

## BALANCE NUTRICIONAL DE REFERENCIA DE SUELOS Y HOJAS EN EL CULTIVO DEL PLÁTANO HARTON

Vianel Rodríguez<sup>1</sup>, Eurípedes Malavolta<sup>2</sup>, Aymara Sánchez<sup>3</sup> y Osmir Lavoranti<sup>4</sup>

### RESUMEN

Se han propuesto diversos métodos para interpretar y evaluar el balance nutricional de los cultivos; sin embargo, estas propuestas presentan en mayor o menor grado diferentes limitaciones. El objetivo de este trabajo fue evaluar y utilizar un método alternativo de análisis multivariado para obtener el balance nutricional de referencia de suelos y hojas en el cultivo del plátano Harton localizado en el sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. En el sector río Mucujepe-Escalante, se establecieron estratos de muestreos de acuerdo con las series de suelos. En la unidad experimental, conformada por la planta “madre” y la planta “hijo” se colectaron 30 muestras de suelos sobre la banda de fertilización a las profundidades de 0 - 20 cm y 21- 40 cm y 30 muestras de hojas, de acuerdo al método de Muestreo Internacional de Referencia para musáceas. Se estableció, vía método paso a paso, un modelo de regresión de estimación del rendimiento con las combinaciones lineales. El modelo obtenido presentó un ajuste del 51,98% ( $r^2$ ), altamente significativo, con normalidad de los residuos estándares. Con el rendimiento estimado se separó la subpoblación en plantas con más ó menos de 18 kg· racimo<sup>-1</sup>. Con las medias de las variables del suelo, pH, CE, MO, a, L, A, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn y Zn y de la hoja, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Na y Zn se estableció el balance nutricional de referencia, con la ventaja que en el mismo se evalúan simultáneamente las propiedades físicas y químicas del suelo y del estado nutricional de la planta, asociadas significativamente al rendimiento promedio esperado.

**Palabras clave adicionales:** Nutrición mineral, DRIS, CND, DOP

### ABSTRACT

#### Reference nutritional balance of soils and leaves in the Horn plantain crop

Several methods have been proposed to evaluate the nutritional status of the crops, although all of them show different degree of limitations. The objective of this research was to get the soil and leaves reference nutritional balance values by using a multivariate analysis for the Horn plantain crop at the south of Maracaibo lake, Venezuela. Sampling strata related to the Mucujepe-Escalante river soil series were established. In the experimental unit, as defined by the “mother” plant and its primary “son” or lateral sprout, thirty foliar samples were obtained in accordance with the International Reference Sampling Method for Musaceas. Simultaneously, soil samples were taken over the fertilizing band and at two depths (0-20 cm and 21-40 cm). Using the stepwise method, a regression model with lineal combinations for yield estimation was established. The obtained model showed a highly significant coefficient of 51.98% ( $r^2$ ), with normality of the standard residues. The population was divided into groups around 18 kg· racimo<sup>-1</sup>. The mean values from plants (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, and Mo) and soil (pH, CE, OM, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, and Zn) were considered as the balanced nutritional reference values. Such means simultaneously evaluate both the physical and chemical soil properties and the nutritional plant status significantly associated with the mean expected yield.

**Additional key words:** Mineral nutrition, DRIS, CND, DOP

### INTRODUCCIÓN

La industria platanera venezolana es conducida por métodos tradicionales y ha tenido pocas oportunidades de reorientación. En el siglo XX el

principal cambio fue sustituir el cultivo del plátano Dominicó por el plátano Harton y en la década de los noventa se dio inicio a la transformación de la industria (Nava, 1997), exigiendo manejos agronómicos cada vez más

<sup>4</sup> Recibido: Abril 21, 2003

Aceptado: Noviembre 21, 2003

<sup>1</sup> Dpto. de Fitotecnia, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. email: vianelr@ucla.edu.ve

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo. Centro de Energía Nuclear na Agricultura. CEP 13400-970. Piracicaba, S. P., Brasil. email: mala@cena.usp.br

<sup>3</sup> Dpto. de Química y Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Apdo. 400 Barquisimeto. Venezuela. email: aymarass@ucla.edu.ve

<sup>4</sup> Embrapa Florestas, Colombo, PR, Brasil. email: osmir@cnpf.embrapa.br

variados, adaptados o generados en la misma región. Éstos de alguna manera aumentaron los costos y señalaron la necesidad de mejorar el desempeño de los existentes, entre los cuales se resalta el diagnóstico nutricional y la evaluación de la fertilidad del suelo para la recomendación de fertilizantes.

