

# COMPORTAMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*), RESPECTO AL RENDIMIENTO Y LA MADUREZ

Marco Antonio Chaves Solera, José Luis Corrales y José Eduardo Arias

Ingeniero Agrónomo, técnico caña de azúcar, Ministerio de Agricultura y Ganadería

Ingeniero Agrónomo, técnico caña de azúcar, Hacienda La Luisa, S.A.

Ingeniero Agrónomo, técnico caña de azúcar, Ministerio de Agricultura y Ganadería

## INTRODUCCION

Durante las últimas zafras, especialmente en las zonas de altura que cultivan caña de azúcar, se ha notado un deterioro marcado y progresivo en los rendimientos y calidad de las principales variedades, que constituyen la materia prima de muchos de nuestros ingenios, lo cual, unido a la alta susceptibilidad de la mayoría de ellas a enfermedades de importancia como el carbón (*Ustilago scitaminea*), roya (*Puccinea* spp.), mancha ojival (*Helminthosporium sacchari*), etc. han planteado la necesidad de estudiar otros materiales que pudieran ofrecer alguna posibilidad bajo estas condiciones.

El decrecimiento de los rendimientos con el tiempo obedece a un fenómeno que se ha dado en denominar "declinación o agotamiento varietal", el cual se caracteriza por una reducción lenta y marcada de los mismos, hasta alcanzar un punto donde el cultivo de una variedad se vuelve antieconómico. Esta decadencia no se encuentra asociada con el retonamiento sucesivo, sino más bien entre otras causas con la adaptación que sufren con el tiempo las plagas y enfermedades tanto a la planta como a la condición ecológica del lugar.

Sin embargo, entre las explicaciones que se han dado para justificar este fenómeno, están: a) la menguante fertilidad de los suelos cañeros; b) desarrollo de un estado físico desfavorable en los suelos; c) el efecto acumulativo de plagas y enfermedades; d) la existencia de enfermedades caren-tes de síntomas o que pudieran haber sido identificadas aún; y e) el desconocimiento del ciclo natural de maduración de la variedad. Cualquiera que sea la causa, la conclusión inevitable es que en ciertos materiales al menos, el vigor disminuye al cabo de un período determinado de cortes, por lo que debemos estar preparados para el continuo reemplazo de los viejos puntales mediante el conocimiento adecuado

del comportamiento de cada una de ellas (13).

Considerando que el ciclo natural de maduración puede ser determinado mediante su estudio, es importante definir las características que sobre él puedan tener las variedades que más se cultivan bajo condiciones de altura influenciadas por factores como: alta humedad, baja temperatura mínima y gran nubosidad, etc.

La experiencia local ha notado cómo la mayoría de las variedades hawaianas especialmente las introducidas en los últimos años producen rendimientos (toneladas caña de azúcar/ha) elevados, sin embargo presentan cierta dificultad en alcanzar su madurez. Por esta razón se estableció un estudio comparativo de tres variedades de altura tradicionales, respecto al híbrido H56-4848, señalado en otras latitudes como promisorio; se determinó a la vez su ciclo de madurez fisiológica.

## MATERIALES Y METODOS

El experimento se efectuó en Hacienda La Luisa, S.A. situada en Sarchí de Valverde Vega, provincia de Alajuela a 10° 08' Latitud Norte y 84° 20' Longitud Oeste, a una altura de 1.250 m.s.n.m.

La zona en estudio presenta una temperatura media anual de 23° C con una mínima de 17,4° C y una máxima de 28,8° C. La precipitación total anual es de 3.510 mm.

Durante los últimos seis meses del ensayo hubo una temperatura media de 24,2° C, con 16,4 y 32° C como mínima y máxima, respectivamente; y una precipitación de 253,1 mm, como se indica en el siguiente cuadro.

| FACTOR                   | NOV.  | DIC. | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | PROMEDIO |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|----------|
| Temperatura máxima (° C) | 30,5  | 33,0 | 32,7 | 32,7 | 32,4 | 30,7 | 32,0     |
| Temperatura mínima (° C) | 17,2  | 16,5 | 15,8 | 16,1 | 16,0 | 16,5 | 16,4     |
| Temperatura media (° C)  | 23,8  | 24,7 | 24,2 | 24,4 | 24,2 | 23,6 | 24,2     |
| Precipitación (mm)       | 184,7 | 32,6 | 33,4 | 0    | 0    | 2,4  | 253,1    |
| Días con lluvia          | 12    | 5    | 2    | 0    | 0    | 1    | —        |

Los suelos predominantes en la zona son de origen volcánico, presentan bajos contenidos de fósforo y magnesio y existen fuertes desbalances nutricionales debido a elevados contenidos en los niveles de potasio, calcio, cobre, hierro como se muestra seguidamente:

| pH | µg/ml Suelo |     |    |    |    | Meq./100 g Suelo |     |     |      | Relaciones Catiónicas |      |       |           |
|----|-------------|-----|----|----|----|------------------|-----|-----|------|-----------------------|------|-------|-----------|
|    | P           | Zn  | Mn | Cu | Fe | K                | Ca  | Mg  | Al   | Ca/K                  | Mg/K | Ca/Mg | Ca + Mg/K |
| 6  | 6           | 4,3 | 9  | 12 | 86 | 0,72             | 5,6 | 0,9 | 0,38 | 7,8                   | 1,3  | 6,2   | 9         |

El ensayo fue cultivado originalmente en junio de 1980 y cosechado en abril de 1982, a la edad de 22 meses.

Se estudió en forma comparativa tres variedades comerciales de amplia en el país, a saber: H37-1933, H44-3098, H57-5174 respecto al híbrido H56-4848 señalado como promisorio en Hawai.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para el análisis estadístico. La unidad experimental constó de cinco surcos sembrados a una distancia de 1,50 m entre surcos por 10 m de largo y 3 m de aspersión entre parcelas para un área de 75 m<sup>2</sup>; la parcela útil estuvo formada por los tres surcos centrales. El área total del ensayo fue de 1.242 m<sup>2</sup>.

