimestral No.3 y 4, vol.24. Cali. Cenicaña. 2002

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA.
Carta Trimestral 4. Cali. Cenicaña. 2004

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA.
Carta Trimestral vol..23, No.2. Cali. Cenicaña. 2001

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA.
Carta Trimestral vol..27, No.3 y 4. Cali. Cenicaña. 2005

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZUCAR DE COLOMBIA.
Desarrollo de un Sistema Interactivo de Información en Web con el enfoque de Agricultura Específica Por Sitio. Serie Técnica No. 34. Cali. Cenicaña. 2004.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZUCAR DE COLOMBIA.
Informe anual 2003. Cali. Cenicaña. 2003.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZUCAR DE COLOMBIA.
Informe anual 2004. Cali. Cenicaña. 2004

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA.
Oportunidades Para Aumentar La Productividad De Campos Sembrados En Caña. Cali. Cenicaña. 2000

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZUCAR EN COLOMBIA,
Tonelaje o Rendimiento. Serie Técnica No. 13. Cali. Cenicaña. 1993.

DANE. Tasa Representativa Del Mercado.
www.dane.gov.co/inf_est/tasa_cambio.htm.

DISTRIBUIDORA QUÍMICA HOLANDA COLOMBIA SA. *Ácido Giberélico*
H.C, Holanda Colombia. Cali. 2002.

DISTRIBUIDORA QUÍMICA HOLANDA COLOMBIA SA. *Agrocab AG3*
Fertilizante Foliar. Cali. 2002.

GÓMEZ, Jaime. *Resultados Experimentos Fertilizantes Foliare.* Cali.
 Holanda Colombia. 2002.

HTTP://WWW.FERTIBERIA.COM. *EL Boro en el Suelo.* 2002

OSORIO, Carlos Andrés. *Comunicado De 18 Enero De 2006 Al Jefe De Cosecha.* Cali. Cenicaña. 2006.

LARRAHONDO, Jesus E y Carlos O BRICEÑO. *Una aproximación a la Reducción de las pérdidas de Sacarosa entre cosecha y molienda en el sector azucarero colombiano.* Serie Procesos Industriales. No.3. Cenicaña. 2004.

LIND, Douglas, William G MARCHAL y Samuel A WATHEN. *Estadística Aplicada a los Negocios y a la Economía.* 12ª. Edición. México. McGraw Hill. 2005

MCKINSEY. *Desarrollando Una Estrategia Compartida en el Sector.* Cali. 2002.

MICROFERTISA WF. *Manual Técnico.* Bogotá. 2001.

OROZCO C Biviana Y Otros. *Modelo Económico Para El Análisis De Los Sistemas De Cosecha.* Cali. Cenicaña – Manuelita. 2000.

PENAGOS LUNA, Carlos Alberto. *Respuesta a la Aplicación de Elementos Menores (B Y Zn) en Caña de Azúcar.* Ingenio Providencia. 2002.

PINDYCK Robert Y Daniel **RUBINFELD**. *Econometría: Modelos y Pronósticos*. 4ª Edición. México. McGraw-Hill. 2001

QUINTERO, Rafael. *Efecto de la Aplicación de Elementos Menores en Caña de Azúcar en suelos del Valle del Cauca*. Cali. Cenicaña. 2004.

QUINTERO, Rafael. *Extracción De Nutrimientos por la Caña de Azúcar*. Carta Trimestral No.2, Vol. 21. Cali. Cenicaña. 1999.

QUINTERO, Rafael. *Fertilización de la Caña de Azúcar*. Cali. Cenicaña. 2004.

QUINTERO, Rafael. *Interpretación del Análisis de suelo y Recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar*. Cali. Cenicaña. 1993.

QUINTERO, Rafael y Luz A **JARAMILLO**. *Pruebas de Manejo del Nitrógeno en Caña de Azúcar*. Serie Técnica No. 17. Cali. Cenicaña. 1995.

RANGEL, Hemando, Carlos **VIVEROS** y otros. *Evaluación Regional de Variedades: Análisis de los Resultados de dos Cortes*. Carta Trimestral No.2 Vol.23. Cali. Cenicaña. 2001.

RANGEL, Hernando y otros. *Nuevas Variedades de Caña de Azúcar: Un Reto Constante..* Informe Anual 2003. Cali. Cenicaña. 2004.

ROMHELD, V. y M. **EL-FOULY**. *Foliar Nutrient Application: Challenges And Limits In Crop Production*, Fertilizer Society Of Thailand. Bangkok. 1999

SALCEDO BORRERO, Santiago. *Análisis Económico del Aparente Resultado de Aplicar Agrocab 0.3 + Ryzup como Desarrollo con Bioestimulantes*. Palmira. 2002.

TORRES AGUAS, J. *Riegos*. Cali. Cenicaña. 1995.

TORRES, Jorge, Ricardo **CRUZ** y Fernando **VILLEGAS**. *Avances Técnicos para la Programación y el Manejo del Riego en Caña de Azúcar*. Serie Técnica No.33. 2ª. Ed. Cali. Cenicaña. 2003.

TORRES J. S. y Otros. *Grupos De Humedad Para El Manejo Del Cultivo En Condiciones Dificiles*. Cali. Cenicaña. 2000

VILLAVECES, RICARDO. *Intervención Del Presidente De Asocaña En La Xli Asamblea General De Asocaña*. Cali. Asocaña. 2002

VILLEGAS, Fernando, Jorge TORRES. *El Madurante Y La Producción.* Serie Divulgativa No.2. Cali. Cenicaña. 1993.

VILLEGAS, Fernando, Jorge ARCILA. *Maduradores en Caña de Azúcar. Manual de Procedimientos y Normas para su Aplicación..* Serie Técnica No. 32. Cali. Cenicaña. 2003.

VICTORIA, Jorge, Hernando RANGEL y Carlos VIVEROS. *Panorama Actual de Variedades en la Industria Azucarera Colombiana..* Carta Trimestral No. 3 y 4. vol. 24.. Cali. Cenicaña. 2002.

WHITE, H. *A Heteroskedasticity-Consisten Covariance Matriz Estimator And A Direct Test For Heteroskedasticity, Econometrita, Vol.48, Pp.817-838,* 1980.

ANEXOS

ANEXO 1

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA
FERTILIZACIÓN FOLIAR Y DE SUELOS**

Primer Análisis, todos los lotes

Formulación de Hipótesis para análisis de la Varianza en una Dirección:

Hipótesis Nula, H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento:

$$\mu_{NN} = \mu_{NA} = \mu_{NB} = \mu_{NC} = \mu_{SN} = \mu_{SA} = \mu_{SB}$$

Hipótesis alternativa, H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

NN	NA	NB	NC	SA	SB	SN	Total	
1276	72	38	5	359	10	174	1934	Observaciones
1,5470	1,5659	1,4822	1,7411	1,5431	1,3936	1,4528	1,5370	Media TSac/HM
Tabla ANOVA: $F_{6,1927,99\%} = 2.8$, $F_{6,1927,95\%} = 2.1$								
				Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F	
Tratamientos			1,9636		6	0,3272	3.44	
Error			183,0903		1927	0,0950	-	
Total			185,0538		1933	-	-	

Primer Análisis, una dirección, sin lotes antes del experimento,

:NN	NA	NB	NC	SA	SB	SN	Total	
359	72	38	5	359	10	174	1017	Observaciones
1,6352	1,5659	1,4822	1,7411	1,5431	1,3936	1,4528	1,5590	Media TSac/HM

Tabla ANOVA: $F_{6,1017,99\%} = 2.8$, $F_{6,1017,95\%} = 2.1$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	4,8059	6	0,80098	9,71
Error	83,3373	1010	0,08251	-
Total	88,1432	1016	-	-

Primer análisis, dos direcciones, tratamientos y zonas agro ecológicas;
formulación de Hipótesis para análisis de la Varianza:

1. H0: Las medias de tratamiento son iguales

$$\mu_{NN} \equiv \mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

2. H0: Las medias de los bloques (zonas agro ecológicas) son iguales

$$\mu_{1C0} \equiv \mu_{1C1} \equiv \mu_{2C0} \equiv \mu_{2C1} \equiv \mu_{6C0} \equiv \mu_{6C1} \equiv \mu_{6C2} \equiv \mu_{10C0} \equiv \mu_{10C1}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada zona agro ecológica



		Tratamiento						Total
		NN	NA	NB	SA	SN		
Zona Agro ecológica	1C0	1,72627	1,13901	1,57857	1,5865	1,6217	-	
	1C1	1,58538	1,47689	1,48896	1,6435	1,4873	-	
	2C0	1,62623	1,66158	1,61186	1,6062	1,4811	-	
	2C1	1,36569	1,65649	1,51384	1,5052	1,4046	-	
	6C0	1,48435	1,58142	1,61981	1,5178	1,4668	-	
	6C1	1,50224	1,41619	1,44646	1,5227	1,4583	-	
	6C2	1,21921	1,16358	1,13505	1,1275	1,3989	-	
	10C0	1,55828	1,63899	1,52414	1,581	1,5467	-	
	10C1	1,27886	1,21602	1,33286	1,3344	1,2334	-	
Observaciones	-	9	9	9	9	9	45	
Media	-	1,48295	1,43891	1,47239	1,4916	1,4554	1,468	

Tabla ANOVA: $F_{4,32,99\%} = 3.97$, $F_{4,32,95\%} = 2.67$; $F_{8,32,99\%} = 3.12$, $F_{8,32,95\%} = 2.24$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,0163	4	0,0041	0,35
Bloqueos	0,7167	8	0,0896	7,63
Error	0,3755	32	0,0117	-
Total	1,1084	44	-	-

Primer análisis, dos direcciones, tratamientos y variedades de caña;
formulación de Hipótesis para análisis de la Varianza:

1. H0: Las medias de tratamiento son iguales

$$\mu_{NN} \equiv \mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

2. H0: Las medias de los bloques (variedades) son iguales

$$\mu_{CC8475} \equiv \mu_{CC8592} \equiv \mu_{PR61632} \equiv \mu_{V7151}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada variedad

		Tratamiento					Total
		NN	NA	NB	SA	SN	
variedad	CC8475	1,5583	1,7065	1,5875	1,63236	1,5740	-
	CC8592	1,7050	1,6540	1,5015	1,56269	1,4294	-
	MZC74275	1,4205	1,3259	1,4332	1,60319	1,3259	-
	PR61632	1,3127	1,3441	1,2000	1,48524	1,3485	-
	V7151	1,4213	1,5292	1,6206	1,48552	1,4595	-
Observaciones	-	5	5	5	5	5	25
Media	-	1,48358	1,51194	1,46856	1,5538	1,42745	1,48907

Tabla ANOVA: $F_{4,16,99\%} = 4.77$, $F_{4,16,95\%} = 3.01$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,0448	4	0,0112	1,32
Bloqueos	0,2461	4	0,06151	7,26
Error	0,1356	16	0,00847	-
Total	0,4265	-	-	-

Segundo análisis, 373 lotes fertilizados y sus testigos, uno a uno

Formulación de Hipótesis para la prueba en una dirección:

H0 Las medias de las diferencias en toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento:

$$\mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{NC} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA} \equiv \mu_{SB}$$

H1: No todas las medias de las diferencias en toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

Tratamiento							
NA	NB	NC	SN	SA	SB	Total	
43	26	2	88	209	5	373	Observaciones
-0,04460	-0,05124	0,33443	-0,09515	-0,05361	-0,05840	-0,06019	Media

Tabla ANOVA: $F_{5,367,99\%} = 3.02$, $F_{5,367,95\%} = 2.21$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,44063	5	0,08812698	0,74
Error	43,54197	367	0,11864297	-
Total	43,9826051	372	-	-

Segundo análisis, dos direcciones, tratamientos y zonas agro ecológicas:

Conjuntos de pruebas de hipótesis para la diferencia en sacarosa:

1. H0: Las medias de diferencias en tratamiento son iguales

$$\mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA}$$

H1: No todas las medias de diferencias en toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

2. H0: Las medias de las zonas agro ecológicas son iguales

$$\mu_{1C1} \equiv \mu_{2C0} \equiv \mu_{2C1} \equiv \mu_{6C0} \equiv \mu_{6C1} \equiv \mu_{10C0}$$

H1: No todas las medias en las diferencias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada zona agro ecológica

		NA	NB	SN	SA	Media
Zona Agro ecológica	10C0	-0,042303	-0,216175	-0,095030	0,063864	-0,072411
	1C0	-0,686490	-0,488451	-0,086165	-0,104948	-0,341514
	2C0	-0,225683	0,427501	-0,132775	-0,179975	-0,027733
	2C1	-0,246819	-0,065586	0,150005	0,131045	-0,007839
	6C0	0,014111	0,078606	-0,073997	-0,007588	0,002783
	6C1	0,228956	-0,005764	-0,106870	-0,098215	0,004527
	Total Columna	-0,95823	-0,26987	-0,34483	-0,19582	-1,76875
	Observaciones	6	6	6	6	24
Media	-0,15970	-0,04498	-0,05747	-0,03264	-0,07370	

Tabla ANOVA: $F_{3,15,99\%} = 5.42$, $F_{5,15,95\%} = 3.29$ $F_{5,15,99\%} = 4.56$, $F_{5,15,95\%} = 2.90$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,06103	3	0,0203427	0,42857
Bloqueos	0,36058	5	0,0721164	1,51931
Error	0,71200	15	0,0474664	-
Total	1,13361	23	-	-

Segundo análisis, dos direcciones, tratamientos y variedades de caña:

Conjuntos de pruebas de hipótesis para la diferencia en sacarosa:

1. H_0 : Las medias de tratamiento son iguales $\mu_{NN} \equiv \mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA}$

H1: No todas las medias de diferencias en toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

2. H0: Las medias de las variedades) son iguales

$$\mu_{CC8475} = \mu_{CC8592} = \mu_{PR61632} = \mu_{V7151}$$

H1: No todas las medias de diferencias en toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada variedad

VARIEDAD	TRATAMIENTO				
	NA	NB	SN	SA	Media
CC8475	0,4863372	0,01834086	0,0115597	0,1830164	0,1748135
CC8592	-0,1446683	-0,04711617	-0,1674142	-0,1133500	-0,1181372
PR61632	-0,0011081	-0,35050310	0,1833003	0,1020372	-0,0165684
V7151	-0,0750936	-0,05908728	-0,0248101	-0,0889582	-0,0619873
Total Columna	0,2654671	-0,43836570	0,0026356	0,0827453	-0,0875175
Observaciones	4	4	4	4	16
Media	0,0663667	-0,10959142	0,0006589	0,0206863	-0,0054698

Tabla ANOVA: $F_{3,9,99\%} = 6.99$, $F_{3,9,95\%} = 3.86$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,17460	3	0,05820108	2,03
Bloqueos	0,19405	3	0,06468461	2,26
Error	0,25761	9	0,02862342	-
Total	0,62627	15	-	-