Separadamente y enmarcados dentro de la evaluación del balance nutricional, se reporta el uso del DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) como método de interpretación de análisis de tejidos para el cultivo del plátano Harton (Rodríguez y Rodríguez, 1997; Rodríguez et al., 1999a; 1999b) y el uso de cocientes para la interpretación de análisis de suelos (Rodríguez, 2002).

Además del DRIS (Beaufils, 1973; Sumner, 1977a; 1977b) otros métodos han sido presentados por Holland (1966) a través del análisis de los componentes principales, Parent y Dafir (1992) mediante el CND (Compositional Nutrient Diagnosis); Schaller et al. (1995) a través del CND-DRIS y Montañés et al. (1995) mediante la DOP (Deviation from Optimum Percentage).

La evaluación del balance nutricional propuesto por Beaufils (1973) y Sumner (1977a; 1977b) a través del DRIS se inició con el uso de las medias aritméticas de las poblaciones excepcionales las cuales, constituidas como valores de referencia, y mediante la elaboración de combinaciones binarias estandarizadas con las funciones y transformadas con los índices DRIS, establecen los modelos de estimación del rendimiento u otra variable con los Índices de Balance Nutricional DRIS (IBN-DRIS).

Así, cuanto mayor es el valor del IBN mayor será el indicio de que la planta se encuentra en desequilibrio nutricional y menor será su rendimiento (Creste y Nakagawa, 1997; Rodríguez et al., 1999a; 1999b). Esta relación funcional entre las dos variables no siempre puede ser explicada mediante una línea teórica de regresión (Bataglia et al., 2001) lo que dificulta la evaluación del balance nutricional.

En contraste, el análisis de los componentes principales propuesto por Holland (1966) transforma el conjunto de datos observados dentro de otros conjuntos con relevantes propiedades donde los nuevos conjuntos de datos son independientes unos de otros; hay una relación funcional lineal y la variación total del nuevo

conjunto es equivalente a la variación total de los datos originales.

Estas propiedades permiten evaluar simultáneamente numerosas variables (de suelos, y hojas) en una relación lineal (Holland, 1966) lo que permitiría obtener un balance o desbalance nutricional a distintos niveles de rendimiento y/o variable a evaluar. Esta propuesta exige la normalidad en la distribución de los datos.

Por su parte, el CND y CND-DRIS de Parent y Dafir (1992) y Schaller et al. (1995) al igual que el procedimiento anterior, fundamentan su teoría en el análisis multivariado de la composición de los tejidos estudiados.

Para su ejecución, el cálculo se inicia usando valores de referencia obtenidos de poblaciones excepcionales, las cuales se agrupan en combinaciones multinutrientes incluyendo la materia seca y se estandarizan con los índices CND. Esta propuesta está sujeta a los análisis de tejidos.

Finalmente, el DOP propuesto por Montañés et al. (1995) al igual que el DRIS, se inicia con los mismos valores de referencia, pero son transformados por los índices DOP y se establecen líneas de regresión con el rendimiento a través de la sumatoria los mismos. Al igual que en el DRIS, cuanto mayor es el valor de la sumatoria DOP mayor es el indicio de que hay desequilibrio nutricional, y por lo tanto, al no existir asociación con el rendimiento presenta las mismas desventajas ya señaladas.

Por lo discutido anteriormente, el objetivo de este trabajo fue evaluar una metodología alternativa basada en el balance nutricional de referencia a través de un análisis multivariado. Para esto, el método fue aplicado en la interpretación de los análisis de suelos y de hojas del cultivo del plátano Harton en el Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estratificación

Para definir el área de muestreo se establecieron estratos de acuerdo con las series de suelos que caracterizan al sector río Mucujepé-Escalante de la zona sur del Lago de Maracaibo, Venezuela (Kijeswski et al., 1981). La altitud es de 54 msnm y la zona tiene características de bosque húmedo tropical con temperatura media

anual de 26,8 °C, humedad relativa media de 83% y precipitación anual de 1738 mm.

