

DIAGNOSTICO FOLIAR DE NITROGENO EN CAÑA DE AZUCAR(*)

Por: **Gerardo García Miller**

I.— INTRODUCCION

La creciente importancia que ha tenido la producción de azúcar en Colombia, para su uso en la alimentación humana y como fuente de entrada de divisas extranjeras, hace que cualquier forma de aumentar su producción, incida directamente sobre la economía nacional.

En el Valle del Cauca, principal productor de azúcar, se hace necesario incrementar los tonelajes por unidad de superficie cultivada, más que aumentar el área sembrada, ya que las tierras poseen un elevado valor.

El uso de fertilizantes y técnicas modernas de cultivo, son los métodos más seguros de obtener altas producciones. Para el uso más económico de los fertilizantes, es necesario calcular bastante exactitud los requerimientos minerales de la planta.

Para determinar las necesidades de las plantas en elementos nutritivos minerales, se han utilizado diversas técnicas: análisis de suelos, pruebas en potes de Mitscherlich, experimentos de campo y análisis foliar, pero ninguno de ellos ha sido completamente adecuado.

El "crop logging", debido a Clements (Hawaii), ha reunido muchos de los factores que inciden en la producción, habiendo dado resultados bastante exactos y es el sistema más preciso utilizado en la actualidad.

Con el objeto de hacer un reconocimiento preliminar sobre el comportamiento del nitrógeno, elemento que probablemente es el más limitante para la producción de caña de azúcar, se realizó un estudio en los terrenos del Ingenio Central Castilla Ltda., situado en el municipio de Pradera, Valle del Cauca, para observar cómo variaban los porcentajes del nitrógeno en las hojas y la forma como estos porcentajes podían influir en la producción.

(*) Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo bajo la presidencia del Dr. Emilio Ramírez R., I. A., M. Sc., a quien el autor expresa su gratitud.

Se utilizaron las técnicas seguidas en Puerto Rico y Hawaii para la toma de muestras, preparación de las mismas y la interpretación de los resultados.

II.— REVISION DE LITERATURA

A. Primeros trabajos realizados en la determinación de requerimientos de nutrimentos por medio de análisis de los tejidos.

Al buscar un método más preciso que los análisis de suelos, para determinar las necesidades nutricionales de las plantas, surgió la idea de usar a la planta misma como indicadora del estado del cultivo.

El concepto de usar las hojas como tejido indicador para el nitrógeno, fósforo y potasio, data aparentemente de 1869, con el trabajo de Isidore Pierre sobre los cambios de estos elementos en la hoja (Clements, 15).

Según varios investigadores, el diagnóstico foliar, como una forma práctica de apreciar las necesidades de las plantas, se acredita a los franceses Henri Lagatu y Louis Maume, según investigaciones realizadas en 1923 en la Escuela de Agricultura de Montpellier sobre vid y papa (Clements, 15; Saucedo Postales, 49).

Lagatu y Maume orientaron el problema de la fertilización hacia el uso de un control bioquímico, por medio del análisis químico de partes elegidas de las plantas y la posible correlación de los rendimientos, con los estados nutricionales acusados por los análisis (Gómez Alvarez, 26; Halais, 29).

Entre los estudios de más relieve en esta rama, se deben mencionar los de Lündogardh, hechos en Suecia desde 1926, quien observó que el nivel de concentración de los nutrimentos dentro de las plantas, a una edad determinada, se reflejaba en los rendimientos obtenidos, pero teniendo en cuenta la cantidad de los elementos presentes en el suelo (Halais, 29; Saucedo Portales, 41; Yuen, 54).

Posteriormente Paul Macy expuso su teoría, definiendo un nivel "crítico" de concentración de elementos nutritivos en los tejidos, como la relación existente entre el porcentaje del nutrimento en la planta y su suficiencia para el crecimiento, considerando la parte media del limbo foliar como la región más representativa en la planta para analizar el nitrógeno (Halais, 29; Yuen 54).

McCollam (34), definió el nivel "crítico", como el porcentaje de concentración mínima de un nutrimento en los tejidos, al cual la planta crece y produce en forma restringida; comparándolo con el estado de la planta en que existen altos niveles de los elementos, que producen altos rendimientos.

Trabajos posteriores de Paul Wagner en Alemania sobre forrajes, y de Chapman en U.S.A. sobre hule, contribuyeron al conocimiento del problema (Saucedo Portales, 49).

En 1937, Malter Thomas, de la Est. Agric. Exp. de Pennsylvania, estableció un sistema de análisis foliar en papa y manzano, como una medida de la condición química de la hoja, en cuanto a los elementos nutritivos dominantes en el momento de tomar la muestra, este momento fue seleccionado por medio de experimentación. Thomas aplicó este conocimiento al estudio de los requerimientos de fertilización las especies mencionadas. Esta tesis fue expuesta al mismo tiempo por Wallace en el Reino Unido (Clements, 15; Halais, 29; Yuen, 54).

Los trabajos más modernos son los emprendidos por la Estación Agrícola Experimental de la Universidad de Hawaii desde 1933, culminando con el sistema de "crop logging", propuesto por Clements y actualmente en uso. También en Puerto Rico se ha investigado continuamente y se sigue en la actualidad el sistema de "diagnóstico foliar". Al análisis foliar se dedica atención preferente en muchos países azucareros, como son: Hawaii, Puerto Rico, Mauricio, Java, India, México y Venezuela (Clements, 15; Halais, 29; Yuan, 54).

Los tipos de análisis de tejidos en caña de azúcar son dispendiosos y lentos. Sin embargo, hay tipos de análisis rápidos en los que se hace una comprobación del estado del nitrógeno, analizando la concentración de los nitratos presentes en la savia. La técnica que se sigue en estos casos es la siguiente:

Se hace un corte en el tallo o una hoja de la planta en estudio y se coloca en este corte un polvo o líquido indicador, que muestra la concentración de los nitratos.

Bray (9), propuso para el análisis de nitratos, un método consistente en colocar un polvo blanco, compuesto por una mezcla de: sulfato de Bario, sulfato de Manganeso monohidratado, polvo de Zinc, ácido cítrico, ácido sulfanílico y alfa-naftilamina, sobre el tejido cortado; si el polvo se tornaba rosado o rojo en contacto con la savia, suponía que la planta no tenía deficiencia aparente. Si el polvo se conservaba blanco, diagnosticaba una deficiencia.

El espectrofotómetro de llama Beckman ha sido utilizado para hacer análisis más exactos de elementos, en muestras vegetales digeridas previamente por medio de ácidos, y haciendo los cálculos de los resultados por medio de curvas patrones (Snyder, 52). Scharrer (5), obtuvo pocos resultados con análisis de nitrógeno en los tejidos vegetales, utilizando el método Kjeldahl; encontró que sólo en algunos casos, las concentraciones de nitrógeno en las hojas, estaban relacionadas con las cantidades de los fertilizantes agregados y las producciones observadas.

B. Principales métodos empleados en la determinación de requerimientos de nitrógeno en caña de azúcar por medio del análisis de tejidos.

El análisis químico de los tejidos de la caña de azúcar se usa actualmente en muchos países como un medio para determinar las

necesidades de fertilización. No todos los investigadores utilizan las mismas técnicas analíticas ni los mismos métodos de interpretar los resultados.

Siguiendo el criterio de Samuels (46), se pueden clasificar los métodos en los siguientes tipos:

- 1) Diagnóstico foliar simple.
- 2) Métodos múltiples de análisis de plantas.
- 3) Métodos selectivos de análisis de plantas.

1) Diagnóstico foliar simple:

Halais (28, 30) en Mauricio, utiliza la técnica de tomar las muestras con sacabocados, tomando los discos resultantes de la perforación hecha en la tercera hoja, a una edad de 4 a 6 meses para los cultivos de "soca" o retoño, a una edad de 5 a 7 meses; después hace la determinación de nitrógeno por digestión de la muestra con ácido sulfúrico y "nesslerización" (Samuels, 46). Kutsunai, de la Est. Agr. Exp. de la Univ. de Hawaii, fué quien propuso el empleo del sacabocados para tomar las muestras de las hojas por medio de perforaciones (Hance, 31).

Innes en Jamaica, también utiliza la tercera hoja completa para la determinación del nitrógeno a la edad de 4 a 5 meses, recomendando la fertilización con base en experimentos anteriores sobre los porcentajes críticos del elemento en la hoja (Samuels, 43, 46).

2) Métodos múltiples de análisis de plantas:

a.— "Crop logging":

Este método es el resultado de las investigaciones emprendidas por la Est. Agric. Exp. de la Univ. de Hawaii en 1933-34; después de más de 100.000 análisis de todos los órganos de la planta de caña de azúcar, Clements, (18, 19), encontró que el tejido que mejor indicaba el estado nutricional del nitrógeno en la planta, era la parte media del limbo de las hojas + 3, + 4, +5 y + 6 (véase figura 2). Para la determinación de humedad, encontró que el tejido más indicativo era la vaina de las mismas hojas.

Para la nomenclatura usada al enumerar los hojas, se sigue el sistema de Kuijper: se denomina como +1, la hoja visible más alta y desenrollada o semi desenrollada; como +2, la siguiente y de mayor edad y así sucesivamente (véase figura 2). Se numera como (cero), la hoja visiblemente completamente enrollada; con -1, -2, las hojas más jóvenes y no visibles (Dillewijn, 22).