Tercer análisis en una dirección, 373 lotes fertilizados y sus testigos, por grupos:

Formulación de Hipótesis en una dirección:

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas

para cada tratamiento. $\mu_{NN} \equiv \mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{NC} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA} \equiv \mu_{SB}$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

Tratamiento							
NN	NA	NB	NC	SN	SA	SB	Total
373	43	26	2	88	209	5	746
1,58845	1,61611	1,53560	1,78689	1,46504	1,53713	1,37319	1,55836

Tabla ANOVA: $F_{6,739,99\%} = 2.80$, $F_{6,739,95\%} = 2.10$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	1,630986	6	0,271831	3,74
Error	53,645527	739	0,072592	-
Total	55,276513	745	-	-

Tercer análisis, dos direcciones, tratamientos y zonas agro ecológicas; conjuntos de pruebas de hipótesis para la diferencia en sacarosa:

1. H0: Las medias de tratamiento son iguales $\mu_{NN} \equiv \mu_{NA} \equiv \mu_{NB} \equiv \mu_{SN} \equiv \mu_{SA}$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

2. H0: Las medias de las zonas agro ecológicas son iguales

$$\mu_{1C0} \equiv \mu_{2C0} \equiv \mu_{2C1} \equiv \mu_{6C0} \equiv \mu_{6C1} \equiv \mu_{10C0}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada zona agro ecológica

		TRATAMIENTO					Media
		NN	NA	NB	SN	SA	
Zona agro ecológica	10C0	1,58920	1,65776	1,52414	1,43961	1,60745	1,56363
	1C0	1,75492	1,13900	1,57856	1,77532	1,61301	1,57216
	2C0	1,72481	1,72681	1,81171	1,49147	1,59540	1,67004
	2C1	1,45067	1,46686	1,47558	1,36233	1,73764	1,49862
	6C0	1,53000	1,59202	1,68750	1,47387	1,51980	1,56064
	6C1	1,56772	1,70483	1,53998	1,44374	1,47637	1,54653
	Total Columna	9,61734	9,28730	9,61749	8,98636	9,54970	47,05821
Observaciones	6	6	6	6	6	30	
Media	1,60289	1,54788	1,60291	1,49772	1,59161	1,56860	

Tabla ANOVA: $F_{4,20,99\%} = 4.43$, $F_{4,20,95\%} = 2.87$ $F_{5,20,99\%} = 4.10$, $F_{5,20,95\%} = 2.71$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,08527	4	0,0213181	0,93
Bloqueos	0,07888	5	0,0157759	0,69
Error	0,45393	20	0,0226964	
Total	0,61808	29		

Tercer análisis, dos direcciones, tratamientos y variedades de caña; conjuntos de pruebas de hipótesis para la diferencia en sacarosa:

1. H0: Las medias de tratamiento son iguales $\mu^{NN} \equiv \mu^{NA} \equiv \mu^{NB} \equiv \mu^{SN} \equiv \mu^{SA}$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

2. H0: Las medias de las variedades son iguales

$$\mu^{CC8475} \equiv \mu^{CC8592} \equiv \mu^{PR61632} \equiv \mu^{V7151}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada variedad

		TRATAMIENTO					Media
		NN	NA	NB	SN	SA	
VARIEDAD	CC8475	1,51675	1,94082	1,58750	1,64153	1,64430	1,66618
	CC8592	1,67192	1,67364	1,62505	1,44959	1,55863	1,59573
	PR61632	1,35263	1,39978	1,03425	1,50575	1,46650	1,35178
	V7151	1,53651	1,51964	1,60876	1,43324	1,46357	1,51234
Total Columna		6,07782	6,53388	5,85557	6,03014	6,13302	30,6304
Observaciones		4	4	4	4	4	20
Media		1,51945	1,63347	1,46389	1,50753	1,53325	1,53152

Tabla ANOVA: $F_{4,12,99\%} = 5.41$, $F_{4,12,95\%} = 3.26$ $F_{3,12,99\%} = 5.95$, $F_{3,12,95\%} = 3.49$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	0,06277	4	0,0156914	0,79684
Bloqueos	0,27467	3	0,09155547	4,64938
Error	0,23630	12	0,01969199	-
Total	0,57374	19	-	-

ANEXO 2

**MATRIZ DE INTERVALOS DE CONFIANZA PARA DIFERENCIAS ENTRE
MEDIAS DE TRATAMIENTOS DEL PRIMER ANÁLISIS SOBRE
FERTILIZACIÓN**

Significancia		Matriz de Intervalos de Confianza para 1927 GL, t=2.58 (99%), t=1.96 (95%)												
		NN	NA	NB	NC	SA	SB	SN						
NN	1%		0,077281	-0,1151	0,106630	-0,0659	0,161694	-0,5409	0,05133	-0,0435	0,405453	-0,0987	0,1594	0,03006
	5%		0,054281	-0,0921	0,104281	-0,0346	0,076612	-0,46462	0,03999	-0,0322	0,345173	-0,03842	0,14305	0,0464
NA	1%	0,07728	-0,1151		0,242938	-0,0755	0,192023	-0,54243	0,12533	-0,0797	0,440241	-0,0959	0,22439	0,00186
	5%	0,05428	-0,0921		0,204866	-0,0374	0,104208	-0,46461	0,10081	-0,0552	0,376163	-0,03161	0,19779	0,02847
NB	1%	0,19554	-0,0659	0,242938	-0,0755		0,118814	-0,63667	0,07452	-0,1964	0,370756	-0,19366	0,17158	-0,1128
	5%	0,16428	-0,0346	0,204866	-0,0374		0,028484	-0,54634	0,04213	-0,164	0,303272	-0,12617	0,13758	-0,0788
NC	1%	0,16169	-0,5409	0,192023	-0,5424	0,118814	-0,6367		0,55556	-0,1596	0,782387	-0,08743	0,6485	-0,0718
	5%	0,07661	-0,4646	0,104208	-0,4546	0,028484	-0,5463		0,47006	-0,0741	0,678387	0,01657	0,56237	0,01429
SA	1%	0,05133	-0,0435	0,125326	-0,0797	0,074524	-0,1964	0,555563	-0,15957		0,404049	-0,10509	0,16368	1,46977
	5%	0,03999	-0,0322	0,100809	-0,0552	0,042132	-0,164	0,470058	-0,07405		0,345174	-0,04421	0,14614	0,03453
SB	1%	0,40545	-0,0987	0,440241	-0,0957	0,370756	-0,1937	0,782387	-0,08743	0,40405	-0,1051		0,19906	-0,3174
	5%	0,34517	-0,0384	0,376163	-0,0316	0,303272	-0,1262	0,678387	0,01657	0,34317	-0,0442		0,13732	-0,2556
SN	1%	0,1594	0,03006	0,224394	0,00186	0,171582	-0,1128	0,648498	-0,07184	0,16368	1,46977	0,199061	-0,31736	
	5%	0,14305	0,0464	0,197797	0,02847	0,137582	-0,0788	0,562371	0,01429	0,14614	0,03453	0,137315	-0,25561	

ANEXO 3
RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA
APLICACIÓN DE MADURANTE

Primer Análisis, todos los lotes no fertilizados

Formulación de hipótesis:

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento $\mu_{NN} \equiv \mu_{NM}$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

Tratamientos de lotes sin Fertilizar			
	NM	NN	Total
Observaciones	931	345	1276
Media	1,59042036	1,42988429	1,54701524

Tabla ANOVA: $F_{1,1274,99\%} = 6.63$, $F_{1,1274,95\%} = 3.84$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	6,4873	1	6,48729088	62,53
Error	132,1783	1274	0,10375066	-
Total	138,6656	1275	-	-

Segundo Análisis, todos los lotes, fertilizados y no fertilizados

Formulación de hipótesis:

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas

para cada tratamiento $\mu_{NN} \equiv \mu_{NM} \equiv \mu_{FN} \equiv \mu_{FM}$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

	Tratamientos				
	FM	FN	NN	NM	Total
Observaciones	463	195	345	931	1934
Media	1,54885558	1,44285238	1,42988429	1,59042036	1,53695335

Tabla ANOVA: $F_{3,1930,99\%} = 3.78$, $F_{3,1930,95\%} = 2.60$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	8,4088	3	2,80292951	30,62
Error	176,6451	1930	0,09152594	-
Total	185,0538	1933	-	-

Prueba con base en la distribución t para Aplicación de Madurante

		Tratamientos 1274 GL, t=2.58 (99%), t=1.96 (95%)						
Significancia		FM	FN	NN		NM		
FM	1%		0,17264	0,03937	0,17448	0,06346	0,00282	-0,08595
	5%		0,15662	0,05538	0,16114	0,07680	-0,00784	-0,07529
FN	1%				0,08290	-0,05696	-0,08610	-0,20904
	5%				0,06609	-0,04016	-0,10087	-0,19427
NN	1%						-0,11134	-0,20973
	5%						-0,12316	-0,19791
NM	1%							
	5%							

Tercer Análisis, solo lotes fertilizados y sus testigos:

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas

$$\text{para cada tratamiento } \mu_{NN} = \mu_{NM} = \mu_{FN} = \mu_{FM}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada tratamiento.

Tratamientos					
	FM	FN	NM	NN	Total
Observaciones	288	85	288	85	746
Media	1,49541594	1,63956064	1,582101622	1,60996557	1,55835762

Tabla ANOVA $F_{3,742,99\%}=3.78$, $F_{3,742,95\%}=2.60$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	1,86659	3	0,62219762	8,6439
Error	53,40992	742	0,07198102	-
Total	55,2765132	745	-	-

		Tratamientos			
Significancia		FM	FN	NM	NN
FM	1%		-0,05883 -0,22946	-0,02909 -0,14428	-0,02924 -0,19986
	5%		-0,07923 -0,20906	-0,04286 -0,13051	-0,04964 -0,17946
FN	1%			0,14277 -0,02785	0,13561 -0,07642
	5%			0,12237 -0,00745	0,11026 -0,05107
NM	1%				0,05745 -0,11317
	5%				0,03705 -0,09277
NN	1%				
	5%				

ANEXO 4

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA ZONAS AGROECOLÓGICAS. LOTES NO FERTILIZADOS

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada zona:

$$\mu_{10C0} = \mu_{10C1} = \mu_{1C0} = \mu_{1C1} = \mu_{1C2} = \mu_{2C0} = \mu_{2C1} = \mu_{2C2} = \mu_{3C1} = \mu_{5C1} = \mu_{5C2} = \mu_{6C0} = \mu_{6C1} = \mu_{6C2} = \mu_{8C0} = \mu_{9C1}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada zona

	ZONAS AGRO ECOLÓGICAS																
	10C0	10C1	1C0	1C1	1C2	2C0	2C1	2C2	3C1	5C1	5C2	6C0	6C1	6C2	8C0	9C1	Ta
Observaciones	91	31	194	39	4	200	60	7	2	12	3	387	176	17	10	43	12
Media	1,55828	1,27886	1,72627	1,58538	1,27467	1,62623	1,36569	1,30329	0,94960	1,54146	1,36868	1,48435	1,43957	1,21921	1,78867	1,68502	1,538
% Participación	7,13%	2,43%	15,20%	3,06%	0,31%	15,67%	4,70%	0,55%	0,16%	0,94%	0,24%	30,33%	13,79%	1,33%	0,78%	3,37%	100,00%

Tabla ANOVA $F_{15,1260,99\%}=2.04$, $F_{15,1260,95\%}=1.67$

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	16,7307	15	1,115382447	11,83
Error	118,8046	1260	0,094289373	-
Total	135,5353	1275	-	-

La distribución de las zonas agro ecológicas observada en la muestra objeto de análisis es muy similar a la reportada por CENICAÑA para el ingenio⁴⁹, lo cual permite garantizar la cobertura de la población a través de la muestra seleccionada, para efectos de conclusiones acerca del manejo de las zonas en el ingenio.

TABLA 16. DISTRIBUCIÓN DE LAS TIERRAS DEL INGENIO. Enero 2006

Zona Agro ecológica	Área (ha)	% participación	% Muestra
10c0	439,37	11,60%	8,68%
10c1	96,61	2,55%	2,84%
1c0	372,749	9,84%	11,84%
1c1	176,846	4,67%	4,24%
1c2	8,675	0,23%	0,41%
2c0	529,35	13,98%	15,56%
2c1	142,022	3,75%	5,48%
2c2	22,46	0,59%	0,62%
3c1	1,377	0,04%	0,21%
4c0	3,295	0,09%	0,00%
5c1	35,168	0,93%	0,72%
5c2	40,722	1,08%	0,36%
6c0	1175,645	31,04%	28,85%
6c1	493,55	13,03%	15,25%
6c2	74,082	1,96%	1,55%
8c0	71,877	1,90%	1,03%
9c1	103,52	2,73%	2,48%
Total	3787,318	100,00%	100,00%

⁴⁹ Osorio Carlos Andrés, CENICAÑA, **Comunicado de 18 enero de 2006 al Jefe de Cosecha.**

Los resultados de la prueba ANOVA en una dirección indican que, para significancias del 1% y del 5%, existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa obtenidas por hectárea-Mes, para algunas zonas.

