

# La nutrición mineral de las plantas:

Análisis foliar mediante el DRIS

AGRONOMÍA

Vianel J. Rodríguez P.  
(Ed.-Coord.)

Orlando A. Rodríguez R.  
(Co-Ed.)

Fondo Editorial  
**opsu**



# AUTORES

---

## **Vianel J. Rodríguez Pérez (Venezuela)**

Editor-coordinador de esta publicación, Ingeniero Agrónomo y *Magister Scientiarum* de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Doctor en Agronomía de la Universidad de São Paulo, Brasil. Profesor titular e investigador de la UCLA, colaborador en las revistas indexadas *Bioagro*, *Agronomía tropical*, *Revista de la Facultad de Agronomía* de la LUZ y *A Journal of Agrarian Sciences* de Brasil. Tutor de tesis en la UPM (España) y UCLA (Venezuela); y asesor de cultivos para las empresas Sygenta, Bigott y Martins. Actualmente desarrolla fórmulas comerciales para la fertilización foliar y la corrección del pH.

## **Orlando A. Rodríguez Rodríguez (Venezuela)**

Co-editor de esta publicación, Ingeniero agrónomo de la Universidad Central de Venezuela y *Master Science* de la University of Georgia, E.U.A. Especialista en mineralogía, fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas; con múltiples investigaciones y publicaciones sobre las Normas DRIS. Profesor de pregrado y posgrado de Agronomía en la UCLA; asesor de tesis y productor agrícola (acuicultor).

## **Manuel A. Henríquez Rodríguez (Venezuela)**

Ingeniero Agrónomo y *Magister Scientiarum* de la UCV; y Doctor en Tecnología Agroambiental en UPM y ETSIA en España. Docente, investigador y coordinador de cátedras en la UCLA a nivel de pregrado, posgrado y doctorado. A partir del 2009 realizó labores gerenciales en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y en 2016 fue rector de la Universidad Campesina "Algimiro Gabaldón". Publicó numerosos artículos para revista arbitradas y adquirió la patente para *Procedimientos para la obtención de un mucílago a partir de plantas cactáceas*. Falleció el 12 de junio de 2017.

## **Aymara A. Sánchez Galíndez (Venezuela)**

Ingeniero Agrónomo, *Master* en Ciencia y Doctora en Ciencias Agrícolas. Especialista en fertilidad de suelo y nutrición mineral de plantas. Desde 1999, profesora en la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Decanato de Agronomía, Departamento de Química y Suelos. Ha presentado trabajos en congresos y escrito artículos para revistas científicas, nacionales e internacionales.

## **Eurípedes Malavolta (Brasil)**

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de São Paulo, docente en el área de Química agrícola, orgánica y biológica. Investigador en el Centro de Energía Nuclear en la Agricultura, miembro de la Academia Brasileña de Ciencias, representante de su país en conferencias de las Naciones Unidas sobre ciencias y tecnología. Editor de la revista *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, autor de más de 40 libros y reconocido, nacional e internacionalmente, por su trayectoria científica. Falleció en 2008 a los 81 años de edad.

## **Miguel Giménez Montesinos (España)**

Ingeniero técnico agrícola de la Escuela Politécnica de Valencia, España. Profesor titular en la Universidad "Miguel Hernández" de Alicante, especialista en fertirrigación a partir de cálculos informatizados, colaborador en las revistas agrícolas *Vergel* y *Alquibla*, y en el programa HYDRA del Centro Superior de Investigación Científica. Asesor de trabajos de grado, participante en congresos científicos y junto con el Dr. Marco A. Oltra Cámara desarrolló un programa informático para el cálculo de fertirrigación por goteo en cítricos, frutas con hueso y con semillas.

## **Marco A. Oltra Cámara (España)**

Doctor Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Alicante, España. Docente por más de diez años, investigador y autor de artículos y libros relacionados con la fisiología vegetal y fertilización de cultivos. Actualmente CEO de Orcelis Grupo, plataforma que permite calcular la fertirrigación de cualquier cultivo arbóreo de España de forma gratuita y *online*.

# LA NUTRICIÓN MINERAL DE PLANTAS

---

Análisis foliar, mediante el DRIS

VIANEL J. RODRÍGUEZ PÉREZ  
(Editor-Coordenador)

ORLANDO A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
(Co-editor)

MANUEL A. HENRÍQUEZ RODRÍGUEZ (†)  
AYMARA A. SÁNCHEZ GALÍNDEZ  
EURÍPEDES MALAVOLTA (†)  
MIGUEL GIMÉNEZ MONTESINOS  
MARCO A. OLTRA CÁMARA

FONDO EDITORIAL  
**opsu**

Caracas, 2018

# DIRECTORIO

---

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA EDUCACIÓN UNIVERSITARIA,  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES  
OFICINA DE PLANIFICACIÓN DEL SECTOR UNIVERSITARIO

MINISTRO  
Hugbel Rafael Roa Carucí

VICEMINISTRO PARA LA EDUCACIÓN  
Y GESTIÓN UNIVERSITARIA  
Andrés Eloy Ruiz

ADJUNTO A LA DIRECCIÓN DE OPSU  
Francar Martínez

UNIDAD ADMINISTRATIVA  
José Lorenzo Rodríguez

UNIDAD DE APOYO  
Miguel A. Alfonzo D.

UNIDAD DE INFORMACIÓN  
Y RELACIONES PÚBLICAS  
Edgar Padrón

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA  
SERVICIO DE INFORMACIÓN  
Jorge Rodríguez

PROGRAMA ADMINISTRATIVO FINANCIERO  
Evelin Morales

PROGRAMA DESARROLLO ESPACIAL Y FÍSICO  
Paul Brito

PROGRAMA DE EVALUACIÓN INSTITUCIONAL  
Carolina Villegas

CONSULTORÍA JURÍDICA  
Eleusis Borrego

UNIDAD DE APOYO  
Miguel A. Alfonzo D.  
Jefe de la Unidad de Apoyo

FONDO EDITORIAL  
Carlos A. Torres Bastidas  
Wilmer E. Torres Carrillo  
Lázaro Silva González  
Migdalia Vásquez Nuñez

### ***In Memoriam***

El Dr. Eurípides Malavolta, desarrolló su carrera en la USP, Universidad de San Pablo y en el CENA, Centro de Energía Nuclear en Agricultura Piracicaba. Su obra perdura en 823 trabajos científicos, revistas, 40 tesis de maestría y 64 disertaciones doctorales.

Fuente de sabiduría agronómica y tutor de doctorado del primer autor de esta obra, impartió junto con el segundo de los autores, el curso sobre Nutrición de frutales en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado en 1998.

Sus publicaciones y méritos son muy extensos, como para mencionarlos en estas líneas. En memoria a su trayectoria, fue abierto una el sitio web ([www.malavolta.com.br](http://www.malavolta.com.br)), accesible a todo público, donde se recoge, prácticamente toda su obra.

Fallece el 19 de enero de 2008 en Piracicaba, Brasil.  
No si antes aceptar honrarnos con su participación,  
con el primer capítulo incluido en este libro.  
Paz a sus restos.

### ***Dedicatoria***

A nuestros colegas y alumnos, que continuamente han estimulado y apoyado el estudio del metabolismo mineral de las plantas.

### ***Agradecimientos***

Al Dr. Malcolm E. Sumner, por incentivarnos a utilizar el DRIS.

Al Dr. Sebastião Alberto de Oliveira, Universidad de Brasilia por los interesantes aportes a este documento.

A la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Brasil), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Brasil) y la Escuela Politécnica Superior Miguel Hernández (España), por su formación académica y de investigación.

A CDCHT-UCLA, DFPA-UCLA, FONACIT-BID, Fundación Venezolana de Promoción al Investigador e Ingeniería Orcelis (España), por los aportes monetarios que hicieron posible generar la información que se presenta en este libro.

Permitida la reproducción total o parcial de este documento por cualquier medio, siempre y cuando se cite la fuente.

Esta publicación debe citarse como:  
Rodríguez P., Vianel y Rodríguez R., Orlando (2018).  
*La nutrición mineral de plantas: Análisis foliar, mediante el DRIS*. Caracas. Fondo Editorial OPSU.

*La nutrición mineral de plantas:  
Análisis foliar, mediante el DRIS*

© Copyright  
1ª edición, 2018  
© Fondo Editorial OPSU

Rongny Sotillo  
**Coordinación editorial**

Mariangélica Delgado  
**Edición**

Rosario Soto  
**Corrección**

Javier Véiz  
**Diseño y diagramación**

Hecho el depósito de ley  
Depósito legal DC2019000160  
Todos los derechos reservados  
ISBN 978-980-6604-84-1

Fondo Editorial OPSU  
Teléfono (58) 0212.5060501  
<http://www.opsu.gob.ve>  
[opsu.cnu@gmail.com](mailto:opsu.cnu@gmail.com)  
Caracas, Venezuela

# INDICE

---

PREFACIO	13
CAPÍTULO 1. LOS ELEMENTOS MINERALES	15
Introducción	15
Elementos minerales: esenciales y no esenciales	16
Elementos esenciales	16
Elementos benéficos	16
Elementos tóxicos	17
Criterios de esencialidad de Arnon & Stout	17
Criterio de esencialidad directo	17
Criterio de esencialidad indirecto	17
Elementos esenciales	18
Exigencias minerales de los cultivos	20
Exigencias totales	20
Exigencias en el ciclo y por cosecha	22
Exigencia por la producción unitaria	24
Exigencias durante el año agrícola	26
Exigencias durante la formación del fruto	26
Exigencias complementadas por las reservas	26
Exigencias complementadas por el reciclaje	28
Literatura citada	30
CAPÍTULO 2. EL ANÁLISIS FOLIAR Y SU INTERPRETACIÓN	33
Introducción	33
Fundamentos del diagnóstico foliar	34
Aplicaciones del diagnóstico foliar	34
Muestreo	35
La técnica de muestreo	35
Muestra preliminar completamente al azar	37
Muestra estratificada aleatoria	40
Colecta de la muestra	43
Análisis químico	44
Limpieza y descontaminación	44
Estabilización (secado)	45
Molienda	45
Secado	45
Destrucción de la materia orgánica	45
La interpretación	46

Interpretación acorde a los valores de referencia	46
Interpretación mediante pocos valores de referencia	47
Interpretación mediante numerosos valores de referencia	50
Interpretación indirecta mediante transformación a valores sin unidades	50
Recomendación	52
Monitoreo o auditoría nutricional	53
Conclusiones	53
Literatura citada	54
CAPÍTULO 3. EL DESARROLLO, DETERMINACIÓN E INTERPRETACIÓN DE NORMAS DRIS PARA EL DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL EN PLANTAS	59
Introducción	59
Limitaciones de la experimentación clásica	60
Falta de definición precisa del efecto de la variable	60
Reproducibilidad restringida	60
Efectos de factores limitantes no controlados	60
Efectos de factores limitantes accidentales	60
Onerosidad y requerimientos de repetitividad	60
Premisas sobre las cuales se fundamenta el DRIS	61
Generalización de la toma observaciones	61
Generalización de estudio de todas las observaciones	61
Generalización de estudio de las interacciones entre las observaciones	61
Esquema experimental propuesto por Beaufile (1973)	61
Curva de Umbrales de Respuesta	62
Vías de desarrollo de las normas de diagnóstico en el sistema DRIS	64
Normas DRIS desarrolladas a partir de las plantas de mediano rendimiento	64
Normas DRIS desarrolladas a partir de las plantas de máximo rendimiento	65
Desarrollo de los rangos del equilibrio nutricional a partir de las normas DRIS	66
Formas de expresión de los valores de referencia o normas DRIS	67
Normas DRIS como cocientes entre pares de nutrientes	67
Normas DRIS como cocientes o productos entre pares de nutrientes, en concordancia a la fisiología de los nutrientes en la planta	68
Normas DRIS como cocientes o productos entre pares de nutrientes, en concordancia a la fisiología de los nutrientes en la planta y a las interacciones entre elementos en el suelo	69
Selección de las normas DRIS para tejidos y suelos	70
Selección de Normas DRIS, a partir de los grupos de plantas de referencia	71
Normas DRIS seleccionadas a partir de la potencialidad en detectar anomalías nutricionales	74
Efectos de diferentes variables sobre las normas DRIS	75
Efecto de la posición de la hoja muestreada sobre las normas DRIS	75
Efecto de la edad sobre las normas DRIS	75
Efecto de la ubicación geográfica sobre las normas DRIS	75
El diagnóstico en el sistema DRIS	76
Fórmulas de comparación o funciones DRIS en el diagnóstico	77
Índices de los nutrientes DRIS (I-DRIS) en el diagnóstico	77
Índices del equilibrio nutricional total (IEN-DRIS)	79
Algunas ventajas del sistema DRIS	79
Otras aplicaciones del DRIS en el diagnóstico nutricional	81
Literatura citada	82

CAPÍTULO 4. SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIÓN (DRIS)	
BASES PRÁCTICAS, FÓRMULAS, CÁLCULOS Y APLICACIONES	89
Introducción	89
Muestreo	90
Elaboración del banco de datos	91
Bancos grandes	91
Bancos pequeños	91
Formas de expresión de las normas de referencia	93
Formas de expresión de las normas de referencia para hojas	93
Formas de expresión de las normas de referencia para suelos	95
Selección de las normas DRIS	97
Normas DRIS seleccionadas a partir de la discriminación de la varianza	97
Normas DRIS seleccionadas a partir de plantas de referencia, mediante la varianza	97
Normas DRIS seleccionadas a partir de la potencialidad en detectar anomalías nutricionales, mediante correlación y regresión	102
Muestreo y selección de normas DRIS para suelos	103
Muestreo de suelos.	103
Selección de las formas de expresión de las normas DRIS para suelos	106
Cálculo de Índice de los Nutrientes DRIS (I-DRIS) e Índice de Equilibrio Nutricional DRIS (IEN-DRIS)	107
Índices DRIS (I-DRIS) e Índices de Equilibrio Nutricional (IEN-DRIS) de Beaufils	107
Índice de Nutrientes DRIS modificado (IM-DRIS) e Índice de Equilibrio Nutricional DRIS modificado (IEN-MDRIS) según Walworth	110
Índices de Nutrientes e Índice de Equilibrio de Nutrientes según Jones (1981)	116
Índices de Nutrientes e Índice de Equilibrio de Nutrientes según Elwali y Gascho (1984)	116
Explicación del diagnóstico DRIS	119
Diagnóstico DRIS de Beaufils (1973)	119
Diagnóstico DRIS de Elwali y Gascho (1984)	120
Diagnóstico DRIS de Hallmark et al. (1990)	121
El diagnóstico DRIS de Beverly (1991)	121
Diagnóstico DRIS de Rodríguez y Rodríguez (1998)	123
Validación de las Normas DRIS.	125
Comprobación y recomendación en el sistema DRIS	126
Conclusiones y recomendaciones	129
Literatura citada	130
ANEXOS	137
Anexo 1. Guía para la toma de muestras de tejidos con fines de diagnóstico foliar para los principales cultivos. (Adaptado de Malavolta, 1997)	139
Anexo 2. Conceptos básicos de levantamiento de suelos (Manuel A. Henríquez Rodríguez)	141

## Índice de cuadros

Cuadro 1.1. Elementos encontrados en las plantas, según varias fuentes	15
Cuadro 1.2. Elementos minerales encontrados en el cultivo de la soya <sup>(1)</sup> .	16
Cuadro 1.3. Concentración promedio adecuada de elementos esenciales, minerales y orgánicos en plantas superiores.	18
Cuadro 1.4. El estado de los elementos minerales en la nutrición de plantas.	19
Cuadro 1.5. Exigencias totales de macronutrientes en los principales cultivos brasileños.	22
Cuadro 1.6. Exigencias totales de micronutrientes en los principales cultivos brasileños.	23
Cuadro 1.7. Concentración de los elementos esenciales en un saco (60 kg) de café beneficiado.	24
Cuadro 1.8. Concentración de elementos esenciales en un saco (60 kg) de café beneficiado y en la pulpa generada durante su beneficio (media de las variedades Borbón amarillo, Caturra amarillo y Mundo Nuevo).	25
Cuadro 1.9. Redistribución del % N y K hacia los frutos, flores, ramas y raíces en plantas de café normales y deficitarias.	28
Cuadro 1.10. Medias de macronutrientes presentes en las hojas, ramas y troncos a diferentes alturas de poda en una plantación de café (Catuaí y Mundo Nuevo) con 1904 plantas/ha.	29
Cuadro 1.11. Medias de micronutrientes presentes en las hojas, ramas y troncos a diferentes alturas de poda en una plantación de café (Catuaí y Mundo Nuevo) con 1904 plantas/ha.	29
Cuadro 1.12. Macro y micronutrientes en ramas productivas del café (Catuaí y Mundo Nuevo).	30
Cuadro 2.1. Muestra aleatoria (ma), medias (x), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) de los nutrientes estudiados.	38
Cuadro 2.2. Tamaño de la muestra aleatoria corregida (mac), con t tabulado igual a 1,96° de libertad al 5 % y diferentes niveles de precisión (d) a 5, 10 y 20 % de la media (x).	39
Cuadro 2.3. Muestra aleatoria estratificada (mae), medias (x), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) para los nutrientes estudiados.	41
Cuadro 2.4. Tamaño de la muestra aleatoria estratificada corregida (maec), con t igual 2,0 (con grados de libertad al 5 %) y diferentes niveles de precisión (d) a 5, 10 y 20 % de la media (x).	42
Cuadro 2.5. Métodos de digestión de material vegetal.	46
Cuadro 2.6. Niveles críticos, rangos adecuados o críticos, para el N.	49
Cuadro 2.7. Rangos de suficiencia para el cultivo del banano ( <i>Musa</i> AAA) y los niveles críticos de la subpoblación del plátano Hartón con rendimientos de menos y más de 15 kg/racimo, a partir de las formas de expresión de suelos y hojas reportadas para el banano.	50
Cuadro 2.8. Índices DRIS y datos de composición foliar en tejidos de plantas de maíz en tres niveles de fertilización con fósforo P.	51
Cuadro 4.1. Formas de expresión de las normas DRIS como cocientes, según la propuesta de Beaufils (1973).	93
Cuadro 4.2. Formas de expresión de las normas DRIS como productos, según la propuesta de Beaufils (1973).	94
Cuadro 4.3. Formas de expresión de las normas como cocientes, entre nutrientes que aumentan o disminuyen su concentración con la edad, propuesta por Sumner (1977).	95
Cuadro 4.4. Formas de expresión de las normas como productos, atendiendo el criterio de aumento o disminución de la concentración de los nutrientes con la edad, propuesta por Sumner (1977).	95
Cuadro 4.5. Formas de expresión como cocientes, según propuesta de Beaufils (1973).	96

## Índice de cuadros

Cuadro 4.6. Formas de expresión de las normas DRIS como productos según propuesta de Beaufils (1973). —————	96
Cuadro 4.7. Media, varianza y coeficiente de variación de las normas DRIS en la subpoblación de bajo y alto rendimiento de la avena. —————	98
Cuadro 4.8. Cocientes y productos entre nutrientes de las Normas DRIS del plátano Hartón ( <i>Musa</i> AAB subgrupo plátano cv. Hartón) seleccionadas a través de la mayor relación de varianza (celdas no tachadas). —————	99
Cuadro 4.9. Posibles normas DRIS para el plátano Hartón ( <i>Musa</i> AAB subgrupo plátano cv. Hartón) (celdas no tachadas), si se hubiesen seleccionado a partir del valor de F tabulado. —————	101
Cuadro 4.10. Normas DRIS para los cocientes entre N, P y B de un cultivo cualquiera. ———	107
Cuadro 4.11. Transformación de la muestra problema. —————	107
Cuadro 4.12. Fórmulas de los índices DRIS, elaboradas a partir de los cocientes y productos de las normas DRIS para el plátano Hartón ( <i>Musa</i> AAB subgrupo plátano cv. Hartón) de Rodríguez y Rodríguez (1997). —————	109
Cuadro 4.13. Fórmulas de los índices DRIS, calculadas a partir de los cocientes y productos propuestos en el Cuadro 4.10. como normas DRIS para el plátano Hartón ( <i>Musa</i> AAB subgrupo plátano cv. Hartón). —————	110
Cuadro 4.14. Normas M-DRIS para N, P y B de un cultivo cualquiera. —————	111
Cuadro 4.15. Cocientes con la materia seca (MS), cocientes y productos entre nutrientes de las normas DRIS para el plátano Hartón (celdas no tachadas) seleccionadas a través de la mayor relación de varianzas. —————	113
Cuadro 4.16. Posibles normas MDRIS para el plátano Hartón (celdas no tachadas), si se hubiesen seleccionado a partir del valor de F tabulado. —————	114
Cuadro 4.17. Fórmulas de los IM-DRIS, elaboradas a partir de las normas DRIS para el plátano Hartón de Rodríguez y Rodríguez (1997). —————	115
Cuadro 4.18. Fórmulas de los índices MDRIS, calculadas a partir de las formas de expresión propuestas en el Cuadro 4.17. como normas DRIS para el plátano Hartón ( <i>Musa</i> AAB subgrupo plátano cv. Hartón). —————	115
Cuadro 4.19. Normas DRIS, desviación estándar (s), rango de equilibrio nutricional DRIS (REN-MDRIS), muestra problema y funciones igualadas a cero según propuesta de Elwali y Gascho (1984), para N, P y B en un cultivo cualquiera. —————	117
Cuadro 4.20. Normas M-DRIS para N, P y B y muestra problema con sus nutrientes sobre materia seca exactamente iguales y sus correspondientes transformaciones, de un cultivo cualquiera. —————	118
Cuadro 4.21. Normas DRIS, desviación estándar (s), rango de equilibrio nutricional (REN-MDRIS) e interpretación de Beverly (1991) para N, P y B en un cultivo cualquiera. ———	122
Cuadro 4.22. Índices MDRIS (IM-DRIS) e interpretación según Beverly (1991), en patrones de limón Volkameriano (Adaptado de Creste, 1996). —————	122
Cuadro 4.23. Normas DRIS, rango de equilibrio nutricional (REN-MDRIS) para el plátano Hartón y media de la concentración de nutrientes de 20 muestras con rendimientos medios de 13 kg/racimo. —————	124
Cuadro 4.24. Índices M-DRIS e interpretación de Rodríguez y Rodríguez —————	125
Cuadro 4.25. Total de diferencias significativas ( $\Sigma^*$ ) o no ( $\Sigma ns$ ), entre las concentraciones de los nutrientes foliares, evaluados por discriminación de varianzas a distintos niveles del rendimiento en el limón siciliano ( <i>Citrus aurantifolia</i> ). —————	126
Cuadro 4.26. Diagnósticos progresivos de N, P y K en el cultivo del maíz. (Adaptado de Walworth y Sumner, 1987). —————	127
Cuadro 4.27. Resultados de análisis foliares de ramas fruteras de Limón Siciliano, en muestreo realizado en 1995, parcela SF-9, Fazenda Morrinhos, IAC. —————	128
Cuadro 4.28. I-DRIS e IBN obtenidos de experimentos de fertilización para el limón siciliano y rendimiento (R.) ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) para el año de 1995 —————	128

## Indice de Graficos

Gráfico 1.1. Secuencia de acumulación total, en la cosecha y en el ciclo del Nitrógeno (N). —	21
Gráfico 1.2. Porcentaje de absorción de N, P y K durante el año agrícola. —	26
Gráfico 1.3. Acumulación de materia seca, N, P y K en frutos de Catuaí Amarillo. —	27
Gráfico 2.1. Sin título. —	36
Gráfico 2.2. Sin título. —	36
Gráfico 2.3. Representación de la relación entre la concentración foliar y la producción (o materia seca) de Prevot y Ollagnier (1957). —	48
Gráfico 2.4. Representación de la relación entre la concentración foliar y la producción relativa de Malavolta <i>et al.</i> (1997). —	48
Gráfico 3.1. Curva de umbrales de respuesta de Webb, 1972. —	63
Gráfico 3.2. Sin título. —	64
Gráfico 3.3. Representación esquemática del equilibrio nutricional (A/B), en respuesta de los cultivos (líneas gruesas serpenteantes), desde n numerosos factores limitantes, a cada vez, menos factores limitantes, de n – 1 a n – 5 (Adaptado de Walworth y Sumner, 1987). —	65
Gráfico 3.4. Significado fisiológico de los niveles críticos del K y del N. —	70
Gráfico 3.5. Representación de la prueba de discriminación entre la varianza de la subpoblación de relativo menor rendimiento (S1 A/B) y la de relativo más alto rendimiento (S2 A/B), la cual por ser mayor a 1, también muestra la selección de la media del cociente A/B (XA/B) como valor de referencia del óptimo equilibrio nutricional (área sombreada) en el grupo de plantas de máximo rendimiento. —	71
Gráfico 3.6. Representación gráfica de la muestra insuficientemente grande (línea continua) y su efecto sobre la prueba de discriminación de varianzas entre la subpoblación de bajo rendimiento (S1 A/B) y la de relativo más alto rendimiento (S2 A/B). Las líneas discontinuas representan la estratificación de la muestra insuficientemente grande. —	72
Gráfico 4.1. Aspectos de las modificaciones en la composición mineral del látex (Mg y Mg/P) en relación a la composición mineral de las hojas y la contribución de la aplicación de cal [Ca(OH) <sub>2</sub> ] al suelo (Adaptado de Beaufils, 1957). —	89
Gráfico 4.2. Plano de regresión lineal múltiple para las variables: rendimiento (kg/racimo) del plátano Hartón ( <i>Musa</i> AAB subgrupo plátano cv. Hartón) (Y), índice de equilibrio de nutrientes (IBN-DRIS) (X <sub>1</sub> ) y número de hojas de la planta madre (X <sub>2</sub> ). —	103
Gráfico 4.3. Diagrama de flujo para estimar la textura del suelo al tacto. —	105

## PREFACIO

---

Tengo la grata satisfacción de presentar el libro *La nutrición mineral de plantas: análisis foliar, mediante el DRIS*, escrito por los colegas de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, el Ing. Miguel Giménez Montesinos (Escuela Politécnica Superior Miguel Hernández), el M. Sc. Marco Oltra Cámara (Universidad de Alicante) y con la participación del Prof. Dr. Eurípedes Malavolta (CENA/USP).

El libro está dividido en cuatro capítulos, didácticamente organizados, permitiendo al lector obtener una idea precisa de como hacer el uso correcto del sistema DRIS.

La palabra “DRIS” derivada del acrónimo en inglés de la metodología “Diagnosis and Recommendation Integrated System”, se mantendrá como tal en esta obra, por la amplia difusión que ha recibido y por ser una de las palabras clave usada en sus fórmulas, índices de interpretación y recomendación, al igual que las variantes metodológicas introducidas al sistema desde sus orígenes.

Actualmente el DRIS, es sin duda la mejor herramienta para un diagnóstico confiable de los resultados del análisis foliar y de suelos, desde que fue obtenido el banco de datos utilizado como referencia, de acuerdo con las recomendaciones presentadas en el capítulo 3.

La gran ventaja del DRIS, es la de permitir trabajar con datos adquiridos de cultivos comerciales, ahorrando tiempo y dinero, y el hecho de que las interpretaciones son realizadas considerando todas las relaciones entre los nutrientes.

Por lo tanto, recomiendo al lector que haga también una matriz de correlación entre los índices DRIS, a través de la cual podrá ver con mayor claridad el antagonismo y el sinergismo entre los nutrientes. Dicha matriz podrá ser de gran utilidad para las futuras fertilizaciones.

Finalmente, pido permiso al equipo de colaboradores, para felicitar al Dr. Vianel por la brillante idea de coordinar la publicación de este libro sobre DRIS.

Prof. Dr. Sebastião Alberto de Oliveira  
Facultad de Agronomía y Medicina Veterinaria  
Universidad de Brasilia, Brasil.



## LOS ELEMENTOS MINERALES

---

Eurípedes Malavolta  
UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO  
CENA

“No hay semilla milagrosa sin fertilizante”  
(P. R Stout, cerca de 1959)

### *Introducción*

Aristóteles, el mayor filósofo y biólogo antes de la era de Cristo, ya enseñaba que “las plantas no tienen alma para pensar”. Dicha aseveración se traduce de la siguiente manera: Las plantas absorben del medio en que viven los elementos que necesitan, los que no, y hasta aquellos que pueden envenenarlas. En el Cuadro 1.1, extraído de Malavolta (1994), se muestra la lista de los elementos encontrados en los análisis de numerosas especies vegetales, observándose que contienen una gran variedad de los elementos de la tabla periódica. Los datos de Palladin y de Kock, se refieren a los análisis de las cenizas, los de Vinogradov, fueron obtenidos analizando directamente la materia seca y por esta razón aparecen carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), los denominados constituyentes orgánicos. Todos los demás, en los tres casos presentados, son los denominados elementos minerales.

**Cuadro 1.1. Elementos encontrados en las plantas, según varias fuentes**

PALLADIN	VINOGRADOV	DE KOCK
Ag-Al-As-Au-B-Ba-Be-Br-Ca- Cl-Co-Cr-Cs-Cu-Fe-Hg-I-K- La-Li-Mg-Mo-Na-Ni-P-Pb-Ra- Rb-S-Se-Sr-Sc-Sn-Th-Ti-V-Zn	H-O-C As-Al-B-Ba-Ca-Cd-Cl-Co-Cr- Cs-Cu-F-Fe-Hg-I-K-Li-Mg- Mn-Mo-Na-Ni-P-Pb-Ra-Rb-S- Se-Si-Sr-Ti-V-Zn-Zr	Ag-B-Ba-K-Ca-Co-Cs-Cu-Fe- Mg-Li-Mn-Mo-Na-Ni-P-Pb-Rb- Sr-Ti-V-Zn

Fuente: Malavolta, 1994.

## ELEMENTOS MINERALES: ESENCIALES Y NO ESENCIALES

La afirmación de Aristóteles lleva a la siguiente pregunta: ¿Cómo saber que un elemento mineral es esencial para la vida vegetal? El análisis de las plantas no responde directamente esta interrogante, por tal motivo, para encontrar la respuesta, hay que considerar que cualquier elemento mineral que pasa desde el medio de enraizamiento hasta la parte aérea de la planta, puede ser definido o diferenciado según Arnon y Wessel (1953) desde el punto de vista de su esencialidad, de la siguiente manera:

### *Elementos esenciales*

Se denominan así a los elementos minerales sin los cuales, la planta no puede vivir. El Cuadro 1.2. muestra los resultados analíticos de la composición de la planta de soya, permitiendo clasificar los elementos esenciales, en las categorías siguientes:

Constituyentes orgánicos: C, H, O

Constituyentes inorgánicos: N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Co

**Cuadro 1.2. Elementos minerales encontrados en el cultivo de la soya<sup>(1)</sup>.**

Elemento	kg.ha <sup>-1</sup>	Elemento	kg.ha <sup>-1</sup>
C	3920	Cl	11
H	500	Fe	1,9
O	3700	Mn	0,7
N	360	Zn	0,2
P	34	Cu	0,1
K	125	B	0,1
Ca	90	Mo	0,01
Mg	40	Co	0,006
S	28		

Fuente: Arnon y Wessel, 1953. Incluye 4.000 kg.ha<sup>-1</sup> de granos y 8.800kg.ha<sup>-1</sup> de materia seca total de la parte aérea y raíces de la planta.

La lista permanece abierta. “Si hubiese algún otro elemento esencial será obligatoriamente un micronutriente” (Arnon y Wessel, 1953).

### *Elementos benéficos*

Son aquellos elementos minerales, sin los cuales, la planta puede vivir, no obstante, su presencia puede coadyuvar el crecimiento y aumentar la producción. El Na es un elemento mineral con cualidades benéficas por ser muy parecido al K (tanto en valencia, radio iónico y grado de hidratación), lo cual le permite sustituirlo ocasionalmente en funciones no específicas como el equilibrio osmótico. Por ejemplo, en un suelo pobre en K y dependiendo del cultivo, el Na contenido en el Salitre de Chile como NaNO<sub>3</sub>, será capaz de sustituirlo parcialmente. El ión silicato, por su

semejanza al ión fosfato, puede desplazarlo de la matriz mineral y pasarlo a la fase lábil del suelo, promoviendo su disposición para las plantas; esta situación permite calificar al Si como elemento mineral benéfico. Además, el ión silicato ayuda a reducir la toxicidad del Mn en suelos ácidos.

### *Elementos tóxicos*

Son elementos minerales que por definición disminuyen el crecimiento y la producción de la planta, por lo cual, el elemento tóxico no debe pertenecer a ninguna de las categorías anteriores. Puede ser natural, como el Al de los suelos ácidos, o antropogénico, cuando el hombre lo incrementa a través de actividades agrícolas o generalmente, por el uso de residuos industriales.

Entre los elementos tóxicos se pueden citar al As, Cd, Cr, Pb, Hg, Sb, Th y el U. Sin embargo, si citamos al alquimista Paracelso, el cual enseñaba que “la dosis hace el veneno”, la lista no se limitaría a esos elementos, porque los elementos minerales citados como esenciales o benéficos pueden tornarse también tóxicos, particularmente cuando están presentes en concentraciones muy altas en el medio.

## **CRITERIOS DE ESENCIALIDAD DE ARNON & STOUT**

Arnon & Stout (1939) establecieron dos criterios que deben ser satisfechos, conjuntamente o no, para distinguir los elementos minerales esenciales, de los benéficos y los tóxicos; sus argumentos son descritos a continuación:

### *Criterio de esencialidad directo*

El elemento mineral esencial debe formar parte de un compuesto o de una reacción crucial (enzimática o no) para el metabolismo, y en consecuencia, para la vida de la planta. Ejemplos: N, forma parte de todas las proteínas, la llamada “base física de la vida”. El Fe integra los citocromos, base de la cadena respiratoria.

### *Criterio de esencialidad indirecto*

El elemento mineral esencial debe cumplir con los siguientes puntos:

- En la ausencia del elemento mineral, la planta muere antes de completar su ciclo.
- El elemento mineral no puede ser sustituido por ningún otro.
- El efecto del elemento mineral no debe estar relacionado con el mejoramiento de condiciones físicas, químicas o biológicas (enfermedades) desfavorables del medio.

Para verificar la obediencia al criterio indirecto, las plantas deben cultivarse: 1) En solución nutritiva, en presencia y en ausencia del elemento mineral en estudio; 2) En tentativa de sustituirlo por otros semejantes; 3) Suministrándolo a través de las hojas, en lugar de hacerlo por las raíces.

## ELEMENTOS ESENCIALES

Según Epstein (1975), la concentración promedio adecuada de los elementos esenciales para las plantas superiores, en términos de concentración y número relativo de átomos, es presentada en el Cuadro 1.3., donde se puede observar la separación de los elementos esenciales en dos grandes grupos: a) Aquellos presentes en las plantas en el orden de microgramos por gramo de materia seca ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) y b) Los presentes en el orden de gramos por cada 100 gramos de materia seca (%).