Durante la siembra las variedades fueron fertilizadas con aproximadamente 140 kg/ha de fósforo, utilizando la fórmula 8-43-0; posteriormente se aplicaron 100 kg de nitrógeno y potasio mediante la fórmula 15-15-15, fraccionando a los 2 y 4 meses.

Para el control de malezas se empleó una mezcla de Karmex (Diurón) y 2,4-D, aplicado en pre y post-emergencia, en una dosis de 2,5 kg y 2,5 l/ha, respectivamente. Al cumplir las variedades tres meses de edad, se realizó una aporca.

Paralelamente al estudio de productividad se llevó a cabo el control de algunos elementos determinantes de madurez, con el objeto de conocer su comportamiento en cuanto al proceso normal de maduración. Con este fin se realizaron cinco muestreos mensuales anteriores a la cosecha cuyas fechas aparecen en el Cuadro 1, en los cuales se analizaron sus jugos en sus componentes principales mediante la utilización del método de la prensa oleoneumática. Al jugo extraído se le determinó el porcentaje de sólidos en suspensión (brix), la sacarosa aparente (pol) en jugo y caña y su índice de pureza, haciendo uso del método convencional reconocido por la Liga Agrícola e Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) (5).

El porcentaje de humedad de la caña se obtuvo colocando una muestra de caña luego de desfibrar en la estufa llevándola hasta peso constante. La fibra fue también determinada en los análisis, lo mismo que los contenidos de nitrógeno y humedad de la sección 8-10 de los tallos.

Los análisis de jugos e internudos 8-10 fueron realizados en los laboratorios del Departamento Técnico de LAICA.

En la determinación de la sección 8-10 del tallo, se considera la hoja en desarrollo del cogollo como N1, en forma sucesiva y alterna, se cuenta las hojas subsiguientes hasta llegar a la No. 11 que corresponde al canuto 10 (16,9).

Para la estimación de la madurez se analizó cinco canutos 8-10 y cinco tallos sin su sección 8-10, por repetición y por variedad. Todas las variables estudiadas al igual que algunos elementos del clima, fueron relacionadas entre sí para lo cual se utilizó la correlación lineal simple.

Como variables de producción se estimaron las toneladas métricas de caña y azúcar por hectárea, lo mismo que el rendimiento teórico en kilogramos de azúcar por tonelada métrica de caña molida, para cada una de las variedades estudiadas; este factor se calculó con base en la fórmula utilizada por Puerto Rico (13), a saber:

$$A.E \% \text{ de caña de } 96^{\circ} = (S - 0,3 B) F.$$

Donde:

A.E = Azúcar extraíble en la caña

S = Pol del jugo en primera extracción

B = Brix del jugo en primera extracción

F = Coeficiente determinado según los resultados de cada liquidación, se le consideró igual a 0,89.

Los valores de producción de caña de azúcar (ton.) fueron sometidos a un estudio de carácter económico, en el cual se determinó el costo aproximado de siembra y asistencia al primer corte según avíos del Banco Central, 1982, se incluyó además el costo de operación industrial requerido para procesar una tonelada de caña, constituyendo todos los costos totales; por otra parte se determinó el Beneficio Neto a partir del precio de liquidación por tonelada de caña recibida durante ese año. A partir de la estimación de estos índices se obtuvo la relación Beneficio-Costo y la Tasa de Retorno Marginal para cada una de las variedades bajo estudio.

Es importante señalar que la producción fue ajustada en un 20 por ciento considerando el efecto ocasionado por el tratamiento experimental, como lo han indicado algunos estudios (15).

## RESULTADOS

El Cuadro 1 presenta los valores promedio por variedad y por muestreo para algunas variables obtenidas del análisis de la caña completa; como se observa, en términos generales, el brix del jugo, el pol del jugo y de la caña y la pureza, mantuvieron una tendencia de incremento en sus valores con el tiempo, siendo las variedades H57-5174 y H56-4848 las que mejor lo marcaron. Sin embargo en el caso de H37-1933 y H44-3098, esta tendencia fue menos evidente, presentando algunas ligeras fluctuaciones en su comportamiento. Por otra parte los contenidos de fibra y humedad de la caña sufrieron una reducción en el transcurso de los muestreos, presentando al igual que las otras variables algunas fluctuaciones.

Al determinar la variación presente en el contenido de nitrógeno y humedad del internudo 8-10 a través de los cinco muestreos, se observa en el Cuadro 2 que los valores promedio del nitrógeno son bajos en todas las variedades durante la primera lectura para aumentar significativamente en el segundo muestreo realizado en el mes de diciembre y luego decrecer en forma errática, sin llegar a alcanzar el valor indicativo de madurez (0,25%) durante el último muestreo, a excepción de la variedad H57-5174.

El nitrógeno alcanzó un coeficiente de variación bastante elevado (41,18%), señal de la gran fluctuación presente en su contenido.

**Cuadro 2. Valores promedio de humedad y nitrógeno en el internudo 8-10, caña planta, para cuatro variedades, Hacienda La Luisa, S.A., 1982.**

| Variedad | I           |       | II          |       | III         |       | IV          |       | V           |       |
|----------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
|          | Humedad (%) | N (%) | Humedad (%) | N (%) | Humedad (%) | N (%) | Humedad (%) | N (%) | Humedad (%) | N (%) |
| H37-1933 | 78,60       | 0,33  | 86,50       | 0,90  | 78,80       | 0,50  | 75,70       | 0,41  | 76,0        | 0,41  |
| H57-5174 | 81,20       | 0,33  | 89,00       | 0,90  | 81,80       | 0,50  | 75,40       | 0,32  | 76,8        | 0,25  |
| H44-3098 | 77,80       | 0,42  | 87,70       | 0,90  | 81,90       | 0,45  | 77,25       | 0,38  | 78,3        | 0,50  |
| H56-4848 | 87,20       | 0,36  | 88,00       | 0,90  | 83,80       | 0,60  | 81,25       | 0,38  | 79,8        | 0,74  |
| Promedio | 81,20       | 0,36  | 87,80       | 0,90  | 81,58       | 0,51  | 77,40       | 0,37  | 77,7        | 0,48  |

\* Promedio de cinco muestras por variedad y repetición.