A partir de la matriz de intervalos de confianza obtenida de la prueba con base en la distribución t, se puede concluir que existe una diferencia importante (con la confianza indicada) solo entre las medias de las siguientes zonas:

$$\mu_{10C0} > \mu_{10C1}, \mu_{2C1}, \mu_{2C2}, \mu_{3C1}, \mu_{6C0}, \mu_{6C1}, \mu_{6C2}, \mu_{1C2}$$

$$\mu_{10C0} < \mu_{1C0}, \mu_{2C0}, \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{10C1} < \mu_{1C0}, \mu_{1C1}, \mu_{2C0}, \mu_{5C1}, \mu_{6C0}, \mu_{6C1}, \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{1C0} > \mu_{1C1}, \mu_{1C2}, \mu_{2C0}, \mu_{2C1}, \mu_{2C2}, \mu_{3C1}, \mu_{6C0}, \mu_{6C1}, \mu_{6C2}, \mu_{5C1}, \mu_{5C2}$$

$$\mu_{1C1} > \mu_{2C1}, \mu_{2C2}, \mu_{3C1}, \mu_{6C1}, \mu_{6C2}, \mu_{1C2}, \mu_{6C0}$$

$$\mu_{1C1} < \mu_{8C0}$$

$$\mu_{1C2} < \mu_{2C0}, \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{2C0} > \mu_{2C1}, \mu_{2C2}, \mu_{3C1}, \mu_{6C0}, \mu_{6C1}, \mu_{6C2}$$

$$\mu_{2C1} < \mu_{6C0}, \mu_{8C0}, \mu_{9C1}, \mu_{5C1}$$

$$\mu_{2C1} > \mu_{3C1}, \mu_{6C2}$$

$$\mu_{2C2} < \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{3C1} < \mu_{5C1}, \mu_{6C0}, \mu_{6C1}, \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{5C1} > \mu_{6C2}$$

$$\mu_{5C2} < \mu_{8C0}$$

$$\mu_{6C0} > \mu_{6C2}$$

$$\mu_{6C0} < \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{6C1} > \mu_{6C2}$$

$$\mu_{6C1} < \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

$$\mu_{6C2} < \mu_{8C0}, \mu_{9C1}$$

Es decir, con una confianza del 99% se puede afirmar que:

1. Las zonas con medias de sacarosa estadísticamente iguales 8c0 (1.7887), 9c1 (1.6850) y 1c0 (1.7262), poseen la mayor media en toneladas de sacarosa /hectárea-mes de las 16 zonas, una productividad sobresaliente.
2. Las zonas con medias de sacarosa estadísticamente iguales 10c1 (1.2788), 1C2 (1.2747), 2c1 (1.3557), 2c2 (1.3033), 3c1 (0.9496), 5c2 (1.3687) y 6c2 (1.2192), poseen la menor media en toneladas de sacarosa /hectárea-mes de todas las zonas.
3. La zona 2c0 (1.6262) posee una media que supera estadísticamente a todas las demás zonas, excepto a 1c0 la mayor y a las zonas 1c1 (1.5853) y 5c1 (1.5414) de las que no se diferencia; lo cual ubica en un segundo lugar en productividad (buena) a 1c1 y 2c0.
4. La media de la zona 10c0 (1.5582) supera estadísticamente todas las demás zonas excepto a las mejores y a las que ocupan el segundo lugar en productividad; no se diferencia de 1c1 y 5c1; lo que la ubica en un tercer lugar en productividad, regular.
5. La media de las mejores zonas está entre 23 y 47% por encima de las peores y entre 4 y 10% por encima de la que ocupa el segundo lugar en productividad

Puesto que el 12.3% de la variación total en sacarosa obtenida es explicado por la zona agro ecológica en la que se siembra, esta variable se incorpora al modelo.

ANEXO 5

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA

VARIETADES DE CAÑA. LOTES NO FERTILIZADOS

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada variedad:

$$\mu_{CC8475} = \mu_{CC8592} = \mu_{PR61632} = \mu_{V7151} = \mu_{MZC8211} = \mu_{MZC74275} = \mu_{MEZCLA} = \mu_{CC892000} = \mu_{CC87434} = \mu_{CC8568}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada variedad

Tabla ANOVA $F_{9,2266,99\%}=2.41$ $F_{9,1266,95\%}=1.88$				
	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	25,9025	9	2,87805207	32,31
Error	112,7632	1266	0,08907043	-
Total	138,6656	1275	-	-

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LAS VARIETADES DE CAÑA SEMBRADAS

Significancia	V7151	PR61632	MZC8211	MZC74275	MEZCLA	CC892000	CC87434	CC8592	CC8568	CC8475
V7151	5%	0,16459 - 0,24641	0,41409 - 0,38205	0,06339 - 0,06175	-0,08934 - 0,27826	0,31120 - 0,26362	-0,00877 - 0,23127	-0,24260 - 0,32470	0,14724 - 0,23240	-0,08248 - 0,19152
	1%	0,18139 - 0,02861	0,52631 - 0,40427	0,08103 - 0,07939	-0,06271 - 0,30489	0,39081 - 0,33324	0,02602 - 0,26305	-0,23101 - 0,33637	0,20075 - 0,28591	-0,06711 - 0,20889
PR61632	5%		0,31090 - 0,48886	-0,03097 - 0,17740	-0,18696 - 0,39063	0,20875 - 0,36117	-0,10463 - 0,34251	-0,33271 - 0,44468	0,04601 - 0,34117	-0,17553 - 0,30847
	1%		0,51261 - 0,00180	-0,01033 - 0,19804	-0,15827 - 0,41934	0,28808 - 0,44150	-0,07099 - 0,37805	-0,31692 - 0,46046	0,10059 - 0,39575	-0,15679 - 0,32721
MZC8211	5%			0,38514 - 0,41553	0,20672 - 0,00838	0,40868 - 0,47314	0,27684 - 0,54671	0,09783 - 0,69725	0,38002 - 0,40721	0,24614 - 0,55217
	1%			0,49800 - 0,52839	0,32133 - 0,72097	0,63567 - 0,61012	0,39256 - 0,66163	0,20991 - 0,80833	0,50067 - 0,62087	0,35667 - 0,66470
MZC74275	5%				0,08165 - 0,26991	0,31356 - 0,25783	0,00117 - 0,23984	-0,23597 - 0,24385	0,15113 - 0,23793	0,07967 - 0,20697
	1%				-0,06182 - 0,31742	0,39408 - 0,33814	0,03514 - 0,27382	-0,20870 - 0,36033	0,20597 - 0,29277	-0,04018 - 0,22646
MEZCLA	5%					0,50682 - 0,08164	0,20503 - 0,07447	-0,00786 - 0,19212	0,34822 - 0,06578	0,14575 - 0,05214
	1%					0,58977 - 0,16459	0,24443 - 0,11386	0,01834 - 0,21812	0,40898 - 0,12413	0,17364 - 0,08003
CC892000	5%						0,15330 - 0,44791	-0,03081 - 0,59415	0,26680 - 0,40854	0,11815 - 0,44673
	1%						0,23804 - 0,53265	0,04860 - 0,67356	0,38085 - 0,50359	0,19820 - 0,52977
CC87434	5%							-0,05426 - 0,27806	0,29180 - 0,14002	0,09805 - 0,13501
	1%							-0,02303 - 0,30732	0,36278 - 0,20090	0,13090 - 0,16786
CC8592	5%								0,42883 - 0,05239	0,19725 - 0,08614
	1%								0,48303 - 0,00081	0,21150 - 0,08189
CC8568	5%									0,09767 - 0,28651
	1%									0,15182 - 0,34066
CC8475	5%									
	1%									

		VARIETADES DE CAÑA										
		V7151	PR61632	MZC8211	MZC74275	MEZCLA	CC892000	CC87434	CC8592	CC8568	CC8475	TOTAL
Total Columna		424,98025	165,85852	2,81064	156,25699	64,20563	5,57020	41,57613	843,99047	13,17527	255,56733	1973,99144
Observaciones		298	126	2	110	40	4	27	495	9	164	1276
Media		1,42134	1,31624	1,40532	1,42052	1,60514	1,39255	1,53966	1,70503	1,46392	1,55834	1,54702
% Participación		29,43%	9,87%	0,16%	8,82%	3,13%	0,31%	2,12%	38,79%	0,71%	12,85%	100,00%

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes para algunas de las variedades de caña sembradas. Con base en la matriz de intervalos de confianza para la prueba con base en la distribución t, se puede concluir que existe una diferencia importante solo entre las medias de las siguientes variedades:

$$\mu_{v7151} > \mu_{pr61632}$$

$$\mu_{v7151} < \mu_{mezcla}, \mu_{cc8592}, \mu_{cc8475}$$

$$\mu_{pr61632} < \mu_{mzc74275}, \mu_{mezcla}, \mu_{cc87434}, \mu_{cc8592}, \mu_{cc8475}$$

$$\mu_{mzc74275} < \mu_{mezcla}, \mu_{cc8592}, \mu_{cc8475}$$

$$\mu_{mezcla} < \mu_{cc8592}$$

$$\mu_{cc892000} < \mu_{cc8592}$$

$$\mu_{cc87434} < \mu_{cc8592}$$

$$\mu_{cc8592} > \mu_{cc8568}, \mu_{cc8475}$$

Es decir, para las confianzas indicadas en cada caso:

1. Fue menor la sacarosa obtenida de la variedad pr61632 que la de las variedades: mzc74275, mezcla, cc87434, cc8592 y cc8475 (al 99%); esto ubica a la variedad pr61632 como la de menor media en toneladas de sacarosa /hectárea-mes (1.3163).
2. Fue mayor la sacarosa obtenida de la variedad cc8592 que la de las variedades: cc8475, cc87434 (al 99%), mezcla, cc892000 y cc8568 (al 95%); esto ubica a la variedad cc8592 como la de mayor media en toneladas de sacarosa /hectárea-mes (1.7050).

3. Como fue mayor la sacarosa obtenida de la variedad v7151 que la de la variedad pr61632; la sacarosa obtenida de la variedad v7151 a su vez es menor que la de las variedades: mezcla, cc8592, cc8475 (al 99%) y cc87434 (al 95%) y como fue menor la sacarosa obtenida de la variedad mzc74275 que la de las variedades: mezcla, cc8592 y cc8475 (al 99%), entonces, las variedades mezcla (1.6051) y cc8475 (1.5583), con medias de toneladas de sacarosa /hectárea-mes estadísticamente iguales, se ubican en un segundo lugar en productividad mientras que las variedades v7151 (1.4213) y mzc74275 (1.4205), con medias de toneladas de sacarosa /hectárea-mes estadísticamente iguales, se ubican en una productividad regular, inferior a las buenas y superior a la peor.
4. La media de sacarosa obtenida con la mejor variedad está 29.5% por encima de la peor, 6-9% por encima de las dos que ocupan el segundo lugar en productividad y 20% por encima de las de regular desempeño. A su vez las medias de las variedades que ocupan el segundo lugar están 10-12% por encima de las de regular productividad.

Puesto que el 18.7% de la variación total es explicado por la variedad de caña sembrada, la variable es válida para el modelo.

ANEXO 6

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA EDAD DE COSECHA DEL CULTIVO. LOTES NO FERTILIZADOS

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango de edad de cosecha:

$$\mu[7.5-8.9] = \mu[9-9.9] = \mu[10-10.9] = \mu[11-11.9] = \mu[12-12.9] = \mu[13-13.9] = \mu[14-14.9] = \mu[15-15.9] = \mu[16-17.8]$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango de edad

	EDAD DE COSECHA (Meses)									Total
	< 9	9-9.9	10-10.9	11-11.9	12-12.9	13-13.9	14-14.9	15-15.9	> 16	
Observaciones	6	7	26	117	644	319	141	12	4	1276
Media	1,45776	1,78162	1,63881	1,51799	1,57074	1,50053	1,57670	1,19834	1,40964	1,54702
% Participación	0,47%	0,55%	2,04%	9,17%	50,47%	25,00%	11,05%	0,94%	0,31%	100,00%

Tabla ANOVA F8,1267,99%=2.51 F8,1267,95%=1.94

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	27,5398	8	3,44248007	32,26
Error	135,2047	1267	0,10671247	-
Total	162,7445	1275	-	-

De los resultados de la prueba se concluye que existe una diferencia notoria en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes según la edad de cosecha de la caña. De la prueba t se puede concluir que los rangos de edad con sacarosa obtenida estadísticamente diferentes entre sí son los siguientes, con un 99% de confianza:

$$\begin{aligned} \mu[9-9.9] &> \mu[15-15.9] \\ \mu[10-10.9] &> \mu[15-15.9] \\ \mu[11-11.9] &> \mu[15-15.9] \\ \mu[12-12.9] &> \mu[15-15.9] \\ \mu[13-13.9] &> \mu[15-15.9] \\ \mu[14-14.9] &> \mu[15-15.9] \end{aligned}$$

Es decir, la menor cantidad de sacarosa se obtuvo para edades entre 15 y 16 meses. Los demás valores son estadísticamente iguales.

Con un 95% de confianza aparecen además las desigualdades:

$$\begin{aligned} \mu[9-9.9] &> \mu[13-13.9] \\ \mu[10-10.9] &> \mu[13-13.9] \\ \mu[13-13.9] &< \mu[14-14.9] \end{aligned}$$

Es decir, la sacarosa obtenida para el rango de edades entre 13 y 14 meses es inferior a la obtenida para edades entre 9 y 12.9 meses pero a la vez superior a la obtenida para edades entre 15 y 16 meses; entre 9 y 12.9 meses los valores de sacarosa obtenida son estadísticamente iguales.

Como el 16.9% de la variación total es explicado por la edad de la caña, la variable es válida para el modelo.

ANEXO 7

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA NÚMERO DE CORTE DEL CULTIVO. LOTES NO FERTILIZADOS

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada corte del cultivo :

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12} = \mu_{13}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada corte.

	Número de CORTE													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Observaciones	229	243	260	178	113	57	24	23	42	50	33	12	12	1276
Media	1,57363	1,62161	1,49566	1,55993	1,56921	1,59967	1,51551	1,36269	1,45983	1,52036	1,45357	1,36528	1,26125	1,54702
% Participación	17,95%	19,04%	20,33%	13,95%	8,86%	4,47%	1,88%	1,80%	3,29%	3,92%	2,59%	0,94%	0,94%	100,00%

Tabla ANOVA F12,1263,99%=3.02 F12,1263,95%=2.21

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	5,2676	12	0,438964362	4,17
Error	133,3981	1263	0,105619998	
Total	138,6656	1275		

Con base en los resultados de la prueba se puede concluir que, para significancias del 1% y del 5%, existe una diferencia notoria en algunas de las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes según el corte del cultivo.

Como el 3.8% de la variación total es explicado por el corte, la variable es válida para el modelo aunque su peso parece poco dentro de él.

ANEXO 8

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA TIEMPO
DE TRANSPORTE. LOTES NO FERTILIZADOS**

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango de tiempo transcurrido entre el cultivo al ingenio :

$$\mu[10 - 19,9] = \mu[20 - 29,9] = \mu[30 - 39,9] = \mu[40 - 49,9] = \mu[50 - 64]$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango de tiempo.

	TIEMPO DE TRANSPORTE DE LA CAÑA AL INGENIO (min.)					
	10-19,9	20-29,9	30-39,9	40-49,9	50-64	Total
Observaciones	194	162	394	157	369	1276
Media	1,571120	1,491422	1,448005	1,447605	1,706762	1,547015
% Participación	15,20%	12,70%	30,88%	12,30%	28,92%	100,00%

Tabla ANOVA F4,1271,99%=3.32 F4,1271,95%=2.37

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	15,4438	4	3,86095125	39,82
Error	123,2218	1271	0,09694872	-
Total	138,6656	1275	-	-

TIEMPO DE TRANSPORTE DE LA CAÑA AL INGENIO (min.)