Hewitt & Smith (1975), presentaron el Cuadro 1.4, el cual abarca el reino vegetal como un todo, observándose como de ese listado, en la actualidad el Ni y el Se pasaron al rol de elementos esenciales, mientras que el carácter benéfico dado al elemento Al parece difícil de justificar.

La lista de los elementos esenciales no esta cerrada, al respecto Welch (1995), afirmó lo siguiente: "Posiblemente se descubrirán otros elementos esenciales debido a los avances recientes en las técnicas de cultivo en solución nutritiva y la disponibilidad a nivel comercial de instrumentos analíticos altamente sensibles para la determinación de elementos" (tanto en el medio, como en la planta).

**Cuadro 1.3. Concentración promedio adecuada de elementos esenciales, minerales y orgánicos en plantas superiores.**

Elemento	Símbolo	Peso atómico	Concentración en la materia seca		
			$\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ó %	Nº relativo de átomos con respecto al molibdeno
$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$					
Molibdeno	Mo	95,95	0,001	0,1	1
Cobre	Cu	63,54	0,10	6	100
Zinc	Zn	65,38	0,30	20	300
Manganeso	Mn	54,94	1,0	50	1.000
Hierro	Fe	55,85	2,0	100	2.000
Boro	B	10,82	2,0	20	2.000
Cloro	Cl	35,46	3,0	100	3.000
%					
Azufre	S	32,07	30	0,1	30 000
Fósforo	P	30,98	60	0,2	60 000
Magnesio	Mg	24,32	80	0,2	80 000
Calcio	Ca	40,08	125	0,5	125 000
Potasio	K	39,10	250	1,0	250 000
Nitrógeno	N	14,01	1 000	1,5	1 000 000
Oxígeno	O	16,00	30 000	45	30 000 000
Carbono	C	12,01	40 000	45	40 000 000
Hidrógeno	H	1,01	60 000	6	60 000 000

Fuente: Epstein (1965), citado por Epstein (1975).

**Cuadro 1.4. El estado de los elementos minerales en la nutrición de plantas.**

Elementos minerales			
Esenciales		Benéficos	
(g.kg <sup>-1</sup> )	(µg.g <sup>-1</sup> )	(µg.g <sup>-1</sup> )	Esencialidad no demostrada (µg.g <sup>-1</sup> )
<b>Metálicos</b>			
Potasio	Hierro	Aluminio	Cromo
Calcio <sup>(1)</sup>	Cobre	Estroncio	Estaño
Magnesio	Manganeso	Rubidio	Níquel
	Zinc		
	Molibdeno <sup>(3)</sup>		
	Cobalto <sup>(3)</sup>		
	Vanadio <sup>(4)</sup>		
	Sodio <sup>(5)</sup>		
	Galio <sup>(6)</sup>		
<b>No metálicos</b>			
Carbono	Boro <sup>(2)</sup>	Selenio <sup>(9)</sup>	Flúor
Hidrógeno	Silicio <sup>(7)</sup>		Bromo
Oxígeno	Cloro		
Fósforo	Iodo <sup>(8)</sup>		
Nitrógeno			
Azufre			

Fuente: Hewitt & Smith (1975)

(1) No exigido por *Azotobacter agilis*; (2) No exigido por *Aspergillus*; (3) Esencial para plantas con nitrato como fuente de N. Esencial para fijación de N por algas y bacterias; (4) Esencial para *Scenedesmus obliquus*; (5) Esencial para *Atriplex vesicaria*, *Halogeton glomeratus* y algunas algas verde azules; (6) Esencialidad propuesta para *Aspergillus*; (7) Esencial para el alga *Navícula*, pteridofita *Equisetum arvense* y para algunas gramíneas; (8) Esencial para el alga marina *Polysiphoma urceolata*; (9) Esencial para *Escherichia coli* en medio nítrico

En la actualidad, considerando apenas las plantas superiores, la lista de los elementos minerales esenciales que satisfacen los criterios directos e indirectos, o solamente los segundos, es la siguiente:

- Elementos minerales esenciales, expresados en g.kg<sup>-1</sup> de materia seca N, P, K, Ca, Mg, S.
- Elementos minerales esenciales, expresados en mg.kg<sup>-1</sup> o en µg.g<sup>-1</sup> materia seca: B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn.

Los primeros por su gran concentración en el tejido vegetal (g.kg<sup>-1</sup>) son también conocidos como nutrientes mayores o macronutrientes y a los segundos por su menor concentración, se les denomina como nutrientes menores o micronutrientes. Indudablemente, esto es determinante en las exigencias nutricionales de las plantas superiores y por supuesto las cultivadas por el hombre. Las exigencias van a ser equivalentes al nivel de concentración de cada nutriente, sin embargo, también hay que destacar

que sus proporciones entre sí, dependen del cultivo, suelo, fenología, entre otras variables.

Pues bien, ahora la pregunta a contestar es la siguiente ¿Cómo determinar esa diversidad de exigencias minerales de los cultivos, las cuales deberían ser satisfechas con la aplicación de fertilizantes?

## **EXIGENCIAS MINERALES DE LOS CULTIVOS**

El conocimiento de las exigencias minerales, es fundamental para establecer los valores o normas de referencia requeridos para interpretar las concentraciones y las proporciones adecuadas de los elementos esenciales en cada cultivo.

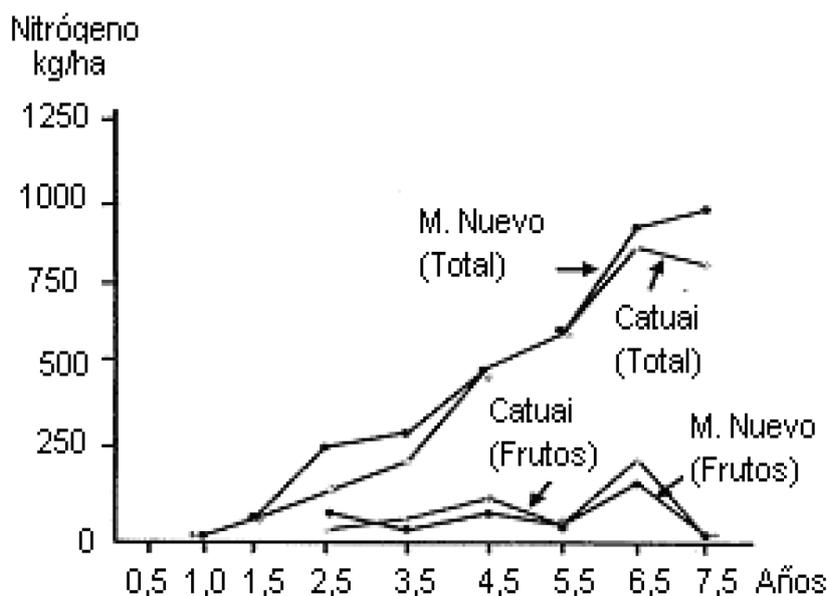
Hay varios aspectos a considerar, por un lado, la acumulación o exigencia propiamente dicha, y por otro, la redistribución y reciclaje como complemento de las exigencias, las cuales en general, se aplican a todas las especies.

A manera de ejemplo, para cada una de las exigencias minerales, se presenta a continuación, un estudio de caso del cultivo del cafeto, del cual aunque se conoce mucho, aún falta por conocer. Las exigencias minerales totales se amplían con los requerimientos de los principales cultivos brasileros.

### *Exigencias totales*

La acumulación de los elementos esenciales en toda la planta, durante su ciclo de vida, depende de la especie, a veces de las variedades y de la magnitud de la cosecha, admitiéndose igualdad en la fertilidad del suelo, fertilización, encalado y manejo.

El Gráfico 1.1, contiene datos recalculados del trabajo de Correa *et al.* (1986), en el cafeto. Se determinaron los macronutrientes y los micronutrientes, B, Cu, Fe, Mn y Zn de plantas enteras (raíz, tallos, ramas, hojas y frutos) desde los 0,5 hasta los 7,5 años de edad. La densidad de plantación fue de 5000 plantas/ha. Los resultados se reportaron en kg.ha<sup>-1</sup>. La producción media de Mundo Nuevo y Catuaí, osciló entre 5 y 50 sacos de 60 kg por ha de café beneficiado.



**Gráfico 1.1. Secuencia de acumulación total, en la cosecha y en el ciclo del Nitrógeno (N).**

Estos resultados plantean las siguientes enseñanzas importantes para la caficultura:

- En el período considerado, la exigencia total del cafeto creció interrumpidamente.
- Entre 6,5 y 7,5 años, parece iniciar una tendencia asintótica. En otras palabras, cuando se relaciona la curva de acumulación con el tiempo, se denota en toda su extensión una sigmoide típica, o sea, una "S" acostada, esquematizándose con una menor absorción en el inicio y al final, mientras que en el período intermedio, se demarca una absorción más intensa.
- Después de los 7,5 años, es posible que la acumulación total tenga subidas y bajadas correspondientes a altas y bajas producciones. Tal predicción se propone porque la porción final de la curva asintótica no puede mantener esa pendiente negativa, dado el carácter perenne del cultivo del cafeto.

En los Cuadros 1.5 y 1.6, se muestran las exigencias totales de los elementos esenciales de los principales cultivos brasileros, separados en macro y micronutrientes. De un modo general, las exigencias minerales siguen el orden decreciente:

De los macronutrientes:  $N > K > Ca > P = Mg = S$

De los micronutrientes:  $Fe > Mn > B > Cu > Zn > Mo > Co$

En el Cuadro 1.6, destaca el Cl, reportado en cantidades de hasta 68 kilogramos, evidentemente muy por encima del Ca, P, Mg y S; no obstante, para este elemento esa absorción no significa exigencia. Posiblemente, las plantas recibieron KCl como alternativa fertilizante, ocurriendo mayor absorción de Cl de la realmente necesaria, esto constituye el llamado "consumo de lujo".

Adicionalmente, se puede observar la acumulación de los elementos esenciales en el producto cosechado, evidentemente menor que las totales, pero en función de los mismos factores.

### Exigencias en el ciclo y por cosecha

Ambas exigencias, hay que observarlas de manera conjunta en el Gráfico 1.1. Las exigencias en el ciclo corresponden a la acumulación de los elementos esenciales en el total de días, meses o años del ciclo, mientras que las exigencias por la cosecha coinciden con el ciclo anual. Se puede observar en este gráfico, que las exigencias por la cosecha no siguen la misma tendencia asintótica de las totales, debido a que sufren variaciones de hasta 10 veces (entre 5 a 50 sacos) en sus exigencias en el ciclo anual, observándose de esta manera años de baja y de alta producción. En consecuencia, se presenta una aparente alternancia de estas por el ciclo anual, la cual no es totalmente cierta porque en los ciclos anuales, las exigencias totales son crecientes, a excepción de sus extremos.

**Cuadro 1.5. Exigencias totales de macronutrientes en los principales cultivos brasileros.**

Cultivo	Parte planta	Materia seca	N	P	K	Ca	Mg	S
		---- Mg ----						
Algodón <sup>1</sup>	Raíces	0,5	6	0,2	3,0	1,0	0,7	0,8
	Aérea vegetativa	1,7	49	4	39	49	7	22
	Aérea reproductiva	1,3	29	4	24	7	5	10
Arroz <sup>2</sup>	Raíces	1	20	3	20	5	1	2
	Colmos	2	15	3	60	4	1	3
	Hojas	2	15	1	12	12	2	1
	Cáscara	1	8	2	6	2	1	1
	Granos	3	45	8	13	2	4	5
Maní <sup>3</sup>	Granos	1	34	2	9	0,5	1	2
Café <sup>4</sup>	Granos	0,06	1	0,06	1	0,2	0,1	0,08
	Pulpa	0,06	0,5	0,04	1	0,1	0,04	0,05
Cacao <sup>5</sup>	Almendras	1	33	2	8	1	2	1
	Pulpa	2	27	1	47	4	3	2
Caña de azúcar <sup>6</sup>	Cañas	100	90	10	65	60	35	25
	Hojas	25	60	10	95	40	17	20
Eucalipto <sup>7</sup>	Tallo	355 (m <sup>3</sup> /ha)	280	27	82	498	119	128
<i>Pinus oocarpa</i> <sup>7</sup>	Acículas	6	92	5	31	10	5	--
	Ramas	10	37	2	20	12	10	--
Frijol <sup>8</sup>	Tallo	86	140	11	81	55	15	--
	Raíces	0,1	2	0,1	2	2	0,5	1
	Tallos	0,4	8	0,6	11	8	1,0	4
	Hojas	1,2	53	5	57	40	12	11
	Vainas	1,0	47	4	22	4	5	10

## Capítulo 1. Los elementos minerales

Cultivo	Parte planta	Materia seca	N	P	K	Ca	Mg	S
			--- Mg ---	----- kg -----				
Lechuga <sup>9</sup>	Hojas	55 000 plantas	42	10	84	17	5	2
Tomate <sup>3</sup>	Frutos	50	120	18	123	7	11	14
Naranja <sup>10</sup>	Frutos	1	2	0	1,5	0,5	0,12	0,13
Yuca <sup>11</sup>	Raíz	19	39	4	37	12	6	1,5
	Tallo	16 666 plantas	52	6	36	36	10	6
Maíz <sup>3</sup>	Hojas	16 666 plantas	96	5	25	25	6	2
	Granos	5	67	12	15	1	4	5
Pastos <sup>12</sup>	Colmos, Hojas	4,5	50	9	55	13	10	7
	Gramíneas	1	17	2	21	5	3	1
Soya <sup>13</sup>	Leguminosas	1	32	3	21	13	4	2
	Tallos y Hojas	5,6	29	2	34	43	20	2
Trigo <sup>3</sup>	Granos	2,4	152	11	43	8	6	4
	Paja	3,7	20	9	27	6	3	5

(1) Malavolta *et al.* (1974, p. 181); (2) Malavolta y Fornasieri Filho (1983, p. 95-140); Furlani *et al.* (1977); (3) Garman (1967, p. 54-55); (4) Malavolta *et al.* (1963); (5) Malavolta *et al.* (1984); (6) Malavolta (1982); <sup>7</sup>Bellote *et al.* (1980a) & Carvalho *et al.* (1983); (8) Cobra Netto *et al.* (1971); (9) Haag y Minami (1988, p. 123); (10) Bataglia *et al.* (1977); (11) Lorenzi (1978); (12) Gallo *et al.* (1974); (13) Bataglia y Mascareñas (1982, p. 122).

**Cuadro 1.6. Exigencias totales de micronutrientes en los principales cultivos brasileiros.**

Cultivo	Parte planta	Materia seca	B	Cl	Co	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Na
			--- Mg ---	----- g -----							
Algodón <sup>1</sup>	Raíces	0,5	5	-	-	2	262	5	0,2	2	-
	aérea vegetativa	1,7	117	-	-	44	1113	106	1,0	42	-
	Reproductiva	1,3	43	-	-	13	316	19	0,2	16	-
Arroz <sup>2</sup>	Raíces	1	30	1500	-	75	600	30	0,3	5	-
	colmos	2	24	8	-	6	392	96	0,1	101	-
	Hojas	2	34	3	-	5	477	226	0,3	38	-
	Cáscara	1	13	0,5	-	18	123	57	0,4	147	-
	Granos	3	6	0,4	-	10	141	52	0,3	30	-
Maní <sup>3</sup>	Granos	1	0,015	-	-	1,01	-	0,005	-	-	-
Café <sup>4</sup>	Granos	0,06	1	-	-	0,8	4	1,2	0,003	0,7	-
	Pulpa	0,06	1	-	-	-	1,5	0,9	0,002	0,2	-
Cacao <sup>5</sup>	Almendras	1	12	-	-	16	80	28	0,04	47	-
	Pulpa	2	33	-	-	16	165	101	0,04	61	-
Caña de azúcar <sup>6</sup>	Cañas	100	200	-	-	180	2500	1200	-	500	-
	Hojas	25	100	-	-	90	6400	4500	-	220	-
Eucalipto <sup>14</sup>	Tallo	355 m3/ha	1236	-	-	807	3929	18 202	10	388	-
<i>Pinus oocarpa</i> <sup>7</sup>	Acículas	6	-	-	-	-	1400	1300	-	100	-
	Ramas	10	-	-	-	-	700	1000	-	100	-
	Tallo	86	-	-	-	-	2800	4400	-	600	-
Frijol <sup>8</sup>	Granos	0,9	0,06	-	-	0,01	-	0,015	-	0,03	-
Lechuga <sup>9</sup>	Hojas	55000 plantas	88	-	-	17	581	216	-	312	-
Tomate <sup>3</sup>	Frutos	50	140	-	-	70	-	130	-	160	-



## Capítulo 1. Los elementos minerales

La información de este cuadro, no significa que el uso de esas cantidades lleva a la producción de un saco de café, ya que las diversas pérdidas (fijación, inmovilización, lixiviación, volatilización, erosión), no permiten que el fertilizante tenga un aprovechamiento de 100%. En el Cuadro 1.8, se presentan las medias de macro y micronutrientes por saco de 60 kilos de café beneficiado y su correspondiente pulpa producto de su beneficio. Esa información se trata de las medias de 3 variedades, “Borbón amarillo”, “Caturra amarillo” y “Mundo Nuevo”, cultivadas en tres tipos de suelos, Arena Cuarzosa, Latosol Amarillo Rojizo textura media y Tierra Roja Estructurada (Malavolta *et al.*, 1963).

El análisis de estos datos, permite determinar y enfatizar los siguientes aspectos:

- Grandes cantidades exigidas de N y K y pequeñas cantidades exigidas de Mo.
- Alta participación de la pulpa en el total de la producción unitaria. De ahí el interés práctico y económico en reciclar la pulpa del cafetal, debido a que la mineralización libera los elementos que le componen; siendo notoria la rapidez con que ocurre la del potasio (K), dada su liberación a través del agua de lluvia o de riego, ya que este elemento se encuentra casi totalmente en forma iónica en el tejido vegetal.

**Cuadro 1.8. Concentración de elementos esenciales en un saco (60 kg) de café beneficiado y en la pulpa generada durante su beneficio (media de las variedades Borbón amarillo, Caturra amarillo y Mundo Nuevo).**

Nutriente	Granos	Pulpa	Total
	-----gramos-----		
N	1.026	1.068	2.094
P	60	84	144
K	918	2.250	3.168
Ca	162	246	408
Mg	90	78	168
S	72	90	162
B	0,96	1,04	2,00
Cu	0,90	1,08	1,98
Fe	3,60	9,0	12,60
Mn	1,20	1,80	3,00
Mo	0,003	0,004	0,007
Zn	0,72	4,20	4,92

### Exigencias durante el año agrícola

Existe una repartición de los elementos esenciales dentro del año en función de la fenología o fases de la vida de la planta. Carvajal (1984), cultivó café a inicios de la fase de producción, apenas con 2 a 3 años de edad en solución nutritiva completa, la cual era analizada periódicamente obteniendo por diferencia la cantidad absorbida. El Gráfico 1.2., fue elaborado recalculando sus datos originales, mostrando de esta manera las exigencias durante el año agrícola. Destaca la alta absorción de P y de N de los cuales, solamente entre las etapas fenológicas de prefloración y floración a crecimiento del fruto, ingresa un 74% del P y un 60% del N suministrado.

La absorción del K es menos marcada, reportándose en ambos períodos un 56% del total, manteniéndose muy semejante durante las restantes etapas del cultivo. Tales datos son una guía que orienta la época de suministro del N, P y K en el cultivo del café.

**Gráfico 1.2. Porcentaje de absorción de N, P y K durante el año agrícola.**

N (%)	20	20	34	26
P (%)	14	12	42	32
K (%)	25	19	25	31
Meses	Mar Abr May	Jun Jul Ago	Set Oct Nov	Dic Ene Feb
Etapas Fenológica	Maduración y cosecha	Reposo	Prefloración y floración	Crecimiento del fruto

Fuente (Malavolta, 1993).

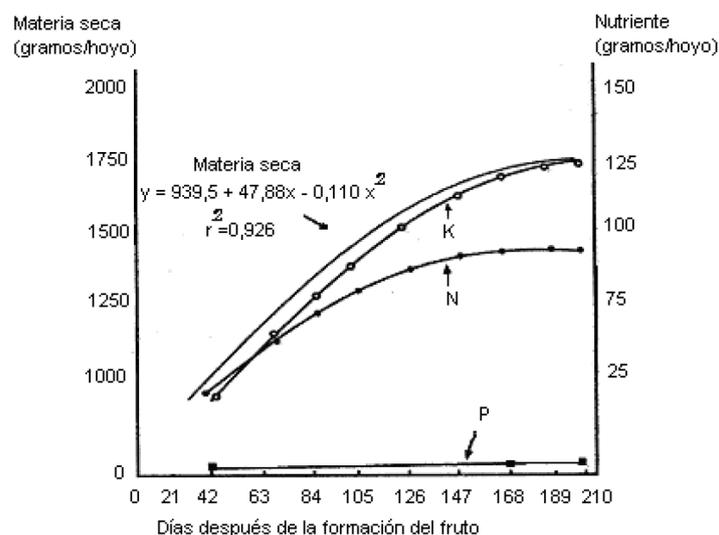
### Exigencias durante la formación del fruto

Chaves y Sarruge (1984), analizaron la secuencia de acumulación de los elementos esenciales durante el crecimiento y maduración del fruto, mediante el seguimiento de la evolución de la materia seca y de los elementos N, P y K durante el crecimiento del fruto de café Catuaí amarillo. Los autores citados, obtuvieron los datos que se presentan en el Gráfico 1.3., evidenciando que la secuencia de acumulación del K es muy pronunciada, al igual que la de materia seca, la cual continúa así hasta muy cerca de la cosecha, seguida por el N y posteriormente la del P que es prácticamente nula.

### Exigencias complementadas por las reservas

La movilización de las reservas en diversos órganos de la planta (raíces, leño, hojas), proporciona elementos esenciales requeridos para satisfacer su crecimiento vegetativo y la producción.

La planta de café, al igual que los cítricos y otras plantas perennes, dispone de dos fuentes de elementos esenciales para atender sus exigencias minerales de la parte vegetativa y de fructificación, a saber: Una externa, suelo o fertilizantes; y otra interna, la redistribución de los elementos minerales movilizados desde las reservas.



**Gráfico 1.3. Acumulación de materia seca, N, P y K en frutos de Catuaí Amarillo.**

Esta movilización fue estudiada en el cultivo del café por Malavolta y Lima Filho (1998), los cuales utilizaron el isótopo estable del N, el N 15 ( $^{15}\text{N}$ ) y la alternativa del isótopo estable del Rb, el Rb 85 ( $^{85}\text{Rb}$ ) como trazador del K, por su semejanza química entre ambos, dado que la vida media del isótopo del K es muy efímera. Los elementos fueron suministrados durante un año a plantas de café en soluciones nutritivas completas e incompletas, posteriormente se suprimieron para estudiar su redistribución, tanto en las plantas normales (desarrolladas en soluciones nutritivas completas), como en las plantas deficitarias (desarrolladas en soluciones nutritivas incompletas).

Finalizado el experimento, fueron analizadas las diversas partes en ambos tipos de plantas y se calculó el suministro del N y del K desde los órganos de reserva hacia la porción vegetativa y reproductiva de la planta (Cuadro 1.9.), obteniéndose lo siguiente:

- Nitrógeno: Apenas un 23,5% del N de los frutos en las plantas normales provino de las reservas, mientras que esta migración fue duplicada en las plantas deficitarias, con un 45,9%. A nivel de las flores, se observa una migración triplicada en las de flujo posterior.
- Potasio: La redistribución de este elemento desde las reservas, fue más intensa que la del N, alcanzando un 46,2% y 73,3%, en plantas de café normales y deficitarias, respectivamente.

Podemos concluir para ambos casos, que las plantas deficitarias agotan sus reservas de nitrógeno y potasio rápidamente, prácticamente en un solo ciclo.

**Cuadro 1.9. Redistribución del % N y K hacia los frutos, flores, ramas y raíces en plantas de café normales y deficitarias.**

Partes de la planta	Nitrógeno (%)		Potasio (%)	
	Normales	Deficitarias	Normales	Deficitarias
Frutos	23,5	45,9	43,3	73,3
Flores flujo anterior	58,6	81,2	46,2	64,1
Flores flujo posterior	17,8	50,5	31,7	59,5
Ramas flujo anterior	31,5	54,6	40,7	59,5
Ramas flujo posterior	20,1	49,9	29,2	72,8
Raíces	26,7	51,2	38,1	52,6

### *Exigencias complementadas por el reciclaje*

Existe un retorno de elementos esenciales a través del suelo, suministrado por la descomposición de los restos de cosecha, órganos vegetativos más viejos caídos o material podado, que al igual que las hojas y la pulpa obtenida del beneficio del café, son fuente de elementos minerales esenciales.

Durante el año, hay un enorme potencial de retorno de elementos minerales esenciales, producto de la normal caída de las hojas viejas, la cual se potencia aún más desde los cafetales densos (5000 plantas/ha) hasta los superdensos (20 000 plantas/ha) y se incrementa con la cosecha manual y mecanizada del café.

Otra fuente importante a considerar, lo constituye el material podado obtenido de las plantaciones mecanizadas del café, pudiendo ser triturado mecánicamente, como un proceso continuo y posterior a la poda, lo que permite acelerar los procesos de humificación y de mineralización.

Una evaluación de las hojas y del material podado como fuente de elementos minerales esenciales, se presenta en los Cuadros 1.10 y 1.11, tomados de García *et al.* (1986), donde se aprecia que el potencial del reciclaje aumenta considerablemente con la severidad de las podas.

En el caso del *Coffea canephora*, planta de hábito multicaule, en la cual hay obligatoriedad de podas más frecuente, a veces anual, hay por supuesto, un aumento del reciclaje. Ese reciclaje en el cultivo, ayuda a que no sea acentuada la tendencia a la disminución de la fertilidad del suelo.

**Cuadro 1.10. Medias de macronutrientes presentes en las hojas, ramas y troncos a diferentes alturas de poda en una plantación de cafeto (Catuaí y Mundo Nuevo) con 1904 plantas/ha.**

Altura de poda (m)	Parte podada	-----kg.ha <sup>-1</sup> -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
0,4	Hojas	92	3,8	76	27	9,3	3,5
	Ramas	125	8,3	109	61	12,9	4,7
	Tronco	105	6,2	99	60	8,0	1,8
	Total	320	18,3	286	149	60,2	10,0
1,0	Hojas	93	3,8	7	26	10,0	3,2
	Ramas	130	7,0	122	77	15,8	4,7
	Tronco	71	4,2	70	36	6,8	0,8
	Total	294	15,0	266	139	32,7	8,7
1,5	Hojas	47	2,2	42	14	5,1	2,2
	Ramas	74	5,7	92	36	8,0	2,8
	Tronco	40	2,3	34	13	2,61	0,7
	Total	162	10,1	168	63	5,7	5,7
2,0	Hojas	26	1,1	20	6,9	2,4	0,9
	Ramas	39	2,5	45	20,7	4,3	1,6
	Tronco	15	0,8	13	5,7	1,0	0,3
	Total	80	4,4	78	33,3	7,7	2,9

Fuente: García *et al.* (1986).

**Cuadro 1.11. Medias de micronutrientes presentes en las hojas, ramas y troncos a diferentes alturas de poda en una plantación de cafeto (Catuaí y Mundo Nuevo) con 1904 plantas/ha.**

Altura de poda (m)	Parte podada	-----kg.ha <sup>-1</sup> -----				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
0,4	Hojas	96	29	767	512	28
	Ramas	135	119	999	167	92
	Tronco	120	84	1039	114	54
	Total	351	232	2805	798	17
1,0	Hojas	93	27	675	219	26
	Ramas	156	137	996	378	106
	Tronco	89	57	707	181	19
	Total	339	219	2378	778	151
1,5	Hojas	47	17	335	88	13
	Ramas	82	79	562	131	50
	Tronco	33	28	471	45	11
	Total	162	124	1368	264	74
2,0	Hojas	25	10	156	43	7
	Ramas	45	31	315	83	17
	Tronco	13	10	72	16	4
	Total	83	51	543	142	28

Fuente: García *et al.* (1986).

Otro aspecto importante a considerar del reciclaje, y que aparentemente aún no había sido reportado, lo constituyen los nutrientes provenientes de las flores. Con este objetivo, Malavolta *et al.* (2000), colectaron ramas con flores de Catuaí y Mundo Nuevo, posteriormente separaron las hojas, ramas y flores, continuando con la determinación de macro y micronutrientes en cada uno de ellos. Finalmente se recalcularon los nutrientes contenidos en la materia seca, a su equivalente en una ha, obteniéndose los datos del Cuadro 1.12.

**Cuadro 1.12. Macro y micronutrientes en ramas productivas del café (Catuaí y Mundo Nuevo).**

Macronutrientes	Total (1)		Flores (2)	
	Catuaí	M. Nuevo	Catuaí	M. Nuevo
	----- kg.ha <sup>-1</sup> -----			
N	404	388	79(2)	55(14)
P	26	22	8(3)	5(16)
K	373	404	77(2)	66(16)
Ca	290	275	76(26)	49(18)
Mg	84	66	42(50)	28(42)
S	30	32	6(20)	4(12)
<b>Macronutrientes</b>	----- q.ha <sup>-1</sup> -----			
B	808	599	96(12)	76(12)
Cu	294	459	62(21)	59(13)
Fe	7234	7279	1737(24)	842(11)
Mn	4641	2914	478(10)	207(7)
Mo	0,86	0,66	0,20(23)	0,29(13)
Zn	172	223	31(18)	31(14)

(1) Ramas, hojas y flores. (2) Solamente las flores y entre paréntesis, porcentaje del total.  
Fuente: Malavolta *et al.* (2000).

Se pueden observar los elementos minerales esenciales movilizados desde las ramas y las hojas hacia las flores, llamando la atención, particularmente el Mg, con más del 40% para ambos cultivares. El Mg como vector del P es expresión que tiene casi 100 años. Este Gráfico complementa tal apreciación, ya que la mas alta proporción de P es observada en la prefloración y floración. Queda ahora la siguiente interrogante ¿Habría alguna relación entre el P y el Mg en el cultivo del café?

### Literatura citada

- Arnon, D. I. y P. R Stout. 1939. Molybdenum an essential element for higher plants. *Plant Physiology*. 14:599-602.
- Arnon, D. I. y G. Wessel. 1953. Vanadium as an essential element for green plants. *Nature*. 172:1039-1040
- Bataglia, O. C., O. Rodrigues, K. Hiroce, J. R. Gallo, P. Furlani y A. M. Furlani. 1977. Composição mineral de frutas cítricas na colheita. *Bragantia*. 36:215-221.

- Bataglia, O. C., y H. A. Mascarenhas. 1982. Nutrição mineral da soja. In: A Soja no Brasil Central, 2a ed. Fundação Cargill. Campinas. 444 p.
- Bellote, A. F., J. K. Sarruge, H. P. Haag y O. D. Oliveira. 1980a. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função da idade. 1. Macronutrientes. IPEF (Piracicaba). 20:1-23.
- Bellote, A. F., J. R. Sarruge, H. P. Haag y O. D. Oliveira. 1980b. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função da idade. 2. Micronutrientes. IPEF (Piracicaba) 20:27-45.
- Carvajal, J. 1984. Cafeto-Cultivo y Fertilización. 2a ed. Instituto Internacional de la Potasa. Berna. 254 p.
- Carvalho, J., H. Castro, T. Yamada y G. Speltz. 1983. Nutrição mineral de *Eucalyptus grandis*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil. H. P. Haag, Coord. Fundação Cargill. Campinas. 202 p.
- Chaves, I. C. y J. K. Sarruge. 1984. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiros durante um ciclo produtivo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 19:427-432.
- Cobra Netto, A., W. K. Accorsi y E. Malavolta. 1971. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. var. Roxinho). An. E. S. A. Luiz de Queiroz, USP, (Piracicaba). 28:257-274.
- Correa, I. B., A. W. Garcia y P. C. Costa. 1986. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. Res. 13er Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira (São Lourenço): 35-41.
- Epstein, E. 1975. Nutrição Mineral das Plantas - Princípios e Perspectivas. Trad. e Notas de E. Malavolta. Edit. USP y Livros Técnicos Científicos Edit. S. A. Rio de Janeiro. 341 p.
- Furlani, P. K., O. C. Bataglia, A. M. Furlani, L. E. Azzini y N. C. Schmidt. 1977. Composição química inorgânica de cultivares de arroz. Bragantia. 36: 109-115.
- Gallo, J. R., K. Hiroce, O. C. Bataglia, P. R. Furlani, A. M. Furlani, H. B. Mattis, H. I. Sartini y M. P. Fonseca. 1974. Composição química inorgânica de forrageiras do Estado de São Paulo. Boletim Industria Animal. 31:115-137.
- Garcia, A. W., J. B. Correa, S. Gonçalves, G. B. Freire, J. Santana, J. P. Romero, M. L. Malavolta, E. Malavolta y J. G. Carvalho. 1986. Fitomassa e conteúdo de macro e micronutrientes no material podado do cafeeiro. Tr. Apres. 13er Congresso Basilero de Pesquisa Cafeeira. (São Lourenço): 158-164.
- Garman, H. W. (Ed.). 1967. The Fertilizer Handbook. National Plant Food Inst. Washington. 264 p.
- Haag, H. P. y K. Minami. (Coord.). 1988. Nutrição Mineral em Hortaliças. 2a ed. Fundação Cargill. Campinas. 538 p.