**Cuadro 1. Composición de los jugos de la caña completa por variedad y por muestreo, Hacienda La Luisa, S.A., 1982.**

| Variedad | Brix jugo (%) | Pol jugo (%) | Pol caña (%) | Pureza (%) | Fibra (%) | Humedad caña (%) | Muestreo |
|----------|---------------|--------------|--------------|------------|-----------|------------------|----------|
| H37-1933 | 18,19         | 16,16        | 13,74        | 88,84      | 14,90     | 69,60            | I        |
|          | 17,37         | 15,33        | 13,33        | 88,25      | 12,99     | 71,90            | II       |
|          | 18,47         | 15,79        | 13,61        | 85,49      | 13,77     | 70,30            | III      |
|          | 18,86         | 16,91        | 14,83        | 89,66      | 12,25     | 71,20            | V        |
| Promedio | 18,22         | 16,05        | 13,88        | 88,06      | 13,48     | 70,25            |          |
| H57-5174 | 16,17         | 13,99        | 12,36        | 86,51      | 11,60     | 70,10            | I        |
|          | 16,74         | 14,13        | 12,14        | 84,40      | 14,01     | 71,60            | II       |
|          | 15,97         | 15,93        | 13,66        | 88,65      | 14,18     | 70,40            | III      |
|          | 20,26         | 18,27        | 16,23        | 90,30      | 11,71     | 70,40            | V        |
| Promedio | 17,28         | 15,58        | 13,60        | 87,47      | 12,88     | 71,63            |          |
| H44-3098 | 15,57         | 13,66        | 11,83        | 87,73      | 13,30     | 73,20            | I        |
|          | 15,44         | 12,33        | 10,63        | 80,00      | 13,91     | 72,80            | II       |
|          | 17,24         | 14,37        | 12,05        | 83,35      | 16,14     | 69,40            | III      |
|          | 17,06         | 14,14        | 12,20        | 82,80      | 13,70     | 71,60            | V        |
| Promedio | 16,33         | 13,63        | 11,68        | 83,47      | 14,26     | 71,75            |          |
| H56-4848 | 13,17         | 9,45         | 8,33         | 71,75      | 11,80     | 76,60            | I        |
|          | 14,37         | 11,10        | 9,51         | 77,24      | 14,28     | 73,40            | II       |
|          | 17,57         | 14,28        | 12,26        | 81,27      | 14,11     | 70,80            | III      |
|          | 18,56         | 15,75        | 13,77        | 84,60      | 12,21     | 71,50            | V        |
| Promedio | 15,92         | 12,65        | 13,05        | 78,72      | 13,10     | 73,08            |          |

Los valores correspondientes al cuarto muestreo en el mes de marzo, fueron extraviados.

Las fechas de muestreo fueron las siguientes: I. noviembre 17; II. diciembre 22; III. enero 28, IV. marzo 3; V. abril 14 de 1982; la cosecha se efectuó el 26 de abril de 1982.

La Figura 1 presenta el comportamiento diferencial de algunas variables en el tiempo, para cada una de las variedades estudiadas.

El Cuadro 3 presenta las correlaciones existentes entre las diferentes variables estudiadas con sus correspondientes tendencias y valores. El cuadro muestra un coeficiente de correlación lineal positivo de 0,74, respecto a la humedad del internudo 8-10, diferencia altamente significativa 1 por ciento, mientras que no existió significancia con el brix del jugo, el pol de jugo y caña, la pureza y la humedad presente en el tallo. De la misma manera la temperatura mínima y la precipitación a pesar de no marcar relación alguna, mostraron un efecto negativo hacia el nitrógeno; la temperatura alta por otra parte fue significativa al 5 por ciento.

Debe notarse que con relación a la humedad del internudo 8-10, los valores disminuyeron con el tiempo, marcando al igual que el nitrógeno un incremento en el segundo muestreo para luego decrecer y no llegar a alcanzar el valor indicativo de madurez. Esta variable mostró correlación lineal negativa altamente significativa al 1 por ciento con el brix (-0,66), el pol de jugo y la caña (-0,70), la pureza (-0,67) y el nitrógeno (0,74) del internudo 8-10, sin embargo no hubo correlación alguna entre la humedad 8-10 y los elementos climáticos estudiados.

Igual situación sucedió con la humedad de la caña, donde además de su relación significativa 1 por ciento negativa, con el brix, el pol del jugo y la caña y la pureza; hubo interacción significativa 5 por ciento con la fibra y la precipitación.

El brix marcó relación al 5 por ciento con la temperatura mínima y la precipitación, mientras que su correlación con la temperatura máxima, la humedad 8-10, la humedad del tallo, la pureza y el pol tanto del jugo como de la caña fue altamente significativa. El pol del jugo y la caña tuvieron una relación positiva y estrecha entre sí (0,99) y con la pureza, la humedad de la caña y del internudo 8-10, aunque negativa, a su vez la pureza tuvo una correlación negativa y significativa al 1 por ciento con ambas humedades.

La fibra de la caña fue independiente de casi todas las variables estudiadas, aunque fue influenciada en forma ne-

gativa por la mayoría de estas; a pesar de ello la humedad de la caña fue estadísticamente significativa al nivel del 5 por ciento (0,54) en su relación con la fibra.

La temperatura mínima correlacionó en forma positiva al 1 por ciento con la humedad de la caña y la precipitación, y al nivel del 1 y 5 por ciento, respectivamente, pero en forma negativa con el brix y la temperatura máxima (-0,72). La temperatura máxima alcanzó una correlación significativa al 1 por ciento con el brix y del 5 por ciento con el nitrógeno y la precipitación (-0,52). Por otra parte la precipitación influyó en forma positiva, al nivel del 5 por ciento la humedad de la caña (0,51) y negativa el brix del jugo.

En el Cuadro 4 se transcriben los valores promedio de tres repeticiones para las variables de producción pertenecientes a las variedades estudiadas. Como se observa, la variedad que mejor brix, pol en jugo y pureza mostró, fue la H37-1933, lo mismo que el rendimiento teórico, donde alcanzó un valor de 91,33 kg de azúcar por tonelada métrica de caña molida, seguida por la H57-5174 con 88,57 kg; H56-4848 con 84,07 kg y H44-3098 con 81,13 kg, respectivamente.