Significancia	10-19,9	20-29,9	30-39,9	40-49,9	50-64				
10-19,9	5%	0,15823732	0,00115909	0,18783748	0,05839135	0,20273194	0,04429653	-0,07019972	-0,20108462
	1%	0,18971925	-0,03032284	0,21378133	0,03244751	0,23448587	0,0125426	1,66279487	-0,22731683
20-29,9	5%		0,11228955	-0,02545713	0,12645928	-0,03882722	-0,14579057	-0,28489019	
	1%		0,13989701	-0,05306459	0,15958632	-0,07195426	1,58885044	-0,31276881	
30-39,9	5%			0,07004599	-0,06924635	-0,20529765	-0,31221553		
	1%			0,09796324	-0,09716359	1,52289344	-0,33364422		
40-49,9	5%					-0,1888412	-0,32947162		
	1%					1,54610661	-0,35765704		
50-64	5%								
	1%								

CENICAÑA ha establecido los rangos de pérdida de sacarosa por efecto de la quema previa al corte y del tiempo de permanencia de la caña en el campo y en los equipos de transporte. Las pérdidas de sacarosa de la caña durante un día de permanencia en los patios son equivalentes a las ocurridas durante cinco días de permanencia en el campo⁵⁰. La evaluación de la validez de la variable tiempo de transporte se hace asumiendo que el efecto de pérdida

por la quema es independiente del sitio de corte. Los resultados de la prueba permiten concluir que, con significancias del 1% y del 5%, existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes obtenidas, de acuerdo al tiempo de transporte al ingenio. Adicionalmente, la matriz obtenida al realizar la prueba t indica que los rangos con sacarosa obtenida estadísticamente diferentes entre sí son los siguientes:

con un 99% de confianza: $\mu[10-19.9] > \mu[30-39.9], \mu[40-49.9]$

con un 95% de confianza:

$$\mu[10-19.9] > \mu[20-29.9], \mu[30-39.9], \mu[40-49.9]$$

$$\mu[10-19.9] < \mu[50-64]$$

$$\mu[20-29.9] < \mu[50-64]$$

$$\mu[30-39.9] < \mu[50-64]$$

$$\mu[40-49.9] < \mu[50-64]$$

Es decir:

Con una confianza del 99%, se pueden establecer dos rangos de productividad: el de 10 a 19.9 minutos entre el lote y el ingenio, con una productividad mayor (pérdidas de sacarosa menores) que el de tiempos transcurridos superiores a los 20 minutos.

Con una confianza del 95%, se pueden establecer: un rango excepcional atípico, para cultivos ubicados entre 50 y 64 minutos del ingenio, con la

⁵⁰ Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. **Carta trimestral v.23, no.1.** pág. 8-9.

mayor productividad de la muestra (las menores pérdidas de sacarosa) y dos rangos de tiempo entre el cultivo y el ingenio: uno entre los 10 y los 19.9 minutos, con productividad superior a la de aquellos cultivos ubicados entre 20 y 50 minutos del ingenio. La diferencia en la productividad puede asociarse a tres factores:

1. Que en esos sitios, ubicados entre 10 y 20 minutos y a más de 50 minutos del ingenio, se tienen cultivos con las mejores productividades, en términos de sacarosa obtenida.
2. Que considerando una productividad promedia, las pérdidas de sacarosa durante el transporte de la caña, afectan más significativamente la productividad obtenida en los cultivos ubicados entre 20 y 49.9 minutos del ingenio.
3. Una combinación de ambos factores.

El comportamiento atípico de lotes ubicados entre 50 y 64 minutos del cultivo al ingenio se puede explicar por la concentración de lotes de: zonas agro ecológicas de excelente productividad (el 52% de la submuestra corresponde a zonas 9c1, 1c0 y 2c0), en los que se han sembrado variedades de excelente productividad (en el 61% de la submuestra se sembró cc8592), cosechados a edades adecuadas (73% de la submuestra, se cosecho á edades menores a 13 meses), y a los cuales se aplicó madurante (85%), entre otras variables. Los cortes de lotes de este rango de

tiempo o submuestra, corresponden a las haciendas: Yunde (73%), Maravelez (11%), Cantarrana (11%) y La Burrera (4%), que concentran el 45% de la variedad cc8592 de toda la muestra y el 44% de las zonas (1c0, 2c0, 9c1) de toda la muestra. Es decir, en una submuestra que corresponde al 29% de la muestra total se concentra el 44% de los mejores suelos de la muestra, el 45% de la muestra sembrada con la mejor variedad, el 31% del total de la muestra cosechados a la edad correcta, al 34% de los que se aplicó madurante de la muestra total.

El efecto del grupo de cultivos ubicados a más de 50 minutos del ingenio se diluye cuando se clasifican las observaciones de la muestra en dos categorías, Cerca y Lejos, utilizadas en el ingenio para combinar la distancia y el tráfico de la ruta de transporte a las fincas donde se ubican los cultivos en una sola variable. Incluir la variable tiempo de transporte en el modelo puede distorsionar las pérdidas de sacarosa debidas a tiempo de la caña en los equipos de transporte, debido a la influencia notoria de las productividades de las fincas que se mencionaron; por lo tanto, se optó por incluir a cambio, las variables: finca donde se ubica el cultivo y clasificación en Cerca/Lejos.. Como se verá al evaluar el modelo, estas variables explican mejor la sacarosa que el tiempo de transporte.

Dentro de la muestra, el 26% de las observaciones corresponde a cortes de lotes ubicados Cerca y el 74% Lejos. También, se conoce que la distancia a

la cual se encuentran las fincas clasificadas como Cerca del ingenio, oscila entre 3 y 9 Km., exceptuando Socorro y La Cecilia que se ubican a 20.9; lo que nos permite concluir que la clasificación Cerca se asocia estadísticamente al rango de mas altas productividades (más bajas perdidas de sacarosa por tiempo transcurrido entre el corte de la caña y su descargue en patios).

ANEXO 9

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA

CONTENIDO APARENTE DE SACAROSA EN LA CAÑA DE AZÚCAR.

LOTES NO FERTILIZADOS

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango de pol de la caña :

$$\mu_{[11-13,9]} \equiv \mu_{[14-15,9]} \equiv \mu_{[16-17,9]} \equiv \mu_{[18-21,9]}$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango de pol.

	RANGOS DE POL				
	11,0-13,9	14,0-15,9	16,0-17,9	18,0-21,4	Total
Observaciones	11	200	717	348	1276
Media	1,30724	1,44086	1,55099	1,60742	1,54702
% Participación	0,86%	15,67%	56,19%	27,27%	100,00%

Tabla ANOVA F3,1272,99%=3.78 F3,1272,95%=2.60

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado de la Media	F
Tratamientos	4,1670	3	1,38899399	13,14
Error	134,4986	1272	0,10573793	-
Total	138,6656	1275	-	-

RANGOS DE POL (% Sacarosa)

		11,0-13,9	14,0-15,9	16,0-17,9	18,0-21,4
5%		0,12821	-0,39545	0,12821	-0,39545
11-13,9	1%	0,24704	-0,51428	0,24704	-0,51428
5%			-0,04252	-0,17774	-0,09153
14-15,9	1%		-0,01184	-0,20842	-0,05749
5%				-0,00119	-0,11166
16-17,9	1%			0,02388	-0,13673
5%					
18-21,4	1%				

Los resultados de la prueba permiten concluir que, para significancias del 1% como del 5%, existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes según el contenido de sacarosa aparente de la caña cosechada. La prueba t para los rangos de pol permite establecer los rangos con sacarosa obtenida estadísticamente diferentes entre sí:

Con un 99% de confianza:

$$\mu[14 - 15.9] < \mu[16 - 17.9]$$

Con un 95% de confianza:

$$\begin{aligned} \mu[14 - 15.9] < \mu[16 - 17.9], \mu[18 - 21.4] \\ \mu[16 - 17.9] < \mu[18 - 21.4] \end{aligned}$$

Es decir, con una confianza del 99% los pol inferiores a 15.9% permiten obtener menos sacarosa que los mayores a 16% y con una confianza del 95%, existen tres rangos de sacarosa obtenida: alta para pol mayores al 18%, media para pol entre 16 y 17.9 y baja para pol inferiores a 15.9%.

Como el 3% de la variación total es explicado por el pol, a variable es válida para el modelo aunque su peso no parece relevante.

ANEXO 10

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS ANOVA PARA AÑO DE
SIEMBRA DEL CULTIVO. LOTES NO FERTILIZADOS**

H0: Las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada año de siembra :

$$\mu[1999] = \mu[2000] = \mu[2001] = \mu[2002] = \mu[2003] = \mu[2004]$$

H1: No todas las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-mes son las mismas para cada rango año.

	AÑO DE SIEMBRA							Total
	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
Observaciones	46	421	450	177	147	35	1276	
Media	1,39054	1,50160	1,53513	1,59531	1,66034	1,73157	1,54702	
% Crecimiento	-	7,99%	2,23%	3,92%	4,08%	4,29%	-	
% Participación	3,61%	32,99%	35,27%	13,87%	11,52%	2,74%	100,00%	

Esta variable se introdujo tentativamente para evaluar si había un crecimiento en la productividad de los últimos años, como afirma CENICAÑA al referirse al sector. Los resultados permiten concluir que, para significancias del 1% y del 5%, existe una diferencia en las medias de toneladas de sacarosa por hectárea-Mes según el año en el cual se sembró el corte del lote. La prueba t para los años de siembra, establece que son estadísticamente diferentes:

Con un 99% de confianza:

$$\begin{aligned} \mu[1999] &< \mu[2002], \mu[2003], \mu[2004] \\ \mu[2000] &< \mu[2002], \mu[2003], \mu[2004] \\ \mu[2001] &< \mu[2003], \mu[2004] \end{aligned}$$

Con un 95% de confianza:

$$\begin{aligned} \mu[1999] &< \mu[2001], \mu[2002], \mu[2003], \mu[2004] \\ \mu[2000] &< \mu[2002], \mu[2003], \mu[2004] \\ \mu[2001] &< \mu[2003], \mu[2004] \\ \mu[2002] &< \mu_4 \end{aligned}$$

Es decir, con un 99% de confianza, a pesar de que se observa un crecimiento anual del 4% de las medias de sacarosa obtenida desde 2002, la prueba establece dos rangos de sacarosa obtenida diferentes: el de los años 1999 (1.39054), 2000 (1.50160), 2001 (1.53513) y el de los años 2002 (1.59531), 2003 (1.66034), 2004 (1.73157). Con 95% de confianza, la prueba trata de segmentar los años en tres rangos de productividad, incluyendo el año 2002 en un término medio y 1999-2001 y 2003-2004 en los extremos.

Puesto que el 4% de la variación total es explicado por el año de siembra, la variable es válida para el modelo aunque su peso no parece relevante.

El informe anual 2004 de CENICAÑA establece que durante los últimos años el clima de la región se ha caracterizado por periodos normales (2001) y periodos con la combinación de condiciones normales y el fenómeno de El Niño (2002 a 2004), características que facilitaron la realización de las labores de siembra, cultivo, renovación y cosecha, favorecieron la germinación y el desarrollo de las plantaciones y contribuyeron al incremento de la producción de caña. En las épocas previas a la cosecha estas condiciones climáticas ayudaron a aumentar y sostener el rendimiento, así como a mejorar la calidad de la caña y la eficiencia en fábrica. Esta segmentación de los años así definida concuerda con los resultados de la prueba ANOVA que distingue dos tipos de productividad, la correspondiente a los años 1999 a 2001 y la correspondiente a los años 2002 a 2004. Por lo tanto, es factible tratar de explicar el comportamiento observado según el año de siembra, en términos del clima, para lo cual se clasificaron las 1,276 observaciones por semestre de cada año y se les asignaron los valores de las variables: temperatura media, oscilación de temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación, de acuerdo al cuadro Resumen comparativo del clima en el Valle del río Cauca para los años 1995 a 2004, por semestre, que se incluye en dicho informe.

ANEXO 11

MATRIZ DE CORRELACIÓN DEL MODELO PARA LA SACAROSA TOTAL

OBTENIDA

Sample correlation matrix																							
2*100F	2350F	2420F	2*V20	CL	del	'c'	200	'd0	col013	col022	'0'2'	pr d'022	col04	Area	'0'	Mediana	Corte	L. Clada	Cardenon I	H. Habi/m	Habi/m	Phosphon	Ion Sulfon
1	-0,001	-0,003	-0,142	0,150	0,104	-0,048	0,019	-0,115	-0,032	-0,048	0,019	0,004	-0,032	0,152	0,020	0,020	-0,019	-0,003	-0,004	0,004	-0,004	0,002	0,104
-0,001	1	-0,009	-0,100	0,102	-0,104	0,020	-0,120	0,102	-0,114	-0,020	0,002	0,004	-0,020	0,002	0,002	0,002	-0,120	-0,003	-0,002	0,002	-0,003	-0,004	-0,002
-0,003	-0,009	1	-0,102	0,100	0,020	-0,120	0,102	0,002	-0,014	-0,002	-0,002	-0,002	0,104	0,020	-0,020	-0,019	-0,004	-0,002	0,002	-0,001	-0,002	-0,002	0,100
-0,142	-0,100	-0,102	1	0,200	0,002	-0,022	0,019	0,211	-0,100	0,200	-0,002	-0,119	0,002	-0,020	0,004	0,104	0,004	0,102	0,002	-0,001	0,104	-0,001	0,004
0,150	0,102	0,100	0,200	1	0,020	0,002	0,102	0,102	-0,014	-0,002	0,002	-0,002	0,004	-0,020	0,112	0,004	0,002	-0,004	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,200
0,104	-0,102	-0,002	-0,002	0,002	1	0,112	-0,200	-0,211	-0,019	0,142	0,104	0,002	0,002	0,002	0,002	-0,002	0,142	-0,004	0,002	-0,014	-0,004	0,001	0,004
-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,002	0,112	1	-0,002	-0,012	-0,012	0,019	-0,002	-0,002	-0,002	0,002	-0,002	-0,012	-0,002	-0,002	-0,012	0,004	-0,012	0,004	0,000
0,019	0,002	0,020	0,019	0,102	0,200	0,002	1	-0,102	-0,114	0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,020	0,020	-0,002	-0,002	0,020	0,020	-0,021	0,001	-0,002	-0,014
-0,100	-0,100	-0,102	0,211	0,019	0,211	-0,102	1	-0,014	0,100	-0,100	-0,004	-0,002	0,004	-0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	-0,002	0,001	0,002	-0,020
-0,002	0,102	0,020	-0,100	0,019	0,004	-0,002	-0,014	-0,012	1	-0,002	-0,211	-0,102	-0,002	0,002	-0,004	0,020	-0,004	-0,002	-0,002	0,100	-0,002	-0,004	0,019
-0,100	-0,104	0,002	0,200	-0,001	0,002	0,102	0,004	1	-0,004	-0,002	0,142	-0,004	0,142	0,002	0,019	-0,002	0,200	0,200	-0,012	0,200	0,200	-0,104	-0,004
0,019	-0,001	-0,004	-0,002	0,002	0,142	0,002	-0,004	-0,102	-0,102	-0,211	1	-0,102	-0,002	-0,002	0,019	0,002	-0,102	-0,102	-0,102	0,002	-0,001	0,104	-0,002
0,004	0,002	-0,002	-0,119	0,002	0,004	0,002	-0,102	-0,102	-0,102	1	0,002	0,004	-0,119	-0,002	0,002	0,002	0,002	-0,002	-0,002	0,002	-0,002	0,002	0,002
-0,002	0,004	-0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	-0,004	-0,004	-0,002	0,114	-0,002	0,002	1	-0,002	0,102	0,100	-0,002	0,002	0,002	-0,002	0,104	-0,002	0,004
0,102	-0,001	0,144	-0,002	0,200	0,002	0,002	-0,004	-0,102	0,002	-0,004	-0,004	-0,002	1	-0,002	0,212	0,002	-0,002	-0,002	0,142	-0,002	-0,004	0,002	0,002
0,002	0,002	0,020	0,002	0,112	0,002	0,002	-0,004	-0,004	-0,002	-0,119	0,002	-0,002	0,002	1	0,020	-0,002	0,002	-0,002	0,002	-0,002	0,002	-0,002	0,002
0,002	0,002	0,020	0,102	0,002	0,002	0,002	0,002	-0,004	0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,102	0,212	0,020	1	0,002	0,002	0,002	-0,002	0,002	-0,002	0,200
-0,019	-0,100	-0,001	0,004	0,002	0,142	-0,002	-0,004	-0,002	0,002	-0,004	-0,004	-0,002	0,002	0,212	0,020	0,002	1	0,004	-0,002	0,004	0,004	0,002	-0,004
-0,002	-0,002	-0,004	0,102	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,002	-0,002	0,102	0,004	0,004	1	0,002	-0,102	0,104	-0,002	-0,004
-0,004	-0,002	-0,001	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	-0,004	-0,004	-0,002	-0,002	0,002	-0,002	0,102	0,004	-0,002	0,002	1	-0,002	0,002	-0,004	-0,004
0,004	0,002	0,002	-0,001	0,002	0,004	0,002	-0,002	-0,002	0,100	-0,002	0,002	-0,002	-0,002	0,142	-0,002	-0,004	0,004	-0,102	-0,102	1	-0,002	0,004	0,004
-0,004	-0,002	-0,001	0,104	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,104	-0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	1	-0,002	-0,002	-0,002
0,002	-0,004	-0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	-0,002	-0,002	0,002	0,004	0,104	0,002	-0,002	-0,002	0,104	-0,002	0,004	-0,102	-0,102	0,004	1	-0,002	-0,002
0,104	-0,002	0,104	-0,002	0,200	0,004	0,002	-0,004	-0,002	0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,002	0,002	0,002	0,200	-0,004	-0,004	-0,004	0,004	-0,002	-0,002	1