- Hewitt, E. y T. Smith. 1975. Plant Mineral Nutrition. English Universities Press Ltd. Londres. 298 p.
- Lorenzi, J. O. 1978. Absorção de Macronutrientes e Acumulação de Materia Seca por duas Cultivares de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Dis. Mestrado. E. S. A. Luiz de Queiroz, USP. Piracicaba. 92 p.
- Malavolta, E. 1982. Nutrição Mineral e Adubação da Cana-de-Açúcar. ULTRAFERTIL S. A. São Paulo. 80 p.
- Malavolta, E. 1993. Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro-Colheitas Econômicas Máximas. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 210 p.
- Malavolta, E. 1994. Fertilizantes e seu impacto Ambiental-Metais Pesados, Mitos, Mistificação e Fatos. Produquímica. São Paulo. 153 p.
- Malavolta, E. y D. Fornasleri Filho. 1983. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: Cultura do Arroz de Sequeiro. M. E. Ferreira, T. Yamada y E. Malavolta, Ed. Inst. da Potassa e Fosfato (EUA) e Inst. Internacional da Potassa (Suíça). Piracicaba. 422 p.
- Malavolta, E. y J. P. Dantas. 1987. Nutrição e aduço do milho. In: Melhoramento e Produção do Milho. Eds. E. Paterniani y G. P. Viegas,. Vol. II. Ed. Fundação Cargill. Campinas. p. 411-795.
- Malavolta, E. y O. Fontao Lima Filho. 1998. Nutrição mineral de culturas tropicais - o caso do cafeeiro. CENA-USP. Piracicaba. 37 p.
- Malavolta, E., E. A. Graner, J. K Sarruge y L. Gomes. 1963. Estudos sobre a alimentação do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades "Bourbon Amarelo", "Catuaí Amarelo" e "Mundo Novo". Turrialba. 13:188-189.
- Malavolta, E., H. P. Haag, F. A. Mello y M. O. Brasil Sobr. 1974. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro. In: Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas. Livraria Pioneira Editora. São Paulo. 727 p.
- Malavolta, E., M. L. Malavolta y C. P. Cabral. 1984. Nota sobre as exigências minerais do cacauero. An. E. S. A. Luiz de Queiroz, USP. (Piracicaba) 41:243-255.
- Malavolta, E., L. Favarin, M. L. Malavolta, C. P. Cabral, K. Heinrichs y J. S. Oliveira. 2000. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. LXIII. Macro e micronutrientes nos ramos, folhas e flores. CENA-USP. Piracicaba. 13 p.
- Welch, R. M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. Critical Reviews in Plant Sciences. 14:49-82.

## EL ANÁLISIS FOLIAR Y SU INTERPRETACIÓN

---

Vianel Rodríguez P. y Orlando Rodríguez R.  
UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL LISANDRO ÁLVARADO

### *Introducción*

El análisis químico de tejidos de plantas, fue definido por Ulrich (1948), como una herramienta para la solución de problemas nutricionales de plantas desarrolladas bajo condiciones de campo.

La hoja o parte foliar, ha sido el tejido de las plantas más comúnmente utilizado para ser analizado químicamente, por la razón fundamental que refleja con mayor exactitud, el estado nutricional de toda la planta.

La interpretación de los análisis químicos de hojas, fue denominada "Diagnostic Foliare" por Lagatu y Maume en 1926 (Holland, 1966), porque además de las comparaciones individuales, se consideraban también las interacciones entre nutrientes. Al respecto, una más reciente apreciación es la de Malavolta *et al.* (1999), quienes señalaron que la palabra "diagnóstico" implica la idea de evaluación, mas no así la palabra "análisis", a pesar de ser sinónimos. Motivado a esto, en adelante se hará referencia en este capítulo a la interpretación de los análisis químicos de hojas con el calificativo de **diagnóstico foliar**.

El diagnóstico foliar comprende el diagnóstico visual o de campo y el diagnóstico químico o de laboratorio, ambos con sus múltiples variantes.

El diagnóstico foliar visual consiste en identificar visualmente en la planta, los cambios que ocurren en las hojas, ramas y crecimiento de la planta como consecuencia de un déficit nutricional, teniendo como referencia los cambios previamente identificados y asociados con un nutriente en particular, mediante el diagnóstico foliar propiamente dicho.

El diagnóstico foliar propiamente dicho por su parte, es un método de evaluación del estado nutricional de los cultivos, cuyo basamento es la interpretación de los análisis químicos de tejidos, particularmente de las hojas en determinados y muy definidos períodos de la vida de la planta, lo

cual requiere un conocimiento muy claro de la fenología de los cultivos. No obstante, con el desarrollo de novedosas metodologías de interpretación de análisis químicos, se pretenden solventar los problemas de recolección de hojas en períodos muy precisos, destacándose las metodologías siguientes: Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) de Beaufils (1973); Deviation from Optimum Percentage (DOP) de Monge *et al.* (1995), Montañez *et al.* (1995) y Sanz (1999); Compositional Nutrient Diagnosis (CND) de Parent y Dafir (1992), Parent *et al.* (1993), Parent *et al.* (1994a), Parent *et al.* (1994b) y Parent *et al.* (1995); Principal Components Analysis (PCA) de Holland (1969) y Propuesta de Interpretación de Resultados de Análisis (PIRA) de Rodríguez, V. (2003).

## **FUNDAMENTOS DEL DIAGNÓSTICO FOLIAR**

Evaluar el estado nutricional de una planta mediante la interpretación de un análisis foliar, simplemente consiste en hacer una comparación, entre los valores de una muestra proveniente de un cultivo problema y los valores obtenidos de una muestra de un cultivo referencial.

El cultivo referencial representa a un conjunto de plantas “normales” desde el punto de vista de su nutrición.

Se define una planta normal, como aquella que presenta en sus tejidos todos los elementos nutritivos en cantidades y proporciones adecuadas, lo cual le permite además de obtener los más altos rendimientos, tener una apariencia visual sana (Malavolta *et al.*, 1997), con un mínimo de requerimientos de fertilización.

## **APLICACIONES DEL DIAGNÓSTICO FOLIAR**

El diagnóstico foliar tiene una finalidad: Determinar si el nivel de fertilidad del suelo es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo y cuánto requiere, si lo amerita, de una aplicación de enmiendas y/o fertilizantes.

A pesar de eso, no es su única aplicación. Malavolta *et al.* (1997), citaron las siguientes aplicaciones del diagnóstico foliar:

- Evaluación del estado nutricional de la planta.
- Identificación de las deficiencias que provocan síntomas externos similares, dificultando o imposibilitando la aplicación del Diagnóstico Foliar Visual.
- Evaluación de las necesidades de nutrientes o ajustes de programas de fertilización.

En las dos primeras aplicaciones, simplemente se compara el nivel del nutriente encontrado en la muestra ( $N_m$ ) con el nivel del nutriente de referencia ( $N_r$ ), pudiendo ocurrir las tres posibilidades siguientes:

(1)  $N_m < N_r$

(2)  $N_m > N_r$

(3)  $N_m = N_r$

En la situación (1), la planta podría presentar un déficit del nutriente analizado; en la situación (2), la planta podría presentar un exceso del nutriente analizado y en la situación (3), la planta tiene un nivel del nutriente similar a la planta normal.

En la tercera aplicación, se concreta la finalidad de la interpretación o diagnóstico foliar, la cual es aplicar enmiendas o fertilizantes, pero es la menos entendida, y por lo tanto, la menos aplicada.

El procedimiento o plan para interpretar un análisis foliar, comprende etapas que progresivamente se cumplen a fin de garantizar una confiable recomendación de fertilización, estas etapas son: muestreo, análisis, interpretación, recomendación y monitoreo o auditoría nutricional.

### **MUESTREO**

El muestreo, por ser el primer paso de todo el procedimiento de interpretación de un análisis foliar, debe ser impecable y entendido cabalmente, dado que de la representatividad de la muestra (Bray, 1940) depende la seguridad de los análisis de los laboratorios, su correcta interpretación, y por consiguiente, una real recomendación de enmiendas y fertilizantes (Fageria *et al.*, 1997; Fitts y Nelson, 1956; Jones, 1985). Para efectos didácticos, se abarcarán en este capítulo aspectos como: la técnica de muestreo y la colecta de la muestra.

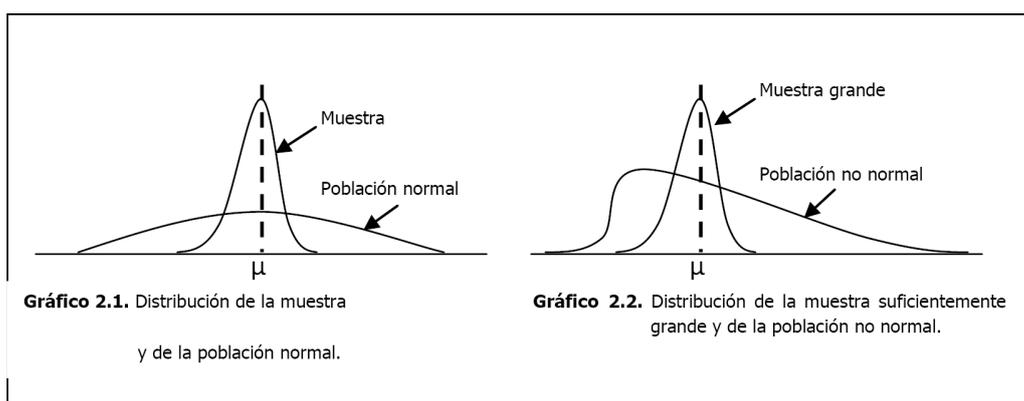
#### *La técnica de muestreo*

Usando técnicas particulares de muestreo, en líneas generales, un área puede ser caracterizada estimando el nivel medio de cada nutriente y su dispersión (varianza) en toda el área.

Las recomendaciones para una finca que no esté entre las que fueron muestreadas, pueden basarse en la media aritmética del nutriente en el área muestreada y en cualquier otra información sobre el manejo pasado y diferencias particulares entre las fincas (Nelson, 1999). Tal situación, también puede ocurrir cuando la muestra no logra representar a la población sobre la cual se desean las informaciones (población objetivo). En relación a este caso, la solución la planteó Crochan (1965), expresando que cualquier información complementaria que pueda ser recolectada, puede ser útil en la interpretación, desde el punto de vista de la estadística de los datos.

Cuando se quiere estimar algunos de los parámetros de una población, uno de los aspectos más importantes en su diseño, es la determinación del tamaño de la muestra (Álvarez, 1988). Uno de sus elementos determinantes es la precisión, la cual aumenta a medida que se incrementa el tamaño de la muestra. A fin de cuentas, la precisión dependerá de cuanto el investigador desea o permita que el estimador y el parámetro se alejen entre sí (Álvarez, 1988; Nelson, 1999).

Sin embargo, ¿Hasta dónde incrementar el tamaño de la muestra? Snedecor (1964), aclara que el promedio o media aritmética de la muestra ( $\bar{x}$ ) se acerca a su valor real, en la medida que aumenta el tamaño de la muestra, porque sencillamente la distribución de los datos se aproxima a la distribución normal tal como lo es la población infinita normal (Gráfico 2.1.). No obstante, a pesar de esa ventaja, surge el inconveniente que tal aproximación, en tamaños de muestra muy grande, ocurre independientemente de la forma de la población muestreada. Esto último hace referencia a las poblaciones infinitas de distribución no normal, donde es relevante la tendencia a distribuirse con normalidad cuando las muestras son relativamente grandes (Gráfico 2.2.).



Fuente: Costa Neto (1999).

Esta aclaratoria de Snedecor, tiene su fundamento en la *teoría del límite central*, la cual revela que en la medida que el tamaño de la muestra aumenta, la media de la muestra tiende a la distribución normal.

Muchos problemas importantes y de orden práctico pueden ser resueltos con el teorema del límite central, y para los efectos, citaremos solo los de orden práctico propuestos por Triola (1999) para definir el tamaño de la muestra:

- Poblaciones no normales, el tamaño de muestra con un mínimo de 30 unidades muestrales, puede ser satisfactorio para aproximarse a la distribución normal y esa aproximación mejora en la medida que aumenta el tamaño de la muestra.
- Poblaciones normales, con cualquier tamaño de muestra se puede aproximar a la distribución normal.

En el mismo orden de ideas, Costa Neto (1999), indicó que ante poblaciones simétricas o próximas a la distribución normal (Gráfico 2.1.), no era necesario un tamaño de muestra muy grande y en muchos casos, con solo 4 a 5 elementos ya era suficiente para su confiabilidad.

No obstante, definir el tamaño definitivo de la muestra depende de decisiones de orden económico, lo cual coloca el límite o el tamaño definitivo de la muestra determinada de manera arbitraria, a pesar de las discusiones teóricas, basadas en la Teoría del Límite Central.

Ahora, reuniendo esos criterios, la pregunta a satisfacer sería: ¿Cuántas muestras deben ser tomadas y posteriormente analizadas, con el menor error posible, la más alta confiabilidad y una acertada precisión en el muestreo? La respuesta puede concretarse explicando las técnicas de muestreo. Pueden citarse como convenientes las siguientes: la muestra preliminar completamente al azar o muestra piloto, y la muestra aleatoria estratificada (Álvarez, 1988).

La primera es aplicable sin limitaciones en áreas muy homogéneas, por ejemplo el muestreo foliar aplicado a plantaciones de plátano y la segunda, en áreas heterogéneas (muy homogéneas internamente, pero heterogéneas entre sí), por ejemplo el muestreo de suelos considerando el tipo de suelo, la topografía, el aspecto de vegetación, fertilización, encalado y cultivos anteriores, entre otros.

### Muestra preliminar completamente al azar

Es el método más utilizado y satisfactorio en áreas altamente homogéneas.

La muestra preliminar completamente al azar o muestra piloto, podrá considerarse como parte de la muestra definitiva, solamente cuando los métodos de selección y medición, incluyendo el cuestionario no hayan sufrido cambios o modificaciones importantes (Álvarez, 1988). Bajo esta modalidad, las siguientes fórmulas permiten estimar el tamaño de la muestra necesaria para los subsiguientes muestreos, con una precisión y una probabilidad específica:

$$ma = \frac{t_{\alpha}^2 s^2}{d^2}$$

Donde,

ma = Tamaño de la muestra aleatoria.

t = tabulado con n – 1 grados de libertad a  $\alpha$  nivel de probabilidad, siendo n las dimensiones de la población finita, caso de poblaciones infinitas  $t_{\alpha} = 2$ .

s<sup>2</sup>= variancia y

d<sup>2</sup> = precisión, margen de error aceptado y es una fracción de la media, de 1 al 20%.

$$mac = \frac{ma}{1 + \frac{ma}{N}}$$

Donde, mac = Tamaño de la muestra aleatoria corregida y a ejecutar.

N = Tamaño de la población finita.

La fórmula lleva implícita, que el tamaño de la muestra depende de la varianza y del grado de confianza deseado (precisión) por el investigador o extensionista, por ejemplo: a menor varianza, no amerita sacrificar la precisión o confianza, la cual puede ser alta (1%) permitiendo aun así obtener pequeños tamaños de muestra, mientras que a mayor varianza, amerita precisiones mas bajas (20%) para poder mantener pequeños tamaños de muestra.

A continuación, a manera de ejemplo, se presenta un estudio de casos de la aplicación de estas fórmulas, al igual que la aplicabilidad del teorema del límite central, en una gran superficie de muestreo y por supuesto, una gran muestra.

En los Cuadros 2.1. y 2.2., se presentan los resultados obtenidos de calcular el tamaño de la muestra foliar, que de alguna manera sería requerido a posteriori, para realizar evaluaciones del estado nutricional de la plantación de plátanos de la planicie del Sur del Lago de Maracaibo, República Bolivariana de Venezuela.

Los cálculos se hicieron a partir de un banco de datos de 410 muestras foliares, elaborado mediante un muestreo foliar completamente al azar, aplicado a una población finita de 1185 plantas de plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en aproximadamente 1800 hectáreas de la planicie del Sur del Lago de Maracaibo. No se realizó muestreo de suelos.

La plantación se seleccionó de acuerdo con la técnica formulada por Beaufils (1973), se caracterizó por ser muy homogénea, conformada por lotes de cultivo con plantas de un aspecto vegetativo típico de una planta muy rendidora, lo cual fue ratificado con los registros de producción, que permitieron corroborar su potencial del rendimiento.

En el Cuadro 2.1., se presenta el tamaño de la muestra aleatoria (ma), las medias (x), las desviaciones estándar (s) y el coeficiente de variación (CV) de cada uno de los nutrientes estudiados. Se evidencia que la muestra aleatoria es menor de 410 unidades para los nutrientes Zn, N y B, motivado a que probablemente se contaminaron las muestras y los contenidos de los nutrientes Zn y N fueron anormalmente altos, poco común en hojas de plátano y por ello, se eliminaron sus valores del banco de datos desarrollado.

**Cuadro 2.1. Muestra aleatoria (ma), medias (x), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) de los nutrientes estudiados.**

Parámetros	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
ma	397	410	410	410	410	208	410	410	410	409
X	27,5	2,4	45,8	10,8	3,2	14,1	15,8	96,2	187,1	30,9
s <sup>(1)</sup>	2,34	0,73	8,9	4,27	0,86	4,80	10,30	25,43	148,11	33,06
CV	8,5	30,9	19,4	39,47	27,1	34,1	65,2	26,4	79,1	106,8

(1) Media del N, P, K, Ca y Mg en g kg-1 y del B, Cu, Fe, Mn y Zn en mg kg-1.

Para el B, la metodología ameritó repeticiones profusas por cada muestra, de manera tal, que se obtuviese un valor promedio consistente. En los casos donde no se logró un valor fiable se eliminó del banco, por la sencilla razón de que se acabó la materia seca recogida y no pudo repetirse el método de extracción para este elemento.

En relación a la media de los nutrientes, todas están alrededor de los valores adecuados reportados por Rodríguez y Rodríguez (1997). La desviación estándar se presenta para facilitar la aplicación de la fórmula de cálculo del tamaño de la muestra, y con el coeficiente de variación se discute la heterogeneidad de la población, la cual es marcadamente apreciable en los nutrientes Cu, Mn y Zn.

El Cuadro 2.2., fue calculado a partir del Cuadro 2.1., presentándose el tamaño de la muestra corregida (mc), con t tabulado igual a 1,96 (grados de libertad al 5%, población finita 1185 plantas), manteniendo constante la varianza y solamente variando la precisión (d), calculando 5, 10 y 20% de la media (x).

**Cuadro 2.2. Tamaño de la muestra aleatoria corregida (mac), con t tabulado igual a 1,96 (grados de libertad al 5 %) y diferentes niveles de precisión (d) a 5, 10 y 20 % de la media (x).**

Parámetros	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
d (5% x)	0,14	0,01	0,23	0,05	0,02	0,70	0,79	4,81	9,36	1,55
mac	11	131	55	199	103	156	421	98	531	707
D (10% x)	0,28	0,024	0,458	0,108	0,032	1,4	1,58	9,63	18,68	3,09
mac	3	36	14	57	28	44	144	27	202	322
D (20% x)	0,55	0,048	0,92	0,21	0,06	2,8	3,16	19,3	37,36	6,18
mac	1	9	4	15	7	11	40	7	58	101

En este cuadro se observa en cada nutriente, que en la medida que disminuye la precisión también disminuye el tamaño de la muestra corregida (mac), cambiando el tamaño en el orden de las decenas a unidades, en los nutrientes N, P, K, Mg y Fe, mientras que, el tamaño cambia de varias centenas a decenas, en los nutrientes Zn, Mn, Cu, B y Ca. Este cambio, es debido a sus elevados coeficientes de variación, destacándose el Zn, el cual con una precisión del 5%, exige un tamaño de muestra que casi duplica la muestra completamente al azar.

Ese número, por ser excesivamente grande, es inmanejable y poco práctico. Esto motivó a descartar este procedimiento como alternativa para calcular las muestras a ser tomadas para un siguiente muestreo, manteniendo el menor error posible o aceptable económicamente, y en consecuencia, evaluar el estado nutricional conjuntamente de macro y micronutrientes de la plantación estudiada. Sin embargo, se reconoce su utilidad para evaluar solo los macronutrientes.

### **Muestra estratificada aleatoria**

Haynes (1948) citado por Fitts y Nelson (1956), señaló que el mejor método de muestreo es el estratificado, seguido por el del zig-zag, particularmente cuando se recolectan pocos números de muestras. Por otro lado, Nelson (1999), señaló que la ventaja de la estratificación consiste en que baja la varianza, aumenta la precisión del muestreo, y en consecuencia, disminuye el tamaño de la muestra.

Las unidades o series de suelo (Evanylo *et al.*, 1987), o las diferencias del manejo agronómico, justifican la estratificación, dado que:

- Reduce los costos de observación en relación a la muestra completamente al azar.
- Reduce el tiempo de muestreo.
- Produce estimaciones más precisas que el muestreo completamente al azar.
- Se obtiene rápidamente la información de los parámetros de los estratos muestreados.
- Simplifica el trabajo de control, ya que puede usar personal específico para cada estrato.
- Requiere un menor tamaño de la muestra en relación al muestreo completamente al azar.

Continuando con el estudio de casos, y ante los resultados del muestreo completamente al azar obtenido del ejemplo anterior en la plantación de plátanos de la planicie del sur del lago de Maracaibo, se aplicó el muestreo estratificado aleatorio. Para aplicar esta técnica, se utilizó como base del muestreo la información disponible a nivel de unidades de suelos del sector río Mucujepe-Escalante, de la planicie sur del lago de Maracaibo (Kijeswski *et al.*, 1981). De esta manera, se elaboró la muestra estratificada aleatoria a partir de las unidades de suelo definidos como estratos de muestreo y no a partir del aspecto vegetativo de la planta (Beaufils, 1973; Rodríguez y Rodríguez, 1997), tal como se planteó en la metodología del muestreo completamente al azar.

El procedimiento inicialmente aplicado fue el de conocer el historial de las fincas, las mejores fincas productoras fueron ubicadas sobre el plano de unidades de suelo, haciendo así una previa separación en grupos de fincas que coincidiesen por estar dentro de una misma unidad de suelo.

Mediante ese procedimiento, se seleccionaron tres fincas productoras de plátano, dentro de las cuales prevalecen los suelos de las unidades Chama # 1 (Unidad con 41.114 ha) y Padre # 37 (Unidad con 29.563 ha), ambas con tipo textural predominante franco y con alta presencia de limos, en las cuales, se colectaron simultáneamente muestras de hojas y de suelos.

Como no se disponía de información, en relación a la normalidad de la distribución de los datos de los atributos del suelo y de sus variables nutricionales, el tamaño de la muestra fue determinado en función del tamaño mínimo propuesto por Triola (1999), correspondiente a 30 unidades.

De esta manera, 10 semanas antes de la cosecha y aplicando la normativa internacional de referencia (EIR) para las musáceas, se colectó el mínimo de 30 muestras de suelos y 30 de hojas por ciclo, durante dos ciclos de cultivo en cada finca, adicionando un 10% de muestras como previsión a pérdidas fortuitas. En esas mismas plantas, el peso de los racimos fue determinado 10 semanas después de la toma de muestras. Las muestras adicionales fueron tomadas, debido a que la caída de plantas es muy común en la zona, por fuertes vientos y lluvias torrenciales.

En el Cuadro 2.3., se muestran solamente los resultados de los análisis foliares, los cuales se pueden comparar y discutir con el muestreo completamente al azar.

**Cuadro 2.3. Muestra aleatoria estratificada (mae), medias (x), desviación estándar (s) y coeficiente de variación (CV) para los nutrientes estudiados.**

Parámetros	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mae	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
x	25,7	2,0	42,3	6,8	2,8	13,9	8,5	63,1	88,8	19,2
s <sup>(1)</sup>	2,41	0,21	5,9	2,24	0,55	3,80	1,44	25,76	26,41	7,35
CV	9,4	10,8	13,9	32,7	19,3	27,3	17,1	40,8	29,7	38,3

(1) Media del N, P, K, Ca y Mg en g.kg-1 y B, Cu, Fe, Mn y Zn en mg.kg-1.

Al comparar los Cuadros 2.3. y 2.1., resalta a primera vista, la disminución del coeficiente de variación en los nutrientes Cu, Mn y Zn, condición deseable o buscada a través de la estratificación.

Observando los detalles en el Cuadro 2.3., se nota que la muestra estratificada aleatoria es menor, apenas 67 unidades y a diferencia del muestreo completamente al azar, no se eliminaron muestras y el banco de datos es semejante para todos los nutrientes.

En relación a la media de los nutrientes, estas están sensiblemente por debajo de las obtenidas en el muestreo completamente al azar del Cuadro 2.1., lo cual evidencia que el suelo define las características nutricionales de las poblaciones de plantas.

La desviación estándar se presenta para facilitar la aplicación de la fórmula de cálculo del tamaño de la muestra del Cuadro 2.3. y con el coeficiente de variación, se aprecia la homogeneidad de la población.

En el Cuadro 2.4., calculado a partir del Cuadro 2.3., se muestran los resultados obtenidos al calcular el tamaño de la muestra aleatoria estratificada corregida (maec), con t tabulado igual a 2,0 (con grados de libertad al 5 %, población finita de 114 plantas), manteniendo constante la varianza y solamente variando la precisión (d), la cual se presenta calculando 5, 10 y 20% de la media (x).

Al igual que en el Cuadro 2.2., en el Cuadro 2.3., se observa que para cada nutriente de la muestra aleatoria estratificada corregida (maec), en la medida que disminuye la precisión, también disminuye el tamaño de la muestra, pero esta vez, el tamaño cambia en el orden de decenas a unidades, en todos los nutrientes, números más manejables a la hora de decidir formular el tamaño de la muestra.

Por lo tanto, si se decidiese coleccionar una única muestra compuesta, la representatividad de todos los nutrientes estaría satisfecha con un bajo número de submuestras, con una precisión aceptable de 20% (x). Ese bajo número de submuestras, motivó a seleccionar y recomendar este procedimiento como alternativa para calcular las muestras a ser tomadas, fuera cual fuere el objetivo, bien sea con fines de investigación, o simplemente, de realizar un seguimiento del estado nutricional, con fines de recomendar fertilizantes.

Por otro lado, cabe destacar que, a partir del banco de datos de las variables de suelos, formado con la muestra estratificada aleatoria, muy a pesar de detectar semejanzas del contenido nutricional foliar en plantas desarrolladas sobre diferentes texturas de suelo (F, FL y L), esas semejanzas no fue posible detectarlas a nivel del suelo, esto indica que existió heterogeneidad entre las muestras. Buscando reagrupar el banco, durante el análisis exploratorio de los datos, la normalidad de distribución de la población muestral no se logró al separar el banco de datos en 3 grupos (texturas F, FL y L), siendo eso solo posible, cuando se reagruparon en muestras con contenidos de arena mayor y menor del 30%.

**Cuadro 2.4. Tamaño de la muestra aleatoria estratificada corregida (maec), con t igual 2,0 (con grados de libertad al 5 %) y diferentes niveles de precisión (d) a 5, 10 y 20 % de la media (x).**

Parámetros	Nutrientes									
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
D (5 % x)	0,12	0,01	0,21	0,034	0,014	0,69	0,42	3,15	4,44	0,95
maec	12	16	24	68	39	58	33	80	63	77
D (10% x)	0,26	0,02	0,423	0,068	0,028	1,39	0,84	6,31	8,88	1,92
maec	3	4	7	31	13	24	11	42	27	39
D (20% x)	0,51	0,04	0,85	0,13	0,06	2,7	1,69	12,6	17,8	3,83
maec	1	1	2	10	4	7	3	15	8	13

Mediante ese reagrupamiento, pudieron establecerse normas y tamaños de muestra más específicos, consecuentes con interpretaciones mas confiables, por el hecho que se estimó la media aritmética en variables de suelo con distribución normal, al igual como lo señalaron Bataglia y Santos (1990); Evanylo *et al.*, (1987); Failla *et al.* (1993); Goh y Malakouti (1992); Leandro *et al.* (1999); Oliveira (1999); Pacheco *et al.* (1993); Righetti *et al.* (1988a), (1988b).

### Colecta de la muestra

Cuando se colectan tejidos en las plantas con fines de análisis, la hoja es el órgano más utilizado en la mayoría de los cultivos, porque refleja mejor el estado nutricional, sin embargo, el muestreo no se realiza sobre cualquier hoja.

Como regla general, se recomienda para la mayoría de los cultivos, coleccionar las hojas maduras más recientes, sin embargo, las normativas de muestreo buscan coincidir en que la hoja muestreable, sea colectada en la época de mayor estabilidad de los nutrientes (floración, disminución de la actividad vegetativa, inicio de cuajado, etc.), lo cual determina una época específica del ciclo de la planta. Esto lleva implícito, que al recurrir a métodos de interpretación tales como los niveles críticos o rangos de suficiencia, las instrucciones para el muestreo foliar deben ser rigurosamente, las mismas utilizadas por el investigador que generó esos valores de interpretación de análisis químicos de tejidos.

En muchos cultivos anuales, la época de muestreo está generalmente establecida en fechas posteriores a los períodos tope de fertilización, donde ya no es posible hacer correctivos nutricionales durante el mismo ciclo de cultivo.

Por la razón mencionada, es perentorio que los nuevos enfoques de investigación en el área del diagnóstico, se orienten hacia las metodologías que permitan realizar los muestreos y los consecuentes diagnósticos y recomendaciones, en forma previa a los períodos de aplicación de fertilizantes al cultivo, porque el propósito es de corregir cualquier deficiencia dentro del mismo año agrícola, ya que no tendría sentido, diagnosticar los problemas nutricionales, cuando ya no se tiene oportunidad de corregirlos.

Si no existiesen indicaciones disponibles acerca de cuándo tomar la muestra, se recomienda aplicar la regla general: en cualquier época del ciclo de la planta, la cual si se mantiene sistematizadamente, generaría un banco de datos donde es factible posteriormente calibrar los nutrientes con el rendimiento o con cualquier variable de interés.

Al final de esta publicación, en el Anexo I, se presenta una guía de cómo y cuándo tomar las muestras de tejidos con fines de diagnóstico foliar, para los principales cultivos.

Como una alternativa al problema de la representatividad de la época en la cual se toma la muestra, el sistema de diagnóstico DRIS, detallado en los Capítulos 3 y 4, presenta la vía para darle solución a esa situación.

El DRIS, permite realizar un diagnóstico nutricional en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, es decir, es menos sensible que otros sistemas de diagnóstico al envejecimiento de los tejidos, habiendo sido esto demostrado en diversos trabajos (Beaufils, 1973; Beaufils y Sumner, 1977; Sumner y Beaufils, 1975; Walworth y Sumner, 1987).

Por otro lado, también deben considerarse ciertas condiciones que pueden alterar la representatividad de la muestra. Bajo esta premisa, no deben seleccionarse plantas y hojas que presenten daños mecánicos, por cualquier causa, como plagas, enfermedades, agobio climático, etc., tampoco en las inmediaciones de caminos, ni en lugares sombreados o contaminadas con polvo o sustancias que no se puedan retirar durante su lavado en el laboratorio.

Es importante también considerar las condiciones de la muestra durante su traslado al laboratorio. Las muestras foliares frescas no deben colocarse en empaques plásticos, preferiblemente deben ser colocadas en bolsas de papel para su fácil identificación y absorción de los excedentes de humedad. En lo posible, si no se dispone de refrigeración, hay que entregarlas al laboratorio antes de las 24 horas de colectadas.

Los pecíolos no son parte de la hoja, pero en algunos cultivos como la vid, la lechosa y las musáceas, también participan en la muestra.

El volumen total de la muestra a coleccionar, va a depender del número de submuestras y del tamaño del tejido u hoja muestreada, sin embargo, se recomienda recoger suficiente material fresco que permita obtener 5 gramos de material seco después de su secado y molido.

## **ANÁLISIS QUÍMICO**

Una vez ingresada la muestra al laboratorio, es sometida a un proceso rutinario de acondicionamiento, que detiene el deterioro de la muestra, modificando sus propiedades físicas y en un mínimo las químicas. Ese proceso no solo acondiciona la muestra para que pueda ser analizada, sino que también garantiza la homogeneidad de la muestra compuesta y comprende los siguientes pasos: limpieza y descontaminación, estabilización (secado), molienda, secado y destrucción de la materia orgánica.

### *Limpieza y descontaminación*

Durante este paso se eliminan las partículas de polvo y otras sustancias extrañas. Se realiza, agitando las hojas por unos segundos dentro de una solución jabonosa o pasándole un algodón impregnado con la misma.

La solución jabonosa se prepara con 2 g/L detergente (preferiblemente libre de fósforo), más HCl diluido al 0,5%, renovándola cada 10 muestras. Aplicada la solución jabonosa, se retira con abundante agua limpia y luego, las muestras se enjuagan definitivamente con agua destilada. Es aconsejable, dejarlas unos minutos colocadas sobre rejillas o similares, para que escurran los excedentes. Una vez que las muestras están secas al aire, se colocan en bolsas de papel previamente identificadas y perforadas, para proceder al paso siguiente. En el caso de no poder aplicarlo de inmediato, es aconsejable almacenarlas bajo refrigeración por períodos no muy prolongados.

### *Estabilización (secado)*

Durante este paso se remueve el agua de los tejidos, condición que estabiliza la muestra de manera tal que se puede almacenar sin refrigeración, sin el deterioro ni cambios indeseables en la composición mineral del tejido. Esta se realiza utilizando una estufa de ventilación forzada a 65 °C, por 48 horas aproximadamente (Jones y Case, 1990). Las bolsas, previamente perforadas uniformemente por toda la superficie, deben acomodarse en la estufa con espacio prudencial entre ellas, lo suficiente que permita la circulación del aire.

### *Molienda*

Las muestras deben ser molidas de manera que las partículas puedan pasar el cedazo de 20 mallas o de 1 mm de perforación, preferiblemente con molinos de cuchillas giratorias de acero inoxidable, para evitar contaminación por hierro, zinc o cobre.

### *Secado*

Durante este paso se continúa con la remoción del agua en todo el tejido, de manera más homogénea, por el hecho de que el tamaño de las partículas es más pequeño y uniforme, asegura su secado definitivo y uniforme. Para una fácil y segura manipulación del material molido, se recomienda introducirlo en frascos plásticos con tapa, introduciéndolos destapados a igual temperatura de estabilización, de 65 °C, pero por no más de 24 horas. Después de este segundo y definitivo secado, las muestras están listas para su análisis químico. Bajo esta condición, la muestra molida bien tapada se puede guardar en un ambiente oscuro y seco, por un período prolongado de tiempo.

### *Destrucción de la materia orgánica*

Esta fase consiste en separar los elementos a ser analizados, de los compuestos orgánicos o materia orgánica que los contienen. Esa separación se conoce como digestión o preparación de los extractos.

En el Cuadro 2.5, se muestra un resumen de los métodos de extracción recomendados en Brasil, en relación con los nutrientes de interés por Malavolta *et al.* (1997). Se pueden observar los principales tipos de extracción o digestión: Digestión ácida en caliente, digestión seca y digestión por agitación. Existen diferentes reportes sobre metodologías de extracción, por lo cual se recomienda consultarlos y determinar el más adecuado para cada laboratorio.

Para la obtención del extracto, se procede a pesar la muestra molida entre 0,2 a 1 g de acuerdo a la metodología y el elemento a determinar (hay que tener precaución con las muestras que pueden segregar, particularmente en muestras con pubescencia, las cuales se deben homogeneizar muy bien antes de retirar la alícuota).

**Cuadro 2.5. Métodos de digestión de material vegetal.**

Método	Cantidad de Muestra (Volumen final del extracto)		Elementos a ser determinados
	Mínima	Máxima	
Digestión Sulfúrica	50 mg (25 mL)	200 mg (100 mL)	N
Digestión nitrato-perclórica	250 mg (25 mL)	1000 mg (50-100 mL)	P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na, Al, y Ni
Incineración(1)	100 mg (10 ml)	1000 mg (10 ml)	B, Mo y Co
	1000 mg (20 ml)	5000 mg (20 ml)	
Agitación	100 mg (25 ml)	1000 mg (100 ml)	Cl

(1) También se utilizan para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, Na y Al.