El "crop logging" es un registro gráfico del progreso del cultivo, hecho por medio de análisis físicos y químicos que indiquen su estado nutricional. Este método ha sido desarrollado principalmente por Clements (16), entre 1938-48; hoy se sigue investigando y se usa en escala comercial en Hawaii, donde las compañías azucareras tienen sus laboratorios para "crop log" o "registro agronómico". Entre todos los métodos, éste es el más completo.

La técnica utilizada se puede resumir así: se escogen 5 tallos de caña para formar una sola muestra y se separan de ellos las hojas 3, 4, 5 y 6; la parte media del limbo la cual se ha quitado la nervadura central se utiliza para el análisis de nitrógeno; la vaina se analiza para el contenido de humedad, azúcares, fósforo y potasio (Clements, 16, 18, 19).

b.— “Stalk logging” o “registro de tallos”:

Propuesto por Prerr en Hawaii, consiste en usar el tallo como indicador del porcentaje de los nutrimentos en la planta; se escogen los 2 entrenudos basales del tallo y los entrenudos situados entre el actavo y el décimo; se seca y prepara la muestra para hacer el análisis químico de los tejidos (Samuels, 46).

c.— “Self adjusting stalk indices” o índices autocorregidos de tallos”.

Debido a Ewart en Hawaii. En este método se hace uso de todo el tallo como tejido indicador de los niveles de los elementos en la planta (Samuels, 46).

3) Métodos selectivos de análisis de plantas:

a.— En Puerto Rico se sigue el sistema de “diagnóstico foliar”, para ello se toman 5 o más tallos de caña a la edad de 3 meses, se separan las hojas +4, +5 y +6 con limbo y vaina; el nitrógeno se determina en el tejido del limbo tomando secciones de la base, parte media y ápice y secando la muestra para poder hacer el análisis químico con base en el peso seco; el porcentaje de humedad se determina en las vainas de las mismas hojas (Bonnet, 4, 5; Capó, 12; Samuels, 40, 43, 46).

b.— Evans, en la Guayana Británica, usa la primera hoja (+1) con 30 a 50 hojas para formar una muestra, cortando 15 cm. del centro del limbo, quitando la nervadura central y secando rápidamente a 80°C. Se analiza la muestra así obtenida para nitrógeno, fósforo y potasio (Samuels 43).

c.— Du Toit en Africa, utiliza toda la tercera hoja, incluyendo la nervadura central. Lunin y Augtry en Santo Domingo emplean la técnica de Clements (Samuels, 43). También en Venezuela se sigue el método de Clements (Gómez Alvarez, 26, 27).

En un experimento hecho en Puerto Rico, se compararon los métodos seguidos en diversos países para determinar los valores óptimos de los nutrimentos en las hojas, después se hicieron los ajustes necesarios para someter estos valores a una norma igual y sobre una base común. En términos generales, los valores obtenidos en las hojas fueron similares, sin tener que ver nada con el país, el método o la variedad de caña (Samuels, 43).

Los valores encontrados para el nitrógeno fueron los siguientes: Guayana Británica, 2,0 - 2,1%; Hawaii: 2,0%; Jamaica: 2,3%; Mauri-

cio: 1,66 - 1,85%; Puerto Rico: 1,80%; Sur Africa; 1,93 - 2,18%. El promedio general fue de 2,00% (Samuels, 43).

C. Bases fisiológicas y principales características del análisis foliar.

El nitrógeno es el elemento que tal vez ejerce mayor influencia en el metabolismo de la caña, ya que es de una gran movilidad (Samuels, 38).

Sobre el método del análisis foliar de nitrógeno en la caña de azúcar, se han hecho numerosos estudios sobre el comportamiento de la planta en relación con el suelo, clima, humedad, temperatura, diferencias varietales, edad de la plantación, manejo del cultivo y muchos otros factores (Clements, 18; Dillewijn, 23).

Selección del tejido para análisis del nitrógeno.

La parte media transversal del limbo de la hoja, sin la nervadura central (véase figuras 5 y 6), es el tejido que mejor indica el estado de nutrición ya que allí se encuentra un mayor porcentaje de nitrógeno que en la vaina. Por ello se recomienda hacer el análisis sobre el peso seco de la parte media de las hojas +3, +4, +5 y +6, que son las que tienen mayor grado de asimilación, teniendo la precaución de eliminar la nervadura central (Ayres, 1; Bonnet, 3; Clements, 13, 16, 17; Hauck, 32; Samuels, 41, 46; Saucedo Portales, 49).

Relación nitrógeno-humedad-edad.

Los factores que más afectan al nitrógeno foliar son la edad y la humedad (Clements, 21). La relación humedad-nitrógeno es de suma importancia para la fertilización ya que el nivel de nitrógeno está en relación directa con la humedad de la yagua; esta relación no es constante a causa de factores como son el riego, variedad, tipo de siembra ("soca" o plantilla), temperatura y vientos (Baver, 2; Borden, 6, 8; Clements, 14, 18; Gómez Alvarez, 27; Samuels, 40, 47).

Los contenidos del nitrógeno en la hoja varían de año en año y según las lluvias. El nitrógeno decrece al igual que la humedad al aumentar la edad, en Puerto Rico es una relación lineal hasta los 10 a 11 meses, después de esta relación tiende a nivelarse; éstos resultados fueron idénticos a los obtenidos en Hawaii (Ayres, 1; Gómez Alvarez, 27; Samuels, 40).

Clements encontró en Hawaii una fórmula de regresión múltiple que permite conocer el índice "standard" o normal de nitrógeno para una determinada edad y humedad; la fórmula es la siguiente:

$$Y = -0,02091 X_1 + 0,06427 X_2 - 3,09517$$

Y = nitrógeno para la edad (X_1) y la humedad (X_2).

Y = nitrógeno corregido (Gómez Alvarez, 27).

En Venezuela se encontró la misma correlación y la ecuación resultante fué:

$$Y = -0,00038 X_1 + 0,00099 X_2 - 0,8154 \text{ (Gómez Alvarez, 27).}$$

En la mayoría de los casos, la humedad de vaina y la edad del cultivo, dan una mejor corrección para las variaciones del nitrógeno foliar (Gómez Alvarez, 27; Samuels, 40).

La relación humedad-nitrógeno-edad, da una exactitud del 90% para cálculos de fertilización, el 10% restante es un error, debido a los factores de suelo y diferencias de temperatura en el ambiente; la humedad del suelo, así como las temperaturas máximas y mínimas del medio ambiente, influyen mucho menos en el nitrógeno foliar que los factores de humedad en los tejidos y la edad del cultivo (Clements, 21; Samuels, 40).

También el crecimiento está en relación con la humedad de los tejidos, la edad de la planta y la concentración de los elementos de la planta (Clements, 16).

Determinación de la humedad.

El sitio donde debe determinarse la humedad, es la vaina de las hojas jóvenes, generalmente en las +3, +4, +5 y +6 (véase figura 2); (Bonnet, 3, 4; Capó, 12; Clements, 13, 14, 16, 17, 18; Samuels, 41, 46).

Edad apropiada para tomar las muestras.

Los análisis foliares de nitrógeno, fósforo y potasio a una edad específica, pueden predecir los rendimientos relativos o estar relacionados con ellos (Bonnet, 5).

Como el nitrógeno varía con la edad, se recomienda tomar las muestras a los tres meses. En la edad comprendida entre los 2 y 3 meses no es recomendable tomar las muestras porque ocurren muchos cambios fisiológicos en la planta (Bonnet, 3, 4). Tampoco son confiables los porcentajes obtenidos al tomar las muestras en el período de los 4 a los 9 meses y al acercarse la madurez, ya que el nitrógeno decrece continuamente; estos índices no son confiables para predecir los rendimientos (Clements, 16; Samuels, 40).

Entre los 2 meses y medio y los 5 meses se encuentran las máximas necesidades de nitrógeno en las plantas (Rao, 36). A los tres meses se obtiene la mejor correlación entre el porcentaje de nitrógeno en la hoja y el rendimiento de la caña en Puerto Rico (Samuels, 41).

Según experimentos realizados en Puerto Rico por Samuels, Landrau, Alers Alers (48) en cañas de 3 meses, no hubo diferencias en el contenido de nitrógeno en las hojas de tallos de diferentes alturas. Y en cuanto al número de hojas por planta, sólo se encontró diferencia en el nitrógeno, según el número de hojas totales a las 9 semanas no hubo influencia del número total de hojas, ni antes, ni después de esta edad.

En Puerto Rico, según Capó (12), las horas más favorables para

tomar las muestras son de las 10 a.m. a las 4 p.m. Para Hawaii, Clements (16) y Hauck (32) prefieren tomar las muestras al amanecer y no tardar más de dos horas y media después de la salida del sol. Aunque McCollam (34) observó que en Hawaii las muestras tomadas muy temprano o muy tarde no daban alto porcentaje de seguridad.

Relación nitrógeno-variedad.