Sample correlation matrix																					
Z'130V	Z'210V	Z'300Z	Z'4'20	CL	401	'6'	201	'd1	00475	00002	'P'3'	pr'032	0001	Amal onaga	'P0	Abonarka	0001	L'0000	'000000	1 on 00000	
1	-0.001	-0.005	-0.1422	0.1940	0.1014	-0.0420	0.0170	-0.1130	-0.0252	-0.1040	0.0197	0.0044	-0.0132	0.1912	0.0200	0.0025	-0.0110	-0.0000	0.0427	0.1204	
-0.001	1	-0.009	-0.1303	0.1072	0.0942	-0.0220	0.0100	-0.1230	0.1521	-0.1414	-0.0170	0.0002	0.0404	-0.0201	0.0000	0.0000	-0.1250	-0.0000	-0.0004	-0.0002	
-0.005	-0.009	1	-0.1342	0.1040	0.0322	-0.0420	0.0200	-0.1012	0.0100	0.0007	-0.0114	-0.0027	-0.0000	0.1414	0.0200	-0.0120	-0.0010	-0.0410	-0.0220	0.1501	
-0.1422	-0.1303	-0.1342	1	0.2020	0.0000	-0.0022	0.0170	0.2111	-0.1500	0.2004	-0.0120	-0.1170	0.0002	-0.1420	0.0040	0.1304	0.0204	0.1102	0.0400	-0.0000	
0.1940	0.1072	0.1040	0.2020	1	0.0100	0.1002	0.1177	-0.2010	0.0100	-0.0007	0.0100	-0.0002	0.0200	-0.2000	0.1110	0.0040	0.0200	-0.0044	0.0000	-0.2000	
0.1014	-0.0942	-0.0322	-0.0000	0.0100	1	-0.1112	-0.2040	-0.2104	-0.0047	-0.0070	0.1421	0.1014	0.0201	0.0020	0.0100	-0.0002	0.1417	-0.0004	0.0001	0.0040	
-0.0420	-0.0220	-0.0420	-0.0022	0.1002	0.1112	1	-0.0100	-0.0132	-0.0002	0.0170	-0.0052	-0.0020	-0.0000	0.0001	-0.0000	-0.1012	-0.0007	-0.0000	0.0004	0.0000	
0.0170	0.0100	0.0100	0.0100	0.1177	0.2040	-0.0100	1	-0.1020	-0.0100	0.0047	-0.0004	-0.0040	-0.0041	-0.0200	0.0020	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0140	
-0.1520	-0.1230	-0.1012	0.2111	0.2010	0.2104	-0.0132	-0.1020	1	-0.0000	0.1010	-0.0000	-0.0000	-0.0004	-0.1002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	-0.0120
-0.0002	0.1501	0.0100	-0.1000	0.0100	0.0047	-0.0002	-0.0100	-0.0000	1	-0.0007	-0.2120	-0.0177	-0.0000	0.0001	-0.0004	0.0020	-0.0001	-0.0002	-0.0001	0.0100	
-0.1040	-0.1414	0.0007	0.2004	-0.0007	0.0010	0.0170	0.0007	0.1010	-0.0007	1	-0.0004	-0.0000	0.1441	-0.1440	0.0007	0.0170	-0.0000	0.2100	-0.1504	-0.0400	
0.0197	-0.0170	-0.0004	-0.0000	0.0100	0.1421	-0.0000	-0.0004	-0.1200	-0.2120	-0.0400	1	-0.0001	-0.0000	-0.0104	-0.0000	0.0170	-0.0000	-0.1101	0.1104	-0.0000	
0.0044	0.0002	-0.0007	-0.1110	0.0002	0.1014	-0.0000	-0.0040	-0.1000	-0.1211	-0.0000	-0.0001	1	0.0000	0.1040	-0.1104	-0.0002	0.0000	-0.0010	0.0000	0.0040	
-0.0002	0.0044	-0.0000	0.0002	0.0101	0.0007	-0.0000	-0.0004	-0.0000	0.1441	-0.0000	0.0000	0.0000	1	-0.0007	0.1000	0.1000	-0.0000	0.0101	-0.0000	0.0000	
0.1912	-0.0201	0.1414	-0.1420	0.2000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.1002	0.0007	-0.1440	-0.0104	0.1010	-0.0007	1	-0.0047	0.2172	-0.0000	-0.1002	-0.0104	0.0000	
0.0000	0.0000	0.0100	0.0040	0.1110	0.0100	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0007	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0047	1	0.0120	-0.0007	0.1100	-0.1004	0.0040	
0.0000	0.0000	-0.0120	0.1104	0.0000	-0.0002	-0.1012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0170	0.0104	-0.0002	0.1000	0.1010	0.0120	1	0.0001	0.0000	-0.0000	0.2000	
-0.0110	-0.1200	-0.0010	0.0004	0.0000	0.1441	-0.0011	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0007	0.0001	1	0.0104	0.0170	-0.0000	
-0.0000	-0.0000	-0.0110	0.1102	0.0004	0.0004	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.2000	-0.0007	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.1040	0.0000	0.0004	1	-0.0000	-0.0000	
0.0027	-0.0004	-0.0020	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	-0.0000	0.0002	-0.0000	-0.0004	0.1104	0.0000	-0.0000	-0.0004	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	1	-0.0000	
0.1204	-0.0002	0.1101	-0.0004	0.2000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0040	0.0040	0.0000	0.0040	0.2000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	1	

ANEXO 12**RESULTADOS DEL MODELO PARA LA SACAROSA TOTAL OBTENIDA**

Solo lotes no fertilizados en el experimento:

EasyReg International [November 17, 2004]
Session date: Wednesday February 22, 2006
Session time: 19:16:17

Dependent variable:
Y = TonSac

Characteristics:
TonSac
First observation = 1
Last observation = 1276
Number of usable observations: 1276
Minimum value: 2.3101600E+000
Maximum value: 8.4167506E+002
Sample mean: 1.4069834E+002

X variables:
X(1) = 110201
X(2) = 210102
X(3) = 210201
X(4) = 210203
X(5) = 220201
X(6) = 230101
X(7) = 230120
X(8) = 240101
X(9) = 240202
X(10) = 310108
X(11) = 310120
X(12) = 310126
X(13) = 310127
X(14) = 310128
X(15) = 310129
X(16) = C/L
X(17) = QN
X(18) = QP
X(19) = QK

X(20) = S
 X(21) = 6c1
 X(22) = 6c0
 X(23) = 10c0
 X(24) = 1c1
 X(25) = 2c0
 X(26) = 9c1
 X(27) = 1c0
 X(28) = 8c0
 X(29) = pr61632
 X(30) = v7151
 X(31) = mzc74275
 X(32) = c87434
 X(33) = cc8475
 X(34) = mezcla
 X(35) = cc8592
 X(36) = Edad
 X(37) = Area
 X(38) = Pol
 X(39) = Mad
 X(40) = Crte
 X(41) = Tmed
 X(42) = PPtn
 X(43) = RIE
 X(44) = EC
 X(45) = 1

Model:

$Y = b(1)X(1) + \dots + b(45)X(45) + U$, where U is the error term,
 satisfying $E[U|X(1), \dots, X(45)] = 0$.

OLS estimation results

Parameters	Estimate	t-value	H.C. t-value	(S.E.)	(H.C. S.E.)	[p-value]	[H.C. p-value]
b(1)	0.45077	0.089	0.089	(5.14245)	(5.06560)	[0.93015]	[0.92909]
b(2)	12.01981	2.273	2.273	(5.04369)	(5.28761)	[0.01717]	[0.02301]
b(3)	10.07087	1.937	1.937	(4.30660)	(5.19986)	[0.01936]	[0.05277]
b(4)	3.35747	0.491	0.512	(7.80786)	(6.55793)	[0.66719]	[0.60867]
b(5)	11.38477	2.917	2.917	(3.92334)	(3.90224)	[0.00371]	[0.00353]
b(6)	-18.77398	-3.052	-2.206	(5.17314)	(8.51031)	[0.00028]	[0.02738]
b(7)	-11.47295	-2.181	-1.689	(5.45991)	(6.79310)	[0.03561]	[0.09124]
b(8)	23.85133	4.810	4.955	(4.96533)	(4.81312)	[0.00000]	[0.00000]
b(9)	14.95953	2.468	2.468	(4.99885)	(6.06080)	[0.00277]	[0.01358]
b(10)	-7.32648	-1.141	-1.131	(4.94237)	(6.47758)	[0.13824]	[0.25803]
b(11)	13.06621	3.197	2.728	(4.08687)	(4.78907)	[0.00139]	[0.00637]
b(12)	25.87677	2.074	2.275	(12.47773)	(11.37660)	[0.03809]	[0.02293]
b(13)	76.81034	6.857	4.857	(11.20936)	(15.81371)	[0.00000]	[0.00000]
b(14)	27.61524	1.815	2.910	(14.26925)	(9.48858)	[0.05295]	[0.00361]
b(15)	29.78119	3.191	3.298	(9.33493)	(9.03128)	[0.00142]	[0.00098]
b(16)	-18.86928	-4.009	-3.396	(4.11203)	(5.55603)	[0.00000]	[0.00068]
b(17)	-0.00778	-0.017	-0.573	(0.01261)	(0.01357)	[0.53710]	[0.56644]
b(18)	-0.01580	-0.271	-0.591	(0.04238)	(0.02675)	[0.70922]	[0.55461]
b(19)	0.01561	0.268	0.385	(0.05904)	(0.04057)	[0.79152]	[0.70043]
b(20)	20.74494	1.465	1.478	(12.48052)	(14.03740)	[0.09648]	[0.13945]
b(21)	12.38028	3.080	3.132	(4.04808)	(3.95324)	[0.00223]	[0.00174]
b(22)	14.52050	3.491	3.054	(4.18096)	(4.75501)	[0.00051]	[0.00226]
b(23)	19.45857	3.440	2.501	(5.64215)	(7.78126)	[0.00056]	[0.01239]
b(24)	12.08794	2.111	2.688	(5.68939)	(4.49765)	[0.03362]	[0.00720]
b(25)	16.06214	3.781	3.935	(4.24252)	(4.08229)	[0.00015]	[0.00008]
b(26)	3.02950	0.392	0.315	(8.12817)	(9.61134)	[0.70936]	[0.75261]
b(27)	22.57064	4.974	5.366	(4.53700)	(4.20616)	[0.00000]	[0.00000]
b(28)	57.22709	5.594	2.103	(10.33693)	(27.21334)	[0.00000]	[0.03547]
b(29)	-0.20531	-0.005	-0.044	(7.73998)	(4.64016)	[0.97884]	[0.96471]
b(30)	3.19036	0.417	0.701	(7.64455)	(4.55145)	[0.67643]	[0.48333]
b(31)	-7.24660	-0.934	-1.550	(7.73830)	(4.67406)	[0.34904]	[0.12105]
b(32)	9.07813	1.001	1.541	(9.06718)	(5.89036)	[0.31673]	[0.12327]
b(33)	16.18577	2.101	3.562	(7.62048)	(4.54461)	[0.03367]	[0.00037]

b(34)	5.11521	0.604	0.887 (8.46541)	(5.76603)	[0.54568]	[0.37501]
b(35)	14.21853	1.904	3.317 (7.46901)	(4.28665)	[0.05695]	[0.00091]
b(36)	6.55151	7.808	7.101 (0.83913)	(0.92258)	[0.00000]	[0.00000]
b(37)	20.16058	106.270	62.986 (0.18971)	(0.32008)	[0.00000]	[0.00000]
b(38)	4.12184	5.964	5.992 (0.69116)	(0.68784)	[0.00000]	[0.00000]
b(39)	7.16839	3.387	3.449 (2.11638)	(2.07811)	[0.00071]	[0.00056]
b(40)	0.49839	1.388	1.515 (0.35904)	(0.32899)	[0.16510]	[0.12979]
b(41)	-2.22017	-0.542	-0.544 (4.09989)	(4.08261)	[0.58815]	[0.58657]
b(42)	-0.03324	-3.212	-3.209 (0.01035)	(0.01036)	[0.00132]	[0.00133]
b(43)	-0.70359	-2.102	-2.183 (0.33473)	(0.32230)	[0.03556]	[0.02904]
b(44)	2.61928	1.290	1.289 (2.03000)	(2.03240)	[0.19695]	[0.19748]
b(45)	-106.35569	-1.054	-1.063 (100.90940)	(100.04299)	[0.29190]	[0.28774]

- 1: S.E. = Standard error
- 2: H.C. = Heteroskedasticity Consistent. These t-values and standard errors are based on White's heteroskedasticity consistent variance matrix.
- 3: The two-sided p-values are based on the normal approximation.