Fuente: Malavolta *et al.*, 1997.

## LA INTERPRETACIÓN

Los resultados de los análisis químicos provenientes del laboratorio, de nada servirían si no tuvieran utilidad en términos de fertilidad del suelo y nutrición de plantas. Lograr la utilidad deseada es posible mediante la calibración y posterior aplicación del método de interpretación.

La calibración consiste en determinar una relación del valor Nm en las tres posibilidades:  $N_m < N_r$ ;  $N_m > N_r$ ;  $N_m = N_r$ , con una característica deseable de la planta de referencia, con una concentración del nutriente Nr y con una dosis de fertilización o manejo agronómico.

El método de interpretación consiste simplemente en hacer una comparación entre los valores de la muestra (Nm) y los valores obtenidos de un conjunto de plantas referenciales (Nr), con el objetivo de presentar una dosis de enmienda o fertilizante.

La interpretación está muy vinculada al método aplicado y a la calibración, por lo que para los efectos de esta discusión, las variantes de la interpretación se pueden agrupar para su descripción de dos formas: la interpretación acorde con los valores de referencia y la interpretación acorde con el método de diagnóstico.

### *Interpretación acorde a los valores de referencia*

Partiendo de los valores de referencia, la interpretación puede realizarse directamente utilizando desde pocos hasta numerosos valores de referencia, o indirectamente mediante la transformación o estandarización a valores sin unidades.

### Interpretación mediante pocos valores de referencia

Este método utiliza, desde los tipos mas sencillos (ejemplo: N), hasta los más elaborados (N/S, Ca/Mg, K + Ca/Mg), estos últimos, intentan diagnosticar el equilibrio entre los nutrientes involucrados en el valor de referencia.

Ambos tipos de valores de referencia, están basados en los valores críticos o los rangos de suficiencia: El nivel crítico (Clark y Powers, 1945; Jones *et al.*, 1991; Macy, 1936; Prevot y Ollagnier, 1957; Ulrich, 1952), el nivel crítico inferior ó nivel crítico fisiológico (Malavolta *et al.*, 1997), el nivel crítico fisiológico económico (Malavolta *et al.*, 1997) y los rangos del nivel crítico (Dow y Roberts, 1982; Melsted *et al.*, 1969).

El nivel crítico se define como el nivel del elemento contenido en la hoja por debajo del cual, la producción es limitada y por encima de él, la fertilización no es económica.

En primera instancia, la calibración del nivel crítico, era realizada mediante la generación de modelos de regresión rectilíneos y/o curvilíneos entre el nutriente foliar y la condición deseable de la planta, el nutriente foliar y el nutriente disponible en el suelo (lleva sobreentendido el método de extracción aplicado al suelo), y el nutriente foliar y la dosis de fertilizante.

La curva teórica y real que representa el nivel crítico, propuesta por Prevot y Ollagnier (1957), se presenta en el Gráfico 2.3. En esta propuesta, no hay ecuación para la curva, porque en el segmento inicial que semeja a una C, un valor de x corresponde a dos valores de y. Tales comportamientos fueron reportados, según Bates (1971) para P, Mg, S, SO<sub>4</sub>, B, Cu, Mn y Zn.

La curva más parecida a la realidad nutricional de la planta y susceptible de ser representada por modelos estadísticos, fue reseñada por Malavolta *et al.* (1997) (Gráfico 2.4). A continuación algunos de estos modelos:

$$\hat{y}_i = a + b/x_i + \varepsilon; \text{ (Representa una hipérbola).}$$

$$\hat{y}_i = a + bx_i + cx_i^2 + \varepsilon; \text{ (Representa una parábola).}$$

$$\hat{y}_i = a + bx_i + cx_i^{1/2} + \varepsilon; \text{ (Semejante a la hipérbola).}$$

Siendo:

$\hat{y}_i$  = Una observación *i* de la variable dependiente estimada (rendimiento).

*a* = Estimador del parámetro  $\alpha$  o intercepto con el eje y.

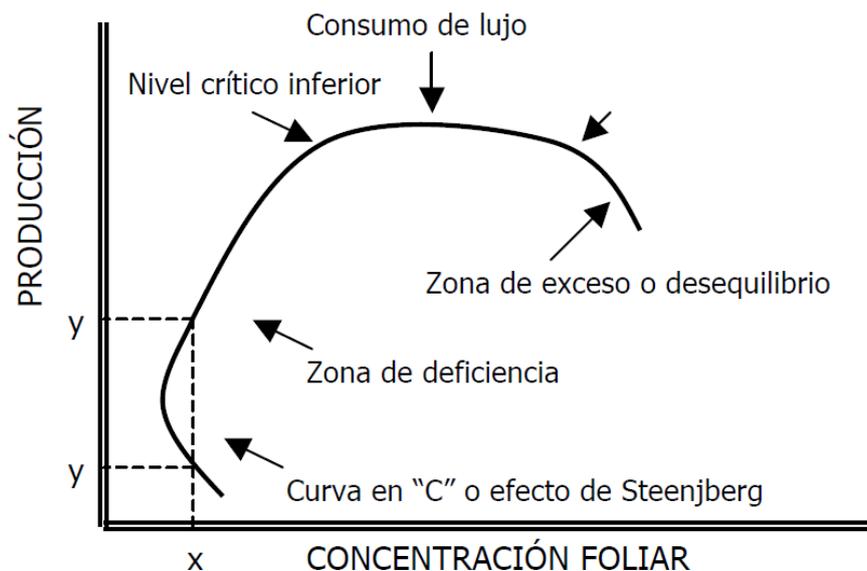
*b* = Estimador de  $\beta$ , o coeficiente de regresión lineal.

*c* = Coeficiente que cuantifica la desviación de la linealidad.

$x_i$  = Una observación *i* de la variable independiente (nutrientes).

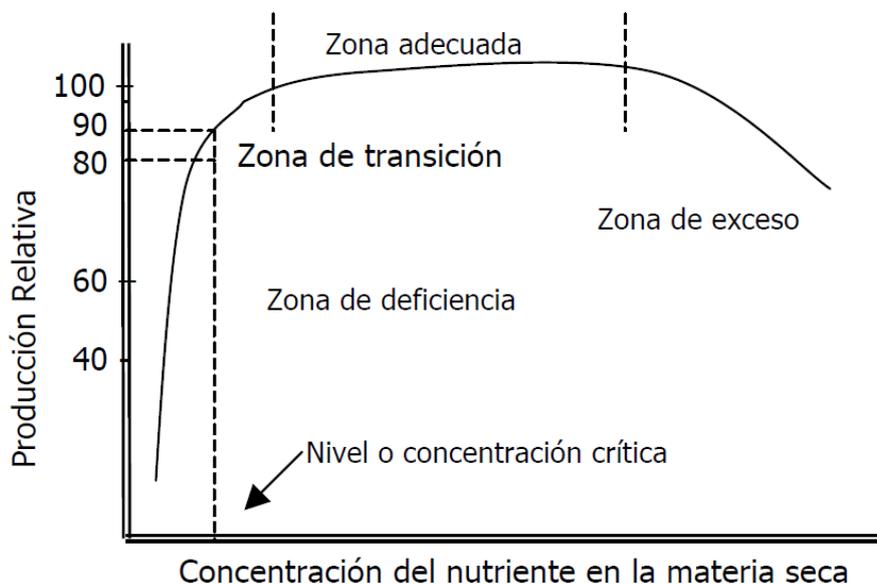
$x^2, x^{1/2}$  = Una observación *i* de la variable *x* al cuadrado o raíz cuadrada, respectivamente.

$\varepsilon$  = error de estimación.



**Gráfico 2.3. Representación de la relación entre la concentración foliar y la producción (o materia seca) de Prevot y Ollagnier (1957).**

En el Gráfico 2.4., se observa el nivel crítico, así como también el rango de suficiencia o zona adecuada.



**Gráfico 2.4. Representación de la relación entre la concentración foliar y la producción relativa de Malavolta et al. (1997).**

El Cuadro 2.6., muestra ejemplos numéricos de los rangos de suficiencia, destacándose algunas situaciones interesantes:

- Las diferencias entre los distintos niveles críticos reportados de los cultivos, reflejan que la literatura reúne desigualdades en el muestreo, la variedad, el suelo y el clima, que de alguna manera generan diferencias en exigencias nutricionales.
- Al observar con más detalle la amplitud de los rangos para los cultivos citados, se deduce la necesidad de obtener valores de referencia más locales.

**Cuadro 2.6. Niveles críticos, rangos adecuados o críticos, para el N.**

Cultivo	Mills & Jones (1996)	Malavolta et al. (1997)	Reuters y Robinson (1997)
	Nitrógeno (g.kg-1)		
Algodón	35 – 45	35 – 40	37 – 45
Arroz	28 – 36	40 – 48	28 – 36
Banana	35 – 45	27 – 36	28 – 40
Cafeto	23 – 30	29 – 32	25 – 30
Caña	20 – 26	19 – 21	19 – 21
Cítricos	22 – 35	25 – 21	24 – 26
Eucaliptos	10,5 – 14,9	14 – 16	18 – 34
Frijol	----	30 – 50	30 – 60
Maíz	27 – 40	27,5 – 32,5	27 – 40
Mango	10 – 15	12 – 13	10 – 15
Soya	40 – 55	45 – 55	43 – 55
Tomate	---	30	49

En segunda instancia, la calibración del nivel crítico se puede realizar mediante muestreos aleatorios. De esta manera, además de la rapidez de su obtención, en muestras con normalidad en la distribución de los datos, se logran establecer las concentraciones asociadas con clases de rendimientos. Un ejemplo de esta alternativa se presenta a continuación.

En el Cuadro 2.7., se presenta una comparación entre los rangos de suficiencia de algunas formas de expresión, reportadas en la literatura para el cultivo del banano, y las mismas formas de expresión elaboradas para el cultivo del plátano Hartón por Rodríguez (2002), mediante muestreo.

Es importante destacar que los niveles críticos reportados por el autor citado, fueron generados atendiendo a los contenidos de arena, de esta manera surgió el límite de 30% de este material, el cual fue el condicionante de la normalidad de la distribución de los datos en las variables nutricionales del suelo.

**Cuadro 2.7. Rangos de suficiencia para el cultivo del banano (*Musa* AAA) y los niveles críticos de la subpoblación del plátano Hartón con rendimientos de menos y más de 15 kg/racimo, a partir de las formas de expresión de suelos y hojas reportadas para el banano.**

Formas de expresión	Banano <sup>(1)</sup>	Plátano	
		> 15	< 15
<b>Suelo (0 – 40 cm)</b>			
Mg/K	8 – 15 <sup>(2)</sup>	4,119	3,17
Ca/Mg	3,5 – 4 <sup>(3)</sup>	10,02	7,85
(Ca + Mg)/K	20 – 30 <sup>(4)</sup>	38,12	27,84
Ca/K	15 – 25 <sup>(5)</sup>	34,46	24,67
100K/(Ca + Mg + K)	3 – 5 <sup>(6)</sup>	11,46	20,05
<b>Hoja</b>			
K/Mg	3,7 – 6,5 <sup>(7)</sup>	17,45	14,81
K/Ca	3,0 – 3,7 <sup>(8)</sup>	6,84	6,09
Ca/Mg	1,66 y 2,15 – 2,25 <sup>(9)</sup>	5,68	4,48
(K/Ca) + Mg	2 – 3 <sup>(10)</sup>	7,07	6,37
K/P	16 – 24 <sup>(11)</sup>	22,17	21,23
K/N	1,3 – 1,5 y 1,5 – 1,7 <sup>(12)</sup>	1,63	1,57
N/(K + Ca + Mg)	0,6 <sup>(13)</sup>	0,508	0,514

(1) Valores de referencias de suelos y hojas, por diferentes autores. (2) Godefroy *et al.* (1965). (3) (4) (5) (6) López y Espinosa (1995). (7)(8) García *et al.* (1976). (9) Lahav y Turner (1983) y Rodríguez (1980), respectivamente. (10) Lahav y Turner (1983). (11) Rodríguez (1980). (12) Martín-Prével *et al.* (1969) y Dumas (1960), respectivamente. (13) Soto (1985).

### *Interpretación mediante numerosos valores de referencia*

Con numerosos valores de referencia, se busca interpretar la interacción entre todos los nutrientes, o sea el equilibrio nutricional en la planta. En un principio, se aplicaron a las combinaciones de pocos nutrientes (N/P, P/K y N/K), pero posteriormente se evidenció su relevancia y se aplicó a un gran número de nutrientes, en ocasiones hasta 55 combinaciones (N/P, P/K, N/K, NxCa, PxMg, N/S, Ca/B, Cu/Mg, Fe/Mn, Mo/Zn, Mn/Mg,...etc.).

Los métodos que utilizan un gran número de valores de referencia son los siguientes: El sistema DRIS para interpretar análisis de tejidos (Beaufils, 1973), análisis de suelos y de tejidos (Beaufils y Sumner, 1976) y para interpretar suelos (Oliveira, 1999). Para interpretar análisis de tejidos se citan la Desviación del Porcentaje Óptimo (DOP) (Monge *et al.*, 1995; Montañez *et al.*, 1995; Sanz *et al.*, 1999) y el Diagnóstico de la Composición Nutricional (CND) (Parent *et al.*, 1992; Parent *et al.*, 1993; Parent *et al.*, 1994a; Parent *et al.*, 1994b; Parent *et al.*, 1995).

### **Interpretación indirecta mediante transformación a valores sin unidades**

Esta modalidad se aplica mediante los métodos DRIS, DOP, CND y PIRA, de tal manera, que para diagnosticar el estado nutricional de una planta durante las múltiples comparaciones entre todos los nutrientes, las unidades de sus concentraciones se eliminan, dado que en los protocolos entregados por el laboratorio, se encuentran unidades disímiles, tales como g, mg, dS.m<sup>-1</sup>,

mmol o cmol.kg<sup>-1</sup> obteniéndose entonces, valores sin unidades (índices de los nutrientes).

De esta forma, los numerosos índices de cada nutriente pueden ser comparados entre si en igualdad de condiciones y evaluar mediante su promedio (Índices de Interpretación), el equilibrio nutricional de la planta.

Los argumentos citados permiten concluir que se está en la presencia de una interpretación más completa, dado que se indica la existencia de desequilibrios o equilibrios en cada nutriente, a través de números negativos y positivos, por ejemplo:

Nutriente	N	Ca	M. S.	S	K	Mg	P	Σ Índices
Índice	-20	-17	-10	-5	-3	21	34	110

De alguna manera, los signos son indicio de la probable respuesta a la aplicación de fertilizantes, índices negativos presentan mayor probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes, porque denotan el desequilibrio hacia el déficit nutricional de la planta, y los índices positivos representan lo contrario.

Adicionalmente, la sumatoria (Σ|Índices|) de los valores absolutos de esos índices negativos y positivos, es utilizada como indicativo del equilibrio o desequilibrio nutricional de todos los nutrientes en el tejido analizado y por ende de la planta, a la cual representa (Rodríguez *et al.*, 1999; Rodríguez y Rodríguez, 2000).

En el Cuadro 2.8, se muestra la interpretación utilizando los índices. En la misma se establece el “nivel crítico” del índice, el cual es el óptimo equilibrio para el fósforo (-5) y lograda con la dosis de 25 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 2.8. Índices DRIS y datos de composición foliar en tejidos de plantas de maíz en tres niveles de fertilización con fósforo P.**

P aplicado (kg.ha <sup>-1</sup> )	Composición foliar (%)			Índices DRIS			Producción (Mg.ha <sup>-1</sup> )
	N	P	K	N	P	K	
0	2,59	0,20	2,55	0	- 28	28	9,09
25	2,80	0,27	2,10	- 1	- 5	6	12,12
100	2,79	0,38	1,99	- 10	12	- 2	12,54

Fuente: Walworth y Sumner (1988).

Por último, para la interpretación conjunta de análisis de tejidos y suelos, se cita la *Propuesta de Interpretación de Resultados de Análisis (PIRA)* (Rodríguez, 2003), en la cual todas las variables estudiadas son estandarizadas mediante la fórmula siguiente:

$$X_{ip} = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$$

Donde:  $x_{ip}$ : valor estandarizado de cualquier variable.

$x_i$ : cualquier observación de la variable estudiada.

$\mu$ : media de todas las observaciones, en la variable estudiada

$\sigma$ : desviación estándar de todas las observaciones, en la variable estudiada.

Esta fórmula, suministra una gran ventaja, debido a que permite comparar y evaluar el equilibrio nutricional y no nutricional, en igualdad de condiciones entre variables disímiles, que pueden ser desde nutrientes en suelos y hojas, hasta variables no nutricionales, tales como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, entre otras, motivado a que todas las variables son transformadas con media cero y desviación estándar 1.

## RECOMENDACIÓN

Realizada una correcta interpretación, se espera terminar el proceso de diagnóstico, con una óptima recomendación. Para lograr esto, es adecuado evaluar un mayor volumen de información, porque es importante determinar si en realidad existe un problema nutricional y si este fuese el caso, proceder con mayor seguridad a dirigir la aplicación de correctivos.

Por ese motivo, anexo a la muestra de tejido, es conveniente llenar un formulario, con información referente al historial del cultivo y de la parcela. De esta manera, si el análisis foliar confirma un exceso o tal vez una deficiencia, el técnico se vale de sus destrezas para establecer los correctivos, entre los cuales se incluyen: fertilizante a aplicar, corrección de pH, control de mesas freáticas, etc.

Por otro lado, en relación con la formulación de la dosis de fertilizantes, la información se presenta en dos contextos:

- Recomendación iniciada a partir del análisis foliar. En el Cuadro 2.8, se mostró un ejemplo de recomendación proveniente de una calibración entre la dosis de fertilizante, la composición foliar, el índice de interpretación y el rendimiento, sin embargo, no es usual tener a disposición para todos los cultivos y para todas las situaciones, tales deseables y elaboradas calibraciones.

Ante la falta de información (investigación) que apoye una recomendación mediante elaboradas calibraciones, Malavolta (1995), proporcionó una respuesta simple a la pregunta de cuánto aumentar la dosis de fertilización proporcionalmente al déficit detectado en el análisis foliar, proceso que se ejemplifica a continuación.

Si en el análisis foliar se reporta una concentración del 10 g.kg<sup>-1</sup> de N, cuando el deseado es de 13 g.kg<sup>-1</sup>, la diferencia de 3 g.kg<sup>-1</sup> equivale a un 23% (calculado por regla de tres). Si la dosis a usar rutinariamente de reabono es de 50 kg.ha<sup>-1</sup>, entonces hay que aumentarla en un 23 %. Si el análisis foliar reporta una concentración menor de 13 g.kg<sup>-1</sup> N, se continua con el mismo programa de fertilización (50 kg.ha<sup>-1</sup> de N). Si el análisis foliar reporta un

tenor superior a  $13 \text{ g.kg}^{-1}$  de N, se disminuye la dosis proporcionalmente al porcentaje en que difieren, excepto cuando sea exageradamente alto, en cuyo caso el nutriente se omite de la fertilización siguiente.

Tales cálculos, también son aplicables cuando se dispone de índices de interpretación, porque en vez de calcular mediante regla de tres la diferencia porcentual entre la concentración del nutriente en la muestra y el valor de referencia, tal como se indicó, se calcula la contribución porcentual del índice del nutriente en el índice de equilibrio nutricional. Esta alternativa es más interesante porque en el índice del nutriente se estaría evaluando el equilibrio nutricional y la dosis de fertilizante se formularía para mejorar ese equilibrio. Los detalles se explican en el capítulo 4 en título "Comprobación y Recomendación en el sistema DRIS".

Ahora cuando no se ha fertilizado regularmente y hay que decidir cual es la dosis a aplicar, no tiene sentido el cálculo anterior, en este caso hay que recurrir a formular una dosis y la pista para su elaboración se obtiene a partir del cultivo, calculando la misma a partir las exigencias minerales de los cultivos, las cuales se explicaron en el Capítulo 1.

- Recomendaciones a partir de sucesivos análisis foliares. En este caso es importante destacar que se está aplicando lo que Malavolta (1999) denominó, como "Comprobación", porque se estará consecutivamente detectando cuánto de lo calculado, realmente se corresponde con lo observado como respuesta del cultivo en el campo.

En este contexto, es válida la propuesta de recomendación de Malavolta (1995), explicada anteriormente, porque continuamente se está ajustando la dosis inicial de la fertilización mediante sucesivos análisis foliares.

## MONITOREO O AUDITORÍA NUTRICIONAL

En esta etapa se supervisan los cambios en el equilibrio nutricional, introducidos por la corrección de los nutrientes problemas, mediante las aplicaciones de fertilizantes.

La auditoría nutricional es posible a través de muestreos foliares sucesivos que permiten en tiempo real ajustar las dosis de fertilización, utilizando los métodos reseñados para la interpretación.

## CONCLUSIONES

El análisis foliar fue definido por Ulrich (1948), como una herramienta para la solución de problemas nutricionales de plantas creciendo bajo condiciones de campo. Para lograr ese objetivo, han sido discutidas de manera detallada en líneas anteriores, las etapas que comprende el procedimiento o plan de interpretación de análisis de tejidos.

Entender, aplicar y continuamente mejorar cada una de las etapas de la interpretación de los análisis foliares, garantiza y asegura la utilidad de la recomendación de fertilizantes y enmiendas para resolver los problemas nutricionales, visto de otra manera, el procedimiento de interpretación de un análisis foliar o diagnóstico foliar, se inicia con la correcta toma de muestras en campo y finaliza con la continua evaluación de la recomendación de fertilización en condiciones de campo de donde provienen los problemas.

### **Literatura citada**

- Álvarez Cajas, V. M. 1988. Tamaño de muestra: Procedimientos usuales para su determinación. Tesis para el grado de Maestro en Ciencias. Colegio de posgraduados, Chapingo, México. 161p.
- Bataglia, O. C. y W. R. Dos Santos. 1990. Efeito do procedimento de calculo e da população de referência nos índices do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). *Revista Brasileira da Ciencia do Solo*. 14:339-344.
- Bates, T. E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation. A review. *Soil Science*. 112:115-234.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermaritzburg, Sur Africa. *Soil Science Bulletin*. 1:1-132.
- Beaufils, E. R. y M. E. Sumner. 1976. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and quality factors of sugarcane. *Proceedings of South African Sugar Technology Association*. 50:118-124.
- Beaufils, E. R. y M. E. Sumner. 1977. Effect of time of sampling on the diagnosis of N, P, K, Ca, and Mg requirements of sugarcane by the DRIS approach. *Proceedings of South African Sugar Technology Association*. 51:62-67.
- Bray, R. 1940. Correlation of Soil Tests with Crop Response to Added Fertilizers and with Fertilizer Requirement. In: *Diagnostic Techniques for Soils and Crops*. Ed. Kitchen, B. Washington, USA. The American Potash Institute, cap. 4, p.53-86.
- Crochan, W. 1965. *Técnicas de Amostragem*. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 553 p.
- Clark, H. E. y W. L. Powers. 1945. Leaf analysis as an indicator of potassium requirement of cane fruits. *Plant Physiology*. 20:51-61.
- Costa Neto, P. L. 1999. *Estatística*. 17 reimpressão. São Paulo:Edgard Blücher. 264p.

- Dow, A. I. y S. Roberts. 1982. Proposal: Critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal*. 74:401-403.
- Dumas, J. 1960. Controle de nutrition de quelques bananerais dans tríos territoires Africains. *Fruits*. 15: 277-290.
- Evanylo, G., M. E. Sumner y W. S. Letsch. 1987. Preliminary development and testing of DRIS soil norms for soybean production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 18:1355-1377.
- García, R., R. Guijarro y B. Díaz. 1976. Modificación del estado nutricional del banano por efecto del potasio en suelos rojos de Cuba, relación con el rendimiento y control de la fertilización. In: 4° International Colloquim on The Control of Plant Nutrition, Gent, 1976. *Proceedings 4° International Colloquim on the Control of Plant Nutrition*. Gent. Ed. A. Cottenie. II:577-584.
- Godefroy, J., G. Montagut y M. Dormony. 1965. Essays sol-plante sur Bananier. *Fruits*. 20:274-281.
- Fageria, N., V. Baligar y C. Jones. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. New York: Marcel Dekker, Inc. 346p.
- Failla, O., G. Stringari, D. Porro y A. Scienza. 1993. Determination of leaf standards for apple trees and grapevines in Northern Italy. In: Optimization of Plant Nutrition. Fragoso y Beusichem (eds.), Kluwer Academic Publishers, pp.37-41.
- Fitts, J. y W. Nelson, 1956. The determination of lime and fertilizer requirements of soil through chemical tests. *Advances in Agronomy*. 8:241-282.
- Goh, K. y E. M. Malakouti. 1992. Preliminary nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium DRIS norms and indexes for apple orchards in Canterbury, New-Zealand. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23:1371-1385.
- Holland, D. 1966. The interpretation of leaf analysis. *Journal of Horticultural Science*. 41:311-329.
- Holland, D. 1969. Component analysis: An aid to the interpretation of data. *Experimental Agriculture*. 5:151-164.
- Jones, J. B. Jr. 1985. Soil testing and plant analysis: Guides to the fertilization of horticultural crops. *Horticultural Reviews*. 7:1-67.
- Jones, J. B. Jr. y V. W. Case. 1990. Sampling, Handling and Analyzing Plant Tissue Samples. In: *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America Book Series N° 3. 3a edición. Ed. Westerman, R. L., Madison, USA.
- Jones, J. B. Jr., B. Wolf y H. A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro Macro Publishing Inc. Athens. Georgia, EE.UU. 213 p.

- Kijeswski, J., J. Colina, P. Steegmager, O. Madero y Z. Bojanowski. 1981. Estudio de suelos semidetallado, sector río Mucujepe-río Escalante. Zona Sur del Lago de Maracaibo. Serie Informes Técnicos Zona 5-IT-156. MARNR. Maracaibo, 278 p.
- Lahav, E. y D. W. Turner. 1983. Fertilising for high yield banana. IPI-Bulletin 7. International Potash Institute, Berna/ Suiza. 62p.
- Leandro, W. M., J. X. Almeida Neto, J. P. de Oliveira, S. A. Oliveira y J. C. Chitolina. 1999. Sistema integrado de diagnóstico e recomendação para a cultura da soja. I. Obtenção dos níveis de suficiência para nutrientes nas análises foliares e de terra (compact disc). Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 14. Temuco, Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.
- López, A. y J. Espinosa. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. INPOFOS, Quito, Ecuador. 82 p.
- Macy, P. 1936. The quantitative mineral requirements of plants. *Plant Physiology*. 11:749-764.
- Malavolta, E. 1995. Curso de Nutrição Mineral de Plantas. ABEAS/ESALQ-USP. Brasilia. DF. Brasil.
- Malavolta, E. G. Vitti y S. Oliveira, S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicações. 2da edição. POTAFOS. Piracicaba. SP. Brasil.
- Malavolta, E., S. A. Oliveira y P. G. Wadt. 1999. Foliar diagnosis: The status of the art. In: Siquiera *et al.*, ed. Inter-relação fertilidade, biología do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS, Lavras: Universidad Federal de Lavras/DCS. pp. 205- 242.
- Melsted, S. W., H. L. Motto y T. R. Peck. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agronomy Journal*. 61:17-20.
- Mills, H. A. y J. B. Jr. Jones 1996. *Plant Analysis Handbook II*. Micro Macro Publishing Inc. Athens. 422p.
- Monge, E., L. Montañez, J. Val y M. Sanz. 1995. A comparative study of the DOP and the DRIS methods, for evaluating the nutritional status of peach trees. *Acta Horticulturae*, 383:191-199.
- Montañez, L., E. Monge, J. Val y M. Sanz. 1995. Interpretative possibilities of plant analysis by the DOP index. *Acta Horticulturae*. 383:165-171.
- Nelson, L. 1999. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. INPOFOS. Quito, Ecuador. 66p.

- Oliveira, S. 1999. Obtenção do níveis ótimos de nutrientes na planta e no solo por meio do DRIS. (compact disc). In: Simpósio sobre Monitoramento nutricional para a recomendação da adubação de culturas. Piracicaba, 1999. POTAFOS.
- Pacheco, C., F. Calouro y A. Andrade. 1993. Interpretative indices for leaf analysis in vineyards of the Portuguese region of Barriada. In: Optimization Of Plant Nutrition. Fragoso y Beusichem (eds), Kluwer Academic Publishers, p. 43-47.
- Parent, L. E. y E. Dafir, 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. Journal of the American Society for Horticultural Science. 117:239-242.
- Parent, L. E., A. Karam y S. A. Visser. 1993. Compositional nutrient diagnosis of the greenhouse tomato. HortScience. 28:1041-1042.
- Parent, L. E., A. N. Cambouris y A. Muhawenimana. 1994a. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. Soil Science Society of America Journal. 58:1432-1438.
- Parent, L., E. D. Isfan, N. Tremblay y A. Karam. 1994b. Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. Journal of the American Society for Horticultural Science. 119:420-426.
- Parent, L. E., M. Poirier y M. Aselin. 1995. Multinutrient diagnosis of nitrogen status in plants. Journal of Plant Nutrition. 18:1013-1025.
- Reuters, D. J. y J. B. Robinson. (Ed). 1997. Plant Analysis, an Interpretation Manual. 2ª ed. CSIRO Publishers. Collingwood. 572p.
- Righetti, T. L., O. Alkoshab y K. Wilder. 1988a. Diagnostic biases in DRIS evaluations in sweet cherry and hazelnut. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 19:1429-1447.
- Righetti, T. L., O. Alkoshab y K. Wilder. 1988b. Verifying critical values from DRIS norms. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 19:1449-1466.
- Rodríguez, G. M. 1980. Estudios preliminares sobre nutrición con potasio de los bananos de América Central. Fruits. 35:283-291.
- Rodríguez, O. y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ. 17:449-470.
- Rodríguez, V. 2002. Propuesta metodológica para analizar datos provenientes de bajos niveles de muestreo en plátano Hartón (Musa AAB subgrupo Plátano cv. Hartón). Barquisimeto, 47 p. Monografía (Trabajo de Ascenso). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

- Rodríguez, V. 2003. Avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo na cultura do plátano (Musa AAB subgrupo Plátano cv. Hartón). Piracicaba, 70 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ. 14:285-296.
- Rodríguez, V., O. Rodríguez y P. Bravo. 1999a. Índice de balance de nutrimentos para la predicción del rendimiento del plátano (Musa AAB subgrupo plátano cv. Hartón). Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ. 16:488-494.
- Sanz, M. 1999. Evaluation of interpretation of DRIS system during growing season of the Peach tree: Comparison with DOP method. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 30:1925-1036.
- Snedecor, G. 1964. Métodos Estadísticos aplicados a la Investigación Agrícola y Biológica. Compañía Editorial Continental, S. A., México, 626p.
- Soto, B. M. 1985. Bananos, Cultivo y Comercialización. Lill, Costa Rica, 648p.
- Sumner, M. E y E. R. Beaufils. 1975. Diagnosis of the N, P and K requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils system (DRIS). Preliminary observations. Proceedings of the South African Sugar Technology Association. 49:137-141.
- Triola, M. 1999. Introdução à Estatística. LTC, Rio de Janeiro, p. 127-131.
- Ulrich, A. 1948. Plant analysis. Methods and interpretation of results. In: Diagnostic Techniques for Soils and Crops. Ed. H. B. Kitchen, Washington, The American Potash Institute. pp. 157-198.
- Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Annals Review of Plant Physiology. 3:207-228.
- Walworth, J. L. y M. E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Advances in Soil Science. 6:149-188.
- Walworth, J. L. y M. E. Sumner. 1988. Foliar diagnosis: A review. Advances in Plant Nutrition. 3:193:241.

## EL DESARROLLO, DETERMINACIÓN E INTERPRETACIÓN DE NORMAS DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas

---

Vianel Rodríguez P. y Orlando Rodríguez R.  
UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL LISANDRO ALVARADO

### *Introducción*

El sistema DRIS (Acrónimo del inglés *Diagnosis and Recommendation Integrated System*), fue propuesto originalmente por Beaufils (1973), a partir de trabajos sobre fisiología y nutrición vegetal, primero con el cultivo del caucho (Beaufils, 1957) en Indochina (Vietnam), posteriormente con maíz (Beaufils, 1971) y luego, con caña de azúcar en Sudáfrica (Beaufils y Sumner, 1976, 1977). La publicación de Beaufils (1973), constituye un clásico, una obra totalmente original en los estudios sobre nutrición vegetal y con un enfoque holístico de la investigación, por lo cual, se recomienda su lectura a los interesados en el tema DRIS.

El presente capítulo ha sido desarrollado a partir de la revisión publicada por Rodríguez y Rodríguez (2000). Además de la publicación mencionada, existen revisiones bibliográficas, las cuales pueden servir para ampliar el proceso de acercamiento al conocimiento y manejo de las características y alcances del DRIS, y su uso en aspectos sobre nutrición (Hallmark y Beverly, 1991; Jones, 1981; Jones *et al.*, 1991; Malavolta *et al.*, 1997; Sanz, 1999; Sumner, 1975, 1977a, 1979, 1982, 1986, 1987, 1990; Walworth y Sumner, 1987, 1988; Walworth *et al.*, 1986, 1988).

Beaufils (1973), presentó al DRIS como una alternativa al método clásico experimental de campo, consistente en comparar el efecto de varios tratamientos, en razón de las dificultades y limitaciones que introducen en estos experimentos, la acción de numerosos factores incontrolables y no evaluados, los cuales son meramente incluidos como estimaciones de error experimental. Como ejemplo de esas limitaciones en los experimentos con fertilizantes señala lo siguiente:

## LIMITACIONES DE LA EXPERIMENTACIÓN CLÁSICA

### *Falta de definición precisa del efecto de la variable*

Los efectos observados como consecuencia de las respuestas de las plantas a los fertilizantes, constituyen el resultado de una compleja cadena de reacciones, generalmente no definidas o conocidas.

### *Reproducibilidad restringida*

Dichas reacciones son determinadas por las características particulares del sitio de experimentación, las cuales nunca podrían ser exactamente reproducidas en el tiempo y en el espacio, características que si pueden ser reproducidas, bajo las condiciones de un experimento de laboratorio. Debido a estas dificultades, los resultados logrados en un determinado sitio experimental, muy raramente pueden ser extrapolados.

### *Efectos de factores limitantes no controlados*

Debido a que solo muy pocos factores pueden ser variados simultáneamente en los experimentos de campo (usualmente N, P y K en forma de fertilizante compuesto), los resultados y conclusiones obtenidos podrían estar tergiversados, debido a la actuación de un factor desconocido, no determinado, descartado o insospechado, que actuase como un factor limitante.