Al determinar la producción de caña en toneladas métricas/ha, encontramos que la variedad H56-4848 obtuvo un valor de 357,77 T.M., superando en 57 toneladas a la H44-3098 y en más de 100 ton. a las otras dos variedades, lo cual se puede corroborar en el Cuadro 4 y en el análisis de varianza correspondiente al tonelaje (Cuadro 5).

La Figura 2 muestra el comportamiento de las variedades en su producción de caña, la cual presenta un efecto lineal definido por la ecuación de regresión: (Fig. 3)

$$\hat{Y} = 384,25 - 37,39 X$$

Con respecto a la producción de azúcar se tiene que la variedad H56-4848 superó ampliamente a las otras, aunque sin alcanzar diferencias significativas. La Figura 4 presenta el comportamiento de las variedades estudiadas respecto al rendimiento teórico y la producción de azúcar por hectárea, respectivamente.

**Cuadro 3. Coeficientes de correlación para las variables indicativas de madurez, Hacienda La Luisa, S.A.**

| Variable                | Brix (%)           | Pol Jugo           | Pol Caña           | Pureza (%)         | Humedad caña (%)   | Humedad (8-10)    | Nitrógeno (%)      | Fibra (%)          | Precipitación      | Temperat. Máxima   |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Temperatura mínima (°C) | -0,58 <sup>1</sup> | -0,45 <sup>2</sup> | -0,43 <sup>2</sup> | -0,17 <sup>2</sup> | 0,64 <sup>3</sup>  | 0,12 <sup>2</sup> | -0,09 <sup>2</sup> | -0,31 <sup>2</sup> | 0,79 <sup>3</sup>  | -0,72 <sup>3</sup> |
| Temperatura máxima (°C) | 0,63 <sup>3</sup>  | 0,19 <sup>2</sup>  | 0,16 <sup>2</sup>  | 0,01 <sup>2</sup>  | -0,43 <sup>2</sup> | 0,44 <sup>2</sup> | 0,56 <sup>1</sup>  | 0,30 <sup>2</sup>  | -0,52 <sup>1</sup> | —                  |
| Precipitación (mm)      | -0,50 <sup>1</sup> | -0,39 <sup>2</sup> | -0,38 <sup>2</sup> | -0,14 <sup>2</sup> | 0,51 <sup>1</sup>  | 0,16 <sup>2</sup> | -0,25 <sup>2</sup> | -0,14 <sup>2</sup> | —                  | —                  |
| Fibra caña (%)          | -0,04 <sup>2</sup> | -0,07 <sup>2</sup> | -0,16 <sup>2</sup> | -0,08 <sup>2</sup> | -0,54 <sup>1</sup> | 0,19 <sup>2</sup> | 0,24 <sup>2</sup>  | —                  | —                  | —                  |
| Nitrógeno (%) (8-10)    | -0,27 <sup>2</sup> | -0,31 <sup>2</sup> | -0,32 <sup>2</sup> | -0,29 <sup>2</sup> | 0,09 <sup>2</sup>  | 0,74 <sup>3</sup> | —                  | —                  | —                  | —                  |
| Humedad (%) (8-10)      | -0,66 <sup>3</sup> | -0,70 <sup>3</sup> | -0,70 <sup>3</sup> | -0,67 <sup>3</sup> | -0,45 <sup>2</sup> | —                 | —                  | —                  | —                  | —                  |
| Humedad caña            | -0,83 <sup>3</sup> | -0,79 <sup>3</sup> | -0,73 <sup>3</sup> | -0,64 <sup>3</sup> | —                  | —                 | —                  | —                  | —                  | —                  |
| Pureza (%)              | 0,80 <sup>3</sup>  | 0,90 <sup>3</sup>  | 0,90 <sup>3</sup>  | —                  | —                  | —                 | —                  | —                  | —                  | —                  |
| Pol caña (%)            | 0,97 <sup>3</sup>  | 0,99 <sup>3</sup>  | —                  | —                  | —                  | —                 | —                  | —                  | —                  | —                  |
| Pol jugo (%)            | 0,98 <sup>3</sup>  | —                  | —                  | —                  | —                  | —                 | —                  | —                  | —                  | —                  |
| Brix (%)                | —                  | —                  | —                  | —                  | —                  | —                 | —                  | —                  | —                  | —                  |

1 Diferencia significativa al 5 por ciento.

2 Diferencia no significativa.

3 Diferencia significativa al 1 por ciento.

**Cuadro 4. Valores promedio de tres repeticiones para diferentes variables de producción, caña planta, Hacienda La Luisa, S.A., 1982.**

| Variedad | Brix (%) | Pol (%) | Pureza (%) | Ton. caña/ha | Dife-rencia | Ton. caña /mes/ha | Ton. azúcar/ha | Dife-rencia | Rendimiento teórico (kg/azúcar /ton. caña) |
|----------|----------|---------|------------|--------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|--------------------------------------------|
| H37-1933 | 17,82    | 15,61   | 87,47      | 247,03       | —           | 11,23             | 22,56          | —           | 91,33                                      |
| H57-5174 | 17,69    | 15,27   | 84,95      | 258,33       | +11         | 11,74             | 22,93          | +0,37       | 88,57                                      |
| H44-3098 | 16,61    | 14,10   | 84,89      | 300,00       | +53         | 13,64             | 24,33          | +1,77       | 81,13                                      |
| H56-4848 | 16,92    | 14,52   | 85,68      | 357,77       | +11         | 16,26             | 30,12          | +7,56       | 84,07                                      |
| C.V. %   | 6,90     | 9,49    | 2,98       | 9,40         | —           | —                 | 12,80          | —           | 10,72                                      |

\* Diferencia significativa 1 por ciento.

Datos pertenecientes al análisis de la caña el día de su cosecha.