El procedimiento aplicado inicialmente fue localizar las plantaciones conocidas como las mejores productoras (Delvaux et al., 1986) en el mapa de series de suelos. Mediante ese procedimiento se obtuvieron cuatro plantaciones, que presentaron suelos de las unidades Chama N°1 (unidad con 41.114 ha) y Padre N°37 (unidad con 29.563 ha), las dos con texturas predominante francas con alta presencia de limo.

Dentro del estrato seleccionado se realizó un muestreo completamente al azar entre los meses de julio y diciembre de los años 2000 y 2001, períodos en que ocurrieron los mayores rendimientos.

### **Muestreo**

Se seleccionó como unidad experimental la cepa de plátano conformada por dos plantas: la planta “madre”, en el momento de la emisión de la inflorescencia y la planta “hijo” o brote lateral en pleno desarrollo.

La muestra foliar se retiró de la planta “madre”, de acuerdo a la normativa establecida por el método de Muestreo Internacional de Referencia (MEIR) (Martin-Prével, 1980a; 1980b) y simultáneamente la muestra de suelos sobre la banda de fertilización, al frente del “hijo” o brote lateral, a las profundidades de 0-20cm y 20-40cm.

Dentro del área de cultivo se tomó un lote al azar y se estableció una diagonal sobre la cual se tomaron muestras de las plantas que reunían las condiciones establecidas en el MEIR y se marcaron para localizarlas durante la cosecha. El tamaño de la muestra estuvo representado por 30 unidades (Delvaux et al., 1986); sin embargo, se agregó aproximadamente un 25% dada la posibilidad de pérdidas por viento o lluvia.

### **Procesamiento de las muestras**

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad de Investigación en Suelos y Nutrición de Plantas de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, en Barquisimeto, Venezuela, con la excepción de una alícuota de materia seca, la cual fue enviada al Laboratorio de Química Analítica “Henrique Bergamin Filho” del Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, Brasil, para la determinación del molibdeno.

### **Muestras de hojas**

El nitrógeno y el azufre fueron determinados directamente en la materia seca al colocarse en el horno del analizador N-S 2000. El nitrógeno fue cuantificado por variación de la conductividad térmica y el azufre por absorción infrarroja.

Los elementos fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, cobre, hierro, manganeso y zinc fueron determinados en el extracto de la materia obtenida por digestión vía seca (a 550 °C) hasta obtención de ceniza blanca (Malavolta et al., 1997).

El fósforo y el boro fueron cuantificados por colorimetría del metavanadato (Malavolta et al., 1997) y colorimetría con el reactivo azometina-H (Lachica, 1976; Malavolta et al., 1997), respectivamente. Los elementos potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

En el caso del molibdeno, la preparación del extracto de la materia seca fue obtenido por digestión nitro-perclórica y la cuantificación del nutriente fue realizada por espectrofotometría de emisión atómica con plasma de argón o ICP - AES (Malavolta et al., 1997).

### **Muestras de suelos**

Los atributos de pH en agua y conductividad eléctrica fueron determinados en el extracto suelo-agua, relación 1:2; materia orgánica por el método de combustión húmeda con determinación del carbono orgánico por colorimetría y el análisis textural por el método de Bouyoucos (Westerman, 1990).

El fósforo, por el método Olsen, extraído con solución de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,5 M a pH 8,5 y determinación colorimétrica; potasio, calcio y magnesio extraídos con acetato de amonio 1 N, pH 7,0 y posterior determinación del potasio por fometría de llama y calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica. El azufre fue determinado por turbidimetría y el boro por colorimetría. El cobre, hierro, manganeso y zinc fueron extraídos con DTPA, pH 7,2 y determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Westerman, 1990).

### **Análisis exploratorio de datos**

A los resultados del análisis de suelo se aplicó

la prueba de t para determinar si existían diferencias entre las profundidades de muestreo de 0-20 y 20-40 cm.