En diferentes variedades se han encontrado diferentes respuestas a las aplicaciones de fertilizantes, también se han hallado variedades entre los porcentajes de nitrógeno en las hojas, pero sin desviaciones excesivas (Bonnet, 4; Borden, 7; Samuels, 44, 47).

Relación nitrógeno foliar-nitrógeno en el suelo.

La ecuación de Mitscherlich sobre una relación entre la concentración inicial de un nutrimento en el suelo y los rendimientos al final del período vegetativo, es simple y real, lo cual puede aplicarse a los elementos presentes en la hoja; sin embargo, se ha encontrado que la relación del rendimiento con los tres elementos mayores no es exacta en todos los casos (Capó, 10).

Al aplicar nitrógeno al suelo, si hay deficiencia del elemento aumenta el nitrógeno de la hoja; si las aplicaciones son muy altas se reduce la eficiencia de la absorción (Baver, 2; Borden, 8; Landrou, 33; Samuels, 45).

Los aumentos en el nitrógeno aplicado al suelo, hacen elevar la cantidad de azúcar, por aumentos en el tonelaje, pero el porcentaje de sacarosa, el brix y la pureza, son afectados por esta fertilización (Samuels, 39).

Los porcentajes de nitrógeno foliar en cultivos de retoño o "soca", son menores que los observados en los de siembra o "plantilla". Además, el porcentaje de nitrógeno en la "soca" decrece más rápidamente (Borden, 8; Samuel, 47).

Valores típicos usados en Puerto Rico y Hawaii, para la edad de treses meses.

a.—Puerto Rico: (*)

Fertilidad del suelo	% N en la hoja	Estado humedad	% Humedad
Muy pobre	Menos del 1%	Muy bajo	Menos de 85%
Pobre	1.0 — 1.04	Bajo	75 — 80
Levemente pobre	1.4 — 1.5	Normal	80 — 85
Medianamente pobre	1.5 — 2.0	Exceso	más de 85
Rico	2.0 — 2.5		
Muy rico	más de 2.5		

(*) Para todas las variedades (Bonnet, 4; Capó, 12; Samuels, 41).

Bonnet (3), ha observado variaciones en el nitrógeno foliar, entre 0,95%, y 3,10%, en los tres a los 15 meses de edad. Landrou (33),

encontró que son aplicaciones de nitrógeno al suelo y al tercer mes, el nitrógeno foliar era de 1,39%, lo cual indicaba deficiencia del elemento; al aplicar 66,4% kilogramos de N. el porcentaje subió a 1,50% y con 11,5 Kg. llegó a 1,82%. Samuels (37), indica como índice de bajos rendimientos 1,4% y para altos tonelajes 1,60%.

b.—Hawaii:

Según Borden (6), el nivel crítico en las hojas es de 1,36%. Clements (16,20), estableció los siguientes valores mínimos en las hojas como indicadores del buen estado del cultivo, para los tres meses de edad:

Porcentaje de nitrógeno	2 %
Porcentaje de humedad:	85 %

D.—Trabajos realizados en Colombia.

Los trabajos más antiguos son los realizados por Pablo Pérez en Ingenio Providencia quien calculó la fertilización por medio de análisis foliar y "nesselerización" de las muestras; los niveles promedios en 40 análisis y a una edad de seis a siete semanas después del corte fueron los siguientes (*):

% N	: 1,60 — 1,75
% P	: 0,15 — 0,25
% K	: 1,63 — 1,87
% H ₂ O	: 78,40 — 81,30

Villamil, en Manuelita, hizo algunos experimentos con resultados confusos con respecto al nitrógeno, no se observó correlación entre el nitrógeno aplicado al suelo y el porcentaje en las hojas. Estos resultados pueden ser debidos al trabajo con elementos aislados. Se observó que en las combinaciones de nitrógeno con fósforo, la absorción del nitrógeno aumentaba considerablemente, pero sin alcanzar el porcentaje óptimo dado por Clements y Samuels (*).

En el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas, Palmira, se empezó un experimento muy completo sobre el método de "crop logging", con aplicaciones de fertilizantes de N-P-K en varias cantidades y análisis foliares de N-P-K, en el follaje representativo de cada tratamiento y por varios cortes; desafortunadamente el experimento no pudo ser concluido.

Los fertilizantes se aplicaron en las siguientes cantidades: N: 050-100-200 kg N/ha; P: 0-100-200 kg P₂O₅/ha.; 0-100-200 kg. K₂O/ha., con 24 tratamientos, 4 repeticiones y 96 parcelas. Pudo observarse que

(*) Hoyos, M. J. Información sobre experimentos en análisis foliar, realizados en Ingenio Providencia. Ingenio Providencia, Palmira, Colombia. 1961. (comunicación personal).

(*) Ramírez, E. Información sobre experimentos en análisis foliar realizados en el Ingenio Manuelita. Palmira, Colombia. 1961. (Información personal).

el nitrógeno foliar decrecía con la edad y que los aumentos de nitrógeno aplicado al suelo, en algunos casos, aumentaban los porcentajes en las hojas; también se observó que al haber incremento de las cantidades de nitrógeno aplicado al suelo, pero con fósforo y potasio, aumentaba el nitrógeno foliar. El nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl (**).

III.— MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en los terrenos de "Central Castilla Ltda.", situado en el Valle del Cauca, municipio de Pradera; con una temperatura media de 24°C, altura 1.000 m. sobre el nivel del mar y una precipitación anual de 1.000 mm., repartidos en dos épocas de lluvia y dos de sequía.

El estudio fue hecho en la variedad P.O.J. 29-61 (M.C. 666) de caña de azúcar, estudiándose dos localidades diferentes, las suertes 16-14 y 5-27.

Los fertilizantes usados fueron:

Urea del 45% de nitrógeno asimilable, en las dosis de:
0-30-60-90-120-150-180 kg de N. por hectárea.

Superfosfato triple del 46,5% de ácido fosfórico utilizable en la cantidad de 60 kg. por hectárea para cada uno de los tratamientos.

Cloruro de potasio del 60% de óxido de potasio, en la cantidad de 60 kg. por hectárea para cada uno de los tratamientos.

Se estudió la influencia del nitrógeno aplicado al suelo sobre el porcentaje del elemento en la hoja y su posible relación con los rendimientos obtenidos; para ello se observó periódicamente la variación del elemento en las hojas, a las edades de 55, 70, 102, 136 y 223 días después del corte anterior, o a los 25, 40, 72, 106 y 193 días después de la aplicación del fertilizante.

Como algunas de las cantidades de nitrógeno eran muy altas, se añadieron 60 kg. de K_2O y P_2O_5 por hectárea a todas las parcelas, para compensar el posible desbalanceamiento producido por el exceso de nitrógeno a esas dosis, que causan una baja en el contenido de sacarina de los jugos, si el potasio no se encuentra balanceado, y un período vegetativo muy largo si el fósforo no se encuentra en suficiente cantidad (Samuels, 42).

La aplicación de los fertilizantes se hizo el día 15 de mayo de 1959, a los 28 días de haber sido cortada la cosecha anterior. El experimento se cosechó a los 19 meses, entre el 13 y 16 de diciembre de 1960.

(**) Ramos Núñez, G. Información sobre experimentos en análisis foliar en el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas, Palmira. 1961. (Información personal).

Diseño experimental.— Se eligió el de bloques al azar, con cuatro repeticiones, una variedad P.O.J. 28-61 (M.C. 666), dos localidades y dos repeticiones en cada localidad (*).

En cada localidad hubo un total de 14 parcelas o bloques, discriminados en dos hileras de 7 parcelas por cada repetición, y cada hilera con un testigo y seis tratamientos.

Cada bloque era de 10 m. de largo y 8,40 m. de ancho, abarcando 6 surcos de 1,40 m. de distancia entre ellos, lo cual hace un área de 84 metros cuadrados; cada localidad tenía un área total de 1.176 metros cuadrados, incluyendo las calles.

Toma de muestras.— Para la toma de muestras de hojas se siguió el criterio de Clements (16,20), Samuels (41,42) y el método adoptado por Capó et al (12), con algunas modificaciones hechas por el autor a fin de adaptar los recursos existentes a los métodos experimentales propuestos.

Según Clements (16), Hauck (32) y Samuels (41), se debe tomar una muestra compuesta por 5 tallos, para una superficie de 200 acres; el autor escogió el número de 4 tallos para formar una muestra compuesta, considerándola suficientemente representativa para la superficie de 84 metros cuadrados de cada bloque.

La hora de tomar las muestras fue en todos los casos entre las 10 a.m. y las 4 p.m., de días soleados y normales, siguiendo las indicaciones de Capó y colaboradores (12).

Los tallos que componen una muestra se escogieron de manera que representarían las condiciones medias del bloque, en cuanto a altura y desarrollo, pero teniendo el cuidado de no tomar aquellos que presentarían signos o síntomas de enfermedades; es muy importante que el muestreo sea muy cuidadoso, ya que de él depende el éxito del sistema (Capó, 12; Clements, 16).

Procedimiento para tomar las muestras.