**Cuadro 5. Análisis de varianza para las toneladas métricas de caña por hectárea, caña planta, Hacienda La Luisa, S.A., 1982.**

| Fuente Variación | G.L. | S.C.      | C.M.     | F. obs.            |
|------------------|------|-----------|----------|--------------------|
| Bloque           | 2    | 2.974,31  | 1.487,16 | 1,99 <sup>1</sup>  |
| Variedades       | 3    | 22.616,38 | 7.538,79 | 10,10 <sup>2</sup> |
| Error            | 6    | 4.478,56  | 746,43   | —                  |
| Total            | 11   | 30.069,25 | —        | —                  |

C.V. = 9,40 por ciento.

1 Diferencia no significativa.

2 Diferencia significativa 1 por ciento.

El Cuadro 6 muestra algunos coeficientes de correlación para las variables de producción.

Luego de realizar el estudio económico (Cuadro 7, Fig. 4), considerando el beneficio neto y los costos totales de producción de caña por hectárea ajustada en un 20 por ciento por efecto del manejo experimental, se logró una relación Beneficio-Costo de 1,26 para la variedad H56-4848 la cual fue muy superior a las demás variedades, igual situación sucedió al estimar la tasa de retorno marginal, la cual señala un retorno mayor en el caso de la H56-4848 seguido respectivamente por H44-3098, H57-5174, y H37-1933.

**Cuadro 6. Coeficientes de correlación para algunas variables de producción, Hacienda La Luisa, S.A.**

| Variable            | Brix (%)           | Pol jugo (%)       | Pureza (%)         | Rendimiento teórico | Producción azúcar |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Producción caña     | -0,76 <sup>1</sup> | -0,73 <sup>1</sup> | -0,54 <sup>2</sup> | -0,72 <sup>1</sup>  | 0,96 <sup>1</sup> |
| Producción azúcar   | -0,58 <sup>2</sup> | -0,54 <sup>2</sup> | -0,36 <sup>2</sup> | -0,52 <sup>2</sup>  | —                 |
| Rendimiento teórico | 0,99 <sup>1</sup>  | 0,99 <sup>1</sup>  | 0,86 <sup>1</sup>  | —                   | —                 |
| Pureza              | 0,79 <sup>1</sup>  | 0,85 <sup>1</sup>  | —                  | —                   | —                 |
| Pol jugo            | 0,99 <sup>1</sup>  | —                  | —                  | —                   | —                 |
| Brix                | —                  | —                  | —                  | —                   | —                 |

1 Diferencia significativa al 1 por ciento.

2 Diferencia no significativa.

Los coeficientes fueron obtenidos a partir del Cuadro 4.

**Cuadro 7. Análisis económico para la producción de toneladas de caña de las variedades bajo estudio, Hacienda La Luisa, S.A., 1982.**

| Variedad | Producción caña ton./ha | Producción ajustada* | Beneficio bruto (¢)** | Costos totales (¢)*** | Beneficio neto (¢) | B/C  | Ingreso marginal beneficio neto | Ingreso marginal costo total | Tasa retorno marginal (%) |
|----------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| H37-1933 | 247,03                  | 197,62               | 115.133,41            | 60.607,0              | 54.526,41          | 0,90 | —                               | —                            | —                         |
| H57-5174 | 258,33                  | 206,66               | 120.400,11            | 61.963,0              | 58.437,11          | 0,94 | 3.910,7                         | 1.356,0                      | 288,40                    |
| H44-3098 | 300,00                  | 240,00               | 139.824,00            | 66.964,0              | 72.860,00          | 1,09 | 14.422,9                        | 5.001,0                      | 288,40                    |
| H56-4848 | 357,77                  | 286,22               | 166.751,77            | 73.897,0              | 92.854,77          | 1,26 | 19.994,8                        | 6.933,0                      | 288,40                    |

\* La producción fue ajustada considerando un 20 por ciento por efecto de manejo experimental.

\*\* El precio de liquidación para 1982 fue de ¢582,60/tonelada de caña.

\*\*\* Los costos totales por hectárea de caña fueron estimados según avíos del Banco Central de Costa Rica para la región central durante 1982; comprenden ¢ 19.130,00 por concepto de establecimiento, ¢ 11.605,00 para asistencia al primer corte, considerando a la vez el costo de corta, carga y acarreo en ¢ 150,00/tonelada y ¢ 229,00 como el costo de operación industrial requerido para procesar una tonelada de caña.

## DISCUSION

Conforme la caña de azúcar avanza en su etapa de maduración se detiene el crecimiento y con ello la conversión de azúcares reductores a sacarosa, lo cual incrementa los valores de brix, pol y pureza. Sin embargo, los factores climáticos provocan fluctuaciones en sus valores como ha sido ampliamente estudiado (1,6,8,9,10,11,13,16), alterando la tendencia de incremento; en el presente caso esta razón es válida a medias, ya que existió interferencia negativa de la temperatura mínima y la precipitación sobre el brix, el pol y la pureza, aunque fuera estadísticamente significativa sólo en la primer variable. Parte de la variación es debida también a la toma de la muestra.

El hecho de que las variedades H57-5174 y H56-4848 mejoren con el tiempo su contenido de sacarosa en los jugos, sugiere que ambas son variedades tardías que requieren de más tiempo para expresar al máximo su potencial de producción, o en caso contrario, condiciones extremas que provoquen una reducción en su crecimiento y consecuentemente una concentración mayor de sacarosa, tal es el caso de temperaturas mínimas bajas, condición que se lograría cultivándolas a una mayor altura.

En el caso de H37-1933 se tiene que presenta un ciclo de desarrollo rápido catalogándose como de características tempranas; la variedad H44-3098, por otra parte se considera de maduración intermedia a tardía, lo cual condiciona su época de corta de acuerdo a la situación en que se encuentre ubicada (1,16).

Un experimento de épocas de corta por variedad desarrollada en Juan Viñas en 1978, donde se cosechó la caña a los 16, 20 y 24 meses de edad indica que las variedades H44-3098 y H57-5174 presentan su mayor producción de caña y azúcar/ha a los 24 meses de edad, no así el rendimiento en kilogramos de azúcar/ton. caña, para la variedad H57-5174, el cual fue superior a los 16 meses. En otras pruebas llevadas a cabo en el mismo lugar en 1967, la H44-3098 presentó como época ideal para su cosecha de los 23 a los 25 meses de edad, mientras que la H37-1933 fue de 22 a 23 meses (16).