Con las profundidades definidas se procedió a determinar la normalidad de los datos de suelos y hojas aplicando la prueba de Shapiro y Wilk (1965). En el caso de no obtenerse la normalidad directamente con los datos, se procedió a transformarlos de acuerdo a lo propuesto por Box y Cox (1964), la cual consistió en elevar el valor observado al exponente comprendido desde el -2,0, continuando con -1,9, -1,8 y así sucesivamente hasta 2,0. Mientras que a cada transformación, simultáneamente, se le aplicó la prueba de Shapiro y Wilk (1965), con el fin de determinar cual de ellas permitía alcanzar la normalidad en la distribución de los datos.

Finalmente, se seleccionó la transformación más adecuada para normalizar la distribución los datos y se analizaron posteriormente.

### **Análisis multivariado**

Posteriormente se aplicó un análisis de regresión por componentes principales de acuerdo a los resultados de Rodríguez (2003), quien lo reportó como el más adecuado para evaluar el balance nutricional en el cultivo del plátano Harton.

Antes de establecer el modelo, sólo las variables normalmente distribuidas fueron estandarizadas utilizando la fórmula siguiente:

$$x_{ip} = (x_i - \mu) / \sigma$$

$x_{ip}$  = valor estandarizado

$x_i$  = cualquier observación  $x_i$

$\mu$  = media de la población

$\sigma$  = desviación estándar

Esto permitió disponer de todas las variables de suelo y hojas en una misma unidad con media aritmética igual a cero y desviación estándar igual a uno.

Posteriormente se construyeron las combinaciones lineales no correlacionadas (componentes principales) por cada variable de suelos y hojas y se estableció un modelo de regresión del rendimiento con las combinaciones lineales por el método paso a paso (Johnson y Wichern, 1995).

Las variables sin normalidad en la distribución

de los datos fueron excluidas de la construcción del modelo.

### **Determinación del balance nutricional de referencia**

Para obtener el balance nutricional de referencia, con los coeficientes del modelo obtenido, se construyó una hoja de cálculo en Excel a fin de estimar los kg·racimo<sup>-1</sup> en cada una de las muestras. Luego se separó la subpoblación en plantas con rendimientos estimados de aproximadamente 18 kg·racimo<sup>-1</sup>. Aunque la estimación se hizo con las variables normalmente distribuidas, la separación de la subpoblación se hizo con todas las variables estudiadas.

De esta manera, con las medias de todas las variables se estableció el balance nutricional de referencia en cada uno de los grupos obtenidos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis exploratorio de datos**

Los resultados de la prueba de t demostraron que hubo diferencias entre las profundidades de muestreo de las variables conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), arcilla (A), fósforo, magnesio, boro, cobre, hierro, manganeso y zinc. Por consiguiente, el proceso de interpretación de esas variables en los análisis de suelos se realizó separadamente en las profundidades de muestreo de 0 - 20 y 20 - 40 cm. En contraste, las variables pH, arena (a), limo (L), potasio, calcio y azufre no presentaron diferencias entre las profundidades de muestreo, por lo que se unieron en una sola profundidad de 0 - 40 cm.

En el Cuadro 1 se observan las variables con normalidad en la distribución de los datos, tanto de suelos como de hojas, así como los coeficientes y exponentes ( $\rho$ ) de la transformación de datos de Box y Cox (1964).

No fue posible obtener la normalidad en la distribución de los datos en las variables del suelo pH<sub>0-40</sub>, MO<sub>21-40</sub>, a<sub>0-40</sub>, L<sub>0-40</sub>, Ca<sub>0-40</sub>, S<sub>0-40</sub>, B<sub>0-20</sub>, B<sub>21-40</sub>, Fe<sub>0-20</sub>, Fe<sub>21-40</sub> y en las variables foliares B, Mo y Na, aun aplicadas las transformaciones de Box y Cox (1964). Por lo tanto, las variables mencionadas no fueron utilizadas para la construcción de las combinaciones lineales (CL).