Effective sample size (n): 1276
Variance of the residuals: 736.340349
Standard error of the residuals (SER): 27.135592
Residual sum of squares (RSS): 906434.969827
(Also called SSR = Sum of Squared Residuals)
Total sum of squares (TSS): 16478934.89236
R-square: 0.9450
Adjusted R-square: 0.9430

Todos los lotes, fertilizados y no fertilizados:

EasyReg International [November 17, 2004]
Session date: Friday February 24, 2006
Session time: 11:43:11

Dependent variable:
Y = TonSac

Characteristics:
TonSac
First observation = 1
Last observation = 1934
Number of usable observations: 1934
Minimum value: 2.3101600E+000
Maximum value: 9.0061534E+002
Sample mean: 1.5514374E+002

X variables:
X(1) = NA
X(2) = NB
X(3) = NC
X(4) = SA
X(5) = SB
X(6) = SN

X(7) = 110201
X(8) = 210102
X(9) = 210201
X(10) = 210203
X(11) = 220201
X(12) = 230101
X(13) = 230120
X(14) = 240101
X(15) = 240202
X(16) = 310108
X(17) = 310120
X(18) = 310126
X(19) = 310127
X(20) = 310128
X(21) = 310129
X(22) = C/L
X(23) = QN
X(24) = QP
X(25) = QK
X(26) = S
X(27) = 6c1
X(28) = 6c0
X(29) = 10c0
X(30) = 1c1
X(31) = 2c0
X(32) = 9c1
X(33) = 1c0
X(34) = 8c0
X(35) = pr61632
X(36) = v7151
X(37) = mzc74275
X(38) = c87434
X(39) = cc8475
X(40) = mezcla
X(41) = cc8592
X(42) = Edad
X(43) = Area
X(44) = Pol
X(45) = Mad
X(46) = Crte
X(47) = Tmed
X(48) = PPtn
X(49) = RIE
X(50) = EC
X(51) = 1

Model:

$Y = b(1)X(1) + \dots + b(51)X(51) + U,$
where U is the error term, satisfying
 $E[U|X(1), \dots, X(51)] = 0.$

OLS estimation results

Parameters	Estimate	t-value	H.C. t-value	(S.E.)	(H.C. S.E.)	[p-value]	[H.C. p-value]
b(1)	4.73124	1.309	1.290	(3.61552)	(3.66679)	[0.19067]	[0.19695]
b(2)	-2.53431	-0.524	-0.487	(4.83391)	(5.20284)	[0.60009]	[0.62619]
b(3)	11.16415	0.892	2.467	(12.51846)	(4.52548)	[0.37249]	[0.01363]
b(4)	0.30795	0.142	0.140	(2.17368)	(2.20442)	[0.88734]	[0.88890]
b(5)	-7.95333	-0.888	-0.956	(8.95940)	(8.31688)	[0.37470]	[0.33893]
b(6)	-4.79180	-1.788	-1.972	(2.67997)	(2.42932)	[0.07378]	[0.04855]
b(7)	-5.60444	-1.304	-1.372	(4.29881)	(4.08358)	[0.19233]	[0.16993]
b(8)	12.23069	3.094	3.113	(3.95359)	(3.92886)	[0.00198]	[0.00185]
b(9)	9.02857	2.514	2.147	(3.59073)	(4.20505)	[0.01192]	[0.03179]
b(10)	-3.88272	-0.646	-0.717	(6.00705)	(5.41179)	[0.51805]	[0.47309]
b(11)	11.13211	3.568	3.581	(3.12010)	(3.10897)	[0.00036]	[0.00034]
b(12)	-24.79051	-6.423	-4.422	(3.85949)	(5.60665)	[0.00000]	[0.00001]
b(13)	-13.37096	-3.312	-2.744	(4.03659)	(4.87193)	[0.00092]	[0.00606]
b(14)	21.81156	5.676	6.323	(3.84255)	(3.44943)	[0.00000]	[0.00000]
b(15)	18.19293	4.497	3.904	(4.04531)	(4.65973)	[0.00001]	[0.00009]
b(16)	-6.48937	-1.411	-1.179	(4.60073)	(5.50571)	[0.15839]	[0.23853]
b(17)	14.25727	3.925	3.585	(3.63276)	(3.97717)	[0.00009]	[0.00034]
b(18)	26.27808	2.191	2.575	(11.99303)	(10.20576)	[0.02844]	[0.01003]
b(19)	79.82436	7.530	5.368	(10.60032)	(14.86940)	[0.00000]	[0.00000]
b(20)	30.06697	2.101	3.394	(14.31209)	(8.85929)	[0.03566]	[0.00069]
b(21)	32.21385	3.628	4.059	(8.87828)	(7.93630)	[0.00029]	[0.00005]
b(22)	-20.07591	-5.611	-4.474	(3.57797)	(4.48768)	[0.00000]	[0.00001]
b(23)	-0.01487	-1.456	-1.480	(0.01022)	(0.01005)	[0.14535]	[0.13899]
b(24)	-0.00960	-0.266	-0.373	(0.03614)	(0.02573)	[0.79050]	[0.70909]
b(25)	-0.00174	-0.030	-0.046	(0.05770)	(0.03780)	[0.97593]	[0.96326]
b(26)	6.53768	1.450	1.484	(4.51014)	(4.40455)	[0.14718]	[0.13773]
b(27)	9.64821	3.017	3.068	(3.19757)	(3.14480)	[0.00255]	[0.00216]
b(28)	10.12668	2.901	2.596	(3.49104)	(3.90083)	[0.00372]	[0.00943]
b(29)	17.96612	3.949	3.115	(4.54969)	(5.76819)	[0.00008]	[0.00184]
b(30)	9.01794	2.164	2.714	(4.16757)	(3.32303)	[0.03048]	[0.00665]
b(31)	13.97852	4.050	4.301	(3.45115)	(3.24973)	[0.00005]	[0.00002]
b(32)	0.53010	0.076	0.062	(6.98012)	(8.57652)	[0.93946]	[0.95072]
b(33)	19.17794	4.741	5.215	(4.04485)	(3.67754)	[0.00000]	[0.00000]
b(34)	40.82403	5.354	2.740	(7.62441)	(14.90186)	[0.00000]	[0.00615]
b(35)	0.72031	0.103	0.174	(7.00847)	(4.13316)	[0.91814]	[0.86165]
b(36)	5.47202	0.790	1.363	(6.92808)	(4.01507)	[0.42963]	[0.17292]
b(37)	-7.46773	-1.042	-1.738	(7.16359)	(4.29588)	[0.29720]	[0.08215]
b(38)	7.37161	0.875	1.376	(8.42344)	(5.35562)	[0.38150]	[0.16869]
b(39)	17.71648	2.551	4.328	(6.94488)	(4.09368)	[0.01074]	[0.00020]
b(40)	4.26161	0.547	0.798	(7.78445)	(5.34134)	[0.58407]	[0.42496]
b(41)	10.93598	1.601	2.805	(6.82860)	(3.89852)	[0.10927]	[0.00503]
b(42)	6.95049	10.330	9.814	(0.67282)	(0.70823)	[0.00000]	[0.00000]
b(43)	20.12442	137.220	70.255	(0.14666)	(0.28645)	[0.00000]	[0.00000]
b(44)	4.65460	8.094	8.207	(0.57505)	(0.56716)	[0.00000]	[0.00000]
b(45)	7.32985	4.253	4.462	(1.72337)	(1.64264)	[0.00002]	[0.00001]
b(46)	0.19102	0.618	0.715	(0.30887)	(0.26726)	[0.53626]	[0.47476]
b(47)	-2.14595	-0.595	-0.594	(3.60822)	(3.61232)	[0.55202]	[0.55247]
b(48)	-0.03303	-3.407	-3.440	(0.00969)	(0.00960)	[0.00066]	[0.00058]
b(49)	-0.43120	-1.500	-1.531	(0.28756)	(0.28160)	[0.13374]	[0.12571]
b(50)	2.29719	1.731	1.827	(1.32678)	(1.25707)	[0.08338]	[0.06764]
b(51)	-116.74046	-1.312	-1.310	(88.96610)	(89.14675)	[0.18946]	[0.19035]

Notes:

- 1: S.E. = Standard error
- 2: H.C. = Heteroskedasticity Consistent. These t-values and standard errors are based on White's heteroskedasticity consistent variance matrix.
- 3: The two-sided p-values are based on the normal approximation.

Effective sample size (n): 1934
Variance of the residuals: 761.691295
Standard error of the residuals (SER): 27.598755
Residual sum of squares (RSS): 1434264.707846
(Also called SSR = Sum of Squared Residuals)
Total sum of squares (TSS): 26189112.8151
R-square: 0.9452
Adjusted R-square: 0.9438

Overall F test: $F(50,1883) = 650.00$

p-value = 0.00000
 Significance levels: 10% 5%
 Critical values: 1.26 1.35
 Conclusions: reject reject

Jarque-Bera/Salmon-Kiefer test = 2754.921330
 Null hypothesis: The errors are normally distributed
 Null distribution: Chi-square(2)
 p-value = 0.00000
 Significance levels: 10% 5%
 Critical values: 4.61 5.99
 Conclusions: reject reject

Breusch-Pagan test = 1624.515333
 Null hypothesis: The errors are homoskedastic
 Null distribution: Chi-square(50)
 p-value = 0.00000
 Significance levels: 10% 5%
 Critical values: 63.17 67.5
 Conclusions: reject reject

Information criteria:
 Akaike: 6.66156E+00
 Hannan-Quinn: 6.71556E+00
 Schwarz: 6.80837E+00

Modelo Final, todos los lotes:

EasyReg International [November 17, 2004]
 Session date: Monday February 27, 2006
 Session time: 13:18:19

Dependent variable:
 Y = TonSac

Characteristics:
 TonSac
 First observation = 1
 Last observation = 1934
 Number of usable observations: 1934
 Minimum value: 2.3101600E+000
 Maximum value: 9.0061534E+002
 Sample mean: 1.5514374E+002

X variables:
 X(1) = NC
 X(2) = SN
 X(3) = 210102
 X(4) = 210201

X(5) = 220201
 X(6) = 230101
 X(7) = 230120
 X(8) = 240101
 X(9) = 240202
 X(10) = 310120
 X(11) = 310126
 X(12) = 310127
 X(13) = 310128
 X(14) = 310129
 X(15) = C/L
 X(16) = 6c1
 X(17) = 6c0
 X(18) = 10c0
 X(19) = 1c1
 X(20) = 2c0
 X(21) = 1c0
 X(22) = 8c0
 X(23) = v7151
 X(24) = mzc74275
 X(25) = cc8475
 X(26) = cc8592
 X(27) = Edad
 X(28) = Area
 X(29) = Pol
 X(30) = Mad
 X(31) = PPtn
 X(32) = EC
 X(33) = 1

Model:

$Y = b(1)X(1) + \dots + b(33)X(33) + U$, where U is the error term,
 satisfying $E[U|X(1), \dots, X(33)] = 0$.

OLS estimation results

Parameters	Estimate	t-value	H.C.	t-value	(S.E.)	(H.C. S.E.)	[p-value]	[H.C. p-value]
b(1)	9.88632	0.793		1.966	(12.46343)	(5.02985)	[0.42765]	[0.04935]
b(2)	-5.79281	-2.500		-2.863	(2.31758)	(2.02328)	[0.01244]	[0.00420]
b(3)	12.70189	3.571		3.873	(3.55667)	(3.27949)	[0.00036]	[0.00011]
b(4)	10.93812	3.879		3.529	(2.82004)	(3.09974)	[0.00011]	[0.00042]
b(5)	11.57261	4.259		4.885	(2.71691)	(2.36881)	[0.00002]	[0.00000]
b(6)	-24.61888	-6.500		-4.504	(3.78736)	(5.46640)	[0.00000]	[0.00001]
b(7)	-12.75191	-3.215		-2.637	(3.96618)	(4.83646)	[0.00130]	[0.00837]
b(8)	23.67803	6.521		7.564	(3.63103)	(3.13038)	[0.00000]	[0.00000]
b(9)	20.14366	5.695		5.448	(3.53695)	(3.69759)	[0.00000]	[0.00000]
b(10)	16.63290	6.080		6.923	(2.73561)	(2.40264)	[0.00000]	[0.00000]
b(11)	31.87195	3.158		5.659	(10.09263)	(5.63204)	[0.00159]	[0.00000]
b(12)	85.37903	10.079		6.960	(8.47066)	(12.26681)	[0.00000]	[0.00000]
b(13)	35.29289	2.495		4.344	(14.14638)	(8.12391)	[0.01260]	[0.00001]
b(14)	37.58855	5.154		9.016	(7.29252)	(4.16897)	[0.00000]	[0.00000]
b(15)	-21.37961	-8.050		-7.773	(2.65576)	(2.75048)	[0.00000]	[0.00000]
b(16)	9.34973	3.214		3.403	(2.90948)	(2.74746)	[0.00131]	[0.00067]
b(17)	9.74329	3.569		3.536	(2.72998)	(2.75547)	[0.00036]	[0.00041]
b(18)	17.68933	4.455		3.616	(3.97066)	(4.89187)	[0.00001]	[0.00030]
b(19)	8.52911	2.065		2.644	(4.13004)	(3.22558)	[0.03891]	[0.00819]
b(20)	13.72456	4.449		4.963	(3.08502)	(2.76562)	[0.00001]	[0.00000]
b(21)	17.46953	5.132		5.671	(3.40392)	(3.08029)	[0.00000]	[0.00000]
b(22)	39.74134	5.360		2.716	(7.41509)	(14.63210)	[0.00000]	[0.00661]
b(23)	3.99269	1.860		1.979	(2.14630)	(2.01748)	[0.06285]	[0.04781]
b(24)	-8.86746	-2.877		-3.116	(3.08213)	(2.84566)	[0.00401]	[0.00183]
b(25)	15.90571	6.508		6.328	(2.44400)	(2.51368)	[0.00000]	[0.00000]
b(26)	8.94208	4.448		4.416	(2.01050)	(2.02473)	[0.00001]	[0.00001]
b(27)	7.03293	11.056		10.966	(0.63610)	(0.64135)	[0.00000]	[0.00000]
b(28)	20.11166	140.201		71.443	(0.14345)	(0.28151)	[0.00000]	[0.00000]
b(29)	4.63741	8.202		8.293	(0.56541)	(0.55922)	[0.00000]	[0.00000]
b(30)	7.94977	4.726		5.008	(1.68226)	(1.58729)	[0.00000]	[0.00000]

b(31)	-0.02990	-4.826	-4.844	(0.00620)	(0.00617)	[0.00000]	[0.00000]
b(32)	1.65011	1.269	1.348	(1.30058)	(1.22418)	[0.20453]	[0.17768]
b(33)	-170.12486	-13.062	-13.045	(13.02435)	(13.04175)	[0.00000]	[0.00000]

Notes:

- 1: S.E. = Standard error
- 2: H.C. = Heteroskedasticity Consistent. These t-values and standard errors are based on White's heteroskedasticity consistent variance matrix.
- 3: The two-sided p-values are based on the normal approximation.