### *Efectos de factores limitantes accidentales*

La ocurrencia de un factor adverso accidental, que reste valor a la información, puede tergiversar los resultados y las conclusiones.

### *Onerosidad y requerimientos de repetitividad*

Los requerimientos de repetición en el tiempo y en el espacio, propio de los experimentos de campo, hacen que estos sean numerosos y consumidores de mucho tiempo. Como conclusión a todas esas limitantes, el autor señaló que estas podrían alterar los resultados y restringir la experimentación y como consecuencia, una gran proporción de los experimentos de campo, no tendrían utilidad o aun peor, causarían más desorientación que una adecuada referencia. Debido a la importancia de sortear las limitaciones expuestas, plantea la necesidad de un método capaz de minimizarlas, siendo esta la razón por la cual desarrolla y propone el método denominado DRIS.

## PREMISAS SOBRE LAS CUALES SE FUNDAMENTA EL DRIS

### *Generalización de la toma observaciones*

Desde el punto de vista de la respuesta de la planta, cualquier cambio en las condiciones que sobre ellas actúen, bien sean estas deliberadamente provocadas por el hombre o no, resultan en la realidad en un tratamiento. De allí que deben estudiarse sin discriminación ambos tipos de influencias sobre las plantas.

### *Generalización de estudio de todas las observaciones*

Debido a que tales tratamientos pueden influenciar cualquier factor sin importar su naturaleza, implicado en el sistema dinámico planta-ambiente a través de una cadena de reacciones; entonces, de ser posible, todos y cada uno de estos factores deben ser estudiados sin discriminación.

### *Generalización de estudio de las interacciones entre las observaciones*

Ya que cualquier conjunto de observaciones obtenidas en un sitio determinado, bajo condiciones provocadas o no, solo representan una determinada muestra del fenómeno total a ser observado, cualquiera de esas observaciones independientemente de su origen y localización, así como la serie de interacciones entre ellas, necesitan ser estudiadas sin discriminación.

## ESQUEMA EXPERIMENTAL PROPUESTO POR BEAUFILS (1973)

Beaufils (1973), sostenía que “la observación de cualquier componente de un sistema, es considerada análoga a la replicación de un experimento tradicional de observaciones ilimitadas, (si es suficientemente grande el número de observaciones) y localizadas al azar en el cultivo, (si las observaciones están adecuadamente dispersas en el espacio)”, de allí su recomendación de la metodología del “survey” o muestreo aleatorizado de un cultivo para la recolección de la información.

El sistema así diseñado permite estudiar las siguientes relaciones, (presentadas de una manera esquemática).

- Propiedades del suelo → Respuesta de la planta → Rendimiento
- Condiciones climáticas → Respuesta de la planta → Rendimiento
- Prácticas agronómicas → Respuesta de la planta → Rendimiento
- Tratamientos al suelo → Propiedades del suelo → Respuesta del suelo
- Respuesta del suelo + Condiciones climáticas + Prácticas Agronómicas → Respuesta de la planta.

- Respuesta de la planta (sumatoria de caracteres internos) → Rendimiento

Agrega el autor, que dichas relaciones pueden ser progresivamente establecidas y progresivamente recalibradas. Por ejemplo, si la diversidad de condiciones en las hojas (entre otras), son identificadas conjuntamente con el rendimiento y posteriormente reproducidas en el laboratorio, este proceso permitiría estudiar la relación y la influencia de cualquiera de esos factores sobre el rendimiento. Continúa señalando que, con suficiente información aleatoria, se facilitan las siguientes acciones:

- Preseleccionar todas las observaciones obtenidas, que se corresponden con la condición deseada por el investigador, utilizando clases o intervalos para cada parámetro o factor en consideración.
- Estudiar el efecto de las variaciones de cada factor, utilizando diseños estadísticos clásicos.
- Reajustar un factor o una condición cada vez que sea necesario, utilizando técnicas de aproximación, sucesivas y simultáneas.
- Reconponer el diseño a voluntad, para estudiar más particularmente determinado factor.

Establecer un sistema de calibración mediante el uso de coeficientes de regresión u otro factor calibrador, para formular cualquier tipo de relación casual que pueda ocurrir bajo las condiciones analizadas.

Expresó que la idea principal del DRIS, es reproducir bajo techo (por ejemplo en una computadora) las condiciones de campo, en una vía similar a la forma como podría hacerse en un laboratorio, de manera tal que pudiere estudiarse simultáneamente la influencia de un gran número de factores limitantes del rendimiento de las plantas, bajo un predeterminado conjunto de condiciones preseleccionadas.

Según Sumner (1982), el DRIS consiste en un conjunto integrado de normas desarrolladas para evaluar el estado nutricional de un cultivo, y estas normas representan las calibraciones de la composición del tejido de la planta (la composición del suelo, los parámetros del medio ambiente y las prácticas culturales), como funciones de la producción obtenida por un cultivo en particular. Por lo tanto, el DRIS integra más íntimamente el equilibrio nutricional de la planta y el suelo, incorporando otros factores tales como: la edad de la planta y el clima en el diagnóstico, permitiendo así hacer recomendaciones confiables sobre el manejo de los cultivos.

## **CURVA DE UMBRALES DE RESPUESTA**

La curva de umbrales de respuesta, Gráfico 3.1, fue propuesta por Webb (1972) y puede ser utilizada para generar normas de diagnóstico. Fue definida por el autor como “la curva que representa los rendimientos máximos obtenibles a determinados valores de un parámetro o factor cualquiera que influya en el rendimiento”. Este factor puede ser, por ejemplo,

la concentración foliar de un nutrimento en el suelo o la temperatura, entre otros. Agregó, que esta técnica permite estudiar y analizar una gran diversidad de valores de la composición foliar, de una manera coherente y adecuada.

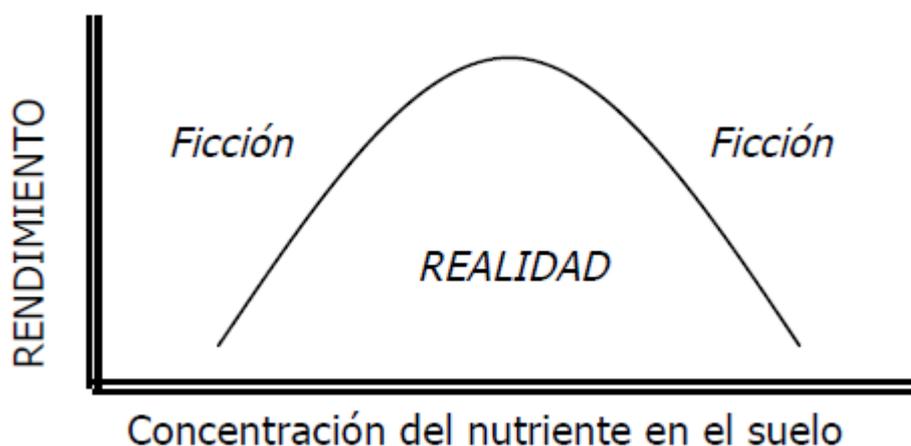


Gráfico 3.1. Curva de umbrales de respuesta de Webb, 1972.

La definición propuesta por Webb (1972), puede ser considerada como una afirmación similar a aquella comentada por Andrew (1968), quien señaló que “para investigaciones confiables sobre los efectos de una deficiencia de nutrientes en el rendimiento de un cultivo, es indispensable que todos los demás factores de crecimiento estén en su óptimo”.

Sumner (1987), por su parte señaló, que la curva del Gráfico 3.1 es la misma utilizada por Beaufils (1973) y Walworth *et al.* (1986). Dicha curva limita el área denominada realidad, en la cual se ubicaría cualquier observación válidamente obtenida sobre un parámetro cualquiera del área denominada ficción, en la cual nunca se podrá ubicar realmente cualquier observación válidamente obtenida. Concluye que, de manera general, la curva de umbrales de respuesta representa los casos extremos de la relación entre el rendimiento y un determinado parámetro foliar o edáfico.

Mediante la práctica de adicionar continuamente información de dicho parámetro a un banco de datos y graficando sucesivamente las particulares relaciones, se puede ir construyendo una serie de curvas de umbrales de respuesta. Estas curvas pueden ser continuamente recalibradas de manera que, finalmente, si se provee suficiente información al banco de datos, se puede establecer la localización precisa de la curva logrando una calibración más exacta de la relación parámetro foliar-rendimiento.

El valor del parámetro foliar en el cual se obtenga el rendimiento máximo, representa el nivel de ese nutriente en particular, óptimo bajo cualquier condición (Walworth y Sumner, 1987, 1988). Sumner (1987), a este respecto indicó que, en términos de futuros trabajos de calibración, podría ser provechoso el uso de la técnica de la curva de umbrales de respuesta, debido a que este sistema soslaya muchos de los problemas asociados con los experimentos de campo clásicos y aquellos que acarrear las técnicas de regresión. Dejando claro que esta aseveración, no significa que deben abandonarse, sino que, podrían redefinirse a esquemas mas apropiados.

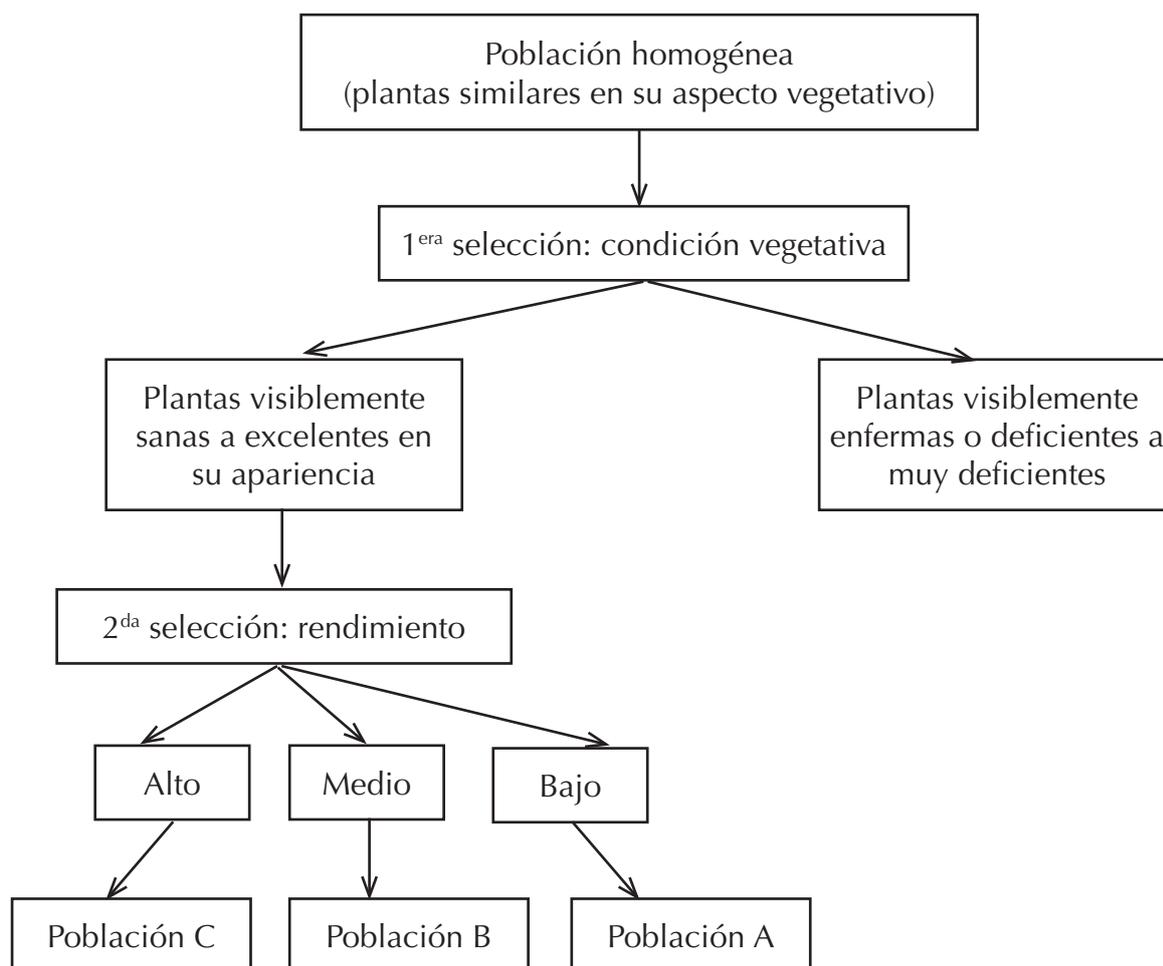
## VÍAS DE DESARROLLO DE LAS NORMAS DE DIAGNÓSTICO EN EL SISTEMA DRIS

El primero paso en la implementación del DRIS o cualquier otro sistema de diagnóstico foliar es el establecimiento de los valores de referencia o normas de diagnóstico DRIS (Walworth y Sumner, 1987). Sin ellas no es posible hacer el diagnóstico a posteriori.

### *Normas DRIS desarrolladas a partir de las plantas de mediano rendimiento*

Beaufils (1973) planteó, el desarrollo de las normas DRIS a partir de un tipo particular de plantas y por ese motivo establece dividir la población seleccionada por su sanidad y apariencia excelente, en tres subpoblaciones en relación al rendimiento: alto, medio y bajo.

El principio de selección de la población es ilustrado en el Gráfico 3.2.



La población B proveniente de la selección basada en los rendimientos medios y con condiciones de excelentes a intermedias, es descrita como la más importante debido a que: (i) Satisface el concepto de equilibrio, es decir, plantas nutricionalmente equilibradas, no afectadas por desequilibrios causantes de bajos rendimientos, o en el otro extremo, causado por agotadores altos rendimientos; (ii) Es comúnmente conocida y por tanto

fácil de definir y seleccionar, y (iii) Permite el establecimiento de reglas fisiológicas por el estudio particular de la población de plantas no afectadas desfavorablemente por condiciones extremas (plantas normales).

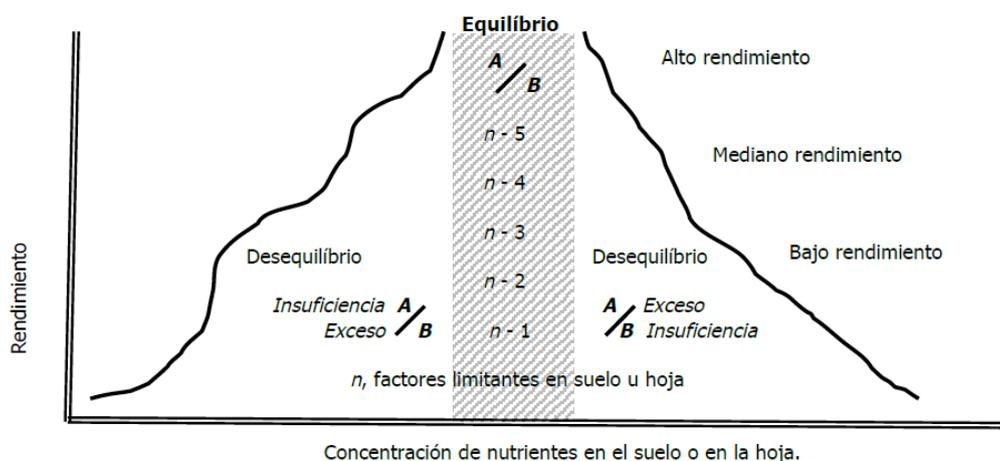
### *Normas DRIS desarrolladas a partir de las plantas de máximo rendimiento*

En el DRIS, otra vía propuesta para desarrollar las normas de diagnóstico (valores de referencia del equilibrio nutricional), es a partir de la composición foliar de las plantas con los más altos rendimientos (Gráfico 3.3) (Beaufils y Sumner 1976; Giménez *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 1997; Sumner, 1987; Sumner y Beaufils, 1975; Walworth y Sumner, 1987). A mayor sea el número de datos de alto rendimiento, la media de las variables del equilibrio nutricional (cociente A/B), se aproximan a un valor constante muy ligado al equilibrio nutricional; este fundamento se representa en el área sombreada de este gráfico.

Así, de esta manera, en la medida que las plantas se acerquen al tope del gráfico, estarán menos afectadas por los factores nutricionales limitantes ( $n - 1$  a  $n - 5$ ) y el número de individuos disminuye.

No obstante, el área sombreada cercana al tope, está compuesta cada vez más, por un mayor número de plantas equilibradas nutricionalmente en el cociente A/B, donde la falta de factores limitantes, les permite expresar los más altos rendimientos en el contexto del equilibrio nutricional.

Mientras tanto, en el otro extremo, en las plantas cercanas al eje x, el número de individuos es proporcionalmente más grande. En ellos podemos observar las dos formas del desequilibrio y del equilibrio de A/B (área sombreada), sin embargo, ninguna de esas plantas expresa su mejor rendimiento, como consecuencia de los innumerables ( $n$ ) factores no nutricionales que les afectan.



**Gráfico 3.3. Representación esquemática del equilibrio nutricional (A/B), en respuesta de los cultivos (líneas gruesas serpenteantes), desde  $n$  numerosos factores limitantes, a cada vez, menos factores limitantes, de  $n - 1$  a  $n - 5$  (Adaptado de Walworth y Sumner, 1987).**

Cuantificar la composición foliar de las plantas con los más altos rendimientos, podría ser tan útil como la obtenida a través de investigaciones con ensayos de fertilización bajo condiciones controladas (Beaufils 1973; Letsch y Sumner, 1984; Sumner, 1990; Walworth *et al.*, 1986, 1988; Walworth y Sumner, 1987, 1988). También indican estos autores, que las informaciones obtenidas por medio de la investigación de las cantidades de fertilizantes a aplicar, fecha de siembra y densidades de siembra a utilizar, para lograr altos rendimientos, pueden ser específicas para cada localidad. En cambio, los niveles de la composición de los nutrientes en los tejidos, pueden tener una aplicabilidad geográfica más amplia (Beaufils, 1973; Sumner, 1990; Walworth y Sumner, 1987).

En un sistema integral de diagnóstico y recomendación, los análisis de suelo, así como otras fuentes de información, deben integrarse con los diagnósticos foliares en forma previa, para que una recomendación confiable pueda ser realizada (Sumner, 1990).

Sobre la base de la información analizada en el párrafo anterior, este tipo de información nutricional puede utilizarse para generar normas foliares óptimas a partir de bancos de datos amplios, en razón del estrecho margen de la composición foliar que generalmente está correlacionada con los niveles más altos de producción (Beaufils, 1973; Malavolta *et al.* 1995; Rodríguez *et al.*, 1997; Sumner, 1990).

### *Desarrollo de los rangos del equilibrio nutricional a partir de las normas DRIS*

Los Rangos del Equilibrio Nutricional (REN), se obtienen a partir de la desviación estándar de la norma de diagnóstico DRIS o valor de referencia del equilibrio nutricional (Beaufils 1957, 1971, 1973; Beaufils y Sumner 1976; Rodríguez *et al.*, 1999, 2005; Sumner, 1986; Walworth y Sumner, 1987).

Para Beaufils (1971), el rango de equilibrio nutricional (plantas no anormales nutricionalmente), está comprendido de valores entre la norma DRIS menos 2/3 el valor de su desviación estándar y la norma DRIS más 2/3 el valor de su desviación estándar; esto abarca un 50 % de la población de referencia, reportando que esos límites fueron sido definidos de manera pragmática en estudios con Hevea, y posteriormente, demostrado su validez matemática (Beaufils, 1957). En el Gráfico 3.3., se observa que en su tope, las plantas de alto rendimiento conforman la mayoría del área sombreada, la cual corresponde al equilibrio nutricional.

Para Elwali y Gascho (1983), el rango de equilibrio nutricional, está comprendido entre la norma DRIS menos el valor de su desviación estándar, y la norma DRIS más el valor de su desviación estándar, en consecuencia, ahora el rango de equilibrio abarca el 68% de la población de alto rendimiento.

No obstante, sugerimos que estas oscilaciones del REN, las cuales van del 50 al 68%, acorde a las referencias de la literatura, tendrían mas sentido, si fuesen establecidas a partir de la dispersión de los datos de la subpoblación

de mas alto rendimiento. En otras palabras, en subpoblaciones muy homogéneas, los límites podrían ser mas amplios y en subpoblaciones muy heterogéneas, serían mas estrechos.

## FORMAS DE EXPRESIÓN DE LOS VALORES DE REFERENCIA O NORMAS DRIS

La composición foliar generalmente es expresada con base a la concentración del nutriente (g o mg) en relación a la materia seca (kilogramos). Diversos autores como, Andrew (1968), Beaufils (1973) y Kenworthy (1967), señalaron que este tipo de forma de expresión depende de la edad fisiológica del tejido estudiado. Por lo tanto, para evitar problemas a la hora de realizar las interpretaciones, debe ejercerse un riguroso control en la recolección de las muestras de tejidos o foliares, de manera de asegurar que estas sean de la misma edad fisiológica que los patrones contra los cuales se comparan los resultados analíticos, sin embargo, aun así, no se resuelven totalmente los problemas de interpretación, tal como lo reseña (Walworth y Sumner, 1987) con el ejemplo siguiente: Sea un análisis foliar cualquiera, en el cual se haya determinado que el contenido de N está por encima de los valores óptimos, podrían establecerse las siguientes opciones:

- Exceso de N con relación a un contenido normal de materia seca en el tejido de la planta.
- Contenido de materia seca en el tejido de la planta, insuficiente con relación al contenido de N.

Si no se cuenta con normas de referencia para la materia seca (MS), es imposible determinar cuál de las dos opciones es la correcta. Generalmente se asume que la materia seca es un valor fijo, lo cual no siempre es verdad, y hay la inclinación de favorecer la opción de que existe un exceso de N. Lógicamente, la segunda opción también es posible, y ocurre cuando la planta ha absorbido una cantidad de N adecuada para su edad, pero se ha retrasado la acumulación de materia seca, como consecuencia de una condición desfavorable en cualquier otro factor de crecimiento.

Por las razones expuestas, hay dos corrientes de pensamiento en relación con cómo construir las formas de expresión de las normas DRIS: La de Beaufils de 1973 y la de Sumner de 1977.

### *Normas DRIS como cocientes entre pares de nutrientes*

La propuesta de Beaufils de 1973, consiste en que la mejor forma de expresión de los valores de referencia o normas DRIS, sería aquella con base a cocientes entre pares de nutrientes, esto con el objetivo de reducir el efecto modificador que introduce la edad del tejido muestreado en el diagnóstico o interpretación de un determinado análisis foliar. Por ejemplo, la forma de expresión tal como N/P, consiste en la relación entre esos dos nutrientes, donde cada uno de ellos estuvo debidamente referenciado con la materia seca, lo cual puede expresarse como:

$$\frac{\text{g N/kg MS}}{\text{g P/kg MS}} \rightarrow \text{Aplicando la doble "C"} \rightarrow \frac{\cancel{\text{g N}} \times \cancel{\text{kg MS}}}{\cancel{\text{g P}} \times \cancel{\text{kg MS}}} = \frac{\text{N}}{\text{P}}$$

Expresión en la cual puede verse que los valores de g, kg y MS se eliminan, obteniendo la expresión N/P.

Asimismo, los pares de nutrientes de Beaufils de 1973, consisten en cocientes y productos entre todos los nutrientes, sin las restricciones impuestas por la fisiología de cada nutriente, así de esta manera las formas de expresión por ejemplo para los nutrientes N, K y B, serían los cocientes: N/K, K/N, N/B, B/N, K/B y B/K y los productos: N x K, N x B y K x B.

### *Normas DRIS como cocientes o productos entre pares de nutrientes, en concordancia a la fisiología de los nutrientes en la planta*

Por su parte la propuesta de Sumner (1977), se fundamenta en que las formas de expresión de los valores de referencia o normas DRIS, van a depender de la fisiología del nutriente. De esta forma, cuando la concentración de los nutrientes disminuye o se incrementa con la edad del tejido, es decir que van en una misma dirección, las formas de expresión como cocientes son las más apropiadas; pero si por el contrario son divergentes, es decir, van en direcciones opuestas, la mejor forma de expresión es el producto entre los nutrientes.

Sobre esta base, los nutrientes se pueden agrupar en: los que disminuyen con la edad del tejido (N, P y K) y los que incrementan con la edad del tejido (Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn). Por lo tanto, los cocientes se forman solamente dentro de los nutrientes de cada grupo y los productos entre los nutrientes de los grupos divergentes (Sumner, 1986).

Con el fin de aclarar cómo se forma el producto, el elemento Ca, el cual incrementa con la edad del tejido, se analiza como su recíproco (1/Ca), para lograr que su valor disminuya con la edad, tal como ocurre con el N, P y K, permitiendo elaborar el producto de la siguiente manera:

$$\frac{\text{N}}{1/\text{Ca}} = \text{N x Ca}$$

La expresión de las normas como producto entre nutrientes, reduce o elimina el efecto del envejecimiento sobre la divergencia en la relación entre los elementos, permitiendo estudiar apropiadamente la relación entre los dos grupos. Los valores de expresión de las normas de diagnóstico determinados de esta manera, se mantienen constantes con la edad de los tejidos dentro de unos límites relativamente más amplios, alternativa que se presenta como oportuna para ampliar la utilidad y la precisión de los diagnósticos foliares.

La utilidad de la forma de expresión como producto, es ilustrada con un ejemplo. Beverly *et al.* (1984), diagnosticaron el estado de los elementos N, P, K, Ca, y Mg en las hojas de naranjo "Valencia", (*Citrus sinensis* L., Osbeck), mediante normas DRIS desarrolladas con base a las formas de expresión como cocientes propuestas por Beaufils en 1973. Concluyeron que los índices de los nutrientes fueron afectados por la edad de la hoja.

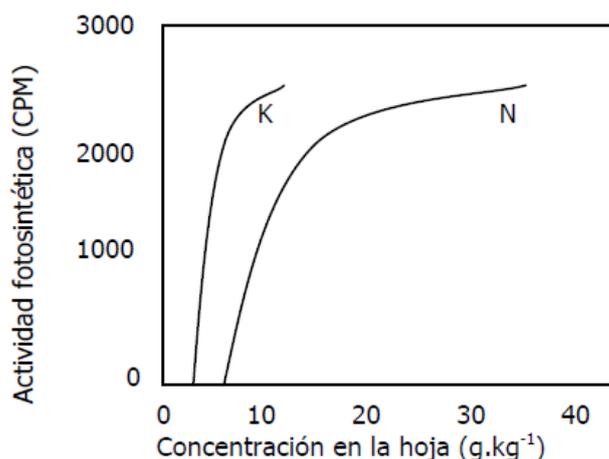
En contraposición, Sumner (1986), realizó un análisis de los mismos datos analizados por Beverly *et al.* (1984), pero expresando las relaciones que conciernen a los demás elementos en relación con el Ca y el Mg, en forma de productos, (N x Ca), y no en forma de cocientes (N/Ca o Ca/N), tal como fue propuesto por Sumner (1977), encontrando que la edad de la hoja del naranjo no tenía un efecto sustancial en los diagnósticos nutricionales arrojados por el sistema DRIS. Por las razones expresadas, concluyó que para obtener una real y total ventaja de la flexibilidad que ofrece el uso de dicho sistema, debe utilizarse la vía de expresión de las normas, más adecuada a la fisiología del nutriente. Con base a lo expuesto, se recomienda determinar para cada cultivo en particular, la tendencia que toman con la edad los nutrientes y escoger la forma de expresión que se mantenga más estable con el envejecimiento (Nachtigall, 2005; Walworth y Sumner, 1987).

#### *Normas DRIS como cocientes o productos entre pares de nutrientes, en concordancia a la fisiología de los nutrientes en la planta y a las interacciones entre elementos en el suelo*

En este capítulo, se recomienda una tercera vía para determinar las formas de expresión de las normas DRIS, enfatizándose en el establecimiento de normas de referencia nutricional, mediante el estudio particular de la población de plantas no afectadas desfavorablemente por condiciones extremas (plantas normales).

La propuesta planteada consiste en: utilizar relaciones fisiológicas de interacción reportadas en plantas y las interacciones entre los elementos en el suelo, tanto entre cationes, ej. Ca/Mg, como también entre aniones y cationes, para calibrar esas relaciones contra el rendimiento.

Esta propuesta se fundamenta, sobre la base de que un importante número de interacciones entre los nutrientes, tanto sinergismos como antagonismos, están debidamente sustentados fisiológicamente en los diversos procesos de las plantas. Entre esas interacciones, han sido reportadas las siguientes: N y Cu en el metabolismo de grasas, por Seymour *et al.* (1946); antagonismo entre el Fe y el Mn, por Somers y Shive, (1942); interrelación entre aniones y cationes, por McCalla y Wooford, (1938) y proporción N, P y K foliar, por Thomas, (1937, 1938). Todas ellas debidamente sustentadas en los diversos procesos de las plantas, dado que se corresponden en general, a concentraciones asociadas con la intensidad máxima de procesos fisiológicos muy definidos, tal como lo muestra el Gráfico 3.4., adaptado de Malavolta *et al.* (1997).



**Gráfico 3.4. Significado fisiológico de los niveles críticos del K y del N.**

Fuente: Adaptado de Malavolta *et al.* (1997).

En los suelos, las relaciones fisiológicas de interacción ocurren, porque la velocidad de absorción de un elemento puede ser aumentada (sinergismo), disminuida (antagonismo o inhibición), o no ser influenciada por la presencia de otro. La presencia de  $\text{Ca}^{2+}$ , impide la elevada absorción de  $\text{Cu}^{2+}$ . Un exceso de  $\text{K}^+$  en el medio, puede causar carencias de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , proceso conocido como inhibición competitiva (Blanchet y Bosc, 1966; Boynton y Burell, 1944; Ferreira y Pessôa, 1991; Malavolta *et al.*, 1997). La interacción P–Zn, describe como el P induce deficiencias de Zn y viceversa. Altos niveles de P en el suelo o grandes aplicaciones de fosfatos, inducen insuficiencia de Zn en la planta (Payne *et al.*, 1986).

Rodríguez *et al.* (2007), en el cultivo de plátano Hartón (*Musa* AAB, subgrupo plátano, cv. Hartón), utilizaron esta vía de desarrollo de normas de referencia nutricional, calibradas entre algunos atributos y propiedades de suelos y los niveles de nutrientes asociados linealmente contra varios niveles de rendimiento.

## SELECCIÓN DE LAS NORMAS DRIS PARA TEJIDOS Y SUELOS

Las normas DRIS para tejidos y suelos, se seleccionan a partir de las formas de expresión como cocientes o productos. En primera instancia, se desarrollan a partir de los grupos de plantas de referencia, en segunda, a partir de la potencialidad en detectar anomalías nutricionales, por estar asociadas significativamente a las plantas de referencia.

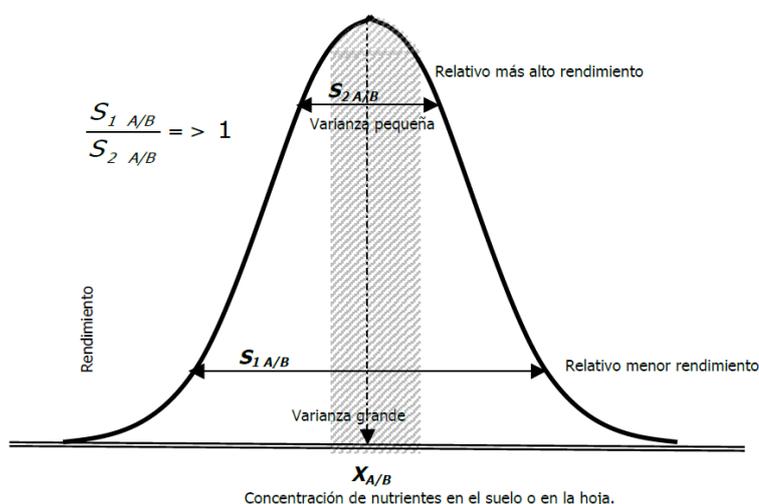
Las plantas de referencia pueden ser las plantas de mediano rendimiento (Beaufils, 1973; Reis *et al.*, 2002a; Wadt *et al.*, 1999;) o las plantas de máximo rendimiento (Arnold *et al.*, 1992; Bataglia, 1989; Bell *et al.*, 1995; Beverly, 1993; Beverly *et al.*, 1984; Burke y Rainal, 1998; Dara *et al.*, 1986; Jones, 1981; Sumner, 1986; Sumner, 1990; Walworth *et al.*, 1986).

### Selección de Normas DRIS, a partir de los grupos de plantas de referencia

Es pertinente hacer un corte en el banco de datos a utilizarse para la generación de las normas, posteriormente escoger el grupo de plantas de referencia y en consecuencia, proceder a aplicar el método de selección de normas.

Para establecer el punto de corte, se reportan interesantes resultados. Por un lado, Wadt *et al.* (1999), atendiendo los señalamientos de Beaufile (1973), proponen la población de mediano rendimiento comprendida a partir de la media del rendimiento, mas o menos una vez la desviación estándar de la productividad. Evanylo *et al.* (1988) encontraron en el cultivo del tabaco, que con mejor concentración de alcaloides y el valor de la cosecha se obtienen menor número de normas significativas en comparación a cuando se usó el rendimiento. Letzsch y Sumner (1984) trabajando con maíz, demostraron que no hubo efecto del punto de corte en el rendimiento sobre la precisión de las normas y por esta razón, propusieron al igual que Walworth y Sumner (1987) y Angeles *et al.* (1990), el criterio económico, en el cual, el punto de corte puede ser el mejor rendimiento que los agricultores obtienen como rutina en su respectiva zona.

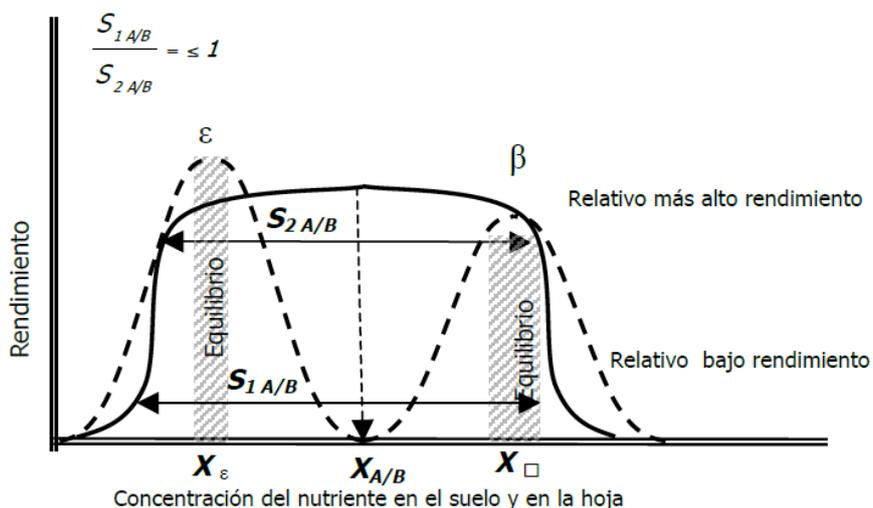
Definido el punto de corte, la selección de las normas DRIS, se basa en la prueba de discriminación de las varianzas, la cual determina la relación entre la varianza más grande ( $S_1 A/B$  = subpoblación de relativo menor rendimiento) y la varianza más pequeña ( $S_2 A/B$  = subpoblación de relativo más alto rendimiento) de un banco de datos con distribución normal (Sumner, 1977) (Gráfico 3.5.), donde sus resultados siempre deben ser mayor a 1.