**Cuadro 1.** Exponentes ( $\rho$ ) de las variables transformadas y coeficientes de las combinaciones lineales (CL) y en cada variable de suelo u hoja del modelo asociado al rendimiento

Coeficiente de las CL		CL 2	CL 4	CL 6	CL 19
Variable	Exponente ( $\rho$ )	0,25313	0,33611	0,14187	0,23272
		Coeficientes de cada variable			
CE <sub>0-20</sub>	- 0,1	0,104323	0,042621	0,194218	-0,117804
CE <sub>20-40</sub>	- 0,2	0,07196	0,150585	0,045628	0,09748
MO <sub>0-20</sub>	0,7	- 0,308735	0,107164	-0,056275	0,036847
P <sub>0-20</sub>	0,1	- 0,313132	0,206537	0,108124	-0,042737
P <sub>20-40</sub>	0,1	- 0,306924	0,052139	0,220478	0,031344
K <sub>0-40</sub>	- 0,9	0,309318	0,023899	-0,204016	-0,036264
Mg <sub>0-20</sub>	- 0,2	0,108006	- 0,066755	0,052435	-0,184331
Mg <sub>20-40</sub>	- 0,3	0,045493	0,074794	-0,052778	0,024313
A <sub>0-20</sub>	0,8	0,157327	0,084017	0,14842	-0,007573
A <sub>21-40</sub>	0,5	0,18761	- 0,045173	0,208826	-0,068859
Mn <sub>0-20</sub>	- 0,1	- 0,054476	- 0,046853	0,184052	-0,223581
Mn <sub>20-40</sub>	- 0,4	- 0,106874	- 0,049569	0,008657	-0,002646
Cu <sub>0-20</sub>	0,6	- 0,070781	0,145035	-0,231422	-0,060559
Cu <sub>20-40</sub>	- 0,1	0,12144	- 0,018704	-0,102876	-0,091326
Zn <sub>0-20</sub>	- 0,2	0,344701	0,055242	-0,129377	0,112915
Zn <sub>20-40</sub>	- 0,3	0,230048	0,104701	-0,375083	-0,093853
N (hoja)	--	- 0,033641	- 0,012274	-0,431781	0,095717
P (hoja)	- 0,5	- 0,116309	0,159376	0,215425	-0,36889
K (hoja)	--	0,281155	- 0,023356	0,276468	-0,284065
Ca (hoja)	0,5	- 0,16158	0,474798	- 0,106528	0,369547
Mg (hoja)	- 0,3	0,010846	- 0,388173	0,192436	0,446829
S (hoja)	0,1	0,257831	0,348997	0,37929	0,364232
Cu (hoja)	0,6	0,283248	- 0,190338	0,009167	0,171474
Fe (hoja)	- 0,3	0,106413	0,364118	0,06986	-0,050287
Mn (hoja)	- 0,1	- 0,030545	- 0,148471	0,145219	0,348279
Zn (hoja)	- 0,7	- 0,205475	- 0,379492	- 0,029124	-0,012576

La falta de normalidad de las variables señaladas podría ser explicada por posibles fallas en las metodologías de determinación, contaminación u otras causas, ya que aparecieron datos muy discrepantes o repetitivos que afectaron la moda tal como fue lo reportado por Bataglia et al. (2000) en el cultivo el café.

Estas variables no fueron confiables estadísticamente, ni deberían ser utilizadas para estimar el rendimiento; no obstante, podrían dar indicio de su participación en el balance general de la planta y del suelo mientras no sean resueltos los problemas relacionados con la falta de normalidad en la distribución de sus datos.

Adicionalmente, fue necesario transformar los datos del rendimiento ( $\text{kg} \cdot \text{racimo}^{-1}$ ) obteniéndose el valor del exponente  $\rho = - 0,1$  para obtener la normalidad con la probabilidad estadística de  $\text{Pr} < W = 0,893$ .

#### **Análisis de regresión por componentes principales**

De los 26 componentes principales o combinaciones lineales no correlacionadas construidas, en el Cuadro 1 se observa que solamente CL 2, CL 4, CL6 y CL 19 resultaron estar asociadas con el rendimiento. En el mismo Cuadro, en cada CL, además de sus

correspondientes coeficientes también se observan los coeficientes de cada una de las variables que las conforman, los cuales en su conjunto constituyen el modelo de regresión calculado.