- 1.— Una vez seleccionadas las cañas, se cortaron por debajo de la sexta vaina (véase figura 1) (Capó, 12; Clements, 16; Gómez Alvarez, 27).
- 2.— Se sacaron del campo las 4 cañas cortadas y se separaron cuidadosamente las hojas completas +3. +4. +5 y +6, que formaban una sola muestra, el resto de tallo y hojas se desechaban (véase figura 2) (Clements, 16; Capó, 12; Gómez Alvarez, 27; Venezuela, 53).

(*) Inicialmente se planeó el experimento en cuatro localidades diferentes, 2 en suelos livianos y 2 en suelos pesados, con dos variedades: P.O.J. 2878 y P.O.J. 29-61 (M.C. 666.) Por causas ajenas a la voluntad del autor, hubo que eliminar las dos localidades cultivadas en la variedad P.O.J. 2878.



FIG. 1.— Corte del tallo por debajo de la sexta vaina.

(Foto: M. T. Paredes).

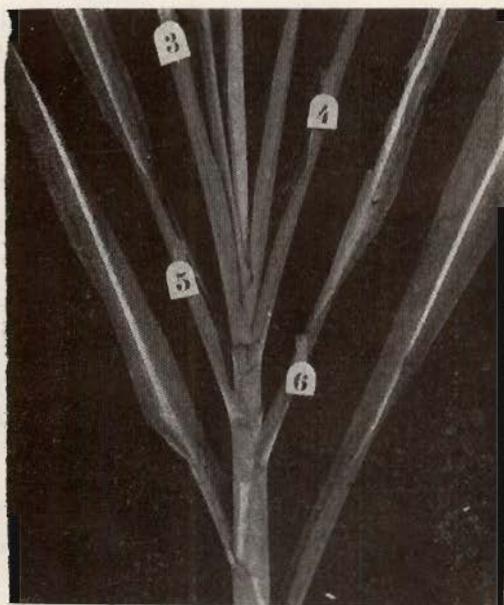


FIG 2.— Hojas Nos. +3, +4, +5, +6.

(Foto: M. T. Paredes).

- 3.— Las 16 hojas completas que formaban la muestra, se colocaban juntas, de manera que sus cuellos quedaran en un mismo plano y con un cuchillo o machete bien afilado, se separaron las vainas de los limbos por su punto de unión (véase figura 3) (Capó, 12).
- 4.— Las vainas se colocaban debidamente numeradas en una bolsa impermeable para pesarlas, colocándolas luego en bolsas de papel para secarlas en estufa y determinar el contenido de humedad (Capó, 12; Clements, 16).
- 5.— De la parte media de las hojas, se cortaron secciones de 15 cm. en forma transversal y colocadas en bolsas de papel debidamente numeradas, se llevaban al laboratorio (véase Figs. 4 y 5 N° 1), allí se separaba la nervadura central del resto de la hoja y el tejido verde restante se cortaba en pedacitos para secar en estufa de aire caliente.
- 6.— Una vez secados los pedacitos de hojas, se molieron en un molino Wiley y se guardaron las muestras para analizar el nitrógeno total por el método Kjeldahl (véase figura 6).

IV.— RESULTADOS Y DISCUSION

Se obtuvieron los porcentajes de nitrógeno por el método de Kjeldahl; este nitrógeno foliar no puede ser usado directamente para calcular las correlaciones con el rendimiento, pues está influido por la humedad del tejido y por la edad de la muestra. Es necesario corregir estos valores por medio de una regresión parcial, que los haga normales con respecto a una ecuación de regresión; para ello se siguió el método propuesto por Capó (11), y se realizaron los cálculos siguiendo los métodos estadísticos de Snedecor (51).

La ecuación de regresión parcial del nitrógeno, como variable dependiente de la humedad y la edad como variables independientes, fue:

$$Y = - 3,974476 + 0,066383 X_1 - 0,0017235 X_2$$

En donde: Y : nitrógeno foliar; X_1 : humedad del tejido

X_2 : edad de toma de la muestra.

En los trabajos realizados por Clements en Hawaii se ha encontrado la fórmula de regresión múltiple (Gómez Alvarez, 27):

$$Y = - 3,09517 + 0,06427 X_1 - 0,02091 X_2.$$

En los experimentos realizados en Venezuela, en la Estación Experimental de Occidente, se encontró la siguiente fórmula (Gómez Alvarez, 27).

$$Y = - 0,8154 + 0,0099 X_1 - 0,00038 X_2.$$

Como se puede observar, la ecuación encontrada se asemeja más a la encontrada en Hawaii por Clements y las diferencias con esta

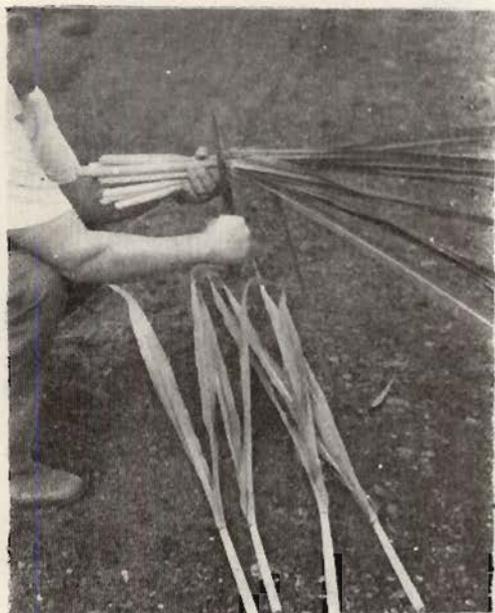


FIG. 3.— Separación de las hojas y las vainas por medio de un cuchillo; las 4 colocadas en el suelo, se desechan.

(Foto: M. T. Paredes).

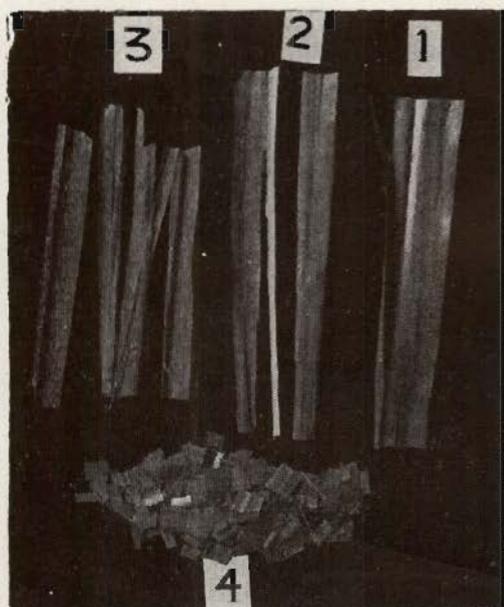


FIG. 4.—

1. Parte de la hoja utilizada.
2. Separación de la nervadura central.
3. Tejido usado para análisis de Nitrógeno.
4. Preparación para secamiento y análisis.

son insignificantes. La ecuación encontrada por el autor muestra mayores diferencias con la de Venezuela, debido tal vez a las diferencias climáticas, que hacen del Valle del Cauca una región que no tiene tan altas temperaturas como la región de Venezuela donde se realizaron esos estudios.

Haciendo un análisis de correlación de los resultados del análisis foliar, se encontró:

Correlación entre nitrógeno y humedad	+ 0,630122
Correlación entre nitrógeno y edad	— 0,53737
Correlación entre edad y humedad	— 0,511384
Regresión parcial entre nitrógeno y humedad	+ 0,481129
Regresión parcial entre nitrógeno y edad	— 0,291329

El análisis de correlación se efectuó siguiendo los métodos estadísticos de Snedecor (51).

De estas correlaciones, tanto positivas como negativas, puede deducirse lo siguiente:

Entre el nitrógeno foliar y la humedad del tejido existe una correlación positiva y altamente significativa, lo que quiere decir que al haber aumentos en la humedad, habrá un aumento en el nitrógeno foliar. Esto concuerda con las experiencias de Bayer (2), Borden (6, 8) Clements (16), Dillewijn (23), y Samuels (39,40); en Puerto Rico y Hawaii, así como los resultados en Venezuela (Gómez Alvarez, 27).

La correlación entre la edad y la humedad fué altamente significativa y negativa, de lo que puede deducirse que al aumentar la edad disminuye el nitrógeno; resultando estos que verifican los obtenidos en Hamai por Ayres (1), Bayer (2), y Clements (16). Samuels (39, 40), ha observado lo mismo en Puerto Rico, aunque la relación no siempre es constante a causa de factores como son: riego, variedad y época de siembra.

Entre la edad y la humedad, la correlación fue negativa y altamente significativa, lo que demuestra que al aumentar la edad disminuye la humedad. En Puerto Rico, Hawaii y Venezuela se han obtenido idénticos resultados (Bayer, 2é Clements, 16; Gómez Alvarez, 27; Samuels, 39).

Si las correlaciones parciales son altamente significativas, los coeficientes de regresión parcial deben serlo y en realidad lo son: para probar su significancia se hizo la prueba de "t" y se logró demostrar que el porcentaje de nitrógeno foliar se encuentra en relación directa con la humedad de la vaina e inversamente con la edad.