**Gráfico 3.5. Representación de la prueba de discriminación entre la varianza de la subpoblación de relativo menor rendimiento ( $S_1 A/B$ ) y la de relativo más alto rendimiento ( $S_2 A/B$ ), la cual por ser mayor a 1, también muestra la selección de la media del cociente A/B ( $X_{A/B}$ ) como valor de referencia del óptimo equilibrio nutricional (área sombreada) en el grupo de plantas de máximo rendimiento.**

Jones (1981), resaltó que la relación de varianza o cocientes entre nutrientes en poblaciones de alto rendimiento, es menor que el de una población de menor rendimiento. Por lo tanto, la prueba de las relaciones de varianza entre ambas subpoblaciones, es útil para la selección de normas. En consecuencia, Walworth y Sumner (1987) señalaron que es importante y deseable, que la selección de las normas, esté basada en un banco de datos con normalidad en la distribución de sus datos. De lo contrario, la media calculada para cualquier cociente o producto, podría diferir del valor verdadero que está presente en la plantación de alto rendimiento.

Los argumentos de Jones (1981) y Walworth y Sumner (1987) constituyen el fundamento de la universalidad de las normas DRIS, dado que la normalidad de los datos en tamaños de muestra muy grandes, ocurre independientemente de la forma de la población muestreada. Esto último hace referencia a las poblaciones infinitas de distribución no normal, las cuales tienden a distribuir con normalidad las variables de sus grandes muestras (ver detalles en la técnica del muestreo, capítulo 2). Queda en el aire la pregunta a contestar ¿Qué tan grande requiere ser la muestra para acercarse a la normalidad y universalidad? La respuesta es, que dependerá del objetivo del investigador, el cual por un lado, si plantea elaborar normas universales para un determinado cultivo, por ejemplo a nivel latinoamericano, se enfrenta a una población infinita de distribución no normal, que exigiría una muestra lo suficientemente grande (por el orden de decenas de miles) para lograr el Gráfico 3.5.; mientras que si el ejemplo es para diferentes localidades venezolanas, exigiría muestras mas pequeñas (por el orden de miles), para lograr el mismo gráfico. Es importante reseñar que si el tamaño de la muestra no fue lo suficientemente grande, (para ambos casos) ocurriría lo presentado en el Gráfico 3.6.



**Gráfico 3.6. Representación gráfica de la muestra insuficientemente grande (línea continua) y su efecto sobre la prueba de discriminación de varianzas entre la subpoblación de bajo rendimiento ( $S_{1 A/B}$ ) y la de relativo más alto rendimiento ( $S_{2 A/B}$ ). Las líneas discontinuas representan la estratificación de la muestra insuficientemente grande.**

Bajo estas condiciones, tal como se observa en la línea continua, el efecto sobre la prueba de discriminación de varianzas es determinante, obteniéndose valores menores o iguales a 1, los cuales reseñan que la variabilidad en el tope de la curva es semejante a la base y por supuesto, la media ( $X_{A/B}$ ), no representa el valor verdadero que corresponde al óptimo equilibrio nutricional.

En el Gráfico 3.6., el área del óptimo equilibrio nutricional (áreas sombreadas de  $\epsilon$  y  $\beta$ ), solamente aparecerá cuando se estratifique adecuadamente el banco insuficientemente grande, en otros bancos mas pequeños, que permitan obtener la distribución normal de sus datos (líneas discontinuas). Este gráfico permite ilustrar de manera práctica, la confusión que ocasionaría utilizar inadecuadamente la media  $X_{A/B}$ , como valor de referencia o norma DRIS, la cual se visualiza en el centro del eje x, entre las dos poblaciones normales.

Supongamos que el valor de la muestra problema o tejido con desequilibrio nutricional, es mayor que  $X_{A/B}$ , o sea igual a  $X_\epsilon$ , la interpretación indicaría que hay un déficit nutricional y se procedería a aumentar erróneamente la aplicación de nutrientes por la vía de los fertilizantes, y por supuesto la población estaría permanentemente en un desequilibrio nutricional por exceso. Mientras que, por otro lado, si la suposición es que la muestra problema se colectó en la *población*  $\beta$ , la restricción de aplicar fertilizantes tendría las mismas consecuencias en el equilibrio nutricional, pero opuestas porque la *población*  $\beta$ , permanentemente se mantendrá en el desequilibrio nutricional por déficit, dado que el valor verdadero de la norma en el equilibrio nutricional es  $X_\beta$ , y este por estar por encima de  $X_{A/B}$ , indicaría que las dosis de fertilizantes utilizadas son excesivas y se procederían a disminuirlas progresivamente.

Esta última discusión no le quita la universalidad a la media, como norma de diagnóstico DRIS, ya que la estratificación es una solución alternativa a una muestra lo insuficientemente grande, de manera tal que se generen los beneficios de la Gráfica 3.5. en obtener medias locales o mas específicas a los estratos (países, regiones, estados, municipios, fincas o lotes, patrones, cultivares, etc.)(Reis *et al.*, 2002a; Reis *et al.*, 2002b; Rodríguez *et al.*, 1997). Mientras que la otra alternativa es regresar al campo y continuar los muestreos, hasta lograr la muestra lo suficientemente grande para que la normalidad se haga presente en el banco de datos, acorde al objetivo planteado, entre países, entre regiones, entre estados, etc.

En el caso de las relaciones entre pares de nutrientes (N/P o P/N) o productos (N x Ca, ó Ca x N), la prueba de discriminación de la varianza, califica la mayor relación de varianzas entre el grupo de menor rendimiento y el de mayor rendimiento para cualquier forma de expresión (A/B o B/A) de la siguiente forma:

$$\text{Si: } \frac{S_{1(A/B)}^2}{S_{2(A/B)}^2} > \frac{S_{1(B/A)}^2}{S_{2(B/A)}^2} \Rightarrow \text{Cociente a utilizarse como norma} \Rightarrow A/B$$

$$\text{Si: } \frac{S_{1(A/B)}^2}{S_{2(A/B)}^2} < \frac{S_{1(B/A)}^2}{S_{2(B/A)}^2} \Rightarrow \text{Cociente a utilizarse como norma} \Rightarrow B/A$$

de los valores de B/A en la subpoblación de altos rendimientos

Donde:

- $S_{1(A/B)}^2$  = Varianza de los valores de A/B en la subpoblación de menor rendimiento.  
 $S_{2(A/B)}^2$  = Varianza de los valores de A/B en la subpoblación de máximo rendimiento  
 $S_{1(B/A)}^2$  = Varianza de los valores de B/A en la subpoblación de menor rendimiento  
 $S_{2(B/A)}^2$  = Varianza de los valores de B/A en la subpoblación de máximo rendimiento

### *Normas DRIS seleccionadas a partir de la potencialidad en detectar anomalías nutricionales*

En segunda instancia, la mayor relación de varianzas entre el grupo de menor y el de más alto rendimiento es calificada mediante la prueba de F. En este caso, el valor que delimita las diferencias significativas de las no significativas, se obtiene de la tabla de F, buscando el valor que coincida en la intersección entre las columnas y las líneas, siendo para las columnas el número de muestras de la subpoblación de menor rendimiento y para las líneas, el número de muestras de la población de más alto rendimiento.

Sin embargo, debido a que esta alternativa basada en la estadística, determina la selección de las formas de expresión, a partir del concepto de que la escogencia del cociente, solamente es válida, cuando discrimine significativamente entre las subpoblaciones referencia y menor rendimiento (Jones, 1981; Needham et al., 1990; Rathfon y Burger, 1991; Sumner, 1977; Wadt et al., 1999 y Walworth et al., 1986), ocurre que en muchos casos, quedan algunos nutrientes sin ser representados en las formas de expresión de las normas seleccionadas. Por lo tanto, hay que recurrir transitoriamente, a seleccionar las formas de expresión de las normas, utilizando aquellas cuya relación de varianza sea mayor. En estos casos, cuando el banco de datos sea alimentado por nuevas muestras, podrían aparecer diferencias significativas en esas normas seleccionadas transitoriamente por su relación de varianza mayor a uno.

## **EFFECTOS DE DIFERENTES VARIABLES SOBRE LAS NORMAS DRIS**

### *Efecto de la posición de la hoja muestreada sobre las normas DRIS*

Walworth y Sumner (1987), encontraron que al realizar el diagnóstico con el sistema DRIS en hojas de maíz de variada posición dentro de la planta, solo ocurrieron variaciones menores en el diagnóstico, y el nutriente diagnosticado como el más necesitado, siempre resultó altamente independiente de la posición de la hoja analizada. Esta característica, le confiere un enorme potencial de utilidad al desarrollo de esquemas de muestreo alternativos y más amplios.

### *Efecto de la edad sobre las normas DRIS*

Sumner (1977a, b), realizó el diagnóstico del follaje de maíz y de soya a través del DRIS, con plantas de una gran variedad de edades, de localidades y de posiciones de la hoja en la planta, y reportó que no ocurrieron cambios significativos en el orden de requerimiento diagnosticado de los nutrientes.

Con base a estos estudios, Walworth y Sumner (1988), expresan que el DRIS, puede minimizar en muchos casos las limitaciones causadas por la edad del tejido muestreado, limitaciones consideradas como las más severas para otros sistemas de diagnóstico.

### *Efecto de la ubicación geográfica sobre las normas DRIS*

En una comparación, entre las normas DRIS para caña de azúcar derivadas de datos generados en suelos contrastantes de Florida, EE.UU. y Sudáfrica (Sumner y Beaufils, 1975), fue determinado que, a pesar de las grandes diferencias en condiciones edáficas y ambientales, las normas derivadas promediando los valores de los dos grupos de plantas más productivas, resultaron virtualmente idénticas.

Por otra parte, Walworth y Sumner (1988), reportaron que, al comparar normas derivadas de hojas de maíz de diversas partes del mundo, se consiguieron diferencias sustanciales, fundamentalmente en los valores de Ca y Mg. Esta situación, podría conferirle algunas limitaciones a la aplicación universal de las normas desarrolladas en una localidad. Estos autores asumen que dichas variaciones reflejan una variación permisible en los niveles de Ca y Mg en los tejidos de las plantas de más altos rendimientos, y que esta asunción podría ser confirmada a través del análisis de los valores relativos de los coeficientes de variación, asociados con las relaciones de los diferentes nutrientes en las poblaciones de altos rendimientos. Los coeficientes indicados para Mg/MS fueron de 42%, mientras que para N/MS, P/MS y K/MS fueron de 12, 30 y 32%, respectivamente.

Así mismo, Walworth y Sumner (1988), encontraron que esta variación fue tomada en consideración en la ecuación de cálculo de los índices de diagnóstico.

Debido a las razones recién expuestas, para Sumner (1977a) y Walworth y Sumner (1987), las expresiones desarrolladas de los valores de las plantas con elevados rendimientos, tienen una gran validez. Las normas desarrolladas de datos provenientes de una amplia gama de condiciones, serían válidamente aplicables a esas condiciones específicas, si la variación normal de los parámetros, está realmente representada en el banco de datos del cual se extrajeron (Walworth y Sumner, 1987).

Según Munson y Nelson (1990), los resultados obtenidos de los estudios de maíz por Escano *et al.* (1981) y en alfalfa, Walworth (1985), han indicado que las normas desarrolladas local o regionalmente, producen mayor precisión en el diagnóstico de deficiencias o desequilibrios que aquellos producidos por normas de otras regiones.

## **EL DIAGNÓSTICO EN EL SISTEMA DRIS**

El diagnóstico del estado nutricional de plantas a través de su composición foliar, depende de la precisión de las normas o promedios contra los cuales son comparados los resultados analíticos. Es decir, la precisión de un diagnóstico foliar depende de la constancia en la relación entre la composición foliar y la respuesta de los cultivos (Walworth y Sumner, 1987).

La aplicación del DRIS al diagnóstico de tejidos de plantas, permite establecer una gradación relativa de los elementos bajo diagnóstico, desde los más deficientes hasta los menos deficientes (Beaufils, 1973; Sumner, 1981; Walworth y Sumner, 1987, 1988). Para la realización de un diagnóstico DRIS, es imprescindible contar con los datos de análisis de tejidos y con las normas de diagnóstico desarrolladas para un cultivo (Beaufils, 1973; Sumner, 1981; Walworth y Sumner, 1987, 1988; Rodríguez y Rodríguez, 1997).

El diagnóstico se realiza mediante el estudio de las relaciones de equilibrio entre todos los elementos analizados, y no a partir del estudio comparativo del contenido absoluto de los nutrientes en los tejidos. Esas relaciones de equilibrio, son definidas a través del cálculo de los denominados índices de los nutrientes DRIS (I-DRIS), para cada elemento en particular (Beaufils, 1973; Sumner, 1981; Walworth y Sumner, 1987, 1988; Rodríguez y Rodríguez, 1998a).

La fórmula del índice de un nutriente, es desarrollada a partir de la operación de las sumas y restas de las funciones  $f(A/n)$ , o comparaciones de ese nutriente contra todos los nutrientes bajo consideración.

### *Fórmulas de comparación o funciones DRIS en el diagnóstico*

Primero realizan las confrontaciones entre las formas de expresión calculadas para la muestra problema, contra la norma respectiva, luego transforma los valores de las formas de expresión de la muestra problema en valores normalizados (Álvarez y Leite, 1992), es decir, con media cero y desviación estándar uno. Por último, los ajusta acorde a un factor arbitrario y al valor del coeficiente de variación de la correspondiente norma.

Las funciones DRIS de Beaufils (1973), son las siguientes:

$$f(A/B) = \left[ \left( \frac{A/B}{a/b} \right) - 1 \right] \frac{100 \times k}{C.V.}; \text{ cuando } A/B \geq a/b$$

$$f(A/B) = \left[ 1 - \left( \frac{a/b}{A/B} \right) \right] \frac{100 \times k}{C.V.}; \text{ cuando } A/B < a/b$$

Siendo:

A/B: Forma de expresión calculada en los análisis de rutina.

a/b: Forma de expresión reportada como valor de referencia o norma DRIS.

C.V.: Coeficiente de variación de la norma DRIS, en la población de referencia.

100: Es el 100 del C.V.

k: Factor arbitrario, que asegura que los valores de los índices sean enteros (Beverly, 1993), sin ningún propósito funcional (Walworth y Sumner, 1987), del cual usualmente se propone que  $k = 10$ .

Es muy importante destacar la posición del coeficiente de variación en el denominador de la función DRIS, lo cual es relevante cuando se definen normas con una alta variabilidad en los datos. Esta disposición del C.V., permite que la contribución de la varianza en la formación del índice DRIS de interpretación (I-DRIS) sea menor, dando oportunidad que los de menor variabilidad y por ende los más importantes, contribuyan mayoritariamente con el diagnóstico.

### *Índices de los nutrientes DRIS (I-DRIS) en el diagnóstico*

Si el diagnóstico en el sistema DRIS se intenta realizar de la misma manera que se realiza en los sistemas del *nivel crítico* o el de los *rangos de suficiencia*, es decir, a través de la comparación del contenido de los nutrientes de la muestra problema contra las normas, resulta un proceso tedioso, dado el gran número de comparaciones que hay que realizar (Rodríguez *et al.*, 1998, 1999). Adicionalmente, la sola comparación uno a uno de los contenidos de los elementos contra las normas, no permite definir las relaciones de equilibrio entre los diferentes elementos (Rodríguez *et al.*, 1998, 1999).

Por esa razón, en el DRIS, se ha desarrollado un procedimiento matemático de diagnóstico, a través del cálculo de los I-DRIS de cada nutriente (Rodríguez *et al.*, 1998, 1999). Estos I-DRIS de cada nutriente, permiten evaluar las relativas deficiencias o excesos de cada nutriente en particular.

Sobre la base de lo discutido en este tema, y debido a la naturaleza dinámica de la composición foliar, el proceso de diagnóstico de plantas, debe tratarse como un ejercicio complejo, y no limitarse a la simple comparación individual de los resultados analíticos de cada nutriente contra valores críticos o contra los rangos de suficiencia correspondientes (Sumner, 1975).

Con el cálculo de los índices para cada nutriente, el sistema DRIS facilita la interpretación de las numerosas y complejas comparaciones realizadas con las funciones DRIS en una muestra problema. A partir de esta innovación introducida por Beaufils (1973), la definición conceptual del índice de los nutrientes DRIS o I-DRIS sería: índice de interpretación del equilibrio nutricional y su definición matemática, la media de las desviaciones a partir del valor de referencia.

Por ejemplo, para un nutriente cualquiera "A" el IA se calcula de la siguiente manera (Walworth y Sumner, 1987):

$$\text{Índice de A} = \frac{[f(A/B) + f(A/C) + f(A/D) + (-) f(E/A) + \dots\dots\dots f(A/n)]}{z}$$

La fórmula del índice de un nutriente, es desarrollada a partir de la operación de las sumas y restas de las funciones o comparaciones  $f(A/n)$ . En la operación, "z" representa el número de funciones en las cuales está presente el nutriente bajo estudio. A, B, C y n, son los valores de contenido de cada nutriente (Walworth y Sumner, 1987).

Las funciones para un nutriente A son iguales a cero ( $f(A/n) = 0$ ), cuando la concentración del nutriente en la muestra es igual a la norma DRIS.

Las funciones para un nutriente A son mayores a cero ( $f(A/n) > 0$ ), cuando la concentración del nutriente en la muestra es mayor a la norma DRIS.

Las funciones para un nutriente A son menores a cero ( $f(A/n) < 0$ ), cuando la concentración del nutriente en la muestra es menor a la norma DRIS.

De esta manera, los índices de interpretación del equilibrio nutricional son reportados como unos valores numéricos, los cuales pueden resultar como positivos, negativos o iguales a cero (Walworth y Sumner, 1987, 1988). Estos valores se pueden ordenar de menor a mayor y realizar el diagnóstico del equilibrio nutricional de la planta.

Sin embargo, las consideraciones del relativo equilibrio y deficiencia o exceso de un nutriente con relación a los demás, no quieren decir precisamente, que un nutriente individual está en una concentración óptima, deficiente o en exceso, dentro del tejido de la planta (Beaufils, 1973; Jones *et al.*, 1991; Walworth y Sumner, 1987, 1988).

Por lo tanto, es necesario realizar una comparación final, entre los valores de los nutrientes provenientes del laboratorio y sus correspondientes índices calculados, contra los rangos de equilibrio nutricional (normas DRIS,  $\pm$  su desviación estándar), para poder realizar el diagnóstico final del equilibrio nutricional de la planta y posteriormente, elaborar unas recomendaciones (Rodríguez y Rodríguez, 1998b).

#### *Índices del equilibrio nutricional total (IEN-DRIS)*

La segunda fase en el diagnóstico en el sistema DRIS, envuelve la determinación de los índices de equilibrio nutricional (IEN-DRIS; en inglés NBI, de *Nutrient Balance Index*) de todos los nutrientes en la planta o tejido analizado, a través de la suma algebraica de los valores absolutos de los I-DRIS calculados para cada nutriente (Beaufils, 1973; Rodríguez y Rodríguez, 1998b; Rodríguez *et al.*, 1999; Walworth y Sumner, 1987, 1988).

El IEN-DRIS por sí solo, no es determinante para un adecuado diagnóstico del potencial de rendimiento de un cultivo, ya que la precisión de un diagnóstico foliar depende de la constancia en la relación entre la composición foliar y la respuesta de cultivos (Walworth y Sumner, 1987). Para un adecuado diagnóstico del potencial de rendimiento de un cultivo, se requiere adicionalmente, establecer la correlación entre el rendimiento o cualquiera de sus componentes y los IEN-DRIS, para que de esa manera, se pueda predecir el rendimiento de cualquier componente de interés (Rodríguez *et al.*, 1998, 1999; Walworth y Sumner, 1987, 1988). Por lo tanto, mientras mayor sea el desequilibrio nutricional en la muestra de tejido, mayor serán los valores de los IEN-DRIS y viceversa, mientras menor sea el desequilibrio del nutriente con respecto al valor óptimo, ese valor tiende a cero (Beaufils, 1973; Rodríguez y Rodríguez, 1998b; Rodríguez *et al.*, 1998, 1999; Walworth y Sumner, 1987, 1988).

Ha sido reportado que, altos valores de IEN-DRIS están relacionados con bajos rendimientos, y a su vez, los cultivos con altos rendimientos tienen bajos valores de IEN-DRIS (Beaufils, 1973; Rodríguez y Rodríguez, 1998b; Rodríguez *et al.*, 1998, 1999; Sumner, 1990; Walworth y Sumner, 1987, 1988).

#### **ALGUNAS VENTAJAS DEL SISTEMA DRIS**

- **Determinación de la secuencia en la cual cada nutriente es limitante.** El DRIS permite ordenar los nutrientes de forma secuencial, de acuerdo a su grado o nivel de limitación del rendimiento del cultivo (Beaufils, 1973; Walworth y Sumner, 1987), desde el más limitante por deficiencia, hasta los que están en exceso. Con base a esta premisa, varios trabajos han comparado la precisión del diagnóstico entre el sistema DRIS y el de valores críticos, el de los rangos de suficiencia y el DOP, (Baldock y Shutle, 1996; Bell *et al.*, 1995; Beverly, 1993; Bowen, 1992; Dara *et al.*, 1992, Hallmark y Beverly, 1991; Giménez *et al.*,

2004; Jones, 1981; Munson y Nelson, 1990; Roberts y Rhee, 1993; Sumner, 1975; Walworth *et al.*, 1988). En estas publicaciones se concluye, que los diagnósticos mediante el sistema DRIS son mas seguros y precisos que los del diagnóstico por los otros sistemas.

- **Diagnóstico independiente de la edad del cultivo.** El DRIS permite realizar un diagnóstico nutricional en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, es decir, es menos sensible que otros sistemas de diagnóstico al envejecimiento de los tejidos, habiendo sido esto demostrado en diversos trabajos (Beaufils, 1973; Beaufils y Sumner, 1977; Romaniya y Vallejo, 1996; Sumner, 1977b, 1977c, 1977d; Sumner y Beaufils, 1975; Walworth y Sumner, 1987).
- **Eficiencia en el uso de recursos y tiempo para la generación de normas.** El DRIS permite una economía de recursos y del tiempo necesario para el desarrollo de normas DRIS (Beaufils, 1973; Walworth y Sumner, 1987; Romaniya y Vallejo, 1996; Rodríguez *et al.*, 1997).
- **Incorporación del C, H y O en el diagnóstico.** El DRIS permite incorporar en el diagnóstico, a la materia seca del cultivo (C, H y O), como otro nutriente (Bell *et al.* 1995; Hallmark, 1988; Hallmark *et al.*, 1988, 1992, 1994; Rodríguez y Rodríguez, 1997, 1998a; Romaniya y Vallejo, 1996; Sumner, 1981; Walworth y Sumner, 1987, 1988).
- **Incorporación de las interacciones entre los factores que determinan el rendimiento.** Las interacciones entre nutrientes son tomadas en cuenta en el DRIS, habiéndose demostrado que este sistema funciona correctamente, aun existiendo esas interacciones, Payne *et al.* (1985), Sumner (1975).
- **Universaliza y amplía la aplicabilidad de las normas.** El sistema DRIS, elimina muchos de los problemas asociados con la determinación de los valores críticos de las respuestas a la aplicación de fertilizantes, debido a que las normas no son derivadas de un limitado número de observaciones. Al efecto, según Walworth y Sumner (1987), se ha observado que las normas DRIS, derivadas de bancos de datos recogidos en diversas partes del mundo, difieren muy poco. Las normas para caña de azúcar derivadas en Florida por Elwali y Gascho (1983), son prácticamente idénticas a las producidas en Sudáfrica por Beaufils y Sumner (1976).
- **Eliminación de las limitaciones de factores ambientales en el diagnóstico.** Una ventaja adicional del DRIS, estriba en que en las normas así desarrolladas, están eliminadas las limitaciones impuestas por factores ambientales, sí se parte de las premisas expresadas por Andrew (1968), quien afirmó que: “para conocer el real efecto limitante de un determinado nutriente en el rendimiento, todos los demás factores deben estar en óptimas condiciones”; esto es lo que determina que al conocer y utilizar las plantas de máximo rendimiento, también se tienen aquellas

con el mayor número de factores en óptimas condiciones. Dicha afirmación fue ampliada por Webb (1972), al expresar que “solo el rendimiento máximo obtenible a un valor de un parámetro, tal como la concentración foliar de un nutriente, representa el tope en el rendimiento impuesto por la variación en concentración de ese nutrimento”.

- **Aplicabilidad generalizable al estudio causa-efecto de innumerables variables.** De la revisión de los trabajos publicados sobre el sistema DRIS, se evidencia que su aplicación ha estado fundamentalmente dirigida hacia el área de estudio de los aspectos nutricionales de plantas y suelos. Sin embargo, hay trabajos en otras disciplinas, como el estudio de las relaciones entre las micorrizas, los suelos y las plantas (Espinozavictoria *et al.*, 1993) y la biometría del cultivo (Rodríguez *et al.*, 1999). El sistema podría ampliarse para el estudio causa-efecto de cuantas variables cuantificables pudiesen registrarse.

## OTRAS APLICACIONES DEL DRIS EN EL DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

- **Permite el desarrollo de niveles de suficiencia.** Leandro *et al.* (1999), determinaron simultáneamente niveles de suficiencia para suelos y hojas en el cultivo de soya, utilizando regresiones polinomiales entre los tenores de los nutrientes y sus I-DRIS, para el punto de equilibrio nutricional cero. Esos resultados enfatizan la potencialidad del DRIS para obtener niveles de suficiencia en condiciones específicas y regionales.
- **Permite la simulación de correcciones.** A través del DRIS, Oliveira (1999), consideró posible realizar simulaciones para determinar cuáles deberían ser las concentraciones deseables, para que el desequilibrio nutricional evaluado a través del IEN fuese corregido entre un 80 a un 90%.
- **Permite el diagnóstico de limitantes no nutricionales.** El DRIS permite identificar situaciones no nutricionales condicionantes del rendimiento. Los I-DRIS proveen un valioso medio para distinguir entre plantas sanas y afectadas por la enfermedad de declinio, indicándose así su uso como una herramienta adicional de diagnóstico (Malavolta *et al.*, 1993).

Hamel *et al.* (1992), reportaron que el DRIS reveló el beneficio de las micorrizas en el equilibrio general de pasturas.

Rodríguez *et al.* (1999), por su parte, reportaron que el número de hojas era determinante para que, en las mejores condiciones de equilibrio nutricional, medido a través de IEN-DRIS, el cultivo del plátano Hartón expresara sus mejores rendimientos. Sin embargo, Caron *et al.* (1991), reportaron poca asociación de los IEN con los desequilibrios por efecto de la salinidad.

- **Complementa otros sistemas de diagnóstico.** Alkoshab *et al.* (1988) y Righeti *et al.* (1988), consideraron insatisfactorios los diagnósticos DRIS en frutales, por lo cual, lo utilizaron solamente para complementar los diagnósticos que realizaron con el nivel crítico o rangos de suficiencia. En cambio, Needham *et al.* (1990), en plantas de pino, señalaron que las normas DRIS se asocian con los máximos rendimientos (área basal de plantas de pino), mientras que los niveles críticos se corresponden con el 90% del rendimiento, excepto en el K, que se corresponden solo, con un 77% del rendimiento.

### **Literatura citada**

- Andrew, C. S. 1968. Problems in the use of chemical analysis for diagnosis of plant nutrient deficiencies. *Journal of Australian Institute of Agriculture Science*. 34:154-162.
- Angeles, D. M., M. E. Sumner y N. W. Barbour. 1990. Preliminary nitrogen, phosphorus and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience*. 25: 652-655.
- Arizaleta, M., O. Rodríguez y V. Rodríguez. 2001. DRIS foliar norms for coffee. *Acta Horticulturae*. 594:405-409.
- Baldock, J. y E. Schulte. 1996. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agronomy Journal*. 88:448-456.
- Beaufils, E. R. 1957. Research for rational exploitation of *Hevea brasiliensis* using a physiological diagnosis based on mineral analysis of various parts of the plant. *Fertilite*. 3:27.
- Beaufils, E. R. 1971. Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertilizer Society South Africa Journal*. 1:1-31.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. University of Natal, Pietermarziburg, Sur Africa. *Soil Science Bulletin*. 1:1-132.
- Beaufils, E. R. y M. E. Sumner. 1976. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and quality factors of sugarcane. *Proceedings of South African Sugar Technology Association*. 50:118-124.
- Beaufils, E. R. y M. E. Sumner. 1977. Effect of time of sampling on the diagnosis of N, P, K, Ca, and Mg requirements of sugarcane by the DRIS approach. *Proceedings of South African Sugar Technology Association*. 51: 62-67.

- Bell, P., W. Hallmark, W. Sabbe y D. Dombeck. 1995. Diagnosing nutrient deficiencies in soybean, using M-DRIS and Critical Nutrient Level procedures. *Agronomy Journal*. 87:859-865.
- Beverly, R. 1993. Reevaluation reveals weaknesses of DRIS and Sufficiency Range diagnoses for wheat, corn and alfalfa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 24:487-501.
- Beverly, R. J. Stark, J. Ojala y T. Embleton. 1984. Nutrient diagnosis of Valencia orange by DRIS. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109:649-654.
- Blanchet, R. y M. Bosc. 1966. Papel dos equilíbrios de troca na alimentação potássica das culturas. *Fertilité*. 28:21-33.
- Bowen, J. 1992. Comparative DRIS and critical concentration interpretation of papaya tissue-analysis data. *Tropical Agriculture*. 69:63-67.
- Boynton, D. y D. Burrell. 1944. Potassium-induced magnesium deficiency in the apple tree. *Soil Science*. 58:441-454.
- Dara, S., P. Fixen y R. Gelderman. 1986. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*. 84:1006-1010.
- Dara, S., P. Fixen y R. Gelderman. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*. 84: 1006-1010.
- Elwali, A. M. y G. J. Gascho. 1983. Sugar cane response to P, K, and DRIS corrective treatments on Florida Histosols. *Agronomy Journal*. 75:79-83.
- Escano, C., C. Jones y G. Uehara. 1981. Nutrient diagnosis in corn grown on Hydric Dystrandepts. II. Comparison of two systems of tissue diagnosis. *Soil Science Society of America Journal*. 45:1140-1114.
- Espinozavictoria, D., M. Quinteroramos y R. Ferreracerrato. 1993. Fitting plants to soil through mycorrhizal fungi-plant nutrition in host-endophyte combinations evaluated by the diagnosis and recommendation integrated system. *Biology and Fertilizer Soils*. 15:96-101.
- Ferreira, M. E. y M. C. Pessoa da Cruz. 1991. Cobre. In: *Micronutrientes na Agricultura*. POTAFOS-CNPq. Piracicaba, S. P. (Brasil).
- Giménez, M., M. Ferrández, M. A. Oltra, J. Martínez, V. Rodríguez y O. Rodríguez. 2006. Análisis foliar, interpretación y normas DRIS para la viticultura en el sureste español. *Aplicaciones informáticas*. I Congreso Internacional de Uva de Mesa. Ed. Fundación Rural Caja Valencia, Paiporta. España.

- Giménez, M., J. Martínez, M. Ferrández, M. A. Oltra, R. Madrid, V. Rodríguez y O. Rodríguez. 2004. Initial values of DRIS Norms for artichoke cv. "Blanca de Tudela" (*Cynara scolymus L.*) in the provinces of Alicante and Murcia. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 660:435-441.
- Hallmark, W. 1988. Comparison of DRIS and M-DRIS norms for diagnosing P and K deficiencies in soybeans. *Better Crops with Plant Food*. 72:20-21.
- Hallmark, W. y R. Beverly. 1991. An update in the use of the diagnosis and recommendation integrated system. Review. *Journal of Fertilizer Issues*. 8:74-88.
- Hallmark, W., C. deMooy, H. Morris, J. Pesek, K. Shao y J. Fontenot. 1988. Soybean phosphorus and potassium deficiency detection as influenced by plant growth stage. *Agronomy Journal*. 80:586-591.
- Jones, C. 1981. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 12:785-794.
- Jones, B. J. Jr., B. Wolf y H. A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, Georgia. 213p.
- Kenworthy, A. 1967. Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. In: *Soil Testing and Plant Analysis II*. Plant Analysis. M. Stelly, Ed. Soil Science Society of America. Special Publication 2. Madison, W.I. (E.U.A.).
- Letsch, W. S. y M. E. Sumner. 1984. Effect of population size and yield level on selection of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15:997-1006.
- McCalla, A. G. y E. K. Woodford. 1938. Effects of limiting elements on the absorption of individual elements and on the anion:cation balance in wheat. *Plant Physiology*. 13:695-712.
- Munson, R. y W. Nelson. 1990. Principles and Practices in Plant Analysis. In: *Soil Testing and Plant Analysis*. 3a ed. SSSA Book Series: 3. Soil Science Society of America. Inc. Madison, W.I. (E.U.A.).
- Nachtigall, G. R. 2005. Épocas de amostragem, porta-enxertos, cultivares e densidade de plantio na avaliação do estado nutricional da macieira pelo método DRIS. Tese apresentada para obtenção do título de Pós-Doutor em Agronomia. ESALQ, Piracicaba, SP, Brasil.
- Payne, G., M. E. Sumner y C. O. Plank. 1985. Yield composition of soybeans as influenced by soil pH, phosphorus, zinc and copper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 17:257-273.