El modelo obtenido presentó una bondad de ajuste de 51,98% ( $r^2$ ) significativo al 1%, con normalidad de los residuos estándares en virtud de tener todas las variables que componen el modelo con distribución normal.

El modelo evalúa el 100% de la variabilidad de los datos, ya que en cada combinación participan los datos observados.

### Determinación del balance nutricional de referencia

En el Cuadro 2 se observan los resultados de la separación de la subpoblación en plantas con rendimientos estimados de aproximadamente 18 kg·racimo<sup>-1</sup> y las medias de las variables estudiadas, las cuales se proponen para la interpretación de los análisis de suelos y hojas o evaluación de la fertilidad del suelo y diagnóstico nutricional.

Este procedimiento parte del principio que mediante el análisis de regresión se obtiene una expresión matemática que vincula el rendimiento como una función de las variables independientes (Holland, 1966; Johnson y Wichern, 1995) las cuales fueron, en este caso, determinadas en los análisis de suelos y hojas.

Según los métodos de diagnóstico más usuales (DRIS, CND, CND-DRIS y DOP) las medias en la columna de más de 18 kg·racimo<sup>-1</sup> serían consideradas valores de referencia o normas y de uso posterior en los procedimientos de diagnóstico foliar propuestos, debido a que provienen de la población excepcional o de más alto rendimiento. Sin embargo, con el presente procedimiento se puede omitir esa consideración, ya que se asume que cada nutriente está de forma unilateral, simple, aislada y sin conexión entre ellos, y por lo tanto se haría necesario utilizar adicionalmente otro procedimiento (IBN-DRIS, Sumatoria DOP, Índices CND y CND-DRIS) que mediante combinaciones binarias evalúe simultáneamente las variables para lograr una correcta evaluación del balance nutricional.

**Cuadro 2.** Medias aritméticas de las variables de suelo y hojas en plantas con rendimiento inferior o superior a 18 kg·racimo<sup>-1</sup> estimados por las combinaciones lineales

Variables	10,96 - 17,9 kg·racimo <sup>-1</sup>	> 18 kg· racimo <sup>-1</sup>
pH <sub>0-40</sub>	6,66	6,59
CE <sub>0-20</sub> (dS·m <sup>-1</sup> )	0,309	0,408
CE <sub>20-40</sub> (dS·m <sup>-1</sup> )	0,255	0,336
MO <sub>0-20</sub> (g·kg <sup>-1</sup> )	15,5	16,96
MO <sub>20-40</sub> (g·kg <sup>-1</sup> )	10,1	12,01
P <sub>0-20</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	16,78	18,35
P <sub>20-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	10,75	14,27
K <sub>0-40</sub> (mmol <sub>c</sub> ·dm <sup>-3</sup> )	1,058	1,21
Ca <sub>0-40</sub> (mmol <sub>c</sub> ·dm <sup>-3</sup> )	87,89	111,44
Mg <sub>0-20</sub> (mmol <sub>c</sub> ·dm <sup>-3</sup> )	16,54	15,52
Mg <sub>20-40</sub> (mmol <sub>c</sub> ·dm <sup>-3</sup> )	13,22	13,30
S <sub>0-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	212,83	249,91
a <sub>0-40</sub> (%)	19,12	27,92
L <sub>0-40</sub> (%)	60,26	54,92
A <sub>0-20</sub> (%)	21,42	16,98
A <sub>20-40</sub> (%)	19,39	16,29
B <sub>0-20</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	0,187	0,207
B <sub>20-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	0,151	0,155
Cu <sub>0-20</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	1,72	1,64
Cu <sub>20-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	1,29	1,32
Fe <sub>0-20</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	54,78	65,75
Fe <sub>20-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	38,78	44,48
Mn <sub>0-20</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	8,97	8,11
Mn <sub>20-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	6,48	5,57
Zn <sub>0-20</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	1,33	2,05
Zn <sub>20-40</sub> (mg·dm <sup>-3</sup> )	0,86	1,16
N (g·kg <sup>-1</sup> )	25,6	27,9
P (g·kg <sup>-1</sup> )	1,91	2,09
K (g·kg <sup>-1</sup> )	42,89	40,45
Ca (g·kg <sup>-1</sup> )	7,16	5,67
Mg (g·kg <sup>-1</sup> )	2,94	2,68
S (g·kg <sup>-1</sup> )	2,4	1,50
B (mg·kg <sup>-1</sup> )	9,08	12,21
Cu (mg·kg <sup>-1</sup> )	8,49	8,33
Fe (mg·kg <sup>-1</sup> )	46,65	62,47
Mn (mg·kg <sup>-1</sup> )	68,64	69,46
Zn (mg·kg <sup>-1</sup> )	19,27	12,40
Mo (mg·kg <sup>-1</sup> )	1,313	1,428
Na (mg·kg <sup>-1</sup> )	590	490
Rendimiento (kg·racimo <sup>-1</sup> )	14,82	19,87