La recomendación seguida en el caso de la Hacienda Juan Viñas respecto a H44-3098, señala que la mejor cosecha ocurre a los 21 meses; sin embargo el mejor rendimiento se obtuvo a los 23 meses. Resultados correspondientes a otras pruebas de épocas por variedad en primer corte concluye que H44-3098, debe cortarse luego de los 25 meses, mientras que H37-1933 a los 21 meses (4).

La humedad conforme la caña madura tiende a reducirse debido a la deshidratación que esta sufre, numerosos autores han demostrado el efecto depresivo que tienen sobre los rendimientos fabriles las lluvias abundantes en pre-cosecha, peor aún si los períodos lluviosos se acentúan durante la zafra.

Humbert (13), indica que cuando el contenido de humedad decrece en la planta, la deshidratación conduce a la conversión de los azúcares reductores en sacarosa.

Fogliata (7), no encontró respuesta estadística significativa de la precipitación con la cosecha, aunque el coeficiente de correlación fue siempre negativo en todos los casos y en aumento hacia la cosecha, como efectivamente sucedió en el presente estudio.

La alta humedad del tallo e internudo 8-10, es indicativo de que la planta se encuentra en crecimiento, lo cual afecta en forma negativa el brix y consecuentemente, el pol y la pureza como lo corroboró Fogliata (8), el cual encontró además una fuerte asociación entre azúcares reductores y humedad del bagazo.

González Gallardo (11), indica que durante la maduración la humedad debe bajar paulatinamente hasta 73-75 por ciento al llegar al corte. Saucedo Portales citado por Fogliata (8), asegura que en México la caña está madura con 73 por ciento o menos de humedad. A su vez, Bonnet citado por el mismo autor manifiesta que para Puerto Rico un 75 por ciento es el índice de madurez; Humbert (13), señala que 73 por ciento es lo indicado.

Al reducir la planta su crecimiento las reservas de nitrógeno disminuyen, agudizándose más conforme las condiciones que favorecen este fenómeno se incrementan, temperaturas bajas, reducción de la humedad y el nitrógeno fertilizante, etc.

A pesar de la reducción en el contenido de nitrógeno y humedad de la sección 8-10 conforme se acercó a la cosecha, los valores alcanzados no llegaron al nivel de 0,25 y 73 por ciento, respectivamente, a excepción de la H57-5174.

En la Figura 1 se aprecia cómo cuando al disminuir el nitrógeno lo hacen también la humedad 8-10 y la fibra, mientras que el pol aumenta por las razones expuestas anteriormente, aunque estadísticamente el nitrógeno no marcó correlación alguna.

La temperatura es sumamente importante, Humbert (13) indica que las bajas temperaturas deben ser el factor individual más efectivo en inducir maduración, como efectivamente sucedió en el caso del brix.

Gómez Alvarez (10) en Venezuela y Samuels (17) en Puerto Rico fracasaron en obtener asociación significativa entre temperatura y nitrógeno foliar, sin embargo en Argentina el crecimiento correlacionó negativamente con las temperaturas mínimas (8).

La variedad H37-1933, fue la que mejor rendimiento teórico mostró, a pesar de que su producción de caña por hectárea fue la más baja, comportamiento observado en otras ocasiones (2,3,14,16). En el caso de H57-5174, a pesar de que su producción de caña superó en 11 toneladas y 0,37 toneladas de azúcar a la H37-1933, su rendimiento teórico fue inferior en 2,76 kg de azúcar/ton. caña molida lo cual es económicamente significativo al proyectarlo a mayores volúmenes; sin embargo al resumir el comportamiento respecto a la producción tenemos que la variedad H57-5174, ha resultado en la mayoría de las pruebas su-

perior a H44-3098, en cuanto a la producción de caña y azúcar por hectárea al igual que el rendimiento teórico (3,4,16).

La H57-5174, es una variedad sumamente afectada por el virus del mosaico de la caña y la mecanización, tiene además el problema de presentar diferentes tipos de material (produce mucho hijo secundario y terciario) lo que disminuye los rendimientos, es una caña con la particularidad de presentar problemas para alcanzar su madurez.

La H44-3098, es menos afectada por la maquinaria y soporta más cortes aunque produce menos azúcar que la anterior, posee también mucho pelo. Por otra parte H37-1933, es de elevada producción de azúcar aunque baja en lo que a caña respecta, es bastante susceptible al virus del mosaico y muy afectada por el raquitismo del retoño, lo que ocasiona un cepeo excesivo y pérdida de vigor.

La H56-4848 fue la de mejor producción de caña y azúcar/ha, superando ampliamente las otras variedades, sin embargo su rendimiento es menor respecto a H37-1933 y H57-5174 a pesar de ello siempre mostró una mayor ganancia por cada unidad de producción invertida, en este caso cada colón invertido. Además de su alta producción de caña y azúcar/ha presenta características agronómicas positivas, como ser poco susceptible al virus del mosaico y la roya, erecta con excelente desarrollo aunque es atacada por la cercospora (*Cercospora* spp.); informes procedentes de Hawai, reportan esta variedad como tolerante al carbón (*Ustilago scitaminea*), mancha ojival (*Helminthosporium sacchari*), escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans*) y pudrición roja (*Colletotrichum falcatum*), en el caso del carbón debido a la existencia de razas son necesarias pruebas locales de inoculación (12).

Esta variedad ha sido la caña comercial por varios años en la región de Káu y otras zonas elevadas de la isla de Hawai; presenta altos requerimientos de luz y frío para su maduración, sobresale por su excelente tonelaje y producción de azúcar como fue corroborado; sin embargo son necesarios más cortes sucesivos para observar su comportamiento lo mismo que pruebas en otras condiciones agroclimáticas.