Effective sample size (n):	1934
Variance of the residuals:	762.445425
Standard error of the residuals (SER):	27.612414
Residual sum of squares (RSS):	1449408.753387
(Also called SSR = Sum of Squared Residuals)	
Total sum of squares (TSS):	26189112.8151
R-square:	0.9447
Adjusted R-square:	0.9437

Overall F test: $F(32, 1901) = 1013.99$

p-value = 0.00000

Significance levels:	10%	5%
Critical values:	1.33	1.44
Conclusions:	reject	reject

Jarque-Bera/Salmon-Kiefer test = 2686.970919

Null hypothesis: The errors are normally distributed

Null distribution: Chi-square(2)

p-value = 0.00000

Significance levels:	10%	5%
Critical values:	4.61	5.99
Conclusions:	reject	reject

Breusch-Pagan test = 1557.741943

Null hypothesis: The errors are homoskedastic

Null distribution: Chi-square(32)

p-value = 0.00000

Significance levels:	10%	5%
Critical values:	42.59	46.19
Conclusions:	reject	reject

Information criteria:

Akaike:	6.65345E+00
Hannan-Quinn:	6.68839E+00
Schwarz:	6.74844E+00

ANEXO 13

DIAGRAMAS DE CORRELACION PARA LAS VARIABLES CLIMATICAS

FIGURA No 8. PRECIPITACION VS HUMEDAD RELATIVA

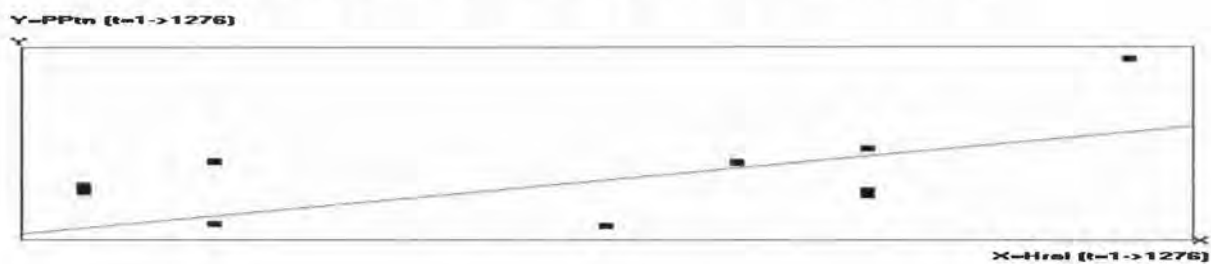


FIGURA No 9. RADIACION VS HUMEDAD RELATIVA

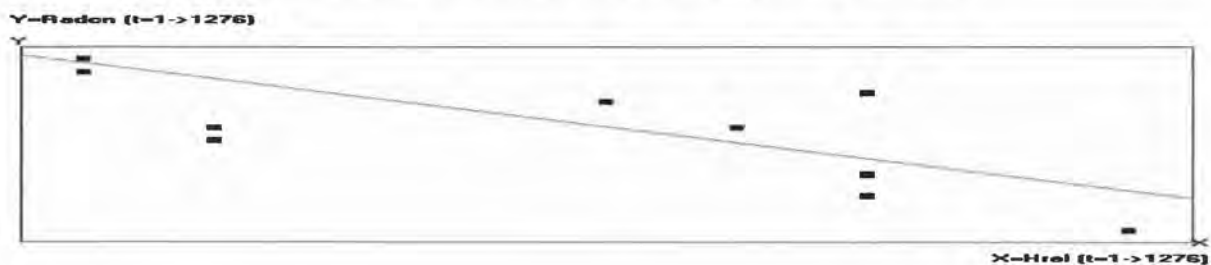


FIGURA No 10. PRECIPITACION VS OSCILACION DE TEMPERATURA

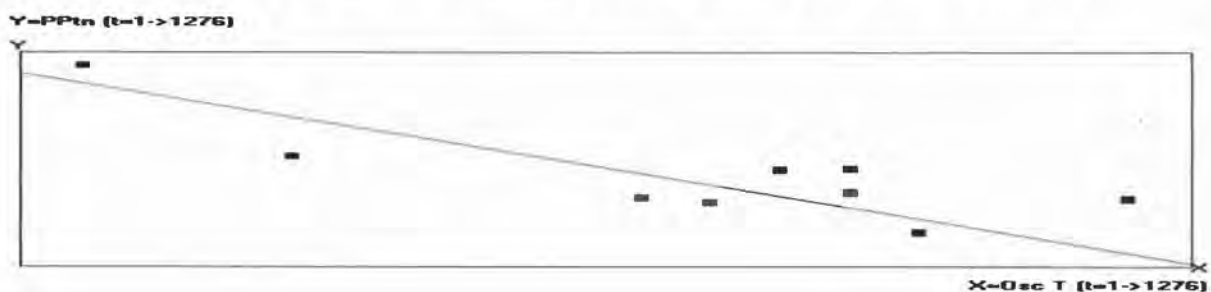


FIGURA No 11. RADIACION VS OSCILACION DE TEMPERATURA

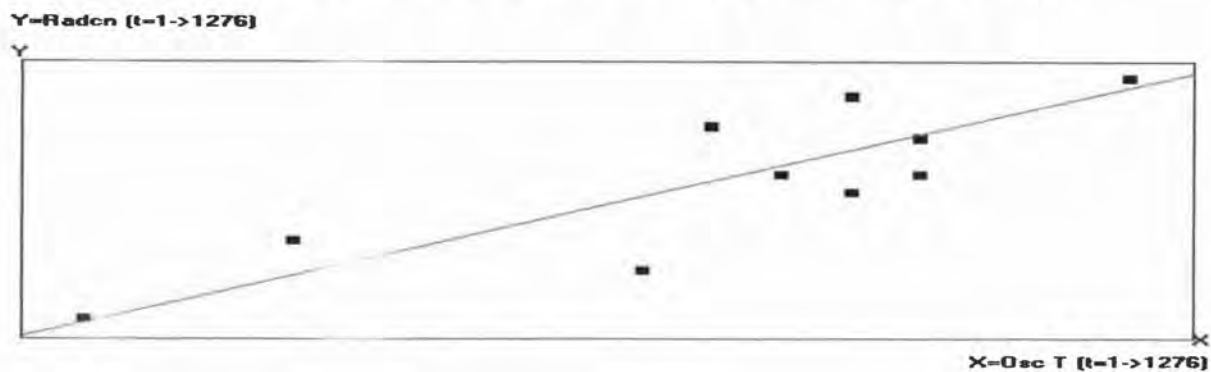


FIGURA No 12. HUMEDAD RELATIVA VS OSCILACION TEMPERATURA

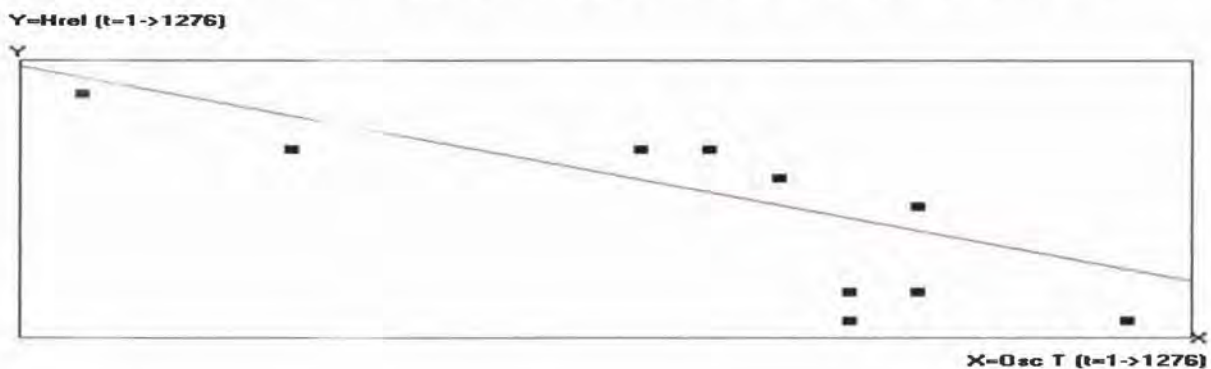


FIGURA No 13. OSCILACION TEMPERATURA VS TEMPERATURA MEDIA

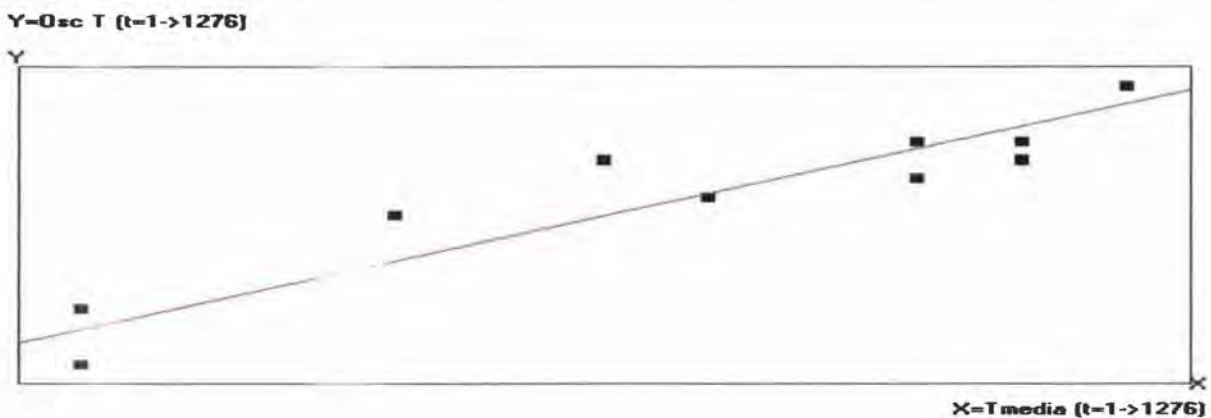


FIGURA No 14. PRECIPITACION VS TEMPERATURA MEDIA

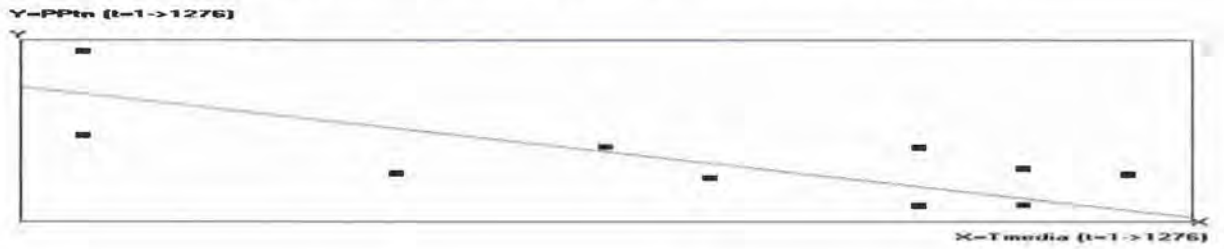


FIGURA No 15. TEMPERATURA MEDIA VS RADIACION

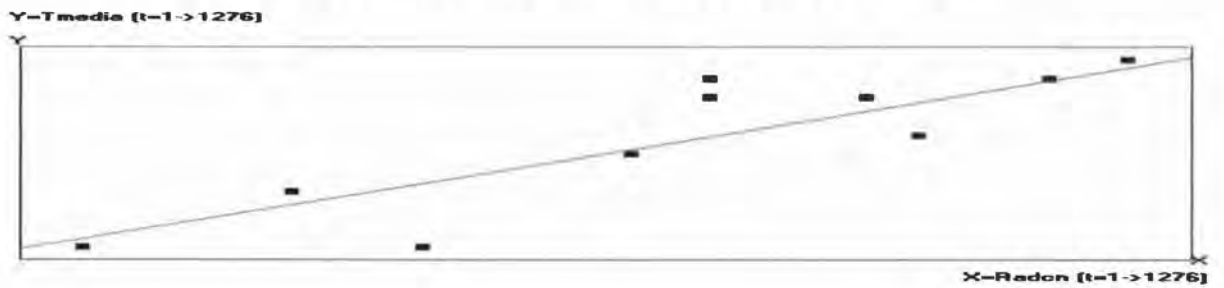


FIGURA No 16. HUMEDAD RELATIVA VS TEMPERATURA MEDIA

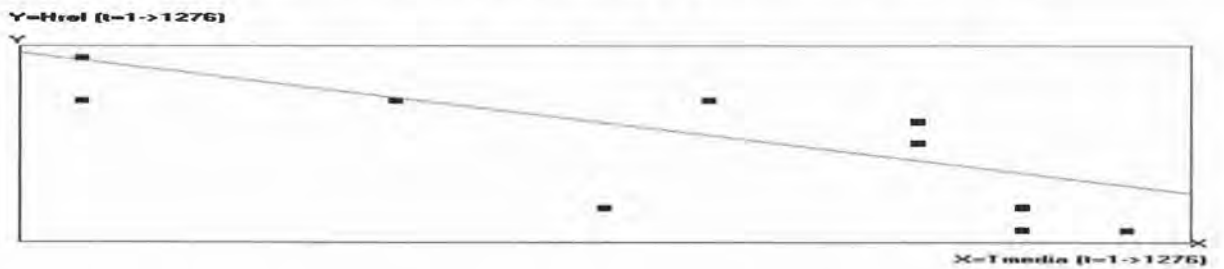
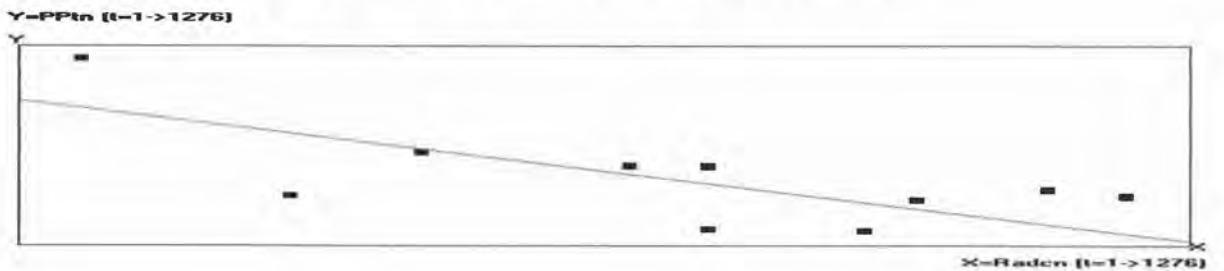


FIGURA No 17. PRECIPITACION VS RADIACION



ANEXO 14

**DIAGRAMAS DE DISPERSION PARA LAS VARIABLES
INDEPENDIENTES DEL MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE**

FIGURA No 18. VARIEDADES VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

Y=TSac/HM (t=1->1276)