La ecuación de regresión encontrada se utilizó para corregir el nitrógeno foliar y según la fórmula siguiente, adoptada por Clements y Gómez Alvarez (27):

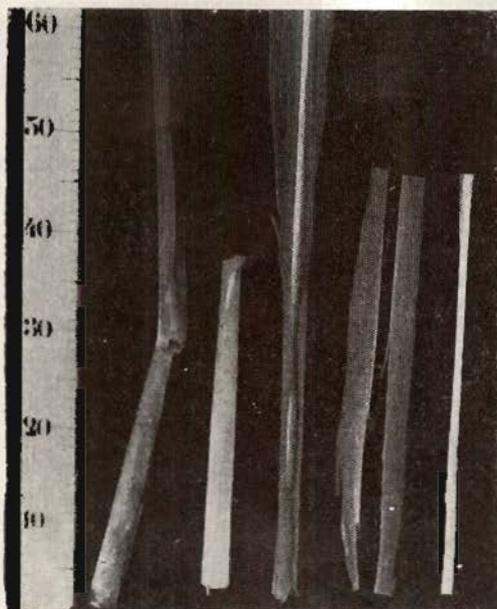


FIGURA 5.— Separación de la vaina y el limbo; sección escogida del limbo y separación de la nervadura central.

(Foto: M. T. Paredes).

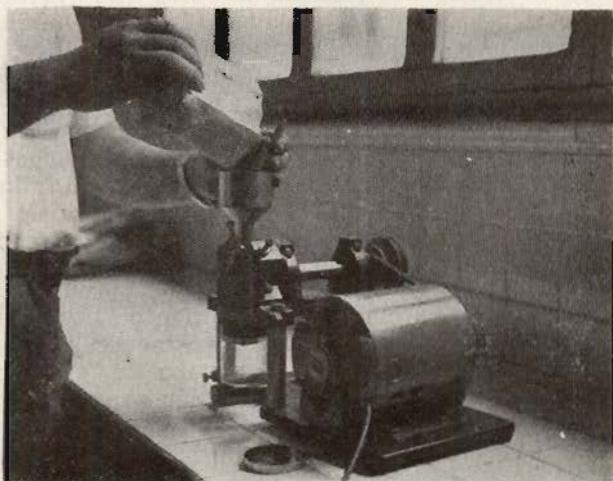


FIGURA 6.— Molienda de la hoja picada y seca en molino Wiley.

(Foto: M. T. Paredes).

N actual: nitrógeno

N actual: nitrógeno en tablas I a V del apéndice

X₂: diferentes edades de muestreo

X₁: humedad en la vaina

En las tablas I y II aparecen los porcentajes de nitrógeno foliar corregido.

— T A B L A I —

NITROGENO FOLIAR CORREGIDO A LOS 25-40-72-106-193 DIAS
DESPUES DE LA APLICACION DEL FERTILIZANTE - SUERTE 16-14

Nº de Parcela	Tratamiento							
	N	P	K	25	40	72	106	193
1	0	60	60	1,63	1,68	0,87	0,83	0,77
2	30	60	60	1,87	1,89	0,90	0,48	0,60
3	60	60	60	1,74	1,89	0,80	0,71	0,69
4	90	60	60	1,90	2,63	1,13	0,71	0,76
5	120	60	60	3,82	2,05	1,15	0,91	0,97
6	150	60	60	2,14	2,46	1,27	1,09	1,05
7	180	60	60	2,27	2,40	1,23	1,14	1,01
8	90	60	60	2,08	2,23	0,90	0,82	0,77
9	60	60	60	2,11	2,09	1,17	0,92	0,73
10	180	60	60	2,26	2,38	1,41	1,21	1,02
11	120	60	60	2,03	2,22	1,04	0,97	0,76
12	0	60	60	1,94	1,60	0,76	0,67	0,62
13	150	60	60	1,87	3,42	1,16	0,86	0,74
14	30	60	60	2,04	1,64	0,90	0,77	0,83

La relación existente entre el nitrógeno y la edad y el nitrógeno y la humedad, pueden observarse en la figura 7. Nótese que el nitrógeno disminuye con la edad y aumenta con la humedad de los tejidos, o también que el nitrógeno disminuye al disminuir la humedad en la yagua.

En la figura 8 puede notarse la correlación existente entre el nitrógeno foliar y la humedad de los tejidos. La línea representa la regresión existente entre estos dos factores, y el acercamiento a esta línea de los puntos que representan el nitrógeno en la hoja, muestran la correlación del nitrógeno corregido con la recta de regresión.

En la figura 9 se muestra la correlación existente entre la línea de regresión para el nitrógeno y la edad y los puntos que representan los porcentajes de nitrógeno foliar.

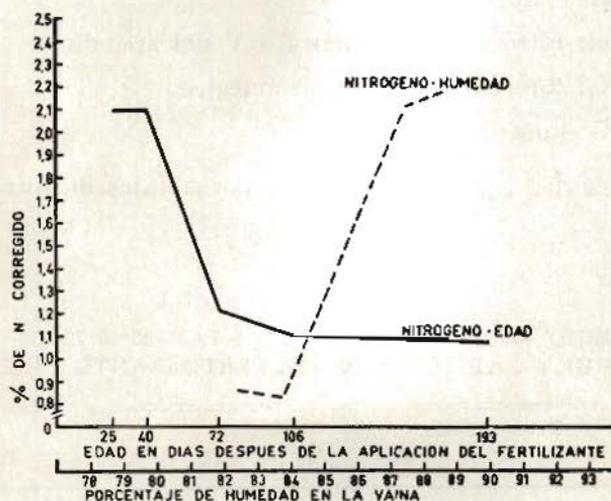


FIGURA 7.— Relación entre el nitrógeno y la edad.
Relación entre el nitrógeno y la humedad.
(Foto: M. T. Paredes).

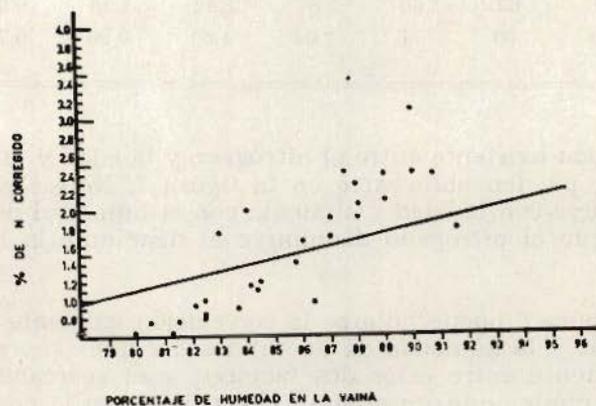


FIGURA 8.— Correlación entre el nitrógeno foliar y la humedad de los tejidos. Línea de regresión y % de N foliar corregido según la humedad.

(Foto: M. T. Paredes).

— T A B L A II —

NITROGENO FOLIAR CORREGIDO A LOS 25-40-72-106-193 DIAS
DESPUES DE LA APLICACION DEL FERTILIZANTE - SUERTE 5-72

Nº de Parcela	Tratamiento			25	40	72	106	193
	N	P	K					
1	0	60	60	1,94	2,10	1,27	1,47	1,32
2	30	60	60	2,31	2,08	1,19	1,58	1,51
3	60	60	60	1,95	1,86	1,95	1,36	1,12
4	90	60	60	2,42	2,15	1,76	1,37	1,37
5	120	60	60	2,15	2,05	1,23	1,11	1,36
6	150	60	60	2,22	2,11	1,06	1,23	1,37
7	180	60	60	1,80	2,29	1,33	1,14	1,18
8	90	60	60	1,73	2,07	1,33	1,37	1,32
9	60	60	60	2,04	1,71	1,26	1,38	1,14
10	180	60	60	2,17	2,09	1,34	1,29	1,33
11	120	60	60	2,29	1,89	1,42	1,32	1,41
12	0	60	60	2,19	1,94	1,40	1,43	1,39
13	150	60	60	1,91	1,95	1,55	1,57	1,43
14	30	60	60	2,21	2,03	1,35	1,15	1,35

Para el cálculo de la línea de regresión entre los factores nitrógeno-edad (figura 9) y nitrógeno-humedad (figura 8) se utilizó la siguiente fórmula:

$$Y_1 = a_1 + b_1 X_1$$

$$Y_2 = a_2 + b_2 X_2$$

Donde

$$a_1 = \bar{y}_1 - b_1 \bar{x}_1$$

$$a_2 = \bar{y}_2 - b_2 \bar{x}_2$$

$$Y_1 = \text{nitrógeno-humedad} \quad Y_2 = \text{nitrógeno-edad}$$

$$a_1 = 1,52 - 0,066 \times 85,824 = - 4,14$$

$$a_2 = 117,2 - 0,0017 \times 117,2 = + 1,39$$

Como uno de los objetivos del trabajo, era determinar la edad que mostrara mayor correlación entre el nitrógeno foliar y la producción, se pensó en un análisis de correlación, pero la simple observación de los datos promedios de las 4 repeticiones, hizo deducir que la edad de 102 días después del corte y 72 de la fertilización, era la más adecuada para poder predecir la producción. En la Tabla III se encuentran los promedios del N foliar a los 55-70-102-136-223 días después del corte y 25-40-72-106-193 después de la fertilización; en la columna de los 72 días, se observa una correlación muy estrecha entre el N foliar y la producción en Kg de azúcar/ha/mes. En la figura 10 se representa la relación entre el N foliar y la producción.