- Payne, G. G., M. E. Sumner y C. O. Plank. 1986. Yield and composition of soybeans as influenced by soil pH, phosphorus, zinc, and copper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 17:257-273.
- Reis, R. A., J. B. Corrêa, J. Guedes y P. T. G. Gontijo. 2002a. Establecimiento de normas DRIS para o cafeeiro no sul de Minas Gerais: Primera aproximación. *Ciência Agrotecnica*. 26:269-282.
- Reis, R. A. y P. H. Monnerat. 2002b. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brazil, South Africa and United States. *Journal of Plant Nutrition*. 25:2831-2851.
- Roberts, S. y J. Rhee. 1993. Critical nutrient concentrations and DRIS analysis of leaf and grain from high-yielding corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 24. 2679-2687.
- Rodríguez, O. y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*. 17:449-470.
- Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón). *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*. 14:285-296.
- Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1998a. Hoja de cálculo de índices DRIS e IBN-DRIS. Material de apoyo. Curso de Nutrición Mineral. IX Jornadas de Investigación del Decanato de Agronomía. UCLA. Junio 1998. Barquisimeto. Venezuela.
- Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1998b. Biometría de la cepa de plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos superiores a 18 kilogramos/racimo, en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*. 15:439-445.
- Rodríguez, O., E. Rojas y M. E. Sumner. 1997. Valencia orange DRIS norms for Venezuela. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 28:1461-1468.
- Rodríguez, V., D. Bautista y O. Rodríguez. 1998. Características biométricas de una subpoblación de plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) con rendimientos promedios de 17,4 kg/racimo en Venezuela. Resúmenes XLIV Reunión Anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Barquisimeto. Venezuela.
- Rodríguez, V., O. Rodríguez y P. Bravo. 1998. Índice de balance de nutrientes DRIS (IBN-DRIS) para el diagnóstico nutricional del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón). XIII Reunión ACORBAT Ecuador. 115-113 p.
- Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez y L. Díaz. 1999. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) y su efecto sobre el rendimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*. 16:425-432.

- Rodríguez, V., A. da Silva y O. Rodríguez. 2005. Balance nutricional y número de hojas como variables de predicción del rendimiento del plátano Hartón. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 40:175-177.
- Rodríguez, V., E. Malavolta, A. Sanchez, O. Rodríguez, O. Lavoranti y E. Guerra. 2007. Soil and plant reference norms for evaluating Horn plantain nutritional status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38:1371-1383.
- Sanz, M. 1999. Evaluation of interpretation of DRIS system during growing season of the peach tree: Comparison with DOP method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 30:1025-1036.
- Seymour, G., H. Sell y M. Drosdoff. 1946. The effect of copper deficiency on the nitrogen metabolism and oil synthesis of the tung tree. *Plant Physiology*. 21:290-303.
- Somers, I. I. y J. W. Shive, 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. *Plant Physiology*. 17:582:602.
- Sumner, M. E. 1975. An evaluation of Beaufils Physiological Diagnosis technique for determining the nutrient requirement of crops. Univ. of Natal, Pietermarziburg, Sur África. *Soil Science Bulletin*. 5:437-446
- Sumner, M. E. 1977a. Applications of Beaufils diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. *Plant Soil*. 46:359-369.
- Sumner, M. E. 1977b. Preliminary N, P and K foliar diagnosis norms for soybean. *Agronomy Journal*. 69:226-230.
- Sumner, M. E. 1977c. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca, and Mg content on calculated DRIS indexes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 8:269-280.
- Sumner, M. E. 1977d. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 8:149-167.
- Sumner, M. E. 1979. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. *Agronomy Journal*. 71:343-348.
- Sumner, M. E. 1981. Diagnosing the sulfur requirement of corn and wheat using foliar analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 45:87-90.
- Sumner, M. E. 1982. The diagnosis and recommendation Integrated System (DRIS). *Soil & Plant Analysis Seminar*. Council on Soil Testing and Plant Analysis, Anaheim. California. (E.U.A.).
- Sumner, M. E. 1986. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) as a guide to orchard fertilization. *International Seminar on Leaf Diagnosis as a Guide to Orchard Fertilization*. Food and Fertilizer Technology Center for Asia and Pacific Region. Suweon, Korea. *Bulletin # 231*. Taiwan.

- Sumner, M. E. 1987. Field experimentation. Changing to meet current and future needs. In: Soil Testing: Sampling Correlation, Calibration and Interpretation, SSSA Special Publication N° 21. Soil Science Society of America Inc. Madison, W.I. (E.U.A.).
- Sumner, M. E. 1990. Advances in the use and application of plant analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 21:1409- 1430.
- Sumner, M. E y E. R. Beaufils. 1975. Diagnosis of the N, P and K requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils system (DRIS). Preliminary observations. Proceedings of the South African Sugar Technology Association. 49:137-141.
- Thomas, W. 1937. Foliar diagnosis: principles and practice. Plant Physiology. 12:571-599.
- Thomas, W. 1938. Foliar diagnosis: its relations to the optimum nutrition of the potato. Plant Physiology. 13:677-694.
- Wadt, P. G. S., R. Ferreira, V. H. Alvarez y S. M. Bragança. 1999. Alternativas de aplicação do "DRIS" à cultura de café conilon (*Coffea canephora* Pierre). Scientia Agrícola. 56:83-92.
- Walworth, J. L. 1985. The development of diagnostic soil and foliar norms for alfalfa. Ph. D. Dissertation. University of Georgia. Athens. Ga. (E.U.A.). 167p.
- Walworth, J. L. y M. E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Advances in Soil Science. 6:149-188.
- Walworth, J. L. y M. E. Sumner. 1988. Foliar Diagnosis. A Review. Advances in Plant Nutrition. 3:139-241.
- Walworth, J. L., H. J. Woodward y M. E. Sumner. 1988. Generation of corn tissue norms from a small high-yield data base. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 19:563-577.
- Walworth, J. L., W. S. Letsch, y M. E. Sumner. 1986. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. Soil Science Society of America Journal. 50:123-127.
- Webb, R. A. 1972. Use of the boundary line in the analysis of biological data. Journal of Horticulture Science. 47:309-319.



# SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIÓN (DRIS)

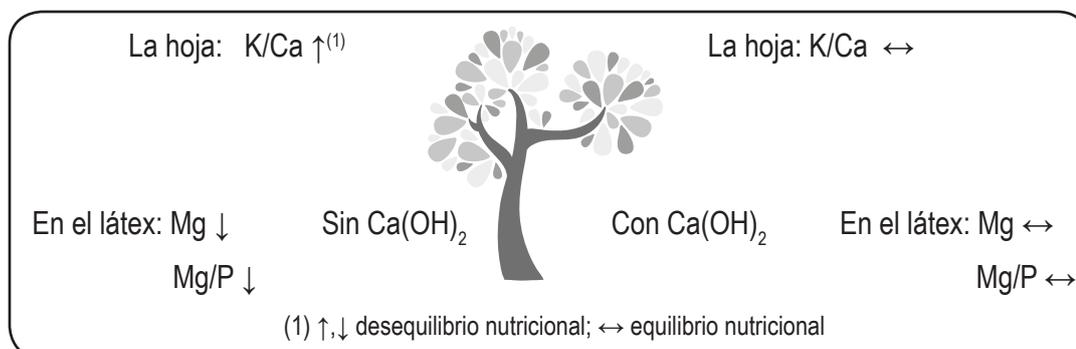
## Bases prácticas, fórmulas, cálculos y aplicaciones

Vianel Rodríguez P., Orlando Rodríguez R., Aymara Sánchez,  
Miguel Giménez M., Marco Oltra y Manuel Henríquez.

### Introducción

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), fue desarrollado por Beaufils (1973) como ampliación y mejoramiento del método de *diagnóstico fisiológico* creado por el mismo investigador en 1957, en estudios de evaluación nutricional de *Hevea brasiliensis* en Indochina (actual Vietnam). Este sistema DRIS, consiste esencialmente en el estudio comparativo de la asimilación mineral (análisis de las hojas), y de la utilización de los elementos minerales asimilados (análisis del látex y de los granos) a través de relaciones entre los nutrientes.

A manera de ejemplo, Beaufils (1957), señala que las variaciones de la relación K/Ca en las hojas de la *Hevea*, reflejan equilibrios minerales en correlación altamente significativa e inversa con los tenores de Mg y la relación Mg/P en el látex. Con esa información, los desequilibrios minerales que modifican el rendimiento del látex, son detectables en las hojas y corregibles con aplicaciones pertinentes al suelo (Gráfico 4.1).



**Gráfico 4.1. Aspectos de las modificaciones en la composición mineral del látex (Mg y Mg/P) en relación con la composición mineral de las hojas y la contribución de la aplicación de cal  $[Ca(OH)_2]$  al suelo (Adaptado de Beaufils, 1957).**

Esta particularidad del DRIS le permite ser un método directo, puesto que puede diagnosticar sin restricción, independientemente del momento o estado fisiológico de cualquier *Hevea*, y a la vez general, porque no es necesario disponer de referencias que limitan el diagnóstico a condiciones muy particulares, lográndose de esta manera, determinar las potencialidades de los cultivos en diversas condiciones, y por supuesto, también controlar las necesidades, permitiendo de esta manera reprogramar los planes de enmienda y fertilización.

El DRIS original de Beaufils, ha sufrido una serie de modificaciones desde 1973 a la fecha, en consecuencia, se ha edificado un marco teórico prolijo de discusiones, con el fin de evaluar el equilibrio nutricional sin las restricciones ni limitaciones impuestas por los valores de referencias “estáticos”.

Con la intención de sistematizar la información DRIS proveniente de la literatura, se ha agrupado en 6 etapas: la primera inicia con el muestreo, la segunda consiste en la elaboración del banco de datos, la tercera aglutina las formas de expresión de las normas de referencia, la cuarta la selección de las normas DRIS, la quinta unifica el cálculo de los índices DRIS y la sexta finaliza con los diagnósticos DRIS, los cuales son básicos para las recomendaciones de fertilizantes.

## **MUESTREO**

Beaufils (1973) recomendó la recolección de la información mediante la metodología del “survey” o muestreo parcial de un cultivo. En este muestreo, un gran número de sitios distribuidos al azar, pueden ser seleccionados para la toma de muestras. Los sitios a muestrear pueden ser campos experimentales o de producción. Cada sitio de muestreo es análogo a una parcela experimental, por lo cual, esta técnica se basa en un gran número de observaciones.

En Venezuela, Rodríguez *et al.* (1997) y Rodríguez y Rodríguez (1997), desarrollaron una variante metodológica para el muestreo. La misma consiste, en realizar un muestreo aleatorio estratificado en un cultivo, donde se seleccionan las plantas con el mejor aspecto vegetativo, en el tope del rendimiento (o de cualquier otra característica, previamente definida por el investigador), sin restricciones de lugar y tiempo.

Como alternativa al muestreo, también fue propuesto extraer información de datos ya existentes (la cual fue la vía más difundida originalmente), y procesarlos como se señala en la presentación del sistema DRIS por Beaufils (1973) y luego por Walworth y Sumner (1988). Esos datos, generalmente provienen de experimentos bajo condiciones controladas que suministran observaciones de variables nutricionales aleatoriamente distribuidas y asociadas al rendimiento.

## ELABORACIÓN DEL BANCO DE DATOS

Como se reseña en la etapa anterior, el muestreo apunta a reunir un determinado número de plantas en el tope del rendimiento, dado que en ellas se determinan los valores de referencia.

A continuación, se presenta como estructurar los bancos de datos con plantas de bajo y alto rendimiento, de acuerdo a su magnitud.

### *Bancos grandes*

Letzsch y Sumner (1984), señalaron que los mejores bancos de datos son grandes (millares de datos), aleatorios y con un mínimo de 10% de los datos a ser considerados como de alta producción. El punto de corte o porcentaje de plantas a seleccionar, tiene baja influencia en los resultados y depende fundamentalmente de criterios económicos. Además, demostraron que el nivel de corte seleccionado para dividir las plantas de altos y bajos rendimientos, no generó diferencias en el valor de referencia, debido que el valor promedio para una determinada forma de expresión de la composición foliar para la población de más altos rendimientos, apenas cambió en un 7,2%, cuando el nivel de corte en el rendimiento del maíz fue cambiado de 4 a 10 Mg ha<sup>-1</sup>.

Ángeles *et al.* (1993), consideraron como punto de corte entre las poblaciones de alto y bajo rendimiento, en bananas, la producción de 70 Mg ha<sup>-1</sup>, lo cual representa el 16% de las plantas más productivas del banco de datos, consistente de 915 observaciones provenientes de la literatura.

Malavolta *et al.* (1993), recomendó la utilización del nivel del 80% como punto de corte, en este caso de la producción máxima, para separar las plantas menos rendidoras de las más rendidoras.

### *Bancos pequeños*

Los bancos de datos pequeños pueden ser útiles, siempre y cuando se consideren sus limitaciones, dando diagnósticos satisfactorios, en el área donde se originan y con la probabilidad de diagnósticos erróneos fuera de esa área (Sumner, 1999; Costa *et al.*, 2005).

Organizando bancos pequeños, Ángeles *et al.* (1990), demostraron para el cultivo de la piña, que no hubo diferencias de diagnóstico cuando confrontaron las medias de las variables nutricionales provenientes de bancos de 39 plantas más productivas, contra las medias de las plantas más productivas de bancos de 1185 datos (Langenegger y Smith, 1978, citado por Ángeles *et al.*, 1990).

Cuando para un cultivo cualquiera, no se disponen de grandes bancos de datos, que permitan confrontar y verificar la utilidad de los bancos pequeños como fuente de valores de referencia, surgen alternativas interesantes:

- Según Szücs (1990), el banco de datos debe ser separado en dos grupos, un grupo encima y otro grupo debajo de la media del rendimiento de toda la población muestreada. Esta propuesta se basa en la distribución de frecuencia de los datos, la cual, por influir notoriamente en la posición de la media, permite establecer notables variaciones, las cuales permitirían detectar diferencias nutricionales al momento del diagnóstico nutricional.
- Rodríguez *et al.* (1997), mediante un muestreo aleatorio estratificado en el cultivo de la naranja "Valencia", orientaron la colecta de las muestras combinando el criterio económico de Walworth y Sumner (1987), con la selección de las plantas por su aspecto vegetativo de Beaufils (1973), y de esa manera, elaboraron bancos pequeños. Para tal fin, recorrieron plantaciones de los estados venezolanos más productores. Bajo esta modalidad, el universo de plantas muestreadas estuvo conformado por aproximadamente 1000 plantas, no obstante, solamente se analizó químicamente el 20% de las muestras.
- Wadt *et al.* (1999), en el cultivo del cafeto Conilón (*Coffea canephora*), formularon otra variante para organizar los bancos de datos. Esta variante fue formulada por la limitante que impone la vejería (años de baja y alta producción), en lograr definir objetivamente, cual es el límite o nivel de producción que separa las plantas más rendidoras en los años de baja producción, y que pudiese aplicarse por igual en los años de alta producción, de manera tal, que fuera posible organizar grupos de plantas con el mismo equilibrio nutricional, a pesar de sus divergentes rendimientos por efectos de la vejería.

Para los efectos, organizaron el banco de datos a partir del muestreo de plantaciones comerciales de diferentes años; luego en cada año, subdividieron las muestras en baja, media y alta productividad, denominando esta última como población de referencia. El criterio para definir las tres poblaciones, fue a partir de la población de mediana productividad, la cual quedó enmarcada entre los límites establecidos a partir de la media del rendimiento de toda la población, más o menos una vez la desviación estándar.

- Sánchez (2005), para el cultivo del plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón), elaboró con interesantes resultados, un pequeño banco de datos de suelos y hojas, mediante la técnica de la muestra estratificada aleatoria, y delimitando el tamaño de la muestra a partir de la teoría del límite central (explicada en el capítulo 2, la técnica de muestreo), la cual fue de por lo menos 30 muestras.

## FORMAS DE EXPRESIÓN DE LAS NORMAS DE REFERENCIA

### *Formas de expresión de las normas de referencia para hojas*

A continuación, se presenta la construcción de las formas de expresión de las normas de referencia, mediante tablas de doble entrada con los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn. Si el lector dispone de información de solo uno, o de todos los nutrientes faltantes, tales como S, B, Mo y Cl, solamente con incluirlos en nuevas columnas y filas, se obtienen las combinaciones que les correspondan, sin alterar las mostradas en los Cuadros 4.1. al 4.4.

A partir de las propuestas de Beaufils (1973), y las relaciones fisiológicas de interacción, las cuales fueron abordadas en el título sobre la Selección de las Normas DRIS para Tejidos y Suelos (Capítulo 3) se construyen las siguientes formas de expresión:

- Propuesta de expresión de las normas de Beaufils (1973) (Cuadro 4.1), presenta todas las combinaciones posibles de expresión de las normas DRIS en forma de cocientes, para los nueve nutrientes citados. Debido a que las combinaciones comprenden el directo (N/P) y su inverso (P/N), se formulan ocho por cada nutriente, para un total de 72 combinaciones.

**Cuadro 4.1. Formas de expresión de las normas DRIS como cocientes, según la propuesta de Beaufils (1973).**

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
N	-	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Cu	N/Fe	N/Mn	N/Zn
P	P/N	-	P/K	P/Ca	P/Mg	P/Cu	P/Fe	P/Mn	P/Zn
K	K/N	K/P	-	K/Ca	K/Mg	K/Cu	K/Fe	K/Mn	K/Zn
Ca	Ca/N	Ca/P	Ca/K	-	Ca/Mg	Ca/Cu	Ca/Fe	Ca/Mn	Ca/Zn
Mg	Mg/N	Mg/P	Mg/K	Mg/Ca	-	Mg/Cu	Mg/Fe	Mg/Mn	Mg/Zn
Cu	Cu/N	Cu/P	Cu/K	Cu/Ca	Cu/Mg	-	Cu/Fe	Cu/MN	Cu/Zn
Fe	Fe/N	Fe/P	Fe/K	Fe/Ca	Fe/Mg	Fe/Cu	-	Fe/Mn	Fe/Zn
Mn	Mn/N	Mn/P	Mn/K	Mn/Ca	Mn/Mg	Mn/Cu	Mn/Fe	-	Mn/Zn
Zn	Zn/N	Zn/P	Zn/K	Zn/Ca	Zn/Mg	Zn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	-
<b>Subtotal</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Cuando las normas se formulan como productos (Cuadro 4.2.), son ocho las formas de expresión para cada nutriente (solo el directo), totalizando 36 combinaciones. Esta propuesta comprende en total, entre cocientes y productos, 108 combinaciones posibles.

- Sumner (1977), presenta todas las combinaciones posibles de expresión de normas como cocientes para los nueve nutrientes, tanto el directo (N/P), como su inverso (P/N), pero esta vez, atendiendo a si el nutriente disminuye o se incrementa con la edad del tejido (Cuadro 4.3.).

Cuando las combinaciones son en forma de producto (Cuadro 4.4.), esta propuesta difiere de Beaufils (1973), formulando tanto el directo como el inverso, pero atendiendo a la limitante impuesta por la disminución o incremento del nutriente por la edad del tejido. Por lo tanto, para cada nutriente se presentan seis combinaciones directas (por ejemplo: N x Ca) y seis inversas (por ejemplo: Ca x N), para un total de 36 combinaciones. De esta forma, la propuesta de Sumner (1977), comprende entre cocientes y productos, solo 72 combinaciones posibles de expresión de las normas.

La información presentada en el Cuadro 4.4., parece contradictoria, porque matemáticamente, el orden de los factores no altera el producto. Sin embargo, es importante nuevamente reseñar que, bajo la concepción de (1977a), los productos se corresponden a la simplificación de las formas de expresión entre un nutriente y el recíproco del otro, tal como se discutió en el Capítulo 3.

En relación con las formas de expresiones, atendiendo las que denominamos relaciones fisiológicas conocidas, se pueden citar, además de las reseñadas en "Normas DRIS como cocientes o productos entre pares de nutrientes, en concordancia a la fisiología de los nutrientes en la planta y a las interacciones entre elementos en el suelo" (Capítulo 3), los cocientes: Mn/NH<sub>4</sub>, Mn/Cu (Kotsiras et al., 2002); Mg/Mn (Le Bot et al., 1990); K/N (Dumas, 1960; Martín-Prevel et al., 1969); K/P (Rodríguez, 1980; Twyford y Coulter, 1962); Ca/Mg (Lahav y Tuner, 1983; Rodríguez, 1980); K/Mg (García et al., 1976); K/Ca (García et al., 1976); K/Ca + Mg (Lahav y Tuner, 1983); N/(K + Ca + Mg) (Soto, 1985).

**Cuadro 4.2. Formas de expresión de las normas DRIS como productos, según la propuesta de Beaufils (1973).**

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
N	-	N x P	N x K	N x Ca	N x Mg	N x Cu	N x Fe	N x Mn	N x Zn
P	-	-	P x K	P x Ca	P x Mg	P x Cu	P x Fe	P x Mn	P x Zn
K	-	-	-	K x Ca	K x Mg	K x Cu	K x Fe	K x Mn	K x Zn
Ca	-	-	-	-	Ca x Mg	Ca x Cu	Ca x Fe	Ca x Mn	Ca x Zn
Mg	-	-	-	-	-	Mg x Cu	Mg x Fe	Mg x Mn	Mg x Zn
Cu	-	-	-	-	-	-	Cu x Fe	Cu x Mn	Cu x Zn
Fe	-	-	-	-	-	-	-	Fe x Mn	Fe x Zn
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	Mn x Zn
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

Cada una de ellas, debería estudiarse con sus inversos correspondientes, dado que el reporte de los autores fue en distintos cultivos y bajo diversas condiciones.

Por esta razón, en el formato de cocientes, se elaboran 36 combinaciones. Para N, P, y K, se realizaron dos formas de expresiones directas y dos inversas, y para los nutrientes Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn, cinco directas y cinco inversas.

**Cuadro 4.3. Formas de expresión de las normas como cocientes, entre nutrientes que aumentan o disminuyen su concentración con la edad, propuesta por Sumner (1977).**

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
N	-	N/P	N/K	-	-	-	-	-	-
P	P/N	-	P/K	-	-	-	-	-	-
K	K/N	K/P	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	Ca/Mg	Ca/Cu	Ca/Fe	Ca/Mn	Ca/Zn
Mg	-	-	-	Mg/Ca	-	Mg/Cu	Mg/Fe	Mg/Mn	Mg/Zn
Cu	-	-	-	Cu/Ca	Cu/Mg	-	Cu/Fe	Cu/Mn	Cu/Zn
Fe	-	-	-	Fe/Ca	Fe/Mg	Fe/Cu	-	Fe/Mn	Fe/Zn
Mn	-	-	-	Mn/Ca	Mn/Mg	Mn/Cu	Mn/Fe	-	Mn/Zn
Zn	-	-	-	Zn/Ca	Zn/Mg	Zn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	-
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

*Formas de expresión de las normas de referencia para suelos*

En relación con las formas de expresión de las normas de referencia para suelos, también se presenta como construirlas mediante tablas de doble entrada con algunos atributos del suelo, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica (MO) y algunos nutrientes (P, K, Ca, B, Mn y Zn).

**Cuadro 4.4. Formas de expresión de las normas como productos, atendiendo el criterio de aumento o disminución de la concentración de los nutrientes con la edad, propuesta por Sumner (1977).**

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
N	-	-	-	N x Ca	N x Mg	N x Cu	N x Fe	N x Mn	N x Zn
P	-	-	-	P x Ca	P x Mg	P x Cu	P x Fe	P x Mn	P x Zn
K	-	-	-	K x Ca	K x Mg	K x Cu	K x Fe	K x Mn	K x Zn
Ca	1/ CaxN	1/ CaxP	1/ CaxK	-	-	-	-	-	-
Mg	1/ MgxN	1/ MgxP	1/ MgxK	-	-	-	-	-	-
Cu	1/ CuxN	1/ CuxP	1/ CuxK	-	-	-	-	-	-
Fe	1/ FexN	1/ FexP	1/ FexK	-	-	-	-	-	-
Mn	1/ MnxN	1/ MnxP	1/ MnxK	-	-	-	-	-	-
Zn	1/ ZnxN	1/ ZnxP	1/ ZnxK	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Para suelos, solamente es aplicable la propuesta de Beaufils (1973), no obstante, se propone la utilización de las denominadas Relaciones de Interacción. Es importante destacar, que las combinaciones posibles, se pueden elaborar y presentar cocientes como los observados en el Cuadro 4.5.

**Cuadro 4.5. Formas de expresión como cocientes, según propuesta de Beaufils (1973).**

	pH <sup>(1)</sup>	CE <sup>(2)</sup>	MO <sup>(3)</sup>	P	K	Ca	B	Mn	Zn
pH	-	pH/CE	pH/MO	pH/P	pH/K	pH/Ca	pH/B	pH/Mn	pH/Zn
CE	CE/pH	-	CE/MO	CE/P	CE/K	CE/Ca	CE/B	CE/Mn	CE/Zn
MO	MO/pH	MO/CE	-	MO/P	MO/K	MO/Ca	MO/B	MO/Mn	MO/Zn
P	P/pH	P/CE	P/MO	-	P/K	P/Ca	P/B	P/Mn	P/Zn
K	K/pH	K/CE	K/MO	K/P	-	K/Ca	K/B	K/Mn	K/Zn
Ca	Ca/pH	Ca/CE	Ca/MO	Ca/P	Ca/K	-	Ca/B	Ca/MN	Ca/Zn
B	B/pH	B/CE	B/MO	B/P	B/K	B/Ca	-	B/Mn	B/Zn
Mn	Mn/pH	Mn/CE	Mn/MO	Mn/P	Mn/K	Mn/Ca	Mn/B	-	Mn/Zn
Zn	Zn/pH	Zn/CE	Zn/MO	Zn/P	Zn/K	Zn/Ca	Zn/B	Zn/Mn	-
<b>Subtotal</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8

pH(1) unidades de pH; CE(2) Conductividad eléctrica; MO(3) Materia orgánica

Se observan cocientes aparentemente sin sentido tales como P/MO y MO/P, los cuales se han documentado como valederos en revisiones clásicas tales como la de Kenworthy y Gilligan (1948), lo que permite encontrar y reportar interacciones interesantes en el banco de datos estudiado.

En el Cuadro 4.6. se presentan los productos posibles a elaborar mediante esta propuesta. De igual modo, se observan productos que en apariencia carecen de sentido, incluso más que en el cuadro anterior, sin embargo, hay que estudiarlos bajo los mismos argumentos que sustentan los cocientes.

Para las relaciones de interacción del suelo, se pueden estudiar entre otras, los cocientes Mg/K de Godefroy et al. (1965); Ca/K, Ca/Mg, (Ca + Mg)/K y 100K/(Ca + Mg + K) de López y Espinosa (1995); P/Zn o P x Z de Payne et al. (1986); Zn/Ca, Cu/Ca, Mn/Ca, Fe/Ca y B/Ca de Fageria (2001).

**Cuadro 4.6. Formas de expresión de las normas DRIS como productos según propuesta de Beaufils (1973).**

	pH <sup>(1)</sup>	CE <sup>(2)</sup>	MO <sup>(3)</sup>	P	K	Ca	B	Mn	Zn
pH(1)	-	pH x CE	pH x MO	pH x P	pH x K	pH x Ca	pH x B	pH x Mn	pH x Zn
CE(2)	-	-	CE x MO	CE x P	CE x K	CE x Ca	CE x B	CE x Mn	CE x Zn
MO(3)	-	-	-	MO x P	MO x K	MO x Ca	MO x B	MO x Mn	MO x Zn
P	-	-	-	-	P x K	P x Ca	P x B	P x Mn	P x Zn
K	-	-	-	-	-	K x Ca	K x B	K x Mn	K x Zn
Ca	-	-	-	-	-	-	Ca x B	Ca x Mn	Ca x Zn

	pH <sup>(1)</sup>	CE <sup>(2)</sup>	MO <sup>(3)</sup>	P	K	Ca	B	Mn	Zn
B	-	-	-	-	-	-	-	B x Mn	B x Zn
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	Mn x Zn
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8

pH(1) unidades de pH; CE(2) Conductividad eléctrica; MO(3) Materia orgánica

Cada una de ellas, debe estudiarse con sus inversos correspondientes, dado que el reporte de los autores fue en distintos cultivos, bajos diversas condiciones y profundidades de suelo.

## SELECCIÓN DE LAS NORMAS DRIS

En el punto anterior se presentó con detalle, como construir las formas de expresión de las normas en el sistema DRIS, destacándose que se obtienen resultados disímiles tanto en el número como en la forma de expresión elaborada, acorde al criterio utilizado. Por ejemplo, para el caso particular de las formas de expresión para hojas, en la cual se abordaron nueve nutrientes, los cocientes y productos a través de la propuesta Beaufils (1973), fueron de 108 y con la propuesta Sumner (1977) de 72.

A continuación, se explicará cómo seleccionar entre todas las formas de expresión elaboradas, las que pasarían a ser valores de referencia o normas DRIS. Sistematizando la información de la literatura y la experiencia lograda, la selección de normas DRIS para suelos y hojas, se pueden organizar en dos grupos: Normas DRIS seleccionadas a partir de la discriminación de la varianza, y Normas DRIS seleccionadas a partir de correlación y regresión.

Además, se incluirá una revisión particularizada titulada “Muestreo y selección de Normas DRIS para suelos” en el Anexo II, donde se reflexionará sobre los detalles atribuibles al muestreo de suelos, los cuales influyen marcadamente en la selección de normas de diagnóstico.

### *Normas DRIS seleccionadas a partir de la discriminación de la varianza*

#### **Normas DRIS seleccionadas a partir de plantas de referencia, mediante la varianza**

- Seleccionar como normas DRIS aquellas formas de expresión que a través de la prueba de discriminación de varianzas, obtengan un valor  $> 0$  o  $\geq 1$ .

Este criterio ha sido utilizado por Ángeles *et al.* (1993), Arizaleta *et al.* (2001), Arnold *et al.* (1992), Creste (1996), Dara *et al.* (1992), Giménez *et al.* (2004), Goh y Malakouti (1992), Jones (1981), Jones y Sinclair (1991),

Malavolta *et al.* (1997), Martínez *et al.*, (2004), Reis *et al.* (2002), Rodríguez y Rodríguez (1997), Sánchez *et al.* (1991) y Wortmann *et al.* (1992).

Un ejemplo clásico de seleccionar las plantas de máximo rendimiento a través de la prueba de discriminación de varianzas se presenta en el Cuadro 4.7., en el cual Malavolta *et al.* (1997), con el cultivo de la avena, escogen la forma de expresión a utilizarse como norma DRIS, cuando presenta la mayor relación de varianzas ( $S_{21} / S_{22}$ ). Como la relación de varianzas de N/P es mayor que la de P/N, se seleccionó a N/P. El mismo criterio fue aplicado con las restantes formas de expresión, las cuales son señaladas también con un asterisco.

Con el ejemplo del Cuadro 4.7., se puede determinar que los valores de referencia o normas DRIS para el cultivo de la avena, y el coeficiente de variación (CV %) de las normas DRIS seleccionadas por la prueba de discriminación de varianza (N/P, K/N y K/P) en la subpoblación de alto rendimiento, son: N/P = media: 14,4, CV: 9,03 %; K/N = media: 0,64, CV: 8,12% y K/P = media: 9,39, CV: 11,15%.

**Cuadro 4.7. Media, varianza y coeficiente de variación de las normas DRIS en la subpoblación de bajo y alto rendimiento de la avena.**

Forma de Expresión de la norma	Bajo rendimiento			Alto rendimiento			$(S_1^2)$ $(S_2^2)$
	Media (x)	Varianza ( $S_1^2$ )	CV %	Media (x)	Varianza ( $S_1^2$ )	CV %	
N/P	18,4	1,862	7,3	14,4	1,714	9,03	1,087*
P/N	0,05	1,91 x 10 <sup>-5</sup>	8,02	0,07	5,28 x 10 <sup>-5</sup>	10,4	0,361
N/K	1,371	0,115	24,7	1,55	0,015	7,82	7,823
K/N	0,763	0,026	21,1	0,64	2,77 x 10 <sup>-3</sup>	8,12	9,349*
P/K	0,074	2,28 x 10 <sup>-4</sup>	20,4	0,108	1,73 x 10 <sup>-4</sup>	12,2	1,323
K/P	13,98	7,23	19,2	9,39	1,096	11,15	6,602*

Fuente: Malavolta *et al.* (1997)

En resumen, para las modalidades de seleccionar las normas DRIS, en los grupos de plantas de mayor rendimiento a partir de la varianza de los datos, se destaca que entre pares de formas de expresión (por ejemplo N/P y P/N), alguno de los dos siempre va a ser seleccionado.

Esto se puede explicar de la siguiente manera: si detallamos de nuevo el cuadro anterior, en el cual encontramos el valor de la discriminación de la varianza para la norma N/P, destaca que es muy cercano a uno (1,087), y a pesar de eso, se selecciona y forma parte de las normas DRIS. Las controversias alrededor de esta situación se presentaron en el capítulo 3 (Formas de expresión de los valores de referencia o normas DRIS).

En conclusión, las normas DRIS determinadas bajo esta modalidad de selección, se caracterizan por estar formadas por la mitad de todas las combinaciones posibles.

A manera de ejemplo, para ilustrar esa conclusión, en el Cuadro 4.8., se presentan bajo el formato de cuadro de doble entrada, todas las combinaciones posibles de las formas de expresión, en las que se basaron

Rodríguez y Rodríguez (1997), para generar las Normas DRIS para el plátano Hartón (*Musa AAB* subgrupo plátano cv Hartón).

Debido a que Rodríguez y Rodríguez (1997), aplicaron la propuesta de Sumner (1977), se utilizan las formas de expresión de los Cuadros 4.3. y 4.4. y se combinan como un todo en el Cuadro 4.8., para mostrar todas las combinaciones posibles entre los nueve nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn, y tachar las que no fueron seleccionadas a través de la mayor relación de varianza, tal como lo reportaron.