Pero en nuestro caso, la columna de más de 18 kg·racimo<sup>-1</sup>, representa un conjunto de variables que evalúan simultáneamente las propiedades físicas y químicas del suelo y del estado nutricional de la planta asociadas a un rendimiento medio esperado, el cual fue de 19,87 kg·racimo<sup>-1</sup>. Por esta razón, es innecesario utilizar un procedimiento adicional para la

evaluación del balance nutricional dado que el modelo del Cuadro 1 permite cuantificar el balance o desbalance de manera expedita.

Con esta propuesta se obtuvo la calibración de todas las variables estudiadas al alcanzar las siguientes etapas: a) entre nutrientes del suelo y hoja con el rendimiento, y b) entre nutriente en el suelo y nutrientes en la hoja (Malavolta, 1999), calibración que no se logra al asumir directamente como normas de diagnóstico los pesos obtenidos provenientes de las poblaciones excepcionales.

Así mismo, el desequilibrio también es evaluable y está representado en la columna de menos de 18 kg· racimo<sup>-1</sup>.

La discusión proporciona indicios de las ventajas de esta metodología, al evaluar simultáneamente numerosas y diversas variables (Holland, 1966), así como obviar la necesidad de utilizar valores de referencia (Beaufils, 1973), hecho muy importante en áreas muy particulares, cultivos o híbridos nuevos (Oliveira, 1999). Este método asocia el rendimiento esperado a una combinación o balance de medias, por la cual puede denominarse “balance nutricional de referencia”.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo representa una propuesta de interpretación de los resultados de análisis de suelos y hojas y de predicción del rendimiento en árboles frutales

El análisis multivariado de los componentes principales permitió determinar y utilizar como referencia el balance nutricional entre todas las variables estudiadas, debidamente asociadas al rendimiento.

Este método considera las relaciones e interacciones entre los nutrientes y obvia utilización de otros métodos para la evaluación del balance nutricional.

Finalmente, el método permitió la determinación simultánea de niveles nutricionales a diferentes productividades a partir de datos de plantaciones comerciales, a la vez que puede permitir la elaboración de bancos de datos por tipos de suelos y/o regiones, sin la utilización de valores de referencia desarrolladas para el cultivo, en otras regiones o condiciones.