Estas observaciones coinciden con las hechas por Rao y Narasimhom (35) en la India, quienes encontraron las máximas necesida-

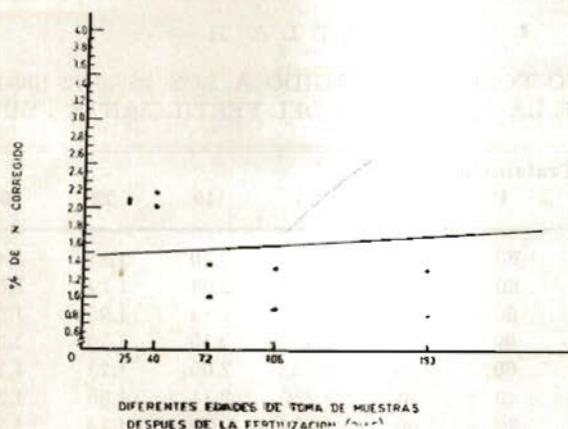


FIGURA 9.— Correlación entre el N foliar y la edad de toma de muestras. Línea de regresión y % de N, corregidos según la edad. (Foto: M. T. Paredes).

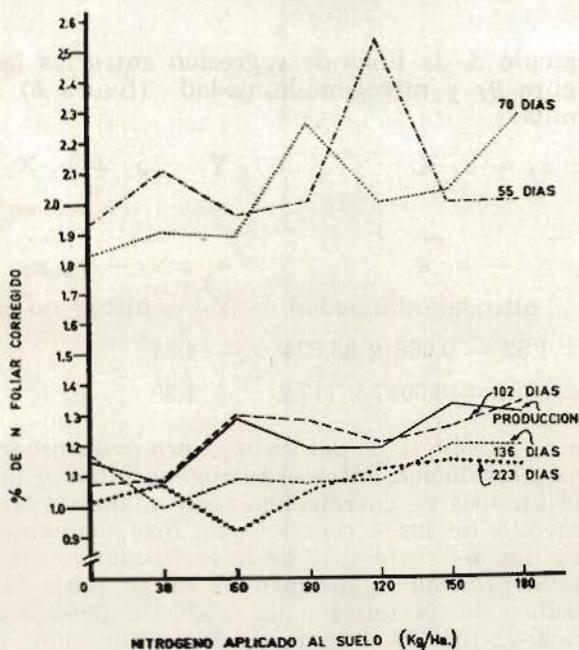


FIGURA 10.—Relación entre el N foliar corregido a diferentes edades de muestreo y la producción en Kg. de azúcar/ha./mes. (El eje vertical está en la misma escala para % N y producción). (Foto: M. T. Paredes).

— T A B L A III —

RELACION ENTRE EL N APLICADO AL SUELO, N FOLIAR A LOS 55-70-102-136-223 DIAS DESPUES DEL CORTE O 25-40-72-106-193 DE LA FERTILIZACION Y PRODUCCION OBTENIDA A LOS 19 MESES

Tratamiento						Kg azúcar
N	55	70	102	136	223	ha./mes
0	1,925	1,830	1,075	1,170 +	1,025	1,149 +
30	2,110	1,910	1,085 +	0,995	1,070	1,079 +
60	1,960	1,890	1,295 +	1,090	0,920	1,289 +
90	2,010	2,270	1,280 +	1,070	1,055	1,189 +
120	2,570	2,050	1,210 +	1,080	1,125	1,182 +
150	2,035	2,485	1,260 +	1,200	1,150	1,329 +
180	2,125	2,290	1,330 +	1,195	1,135	1,303 +
Suma	14,735	14,725	8,235 +	7,800	7,480	8,520 +
Media	2,456	2,103	1,219 +	1,114	1,069	1,217 +
Suma cuadrados	31,300	27,696	10,469 +	8,726	8,031	10,421 +

+ Los valores marcados guardan la relación más estrecha.

des N en la caña de azúcar entre los 2,5 y los 5 meses de edad; ellos observaron que el nitrógeno aplicado se absorbe principalmente entre los 1,5 a 2 meses después de aplicado, proponiendo esta edad como la óptima para la toma de muestras.

En Cuba y Puerto Rico, la mejor edad para tomar las muestras se encuentra entre los 3 y 4 meses (Bonnet, 4; Capó, 12; Hauck, 31; Landrau, 32; Samuels, 39, 40). Sin embargo, estos resultados no son uniformes, ya que Bonnet (3), en Puerto Rico, encontró que la edad óptima se encuentra entre los 4 y 9 meses. También Halais (29), discrepa de otros autores, proponiendo para Mauricio la edad de 4 a 9 meses.

De los resultados de varios investigadores se puede deducir que para cada condición climática habrá una edad óptima para la toma de muestras y ésta variará según el año, tipo de cultivo, variedad, temperatura, nubosidad, humedad relativa de aire y otros factores.

La edad de 102 días después del corte, se puede considerar que ajusta bastante bien a las edades comprendidas entre los 2,5 y los 9

De acuerdo con lo anterior, se escogió la edad de 102 días después del corte y 72 de la aplicación del fertilizante, para el análisis de regresión múltiple entre el Nitrógeno aplicado al suelo, porcentaje de N foliar y la producción; el autor siguió el criterio de Clements, (16) para los cálculos estadísticos, quien dice que la regresión lineal se adapta mejor que el análisis de variancia para la interpretación de los resultados.

La ecuación resultante fue:

$$Y = 1,11823 + 0,00776 X_1 + 0,06193 X_2$$

Donde:

Y : producción de azúcar en ton./ha./mes.

X₁ : Kg de N aplicado al suelo.

X₂ : % de N foliar.

Los coeficientes de regresión de la ecuación anterior hacen deducir que al aumentar el nitrógeno aplicado al suelo, aumenta el % de N en la hoja ya que el coeficiente de regresión para el N foliar y el N aplicado al suelo tiene signo positivo. El coeficiente de regresión para la producción y la aplicación de nitrógeno al suelo tiene signopositivo por lo cual se infiere que la aplicación del fertilizante produce aumentos en la producción.

Se probaron los coeficientes de regresión de la ecuación por medio de un análisis de variancia para regresión, no resultando significativo ninguno de los coeficientes, es decir, no hubo aumentos significativos en el N foliar y la producción con relación al fertilizante aplicado (N foliar a los 102 días después del corte y 72 de la fertilización).

A pesar de que el análisis de regresión no dió resultados estadísticamente significativos, se puede observar en los cálculos realizados, que la cantidad de 150 Kg. de nitrógeno aplicado al suelo por hectárea, elevó de manera apreciable el porcentaje del nitrógeno en las hojas y la producción de azúcar; la cantidad de 60 Kg de N/ha., también elevó el porcentaje de nitrógeno foliar y el tonelaje de azúcar/ha./mes. El porcentaje más alto de N foliar fué producido por la aplicación de 180 Kg. de N, pero no produjo el mayor tonelaje. En la Tabla IV se pueden apreciar las diferencias.

Como se puede observar (Tabla IV, entre el testigo y el tratamiento de 60 Kg. de N/ha., hubo una diferencia de 0,22% de nitrógeno foliar de 140 Kg. de azúcar/ha./mes. En el tratamiento de 150 Kg. de N/ha. hubo una diferencia con el testigo de 0,185% en el N foliar y 180 Kg. de azúcar/ha./mes, que fué la producción más alta.

De estas observaciones se puede sacar la conclusión de que en este ensayo no se pudo predecir la producción por medio de los porcentajes del N foliar, aunque altos datos parecen predecirla. Scharrer (49), obtuvo pocos resultados con este método, encontrando que sólo en algunos casos los porcentajes de N en las hojas, eran representativos entre los fertilizantes agregados y la producción. Sin embargo, casi todos los investigadores han encontrado esta relación, pero basándose en varios años de experimentación (Borden, 6; Clements, 16; Landrau, 32; Samuels, 40).

Comparando las cantidades de 60, 150 y 180 Kg. de N aplicado como fertilizante, se encontró que la cantidad de 150 Kg. fue la que dió mejores resultados, aunque sin ser estadísticamente significativa.

Para probar si comercialmente la cantidad de 150 Kg. de N apli-

— T A B L A IV —

NITROGENO APLICADO AL SUELO, PORCENTAJE DEL ELEMENTO EN LA HOJA A LOS 72 DIAS DESPUES DE LA FERTILIZACION Y PRODUCCION DE AZUCAR

Fertilizante N (kg/ha)	% Nitrógeno (hoja)	ton. azúcar/ha./mes
0	1,075	1,149
30	1,083	1,079
60	1,295	1,289
90	1,280	1,189
120	1,210	1,182
150	1,260	1,329
180	1,330	1,303

D.M.S. (5%) para efecto del N foliar sobre producción 1,209
D.M.S. (1%) para efecto del N foliar sobre producción 1,429
D.M.S. (5%) para efecto del fertilizante sobre producción 2,66
D.M.S. 1% para efecto del fertilizante sobre producción 4,01

cado al suelo producía utilidades, se realizó un análisis de costos, que dió un margen de utilidad neta de \$ 1.712.51 (un mil setecientos pesos con cincuenta y un centavos en moneda colombiana).