## CONCLUSIONES

Con base en las observaciones y resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye que:

1. El brix, el pol y la pureza mantuvieron una tendencia de incremento en sus valores con el tiempo.
2. Los mismos factores correlacionaron en forma negativa y significativa con la humedad, tanto de la caña como la sección 8-10.
3. La temperatura mínima y la precipitación afectaron negativamente el brix, no así el pol y la pureza.
4. El contenido de nitrógeno y humedad de la sección 8-10, mostró una tendencia decreciente al acercarse la cosecha, alcanzando su máximo valor en el segundo muestreo en diciembre.
5. El nitrógeno correlacionó de manera significativa y positiva con la humedad 8-10, y la temperatura máxima.
6. La humedad 8-10, afectó negativamente el brix, el pol y la pureza.
7. Existió asociación negativa entre la humedad de la caña, el brix, el pol, la pureza y la fibra.
8. La temperatura mínima influyó de manera negativa el brix y positiva la humedad en caña y la precipitación.
9. El brix y el nitrógeno tuvieron correlación positiva con la temperatura máxima, mientras la precipitación fue negativa.
10. La precipitación correlacionó de manera negativa con el brix y la temperatura máxima y positiva con la humedad de la caña y la temperatura mínima.
11. La H56-4848 fue la variedad de mayor producción de caña y azúcar/ha seguida por H44-3098; H57-5174 y H37-1933, respectivamente.

12. Se puede señalar la H37-1933 como la variedad de mayor rendimiento, seguida por H57-5174; H56-4848 y H44-3098, respectivamente.
13. Los resultados indican que H37-1933 es de maduración temprana, H44-3098 intermedia a tardía, H56-4848 y H57-5174 de madurez tardía, lo que sugiere un ciclo vegetativo superior a los 22 meses.
14. La relación Beneficio-Costo, mostró a H56-4848 como la variedad más rentable, seguida por H44-3098, H57-5174 y H37-1933, respectivamente.
15. Al determinar la Tasa de Retorno Marginal se encontró un comportamiento semejante al obtenido con la relación Beneficio-Costo.
16. Se sugiere realizar nuevos ensayos y evaluar varios cortes para conocer mejor el comportamiento de la variedad H56-4848.

## RESUMEN

Durante el año 1980 se estableció en Sarchí de Valverde Vega a una altura de 1250 m.s.n.m., una prueba comparativa con las variedades H37-1933, H44-3098, H57-5174 y el híbrido H56-4848 señalado como promisorio en Hawai; en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Paralelamente al estudio de productividad se llevó el control de la madurez, para lo cual se realizaron cinco muestreos, donde se analizaron los jugos y otros elementos importantes como el nitrógeno y la humedad del internodo 8-10; se muestreó cinco tallos con variedad y repetición.

Luego de estudiar diferentes variables indicativas de madurez se determinó que H37-1933 es de maduración temprana, H44-3098 intermedia a tardía, H57-5174 y H56-4848 de madurez tardía lo que sugiere un ciclo superior de 22 meses sobre todo por parte de la H56-4848.

La variedad H56-4848 fue la que mayor producción de caña y azúcar obtuvo, seguida por H44-3098, H57-5174 y H37-1933, respectivamente; sin embargo al determinar su rendimiento (kg azúcar/ton. caña) se observó un comportamiento diferente, ya que la H37-1933 fue la que mayor valor alcanzó, seguida respectivamente por H57-5174, H56-4848 y H44-3098.

La producción de caña fue sometida a un estudio de carácter económico en el cual se determinaron la Relación Beneficio-Costo y la Tasa de Retorno Marginal, el resultado final en ambos casos superior para la variedad H56-4848 la cual demostró en el presente caso ser la de mayor rentabilidad, seguida por H44-3098, H57-5174 y H37-1933, respectivamente; debe sin embargo estudiarse por más cortes dicha variedad para conocer mejor su comportamiento agroindustrial.

## BIBLIOGRAFIA

1. Corrales Rodríguez, J. L. y C. E. Mesén Castro. Comportamiento de la madurez de algunas variedades de caña de azúcar en la zona de Grecia, Zafra 70-71. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico No. 5, enero 1972. 16 p.
2. Corrales Rodríguez, J. L. y C. E. Mesén Castro. Boletín Técnico sobre el comportamiento de variedades de caña en la zona de Grecia. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico, setiembre 1970. 10 p.
3. Costa Rica. Cámara de Productores de Caña del Pacífico. Informe Anual. Alajuela, 1980. pp. 40-41.
4. Costa Rica. CAFESA. Gira Demostrativa, Hacienda Juan Viñas, S.A. Primer Seminario sobre Tecnología Moderna en el Cultivo de la Caña de Azúcar. San José, julio 1980. 17 p.
5. Costa Rica. Liga Agrícola e Industrial de la Caña de Azúcar. Norma de Nomenclatura y Definiciones Generales. San José. Documento LAICA 100, 1980. 117 p.

6. Chaves Solera, M. A. La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar. San José, Costa Rica. Segundo Seminario sobre Tecnología Moderna en el Cultivo de la Caña de Azúcar, setiembre 1982.
7. Fogliata, F. A. Influencias ambientales en la maduración de la caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, 43(1):1-14. 1965.
8. Fogliata, F. A. y Dip., R. A. Crecimiento y maduración de la caña de azúcar en Tucumán. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, 45(3):57-94, 1967.
9. Getchell Alexander, A. Sugarcane Physiology. A comprehensive Study of the Saccharum Source-to-Sink System. Elsevier Scientific Publishing Company, 1973. pp. 441-485.
10. Gómez Alvarez, F. Influencia de la edad, humedad y temperatura sobre el nitrógeno foliar en la caña de azúcar. Venezuela. Bol. Est. Exp. Occidente, No. 52, 1954. 26 p.
11. González Gallardo, A. y otros. Sazonado y maduración de la caña de azúcar. México. Instituto para el Mejoramiento del Azúcar, Libro No. 6, 1974. 11 p.
12. Heinz, D. J. Correspondencia Interna LAICA. Hawaiian Sugar Planters Association. Honolulu, Hawaii, April 4, 1974.
13. Humbert, R. P. El Cultivo de la Caña de Azúcar. México. Compañía Editorial Continental, 1974. pp. 509-561.
14. Mesén Castro, C. E. Estudio sobre el comportamiento de cinco variedades de caña de azúcar, sin riego en San Pedro de Poas. San José, Costa Rica. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, 1981.
15. Perrin, R. K. y otros. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos, un manual metodológico de evaluación económica. México, D. F. Centro Nacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Folleto Información No. 27, 1979.
16. Ramírez Rodríguez, C. A. Características, Desarrollo e Investigación de la caña de azúcar en Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Liga Agrícola e Industrial de la Caña de Azúcar, 1980. 25 p.
17. Samuels, G. Foliar diagnosis for sugarcane. Puerto Rico. Ed. Agric. Res. Publ., 1969. 362 p.