## LITERATURA CITADA

1. Bataglia, O.C., W.R. Santos, y J.A. Quaggio, 2000. Efeito de contaminações foliares na diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS. *In: P. C. Nogueira et al. (eds.). Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas. Embrapa Café e Minasplan. pp. 1343-1346.*
2. Bataglia, O.C., W.R. Santos y J.A. Quaggio. 2001. Reference populations for evaluation of the nutritional status of coffee by DRIS. *In: W. J. Horst et al. (eds.). Plant Nutrition Food Security and Sustainability of Agroecosystems. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 728 – 729.*
3. Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science Bulletin 1:1-132.*
4. Box, G. E. y D. R. Cox. 1964. An analysis of transformation. *Journal of Royal Statistics Society. Series B. 26: 211-234.*
5. Creste, J. y J. Nakagawa. 1997. Establecimiento do DRIS para a cultura do limoeiro em função da análise foliar. I. Calculo de normas. *Revista Brasileira de Fruticultura 19(3): 297-305.*
6. Delvaux, B., A. Lassoudiere, X. Perrier y J. Marchal. 1986. Une méthodologie d'étude des relations sol-plante-techineques culturales par enquête diagnostic. *Fruits 1(6): 359-370.*
7. Holland, D. A. 1966. The interpretation of leaf analysis. *Journal of Horticultural Science 41: 311-329.*
8. Johnson, R. A. y D. W. Wichern. 1995. *Applied Multivariate Statistical Analysis.* Prentice Hall International, Madison, Wisconsin
9. Kijeswski, J., J. Colina, P. Sleegmager, O. Madero y Z. Bojanowski. 1981. Estudio de suelos semidetallado, sector Río Mucujepe-Río Escalante. Zona Sur del Lago de Maracaibo. *MARNR Maracaibo: Serie Informes Técnicos Zona 5-IT-156. 278 p.*

10. Lachica, M. 1976. Estudio sobre la determinación de boro en plantas con azometina-H. Proceeding 4<sup>th</sup> International Colloquim on the Control of Plant Nutrition. Gent: A. Cottenie. pp. 53-61.
11. Malavolta, E. 1999. A diagnose foliar - passado, presente e futuro Simpósio sobre Monitoramento nutricional para a recomendação da adubação de culturas, Anais. Potafos/Potash and Phosphate Institute. Piracicaba, Brasil.
12. Malavolta, E., G. Vitti y S. A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicações. Potafos. Piracicaba, SP.
13. Martin-Prével, P. 1980a. La nutrition minerale du bananier dans le monde. Première partie. Fruits 35(9): 503-518.
14. Martin-Prével, P. 1980b. La nutrition minerale du bananier dans le monde. Deuxième partie. Fruits 35(10): 583-593.
15. Montañés, L., E. Monge, J. Val y M. Sanz. 1995. Interpretative possibilities of plant analysis by the DOP index. Acta Horticulturae 38(3): 165-171.
16. Nava, C. 1997. El Plátano. Su cultivo en Venezuela. Astro Data. Maracaibo, Venezuela. 136 p.
17. Oliveira, S. A. 1999. Avaliação do balanço nutricional no sistema solo-planta pelo DRIS. Simposio sobre monitoramento nutricional para a recomendação da adubação de culturas, Anais. Potafos/Potash and Phosphate Institute. Piracicaba, Brasil.
18. Parent, L.E. y E. Dafir. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 239-242.
19. Rodríguez, V. 2002. Propuesta metodológica para analizar datos provenientes de bajos niveles de muestreo en plátano Harton. Trabajo de ascenso. Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto. 47 p.
20. Rodríguez, V. 2003. Avaliação do estado nutricional e da fertilidad do solo na cultura do plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Harton). Tesis. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil.
21. Rodríguez, V. y O. Rodríguez 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Harton). Revista de la Facultad Agronomía (LUZ) 14(3): 285-296.
22. Rodríguez, V., Bautista, D., Rodríguez, O. y Díaz, L. 1999a. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Harton) y su efecto sobre el rendimiento. Revista de la Facultad Agronomía (LUZ) 16(4): 425-432.
23. Rodríguez, V., Rodríguez, O. y P. Bravo. 1999b. Índice de balance de nutrientes para la predicción del rendimiento del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Harton). Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 16(5): 488-494.
24. Schaller, H., O. Löhnertz y H. Michel. 1995. Improvements of the DRIS system and firsts experiences in grapevine nutrition with special consideration of the compositional nutrient diagnosis approach. Acta Horticulturae 383: 171-189.
25. Shapiro, S. S. y M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52(2-3): 591-611.
26. Sumner, M. E. 1977a. Applications of Beauflis diagnostics indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. Plant and Soil 46: 359-369.
27. Sumner, M. E. 1977b. Use of the DRIS systems in foliar diagnosis of crops at high yields levels. Communication in Soil Science and Plant Analysis 8(3): 251-268.
28. Westerman, R. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America Book Series No. 3. Madison, Wisconsin.