Con la aplicación de 150 Kg. de N/ha., se produjo un exceso de producción de caña de 24,406 ton. con relación al testigo y un incremento de 3,42 ton. de azúcar en los 19 meses que duró el experimento, también con relación al testigo.

Para comparar los resultados obtenidos por medio del análisis de regresión múltiple, se hicieron análisis de variancia entre los tres factores: N aplicado al suelo, % de N en la hoja a los 102 días después del corte y 72 de la aplicación del fertilizante, y la producción; en la siguiente forma :

Fertilizante aplicado x nitrógeno foliar.

Fertilizante aplicado x producción.

Nitrógeno foliar x producción.

En ninguno de los análisis hubo resultados significativos corroborando al análisis de regresión.

La causa de la falta de diferencias significativas entre el N aplicado, N foliar y producción, puede deberse a múltiples factores; entre otros a:

a) La observación y experimentación sobre un elemento aislado (N), manteniéndose constantes los otros dos elementos (P y K), pues es lógico suponer que hubo interacciones entre los tres elementos, que incidieron sobre los resultados. También si un suelo tiene buenas

Análisis de costos y utilidad producida (*)

Aplicación del fertilizante (a mano)	\$ 10,00
Corte de 24,460 ton. de caña (\$ 3,26/ton.)	\$ 79,56
Alce de 24,406 ton. de caña (\$ 1,49/ton.)	\$ 36,36
Prestaciones sociales (81%) del total)	\$ 101,99
Total (aplicación, corte alce)	\$ 227,91
Transporte de 24,406 ton. de caña (\$ 7/.....)	\$ 150,84
Valor de 150 Kg. de N/ha. (Urea: 45% N)	\$ 267,00
Total de costos	\$ 645,75
Valor de 3,42 ton. de azúcar no refinada	\$ 2.358,26
Costos de producción de 24,406 ton. de caña	\$ 645,75
Utilidad neta (diferencia)	\$ 1.712,51

cantidades de elemento y suficiente agua, no mostrará grandes diferencias en producción.

La caña de azúcar, como cualquier otro cultivo, tiene una absorción limitada y el resto del nitrógeno presente en el suelo no podrá ser tomado, lo cual puede ser cierto a causa de las cantidades elevadas de nitrógeno total presente en el suelo y el nitrógeno aplicado.

b) El rendimiento (relación entre toneladas de azúcar y toneladas de caña), fué también muy diferente en ambas suertes (véanse tablas VI y VIII del apéndice). Además del elemento estudiado, hubo otros factores que no se tuvieron en cuenta y los cuales probablemente produjeron tan grandes diferencias en el rendimiento.

c) El experimento se realizó sobre un solo corte de caña de azúcar, por lo cual sería aventurado decir que es imposible predecir los tonelajes por medio de porcentajes de nitrógeno en la hoja. Como bien pudo observarse en el análisis de regresión y correlación, el comportamiento fisiológico de la caña en el Valle del Cauca, puede ser muy parecido al de Hawaii. Hawaii no posee un clima completamente tropical, con lo cual se asemeja al Valle del Cauca, como lo demuestra su altura sobre el nivel del mar (1.000 m.) y la temperatura media a-

(*) Ingenio Manuelita, Palmira, Valle, Información sobre costo de producción de caña de azúcar, 1961. (Información personal).

nual y la distribución irregular de las lluvias, en dos períodos de sequía y dos de verano en el año (*).

Aunque el experimento hubiese dado resultados positivos, como para predecir los rendimientos, sería arriesgado hacer las predicciones con base en un solo corte y una sola época, que puede no ser representativa para las condiciones ambientales medias del Valle del Cauca, que varían considerablemente de un año a otro (*).

V.— CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los análisis de nitrógeno en la hoja, porcentajes de humedad en los tejidos, cantidades de fertilizantes aplicados al suelo, diferentes edades de toma de muestras y la producción, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1.—La correlación entre el nitrógeno foliar y la humedad de la hoja, fué positiva y altamente significativa.
- 2.—La correlación entre el nitrógeno foliar y la edad de toma de muestras, en la planta, fue negativa y altamente significativa.
- 3.—La correlación entre la edad y la humedad de la planta, fué negativa y altamente significativa.
- 4.—La edad que mostró una correlación más estrecha entre el nitrógeno foliar y los rendimientos, fué de 102 días después del corte y 72 días después de la aplicación del fertilizante.
- 5.—No se encontraron diferencias estadísticas entre el nitrógeno aplicado al suelo, porcentajes de nitrógeno en la hoja a los 72 días después de la fertilización, y la producción de azúcar en toneladas por ha./mes.
- 6.—El porcentaje de N, determinado a la edad de 72 días después de la fertilización, mostró estrecha correlación con la producción de azúcar obtenida en la cosecha, a los 19 meses; pero el N aplicado al suelo no tuvo influencia significativa sobre los porcentajes de N en las hojas y la producción de azúcar.

VI— RESUMEN

Se realizó un estudio en la planta de la caña de azúcar, con la variedad M. C. 666, para probar la validez de los principios fisiológicos en el Ingenio Central Castilla Ltda., Valle del Cauca, de los análisis foliares realizados en otros países.

(*) Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas, Palmira, Sección de Meteorología. Información sobre el clima del Valle del Cauca. 1961. (Información personal).

Se buscaba poder predecir la producción, con base en los porcentajes de nitrógeno en la hoja, a una edad determinada y la forma como el nitrógeno aplicado al suelo podría influir en el nitrógeno foliar y los tonelajes.

Se encontró una correlación estrecha entre el nitrógeno en la hoja, la humedad del tejido y la edad de la planta. La ecuación de regresión múltiple calculada fué:

$$Y = - 3,974476 + 0,066383 X_1 - 0,0017235 X_2$$

Y: N foliar; X_1 : humedad de la vaina; X_2 edad de la planta.

Hubo una correlación estrecha entre la edad de 72 días después de la fertilización, para tomar la muestra, y la producción, pero los porcentajes de N foliar no fueron estadísticamente significativos para predecirlo.

Las cantidades de N aplicado al suelo, no tuvieron influencia estadística significativa sobre el nitrógeno foliar y la producción de azúcar, pero comercialmente se obtuvo un aumento de \$ 1.712,51 (mil setecientos doce pesos con cincuenta y un centavos), de utilidades, con la aplicación de 150 Kg. de N, como fertilizante aplicado al suelo.

Se presenta el método seguido por el autor para tomar las muestras y la preparación dada al material para hacer el análisis químico del nitrógeno total.

VII.— SUMMARY

An study was made in the sugar cane plant, with the M. C. 666 variety to prove validity of the physiological principles in Ingenio Central Castilla Ltd. of the Cauca Valley.

The finality was to be able to predict the production on basis of the nitrogen percentages of the leaf at a determined age, and the form on which the applied nitrogen to soil could influence in the foliar nitrogen and tonnages.

A closed correlation was found between the nitrogen of the leaf, the moisture of the tissue and age of the plant. The equation of multiple regression calculation was:

$$Y = - 3,974476 + 0,066383 X_1 - 0,0017235 X_2$$

Y; N foliar; X_1 : moisture of the sheat; X_2 : age of the plant.

There was a close correlation between the age at 72 days after fertilization, to gather the samples and the production. However the percentages of N foliar were not statistically significatives to predict it.

The amounts of N applied to the soil, had no significative statistical influence on the foliar nitrogen and the production of sugar

but commercially, an increase was obtained of (\$ 1,712.51 (one thousand seven hundred twelve pesos with fifty one centavos), of profit, with the application of 150 Kg. of N/ha., as fertilizant applied to the soil.

The method followed by the author to taking samples and for preparation given to the material, to make the chemical analisis of total nitrogen.

VIII.— BIBLIOGRAFIA CITADA

1. AYRES, A. Variation of mineral content of sugar cane with age and season. Hawaiian Planter's Rec. 37: 197-206. 1933.
2. BAVER, L. D.— Plant and soil composition relationships as applied to cane fertilization. Hawaiian Planter's Rec. 56: 1-69. 1960.
3. BONNET J. A., A. R. RIERA and J. ROLDAN.— Correlation at different ages between nitrogen, green and dry matter contents on leaves and yield of sugarcane, grown in sand culture. Jour. Agric. Univ. Pto. Rico. 40: 101-109. 1956.
4. ————.—Importancia de la relación suelo y planta en la interpretación del diagnóstico foliar. Rev. Fac. Agron. Maracay (Venezuela). 2: 5-10. 1957.
5. ————, A. R. RIERA and J. ROLDAN.— Yield responses to different N-P-K- levels and correlation with foliar analysis, in sand culture studies with corn, sugarcane and cotton. Jour. Agri. Univ. Pto. Rico. 42: 168-184. 1958.
6. BORDEN, R. J.— The effect of nitrogen fertilization upon the yields and composition of sugar cane. Hawaiian Planter's Rec. 49: 259-312. 1945.
7. ————.— Variety differences in nitrogen utilization. Hawaiian Planter's Rec. 50: 39-49. 1946.
9. ————.— A search for guidance in the nitrogen fertilization of the sugar cane crop. Hawaiian Planter's Rec. 50: 161-200. 1946.
9. BRAY, R. H.— Nitrogen hungry or nitrogen starved? Amer. Fertilizers. 110 (7): 22, 24, 26. 1949 (Res. en Biol. Abstr. 24. 1034. 1950).
10. CAPO, B. G.— A modification of Mitschellich's method for the determination of the nutrient contents of a sil. Jour. Agric. Univ. Pto. Rico. 22: 137-169. 1938.
11. ————. and G. SAMUELS.— The development of a mathematical concep to interpret the relation between plant composition and crop yield. Jour. Agric. Univ. Pto. Rico. 37: 249-264. 1953.
12. ————. et al.— The Method of foliar diagnosis as applied to sugarcane Agri. Exp. Sta. Univ. Pto. Rico. Bol. 123. 1955.