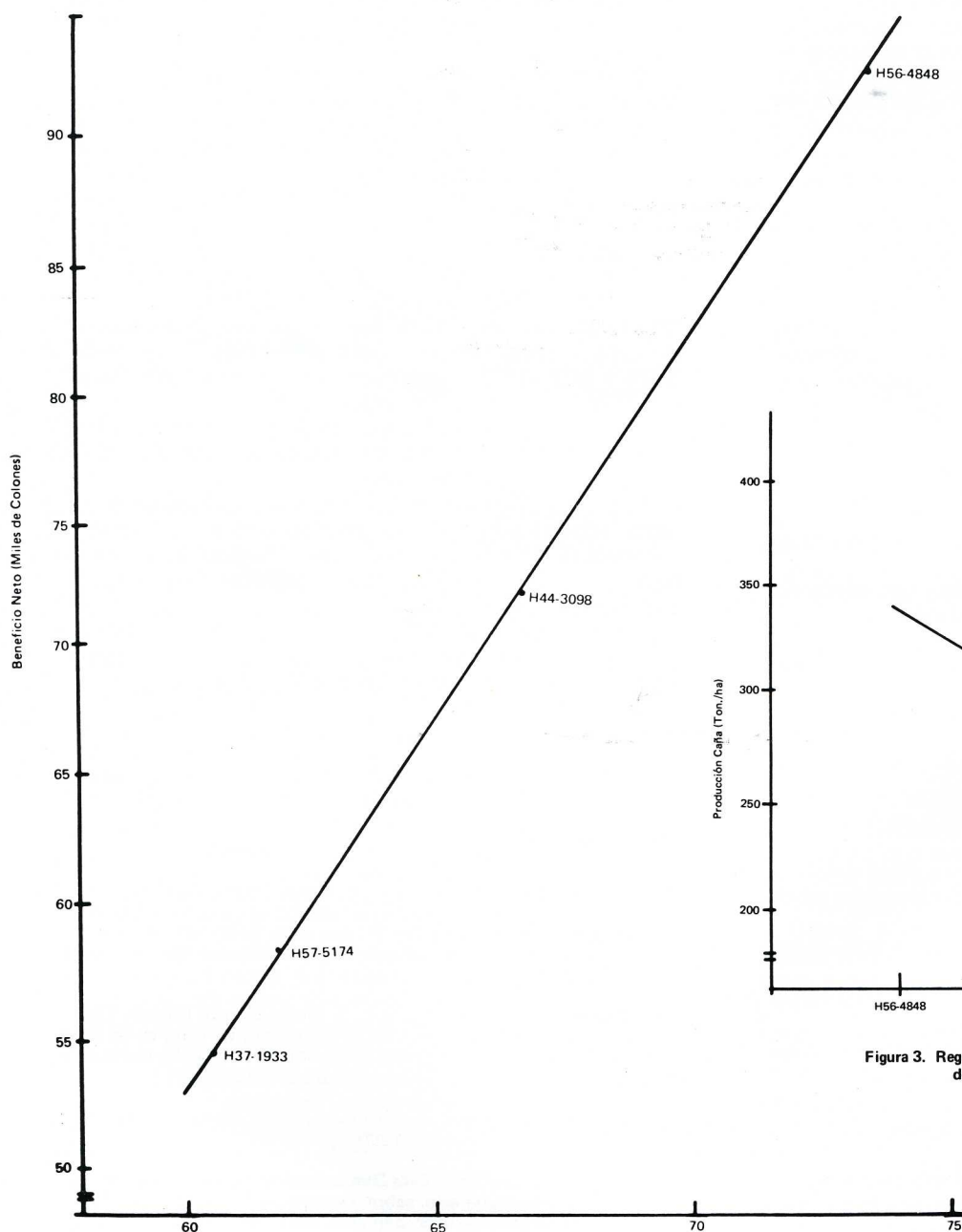


Figura 4. Curva de Beneficio Neto para las variedades bajo estudio según producción de caña/ha, Hacienda La Luisa, S.A. 1982.

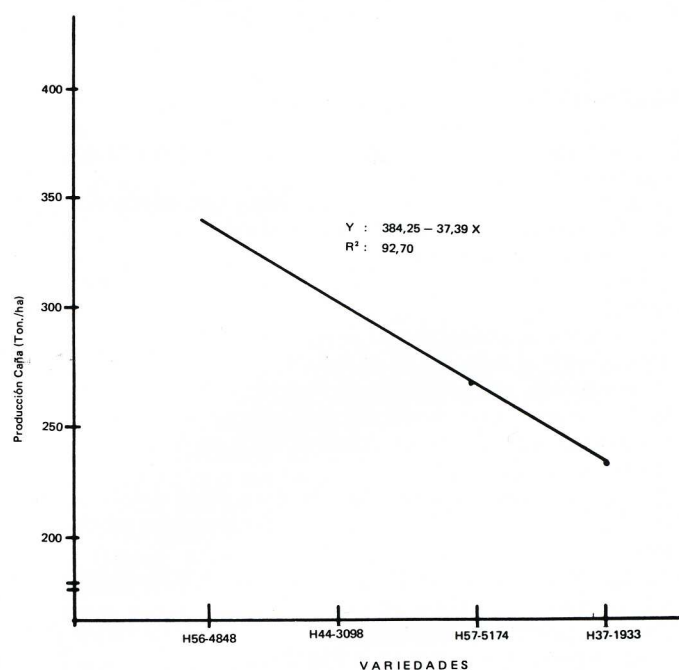


Figura 3. Regresión lineal de la producción de caña (Ton/ha) de las cuatro variedades estudiadas.