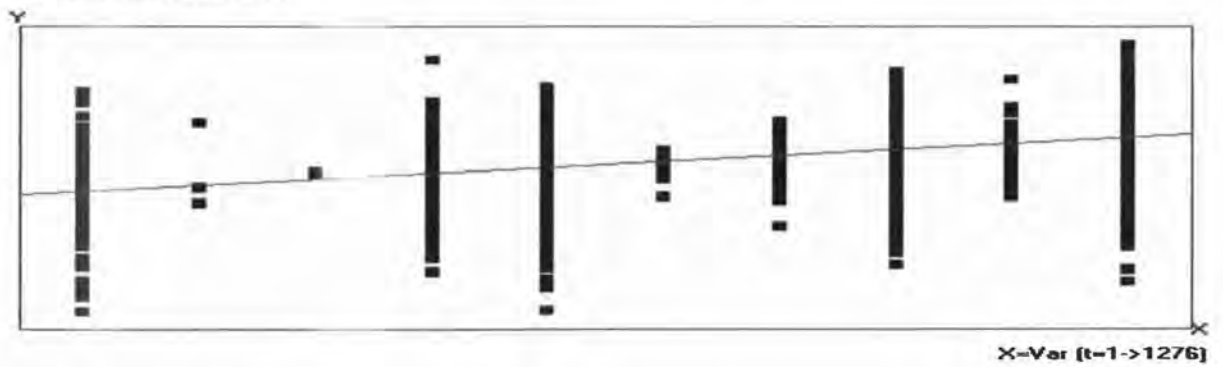


FIGURA No 19. ZONAS AE. VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

Y=TSac/HM (t=1->1276)

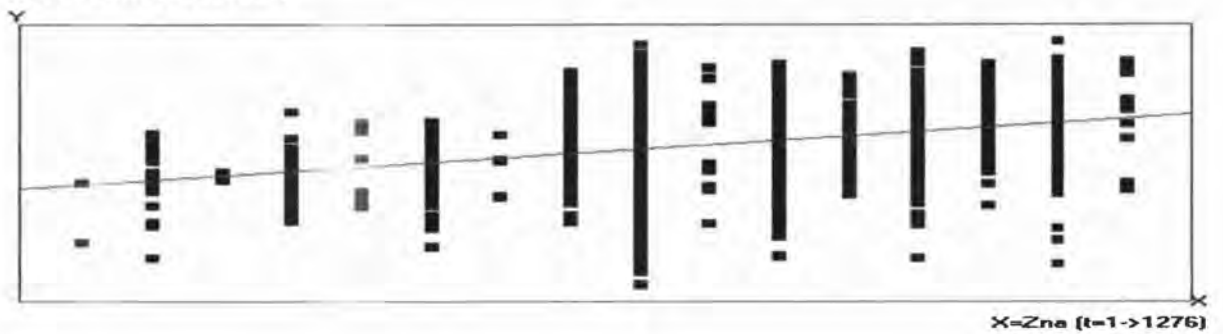


FIGURA No 20. EDAD COSECHA VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

Y=TSac/HM (t=1->1934)

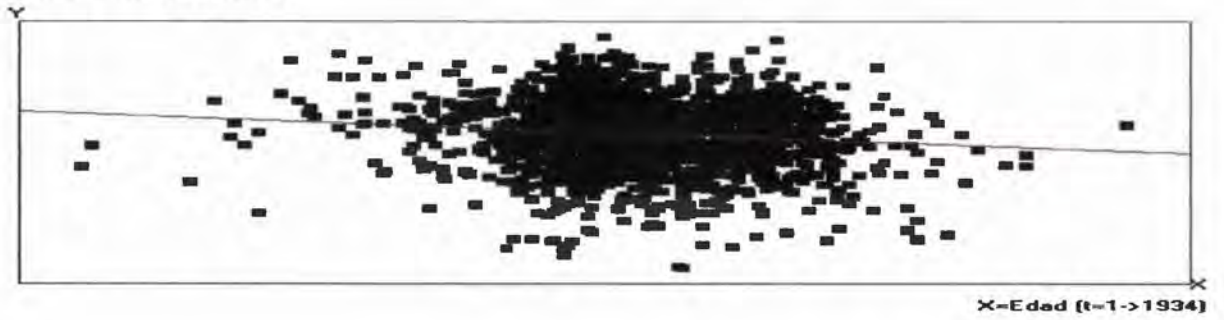


FIGURA No 21. POL APARENTE VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

Y=TSac/HM (t=1->1934)

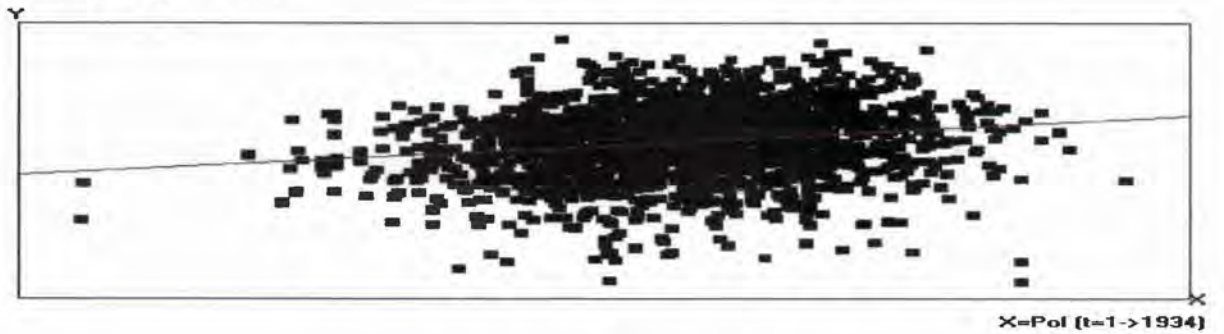


FIGURA No 22. APL MADURANTE VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

Y=TSac/HM (t=1->1934)

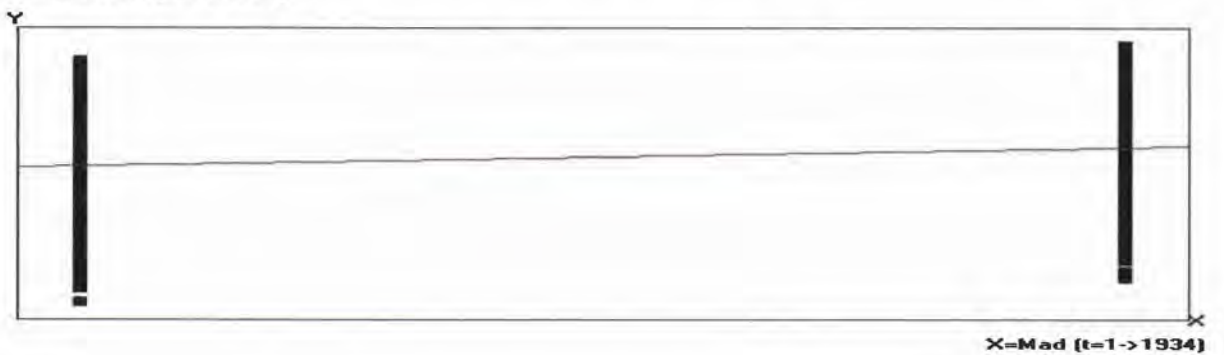


FIGURA No 23. CERCA/LEJOS VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

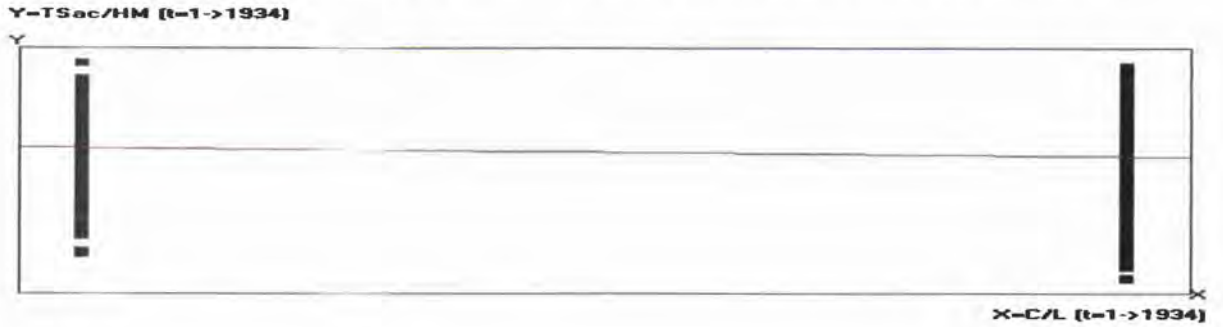


FIGURA No 24. FERTILIZACION FOLIAR C VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

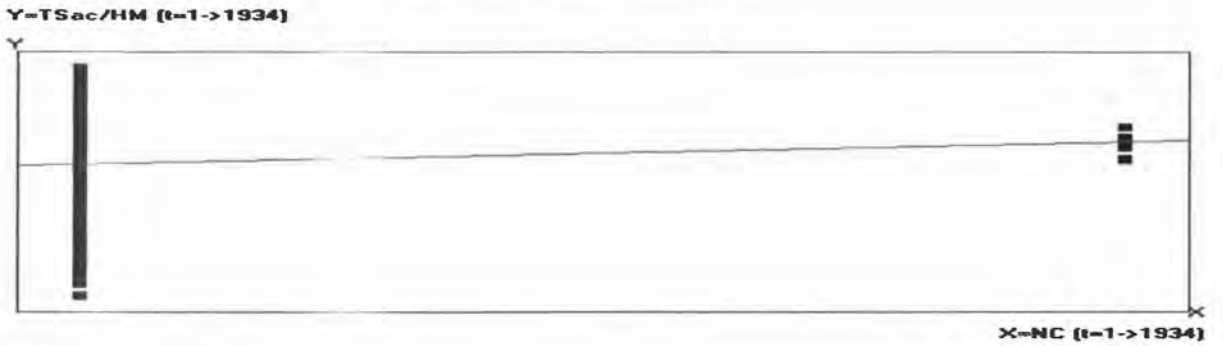


FIGURA No 25. PRECIPITACION VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES



FIGURA No 26. AÑO SIEMBRA VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

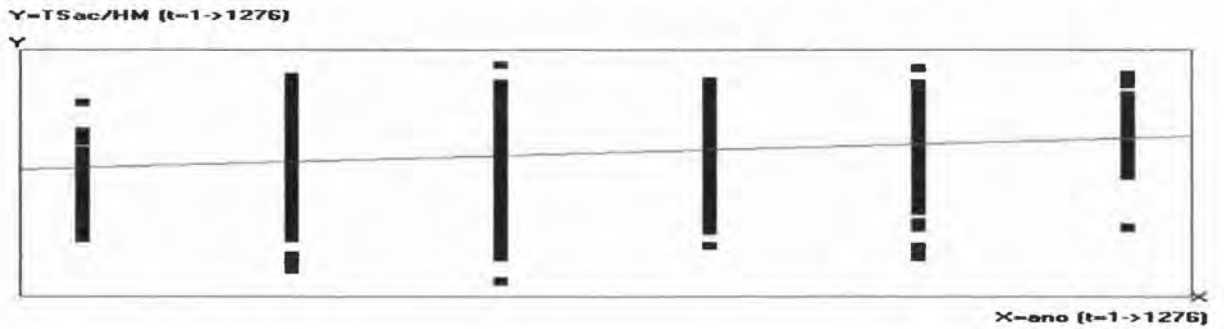


FIGURA No 27. RIEGOS VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES

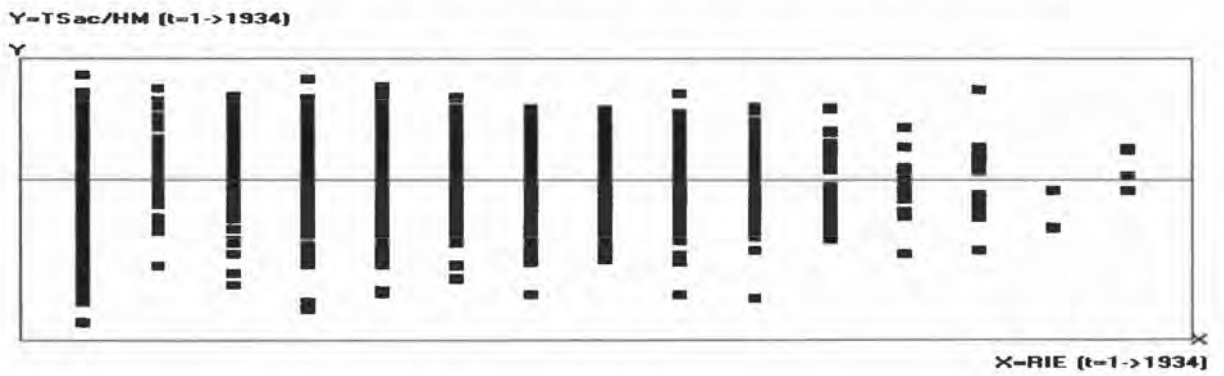
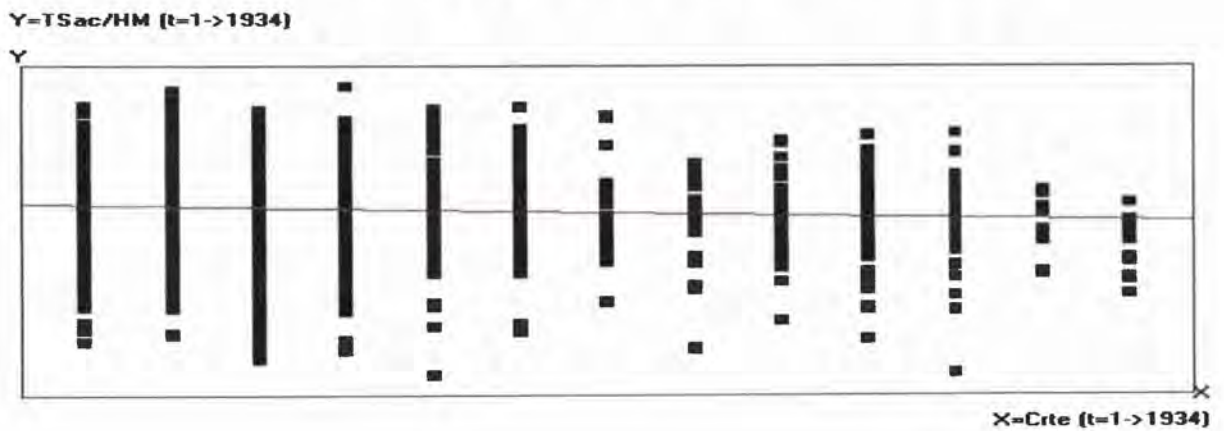


FIGURA No 28. CORTE VS TONELADAS SACAROSA/HA-MES





FECHA DE DEVOLUCION

El préstamo de este libro vence en la fecha del último sello, se cobrarán por cada día de mora para libros de colección general \$ 2.000 y reserva \$ 1.000 hora fracción de retraso. La devolución será para el diurno hasta las 1:30 p.m. y para el nocturno hasta las 7:00 p.m.