13. CLEMENTS, H. F.— Integration of climatic and physiologic factors with reference to the production of sugar cane. *Hawaiian Planter's Rec.* 44: 201-233. 1940.
14. ————, and T. KUBOTA.— Internal moisture relations of sugar cane; The selection of a moisture index. *Hawaiian Planter's Rec.* 46: 17-35. 1942.
15. ————, and S. MORIGUCHI.— Nitrogen and sugar cane; The nitrogen index and certain quantitative field aspects. *Hawaiian Planter's Rec.* 46: 163-190. 1942.
16. ————.— Croy logging-sugar cane in Hawaii. *Better Crops with Pant Food*, 32 (9): 11-18, 45-48. 1948.
17. CLEMENTS, H. F.— Crop logging of sugar cane; Principles and practices. *Proc. Eighth Cong. Int. Soc. Sugarcane Tech. British West Indies*. 1953.
18. ————.— Influencias ambientales en el crecimiento de la caña de azúcar. *Est. Exp. de Occidente. Yaritagua (Venezuela) Bol.* 53. 1954.
18. ————.— The sugar cane crop log; Contribution to Hawaii's sugar industry. *Hawaii Farm Sci.* 5 (4): 1-3. 1957.
20. ————.— La administración de los cañameles. 24 p. No publicado. Sin fecha (mecanografiado).
21. ————.— Recent developments in crop logging of sugar cane. *Proc. Tenth. Cong. Int. Soc. Sugarcane Tech. Hawaii*.
22. DILLEWIJN, C. VAN.— Botany of sugarcane. *The Chronica Botanica Co. Waltham Mass.* 103-105 p. 1952.
23. ————.— Some basic principles of cane growing. *Sugar News*, 29 (12): 619-625. 1953. (Res. en *Biol. Abstr.* 29: 162. 1955).
24. DIOS VIDAL, R. y J. M. ALBAREDE HERRERA.— Análisis foliar; I. Aplicación del análisis químico de la hoja y del método de diagnóstico visual a la investigación de deficiencias minerales en relación con los suelos de cultivo. *Am. Edafol. y Fisiol. Veg.* 13 (5): 339-418. 1954 (Res. en *Biol. Abstr.* 29: 1699. 1955).
25. DAS, U. K. and A. H. CORNELISON.— The effect of nitrogen on cane yield and juice quality. *Hawaiian Planter's Rec.* 40: 35-36. 1936.
26. GOMEZ ALVAREZ, F.— Influencia de la edad, humedad y temperatura sobre el nitrógeno foliar en la caña de azúcar. *Est. Exp. de Occidente. Yaritagua (Venezuela). Bol.* 52. 1954.
27. ————.— El registro agronómico de Clements y su aplicación en Venezuela. Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría Ediciones M.A.C. 8. 1959.

26. HALAIS, P. —(Título en francés). Foliar diagnosis as a guide in the fertilization of sugarcane; leaf sampling methods and volumetric analyses. *Rev. Agric. Ile Maurice*. **26** (1): 12-33. 1947 (Res. en Biol. Abstr. 24: 2889. 1950).
29. ————. —Foliar diagnosis a new guide to fertilization of sugarcane in Mauritius. *Proc. Seventh. Cong. Int. Soc. Sugar cane Tech. Brisbane*. 1950: 218-230. 1950.
30. ————. — The determination of nitrogenous fertilizer requirement of sugarcane crops by foliar diagnosis. *Proc. Tenth. Cong. Int. Soc. Sugarcane Tech. Hawaii*. 1959: 515-521 1959.
31. HANCE, F. E. Soil and plant material analyses by rapid chemical methods. *Hawaiian Planter's Rec.* **41**: 148. 1937.
32. HAUCK, F. W.— El problema del empleo racional de los fertilizantes potásicos en el cultivo de la caña de azúcar. *Memoria de la 281 Conf. An. Asoc. Tecn. Azucareros de Cuba*. La Habana. 1954.
33. LANDRAU, Jr., P. and G. SAMUELS.— Response of four sugar cane varieties to fertilizers during the first Isabella cycle. *Jour Agric. Univ. Pto. Rico*. **38**: 73-95. 1954.
34. MCCOLLAM, M. E.— The leaf analysis approach to crop nutrition. *Better Crops with Plant Food*. **36** (10): 6-14, 43-44. 1952.
35. MORGAN, N. D., and G. A. WICKSTROM.— Give your plants a blood test; Guide to quick tissue tests. *Better Crops with Plant Food*. **40** (5): 6-10, 45-50. 1956.
36. RAO, N. V., MOHAN and R. L. NARASIMHAM.— The nitrogen nutrition of sugarcane. *Madras Agric. Jour.* **39** (3): 243-255. 1952 (Res. en Biol. Abstr. **26**: 2852. 1952).
37. SAMUELS, G. and P. LANDRAU JR.— The response of sugarcane to fertilizers; I. The Arecibo cycle 1944-1950. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico*. **36**: 203-229. 1952.
38. ———— et al.— Fertilizers for sugar cane. *Sugar Jour*. **14** (12): 58-82. 1952.
30. ———— M. A. LUGO LOPEZ and P. LANDAU JR.— Factors affecting the sucrose content of sugarcane; Fertilizers. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico*. **36**: 194-202. 1952. (Res. en Biol. Abstr. **27**: 433. 1953).
40. SAMUELS, G., B. G. CAPO and I. S. BANGDIWALA.— The nitrogen content of sugarcane as influenced by moisture and age. *Proc. Eight. Cong. Int. Soc. Sugarcane Tech. Britis West Indies*. 1953.
41. ————. — Qué se entiende por diagnóstico foliar según se verifica en la planta de la caña de azúcar. *Est. Agric. Exp. Univ. Pto. Rico*. 7 p. 1954 (mimeografiado).

42. ———— and P. LANDRAU JR.— The influence of potassium on the yield and sucrose content of sugarcane. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico.* **38**: 170-178. 1954.
43. ————, S. ALERS ALERS and P. LANDRAU JR.— A comparison of different leaf sampling techniques used in the foliar diagnosis of sugarcane in different countries. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico.* **41**: 1-10. 1957.
44. ————, P. LANDRAU JR. and B. G. CAPO.— Influence of fertility levels on the varietal response of sugar cane. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico.* **40**: 129-143. 1956. (*Res. en Biol. Abstr.* **32**: 230. 1958).
45. ————.— The efficiency of sugarcane in its use of nitrogen fertilizer applications. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico.* **40**: 209-217. 1956. (*Res. en Biol. Abstr.* **32**: 230. 1958).
46. ————.— The relative merits of various methods of foliar diagnosis for sugarcane. *Proc. Tenth. Cong. Int. Soc. Sugarcane Tech. Hawaii.* **1959**: 529-537. 1959.
47. SAMUELS, G.— Influence of the age of sugarcane on its leaf nutrient (N-P-K) content. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico.* **43**: 159-170. 1959.
48. ————, P. LANDRAU JR. and S. ALERS ALERS.— Influence of the height of the cane and leaf stage at time of sampling on leaf nutrient content of sugarcane. *Jour. Agric. Univ. Pto. Rico.* **44**: 11-15. 1960.
49. SAUCEDO PORTALES, R. y P. TRINIDAD.— Principios sobre los cuales se basa el análisis foliar. *Inst. Tecn. Azuc. Veracruzano.* 23 p. 1958 (mimeografiado).
50. SCHARRER, K. and G. LEMME.— (Título en alemán).— Investigations on the usefulness of leaf analyses according to Lündegardh in the determination of fertilizer requirement of soils. *Zeitschr. Pflanzener. narh. Düng. u. Bodenk.* **60** (2): 125-148. 1953 (*Res. en Biol. Abstr.* **28**: 1416. 1954).
51. SNEDECOR, G. W.— *Statistical methods.* 5th. ed. Ames, Iowa. State College Press. 534 p. 1959.
52. SNYDER, J. Q.— The use of the Beckman flame spectrophotometer in plant and soil analysis. *Proc. Oklahoma Acad. Sci.* **31**: 134-136. 1950 (*Res. en Biol. Abstr.* **27**: 708. 1953).
53. VENEZUELA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRIA. EST. EXP. DE OCCIDENTE.— Requerimiento de fósforo en la caña de azúcar. *Bol.* 61. 5 p. 1956.
54. YUEN, G. H. and F. E. HANCE.— Nitrogen in the cane leaf. *Hawaiian Planter's Rec.* **43**: 163-207. 1939.