**Cuadro 4.8. Cocientes y productos entre nutrientes de las Normas DRIS del plátano Hartón (*Musa AAB* subgrupo plátano cv. Hartón) seleccionadas a través de la mayor relación de varianza. (celdas no tachadas).**

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>Cocientes</b>									
N	-	<del>N/P</del>	N/K	-	-	-	-	-	-
P	P/N	-	P/K	-	-	-	-	-	-
K	<del>K/N</del>	<del>K/P</del>	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	Ca/Mg	Ca/Cu	Ca/Fe	<del>Ca/Mn</del>	<del>Ca/Zn</del>
Mg	-	-	-	<del>Mg/Ca</del>	-	Mg/Cu	Mg/Fe	Mg/Mn	<del>Mg/Zn</del>
Cu	-	-	-	<del>Cu/Ca</del>	<del>Cu/Mg</del>	-	Cu/Fe	<del>Cu/Mn</del>	<del>Cu/Zn</del>
Fe	-	-	-	<del>Fe/Ca</del>	<del>Fe/Mg</del>	<del>Fe/Cu</del>	-	<del>Fe/Mn</del>	<del>Fe/Zn</del>
Mn	-	-	-	Mn/Ca	<del>Mn/Mg</del>	Mn/Cu	Mn/Fe	-	<del>Mn/Zn</del>
Zn	-	-	-	Zn/Ca	Zn/Mg	Zn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	-
<b>Productos</b>									
N	-	-	-	N x Ca	N x Mg	N x Cu	N x Fe	N x Mn	N x Zn
P	-	-	-	P x Ca	P x Mg	P x Cu	P x Fe	P x Mn	P x Zn
K	-	-	-	K x Ca	K x Mg	K x Cu	K x Fe	K x Mn	K x Zn
Ca	<del>1/CaxN</del>	<del>1/CaxP</del>	<del>1/CaxK</del>	-	-	-	-	-	-
Mg	<del>1/MgxN</del>	<del>1/MgxP</del>	<del>1/MgxK</del>	-	-	-	-	-	-
Cu	<del>1/CuxN</del>	<del>1/CuxP</del>	<del>1/CuxK</del>	-	-	-	-	-	-
Fe	<del>1/FexN</del>	<del>1/FexP</del>	<del>1/FexK</del>	-	-	-	-	-	-
Mn	<del>1/MnxN</del>	<del>1/MnxP</del>	<del>1/MnxK</del>	-	-	-	-	-	-
Zn	<del>1/ZnxN</del>	<del>1/ZnxP</del>	<del>1/ZnxK</del>	-	-	-	-	-	-

Fuente: Adaptado de Rodríguez y Rodríguez (1997)

Los resultados del Cuadro 4.8., demuestran que de las 72 combinaciones posibles, la mitad no está tachada. Esas 36 combinaciones formaron parte de las normas DRIS para el plátano Hartón publicadas por Rodríguez y Rodríguez en 1997. Dichas normas están compuestas por nueve cocientes directos (N/K, P/K, Ca/Mg, Ca/Cu, Mg/Cu, Ca/Fe, Mg/Fe, Cu/Fe y Mg/Mn), nueve cocientes inversos (P/N, Mn/Ca, Zn/Ca, Zn/Mg, Mn/Cu, Zn/Cu, Mn/Fe, Zn/Fe y Zn/Mn) y dieciocho productos directos (N x Ca, N x Mg, N x Cu, N x Fe, N x Mn, N x Zn, P x Ca, P x Mg, P x Cu, P x Fe, P x Mn, P x Zn, K x Ca, K x Mg, K x Cu, K x Fe, K x Mn y K x Zn).

Es importante aclarar que, al referirse a las 36 combinaciones, se plantea que “formaron parte de las normas DRIS”, quedando en el ambiente de la discusión que además de estas combinaciones, hay otras normas posibles.

¿Cuáles son esas otras normas cuyas formas de expresión no aparecen en la tabla de doble entrada? La respuesta se muestra amplia y oportunamente más adelante en los Cuadros 4.15 y 4.16.

- Seleccionar como normas DRIS, aquellas formas de expresión en la subpoblación de más alto rendimiento, que presenten la varianza más baja (Bowen, 1990).

Aplicando en el Cuadro 4.7. la propuesta de Bowen (1990), se nota que las varianzas mas bajas no ocurren en las formas de expresión N/P, K/N y K/P de la subpoblación de más alto rendimiento, obteniéndose resultados distintos a los que arroja la prueba de discriminación de varianzas, a la hora de seccionarlas como normas DRIS.

*Normas DRIS seleccionadas a partir de la potencialidad en detectar anomalías nutricionales, mediante la varianza*

- Seleccionar como normas a aquellas formas de expresión con relaciones de varianza a un nivel de probabilidad de 1 hasta 30%, utilizando la prueba de F, siempre y cuando no resulten en un desequilibrio numérico en el cálculo de los índices DRIS, criterio sugerido por Wadt *et al.* (1998a, 1998b, 1999).
- Seleccionar como normas, a aquellas formas de expresión con relaciones de varianza a un nivel de probabilidad del 1 y 5%, utilizando la prueba de F, criterio utilizado por Sumner (1977), Jones (1981) y Needham *et al.* (1990).

Empleando el mismo ejemplo del Cuadro 4.7., ahora de manera demostrativa, se escoge la forma de expresión a utilizarse como norma DRIS, cuando presenta la relación de varianza ( $S_1^2/S_2^2$ ) mayor al valor tabulado con un nivel de probabilidad del 1%.

Para calcular el valor tabulado de F, se requiere conocer el número de individuos de la subpoblación de bajo y alto rendimiento, y del libro de Malavolta *et al.* (1997), se obtuvo que ambas subpoblaciones estuvieron formadas por 28 muestras, de tal manera, se consigue en la tabla de F de Triola (1999), o de cualquier otro libro de Estadística, que el valor de  $F = 2,65$  al 1%.

Cuando se compara el valor de F con el de la relación de varianza ( $S_1^2/S_2^2$ ), Cuadro 4.7., se nota que solamente los cocientes K/N y K/P presentan una relación de varianza mayor que el valor tabulado de F.

Esta situación permite concluir que, solamente en esos dos cocientes hay diferencias significativas al nivel de probabilidad de 1% entre las varianzas de la población de bajo y alto rendimiento, siendo posible de esta manera que, a través de esos cocientes, se pudieran detectar con mucha precisión las anomalías nutricionales que diferencian esas subpoblaciones.

Las normas DRIS bajo estas modalidades de selección, se caracterizan por ser de número variable, por supuesto siempre menor al total de las combinaciones posibles.

A manera de ejemplo, y para mantener una secuencia lógica de los argumentos discutidos, se presentan nuevamente en el Cuadro 4.9., las formas de expresión de las Normas DRIS para el plátano Hartón (*Musa AAB* subgrupo plátano cv Hartón) de Rodríguez y Rodríguez (1997), pero esta vez, se tachan las combinaciones que no se hubiesen seleccionado, si los citados autores hubiesen utilizado el valor tabulado de F.

Para este ejercicio de selección, el valor tabulado de  $F = 1,804$  al 1%, lo cual se corresponde a 48 muestras en la población de alto rendimiento y 170 muestras en la población de bajo rendimiento.

Los resultados del Cuadro 4.9., demuestran que, de las 72 combinaciones posibles, apenas 15 no están tachadas. Esas serían las normas DRIS para el plátano Hartón, si los autores hubiesen aplicado el valor de F tabulado como punto de referencia para seleccionar las normas DRIS. Bajo esa modalidad presentada, las Normas DRIS estarían compuestas por tres cocientes directos (N/K, P/K y Ca/Mg), siete cocientes inversos (P/N, Mn/Ca, Zn/Ca, Zn/Cu, Mn/Fe, Zn/Fe y Zn/Mn) y seis productos directos (N x Zn, P x Zn, K x Ca, K x Mg, K x Fe y K x Zn).

**Cuadro 4.9. Posibles normas DRIS para el plátano Hartón (*Musa AAB* subgrupo plátano cv. Hartón) (celdas no tachadas), si se hubiesen seleccionado a partir del valor de F tabulado.**

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>Cocientes</b>									
N	-	<del>N/P</del>	N/K	-	-	-	-	-	-
P	P/N	-	P/K	-	-	-	-	-	-
K	<del>K/N</del>	<del>K/P</del>	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	Ca/Mg	<del>Ca/Cu</del>	Ca/Fe	<del>Ca/Mn</del>	<del>Ca/Zn</del>
Mg	-	-	-	<del>Mg/Ca</del>	-	<del>Mg/Cu</del>	<del>Mg/Fe</del>	<del>Mg/Mn</del>	<del>Mg/Zn</del>
Cu	-	-	-	<del>Cu/Ca</del>	<del>Cu/Mg</del>	-	<del>Cu/Fe</del>	<del>Cu/Mn</del>	<del>Cu/Zn</del>
Fe	-	-	-	<del>Fe/Ca</del>	<del>Fe/Mg</del>	<del>Fe/Cu</del>	-	<del>Fe/Mn</del>	<del>Fe/Zn</del>
Mn	-	-	-	Mn/Ca	<del>Mn/Mg</del>	<del>Mn/Cu</del>	Mn/Fe	-	<del>Mn/Zn</del>
Zn	-	-	-	Zn/Ca	<del>Zn/Mg</del>	Zn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	-
<b>Productos</b>									
N	-	-	-	<del>N x Ca</del>	<del>N x Mg</del>	<del>N x Cu</del>	<del>N x Fe</del>	<del>N x Mn</del>	N x Zn
P	-	-	-	<del>P x Ca</del>	<del>P x Mg</del>	<del>P x Cu</del>	<del>P x Fe</del>	<del>P x Mn</del>	P x Zn
K	-	-	-	K x Ca	K x Mg	<del>K x Cu</del>	K x Fe	<del>K x Mn</del>	K x Zn
Ca	<del>1/CaxN</del>	<del>1/CaxP</del>	<del>1/CaxK</del>	-	-	-	-	-	-
Mg	<del>1/MgxN</del>	<del>1/MgxP</del>	<del>1/MgxK</del>	-	-	-	-	-	-
Cu	<del>1/CuxN</del>	<del>1/CuxP</del>	<del>1/CuxK</del>	-	-	-	-	-	-
Fe	<del>1/FexN</del>	<del>1/FexP</del>	<del>1/FexK</del>	-	-	-	-	-	-
Mn	<del>1/MnxN</del>	<del>1/MnxP</del>	<del>1/MnxK</del>	-	-	-	-	-	-
Zn	<del>1/ZnxN</del>	<del>1/ZnxP</del>	<del>1/ZnxK</del>	-	-	-	-	-	-

Fuente: Formulado y adaptado a partir de lo reportado por Rodríguez y Rodríguez (1997).

### Normas DRIS seleccionadas a partir de la potencialidad en detectar anomalías nutricionales, mediante correlación y regresión

Este criterio presenta dos alternativas:

- Seleccionar como normas DRIS, solamente las formas de expresión entre pares de nutrientes por el criterio denominado “valor  $r^2$ ”, el cual comprende el cálculo de los coeficientes de correlación ( $r$ ) entre las formas de expresión y el rendimiento u otra variable a determinar (Nick, 1998).
- Seleccionar como normas de diagnóstico solamente, a las formas de expresión capaces de generar una ecuación de estimación del rendimiento, a partir de los Índices de Equilibrio de Nutrientes (IEN-DRIS) (Rodríguez, *et al.*, 1999; Rodríguez *et al.*, 2005), polinomios de regresión múltiple entre los índices DRIS y la concentración del nutriente (Mercykutty y Ranganathan, 1996), regresión entre los índices DRIS y la concentración de nutrientes respectiva (Righetti *et al.*, 1988).

A los fines, se recomiendan las siguientes ecuaciones de estimación del rendimiento, frecuentemente usadas en la evaluación de la respuesta a la aplicación de fertilizantes (Wood, 1980; Pereira, 1987; Pimentel-Gómes, 1991; Nelson, 1999):

$$\begin{aligned}\hat{y}_i &= a + b/x_i + \varepsilon; \text{ (Representa una hipérbola).} \\ \hat{y}_i &= a + bx_i + cx_i^2 + \varepsilon; \text{ (Representa una parábola).} \\ \hat{y}_i &= a + bx_i + cx_i^{1/2} + \varepsilon; \text{ (Semejante a la hipérbola).} \\ \hat{y}_i &= a + bx_i + cx_i + \varepsilon; \text{ (Superficie de respuesta).}\end{aligned}$$

Siendo:

$\hat{y}_i$  = Una observación  $i$  de la variable dependiente estimada (rendimiento).

$a$  = Estimador del parámetro  $\alpha$  o intercepto con el eje  $y$ .

$b$  = Estimador de  $\beta$ , o coeficiente de regresión lineal.

$c$  = Coeficiente que cuantifica la desviación de la linealidad.

$x_i$  = Una observación  $i$  de variable independiente (nutrientes).

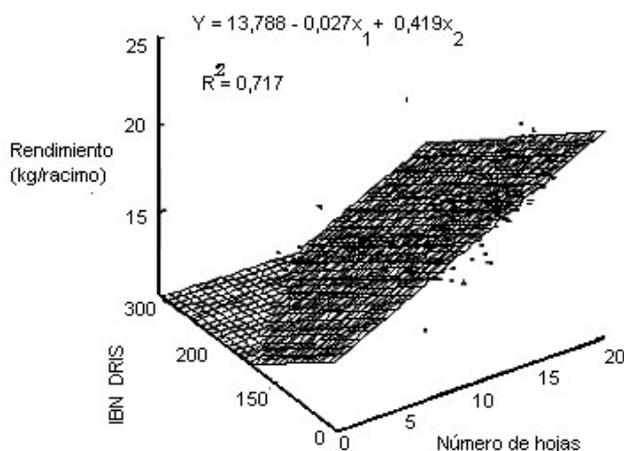
$.x^2, x^{1/2}$  = Una observación  $i$  de la variable  $x$  al cuadrado o raíz cuadrada, respectivamente.

$\varepsilon$  = error de estimación.

Rodríguez *et al.* (1999), estudiando la estimación del rendimiento del plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón), combinaron los Índices de Balance de Nutrientes (IBN), denominación equivalente a la definida en este trabajo como IEN-DRIS, de los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn) con variables vegetativas (se analizaron número de hojas, largo y ancho de la hoja F III) (Gráfico 4.2.).

En el Gráfico 4.2., la línea del fondo del plano de regresión, determina que ante un fuerte desequilibrio nutricional (IBN = 300), la planta puede alcanzar un rendimiento máximo de unos 12 kg/racimo, solo en las mejores condiciones vegetativas (más de 10 hojas).

Por el contrario, en la región frontal, donde no hay desequilibrios nutricionales (IBN = 0 o valores muy cercanos), con ese mismo número de hojas (10), se pueden alcanzar rendimientos más altos, superiores a los 18 kg/racimo y que con ese IBN alrededor de 0, aún con un número de hojas inferior a 10, la planta puede expresar un rendimiento superior a 13,7 kg/racimo muy por encima del obtenido cuando el IBN = 300.



**Gráfico 4.2. Plano de regresión lineal múltiple para las variables: rendimiento (kg/racimo) del plátano Hartón (*Musa AAB* subgrupo plátano cv. Hartón) (Y), índice de equilibrio de nutrientes (IBN-DRIS) ( $X_1$ ) y número de hojas de la planta madre ( $X_2$ ).**

### *Muestreo y selección de normas DRIS para suelos*

#### **Muestreo de suelos.**

Una acertada selección de las formas de expresión a utilizarse como normas en el DRIS para suelos, va a depender del correcto muestreo, motivado a que este proceso tiene como objetivo principal, predecir el valor de cualquier variable en un punto determinado de un área delimitada, considerada homogénea, con el menor error posible (Henríquez y Viloría, 2000). La predicción del valor de cualquier variable, de una manera confiable, conlleva a una serie de interrogantes cuyas respuestas han sido objeto de intensas discusiones.

En el afán de obtener una muestra cada vez más representativa del área seleccionada, surgen las preguntas: ¿Qué es una muestra?, ¿Qué es una muestra compuesta?, ¿Por qué se muestrea?, ¿Para qué se muestrea?, ¿Cuál es el esquema de muestreo más adecuado para disminuir al mínimo, el impacto de la variabilidad del suelo sobre la representatividad de la muestra?, ¿Cuál es la relación valor económico/valor utilitario de una muestra? Probablemente, nadie tenga una respuesta única y satisfactoria a cada pregunta, pero siempre existirán aproximaciones a la respuesta ideal, la cual estará asociada, de alguna manera, a los tipos y técnicas de muestreo estudiados para los suelos.

Por otro lado, los usuarios que tienen la necesidad de muestrear un lote o varios lotes de terreno normalmente, se preguntan: ¿Cómo se toma una

muestra?, ¿Cuál es la superficie o unidad de muestreo que representa una muestra?, ¿Cuán confiable es una muestra?, ¿Cómo se segregan áreas heterogéneas en áreas homogéneas mediante un muestreo?.

Los suelos se estudian en sentido horizontal y vertical, para lo cual existen diferentes tipos de muestreo. Pero la selección del más adecuado, dependerá del objetivo que se persiga. Así, se pueden mencionar los muestreos para inventariar suelos (más conocidos como estudios edafológicos o levantamientos de suelos), para la caracterización de calicatas, para el estudio de las propiedades físicas, para determinar la salinidad de un lugar, para determinar la variabilidad espacial de un lote de terreno (geoestadísticos), y de otros tipos (para mayores detalles ver Anexo 2). Sin embargo, el que más interesa a un productor, y a los fines de la nutrición mineral de plantas, es aquel que tiene la finalidad de determinar la fertilidad de un sitio determinado.

Según Dent y Young (1981), un agricultor que planea continuar utilizando la misma tierra, con el mismo tipo de explotación que ha venido aplicando en el pasado, difícilmente demandará un inventario de suelos, porque ya tiene un conocimiento suficiente de las potencialidades y limitaciones de los suelos de su finca, para ese tipo de utilización. Pero si intenta introducir un tipo diferente de utilización de la tierra, o incorporar nuevas tierras al sistema de producción actual, probablemente necesitará disponer de información de suelos confiable, que le permita garantizar el éxito de la inversión.

Para entender mejor la orientación que debe seguir un usuario, que pretende tomar una muestra de suelo con el menor error posible, es decir, lo más representativa posible, hay que ordenar las opciones de las cuales dispone. Primero, debe verificarse si existen estudios de suelos y las respectivas clasificaciones interpretativas (capacidad de uso, fertilidad, etc.) del área nueva que pretende explotar comercialmente, y la escala a la cual fueron realizados. Mientras más intensivo es el levantamiento (menor a 1:25 000, implica un mayor número de muestras por superficie), la información será más abundante y precisa. De existir estudios de suelos, muchas de las interrogantes que se plantearon anteriormente quedarían resueltas, otras medianamente resueltas y de otras, tal vez no se obtenga respuesta.

En caso de no disponer de mapas, el agricultor tiene dos opciones:

- Solicitar el mapeo de sus suelos (los tipos de mapeos se esbozan en el Anexo 2). Si una vez elaborado el mapa, se le advierte que la tierra no es apta para el uso propuesto, se podría argumentar, que el mapa de suelos le fue útil porque le permitió al agricultor evitar invertir una suma importante de dinero, intentando establecer un uso infructuoso de la tierra. Pero todavía cabe la pregunta, si se pudiera haber evitado el costo de producir el mapa de suelos, suministrando esa información al agricultor en forma más económica (Henríquez, 1996).
- Realizar un mapeo fisiográfico e identificar las tasas de cambio de las unidades de suelo: Este proceso consiste en primera instancia, en separar el paisaje o mapeo fisiográfico en: 1) paisaje de montaña; 2) paisaje de planicie y 3) paisaje de pie de monte. Luego, identificar

los sistemas deposicionales aluviales tales como: 1) Fluvio-deltaico, 2) Valle encajonado y 3) Eje de explayamiento, y posteriormente, en los sistemas deposicionales aluviales, identificando las tasas de cambio de forma relativamente empírica (Viloria, 1989).

Esta tasa puede ser estimada a través de la subdivisión de áreas contrastantes, las cuales se identifican realizando determinaciones de textura de forma manual, en sentido perpendicular a la máxima variación del sistema deposicional, siguiendo el sentido de la deposición de los sedimentos. Deben realizarse varias transectas en ese sentido, cuya distancia será determinada por los cambios en el paisaje detectados en el sentido de la menor variabilidad, es decir, paralelo al eje de deposición de sedimentos (Gráfico 4.3).

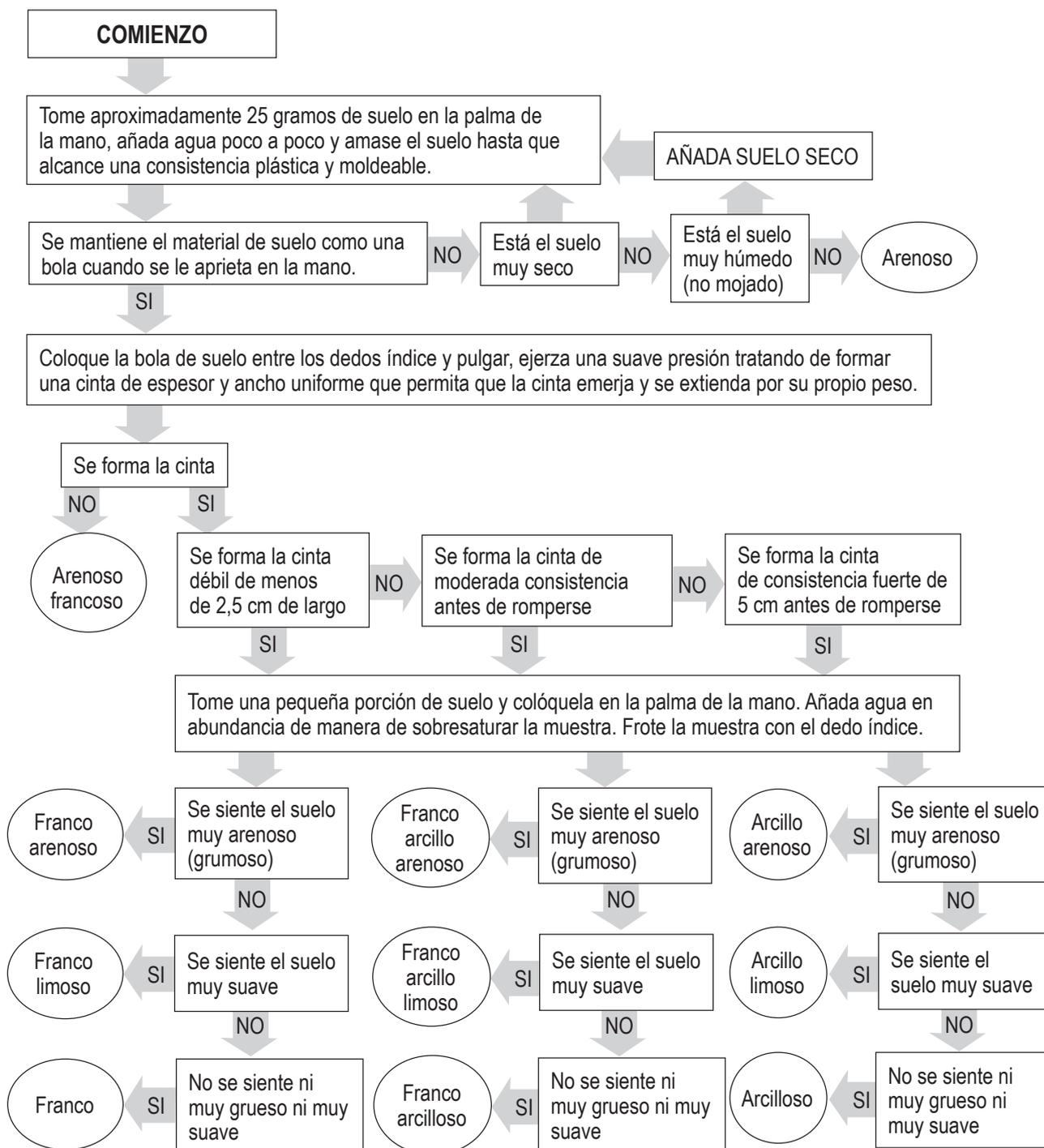


Gráfico 4.3. Diagrama de flujo para estimar la textura del suelo al tacto.

Fuente: Thien, S. C. 1979.

En las zonas donde se detecten cambios apreciables, tanto en el sentido de la máxima como en el de la mínima variación, se establecen los puntos de muestreo, creándose una retícula en la cual cada punto representa un cambio importante en las variables que se determinan. Finalmente, se crea un mapa uniendo puntos similares en forma de isolíneas. Se demarcan las zonas homogéneas basándose en las isolíneas de la variable o las variables estudiadas, habiendo discutido previamente los criterios para demarcar lo que se denominará área homogénea.

### **Selección de las formas de expresión de las normas DRIS para suelos**

Hay que tener precaución durante la aplicación de la prueba de discriminación de varianzas, en la selección de las formas de expresión de las normas DRIS para suelos, dado que, en aquellas subpoblaciones de bajo rendimiento, es usual conseguir los más altos coeficientes de variación, sobre todo cuando aparecen datos extremos hacia el exceso. Esto traería como consecuencia que se escogiesen formas de expresión innecesarias, con las consecuentes interpretaciones sesgadas en las cuales siempre, el nutriente se reportará deficiente.

La selección de normas DRIS para suelos, exige previamente una exploración de datos de manera tal, que se puedan definir las poblaciones de muestras de suelos realmente homogéneas (Sánchez, 2005). Esto es posible a través de la determinación de la normalidad de la distribución de los datos.

Rodríguez (2002) demostró que, a bajos niveles de muestreo, la muestra estratificada aleatoria, a una profundidad de 0-20 y 21-40 cm, se presenta como una alternativa rápida y sencilla de aplicar. Sin embargo, los modelos de regresión no pudieron explicar las variaciones relacionadas con el rendimiento, la fertilidad del suelo y la nutrición del cultivo.

Cabe destacar que una vez lograda la separación o identificación de las poblaciones homogéneas, es necesaria la aplicación de una prueba de medias entre las profundidades de muestreo, de manera tal, que sea posible definir si existen o no diferencias tangibles entre las mismas, con la finalidad de establecer las normas para cada nutriente o atributo del suelo y para cada una de las profundidades.

Bajo este criterio solamente se seleccionan como normas, a los coeficientes o relaciones de equilibrio entre los atributos o nutrientes en el suelo, que no estén influenciados por la variabilidad intrínseca del suelo (Sánchez, 2005).

## CÁLCULO DE ÍNDICE DE LOS NUTRIENTES DRIS (I-DRIS) E ÍNDICE DE EQUILIBRIO NUTRICIONAL DRIS (IEN-DRIS)

Para explicar los cálculos necesarios para elaborar los I-DRIS requeridos para el diagnóstico DRIS, se han organizado tal cual como fue presentado inicialmente por Beaufils en 1973, hasta cerrar con las subsiguientes modificaciones introducidas por diversos autores, los cuales se citan oportunamente y se discuten a continuación.

### *Índices DRIS (I-DRIS) e Índices de Equilibrio Nutricional (IEN-DRIS) de Beaufils*

En el Cuadro 4.10., se muestran las normas DRIS usadas para el diagnóstico en hojas de un cultivo cualquiera, en el cual se destaca que solo están compuestas por formas de expresión entre nutrientes, no se utilizan los contenidos como los reportan los laboratorios y que se refieren a la muestra problema.

**Cuadro 4.10. Normas DRIS para los cocientes entre N, P y B de un cultivo cualquiera.**

Forma de expresión de la norma	Norma DRIS	
	Media	CV (%)
N/P	10	14
N/B	1,49	21
B/P	6,74	22

Sea la muestra problema de hojas de un cultivo cualquiera, la cual reporta los resultados siguientes para los nutrientes  $N = 31 \text{ g.kg}^{-1}$ ,  $P = 2 \text{ g.kg}^{-1}$  y  $B = 12 \text{ mg.kg}^{-1}$ , para calcular los índices respectivos, primero se debe proceder a transformar los nutrientes reportados en dicha muestra, tal cual como se reportan las formas de expresión de las normas (Cuadro 4.11.), dado que esos valores, no se pueden utilizar directamente:

**Cuadro 4.11. Transformación de la muestra problema.**

Forma de expresión en la muestra	Cálculo	Resultado
N/P	$31 \div 2$	15,5
N/B	$3 \div 12$	2,6
B/P	$12 \div 2$	6

Posteriormente se procede a calcular las funciones DRIS, seleccionando las fórmulas que correspondan, como se indica a continuación:

$$f(N/P) = \left[ \left( \frac{15,5}{10} \right) - 1 \right] \frac{1000}{14} = 39,3; \text{ porque } N/P \text{ (muestra)} > \text{ Norma } N/P$$

$$f(N/B) = \left[ \left( \frac{2,6}{1,49} \right) - 1 \right] \frac{1000}{21} = 41,9; \text{ porque } N/B \text{ (muestra)} > \text{ Norma } N/B$$

$$f(N/P) = \left[ 1 - \left( \frac{15,5}{10} \right) \right] \frac{1000}{22} = (-) 5,6; \text{ porque } B/P \text{ (muestra)} < \text{Norma } B/P$$

A continuación, se calculan los I-DRIS de cada nutriente:

$$IN = \frac{[f(N/P) + f(N/B)]}{2} = \frac{[39,3 + 41,9]}{2} = 41$$

$$IP = \frac{[(-) f(N/P) - f(B/P)]}{2} = \frac{(-)39,3 - (-) 5,6}{2} = (-) 17$$

$$IB = \frac{[(-) f(N/B) + f(B/P)]}{2} = \frac{(-)41,9 + (-) 5,6}{2} = (-) 24$$

Y finalmente se obtienen los Índices de Equilibrio Nutricional DRIS (IEN-DRIS), los cuales se determinan, sumando los valores absolutos de cada índice, tal como se indica a continuación:

$$IEN = \sum [|IN| + |IP| + |IB|] = \sum [|41| + |(-) 17| + |(-) 24|] = 82$$

Es importante destacar, que la sumatoria de los índices de los nutrientes, tomando en consideración los signos, debe ser igual a cero:

$$\text{Sumatoria de los índices} = \sum [IN + IP + IB] = \sum [44 + (-) 20 + (-) 24] = 0$$

Para tres nutrientes, puede que no tenga sentido verificar esta sumatoria, porque la fórmula de los índices DRIS de este ejemplo, no va más allá de dos funciones, y los errores de colocar un signo u obviar una función son fácilmente visibles. En cambio, cuando se analiza un número mayor de nutrientes, donde cualquier error en colocar un signo o elaborar un índice incompleto no es fácilmente perceptible, un error no determinado, conduciría a abultar los I-DRIS y el IEN-DRIS, determinando que, al utilizarlos para diagnóstico, reportarían equivocadamente, desequilibrios nutricionales inexistentes. Por esta razón, se insiste y recomienda utilizar esta sumatoria como vía de evaluación, de la elaboración correcta de las fórmulas de los índices.

Para consolidar los argumentos presentados, en el Cuadro 4.12. se muestran los índices DRIS y sus funciones, calculados a partir de los cocientes y productos entre nutrientes que forman parte de las Normas DRIS del plátano Hartón, mostrados en el Cuadro 4.8., sin utilizar los cocientes sobre materia seca, porque bajo la concepción inicial de Beaufils (1973), solo las formas de expresión entre nutrientes se utilizan para elaborar los índices DRIS.

Como se expuso en el párrafo anterior, se ha de notar en el Cuadro 4.12., lo elaborado que resulta formular los índices DRIS para 9 nutrientes. Cada I-DRIS está compuesto por 8 funciones en las que se debe tener sumo cuidado de colocar los signos positivo o negativo donde corresponda, si no ocurre así, al final se obtendrán diagnósticos DRIS erróneos y abultados innecesariamente.

En este mismo orden de ideas, se presenta el Cuadro 4.13., con fines demostrar que además de los signos, también existe otra fuente de error que hay que considerar y corregir oportunamente antes de diagnosticar y se refiere al denominador del índice, el cual debe ser de igual magnitud para todos los índices.

El Cuadro 4.12., no presenta problema porque todos los índices están formados por ocho funciones. Sin embargo, eso no ocurre cuando seleccionamos las formas de expresión a partir de su Potencialidad de Detectar Anomalías Nutricionales, tal como se observó en el Cuadro 4.9.

**Cuadro 4.12. Fórmulas de los índices DRIS, elaboradas a partir de los cocientes y productos de las normas DRIS para el plátano Hartón (*Musa AAB* subgrupo plátano cv. Hartón) de Rodríguez y Rodríguez (1997).**

**Fórmulas de cálculo de los índices DRIS**

$$I_N = \frac{[f(N/K) - f(P/N) + f(N \times Ca) + f(N \times Mg) + f(N \times Cu) + f(N \times Fe) + f(N \times Mn) + f(N \times Zn)]}{8}$$

$$I_P = \frac{[f(P/K) + (P/N) + f(P \times Ca) + f(P \times Mg) + f(P \times Cu) + f(P \times Fe) + f(P \times Mn) + f(P \times Zn)]}{8}$$

$$I_K = \frac{[-f(P/K) - (N/K) + f(K \times Ca) + f(K \times Mg) + f(K \times Cu) + f(K \times Fe) + f(K \times Mn) + f(K \times Zn)]}{8}$$

$$I_{Ca} = \frac{[f(Ca/Mg) + (Ca/Cu) + f(Ca \times Fe) - f(Mn/Ca) - f(Zn/Ca) - f(N \times Ca) - f(P \times Ca) - f(K \times Ca)]}{8}$$

$$I_{Mg} = \frac{[-f(Ca/Mg) + (Mg/Cu) + f(Mg/Fe) + f(Mg/Mn) - f(Zn/Mg) - f(N \times Mg) - f(P \times Mg) - (K \times Mg)]}{8}$$

$$I_{Cu} = \frac{[-f(Ca/Cu) - (Mg/Cu) + f(Cu/Fe) - f(Mn/Cu) - f(Zn/Cu) - f(N \times Cu) - f(P \times Cu) - (K \times Cu)]}{8}$$

$$I_{Fe} = \frac{[-f(Ca/Fe) - (Mg/Fe) - f(Cu/Fe) - f(Mn/Fe) - f(Zn/Fe) - f(N \times Fe) - f(P \times Fe) - (K \times Fe)]}{8}$$

$$I_{Mn} = \frac{[f(Mn/Ca) - (Mg/Mn) + f(Mn/Cu) + f(Mn/Fe) - f(Zn/Mn) - f(N \times Mn) - f(P \times Mn) - (K \times Mn)]}{8}$$

$$I_{Zn} = \frac{[f(Zn/Ca) + (Zn/Mg) + f(Zn/Cu) + f(Zn/Fe) + f(Zn/Mn) - f(N \times Zn) - f(P \times Zn) - (K \times Zn)]}{8}$$

El objetivo de presentar el Cuadro 4.13., es el de mostrar claramente que los I-DRIS están compuestos por distinto número de funciones, apareciendo denominadores distintos para cada uno. En este caso, si no se realizan las correcciones pertinentes, al final inexorablemente, se tendrán diagnósticos DRIS abultados y erróneos.

Rathfon y Burger (1991), propusieron como solución ante situaciones semejantes, asumir un denominador arbitrario y de igual magnitud para todos los índices. En este capítulo, se recomienda utilizar un denominador común, basado en el número de nutrientes estudiados.

De esta manera, podrían compararse todos los trabajos de investigación que se realicen mediante esta modalidad. Esta aseveración se basa en el hecho que, si distintos autores estudiaran nueve nutrientes, nueve sería el denominador común, para los autores, con la ventaja que en los trabajos publicados se facilitarían su confrontación por presentar índices semejantes.

**Cuadro 4.13. Fórmulas de los índices DRIS, calculadas a partir de los cocientes y productos propuestos en el Cuadro 4.10. como normas DRIS para el plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón).**

**Fórmulas de cálculo de los índices DRIS**

$$IN = \frac{[f(N/K) - f(P/N) + f(N \times Zn)]}{3}$$

$$IP = \frac{[f(P/K) + (P/N) + f(P \times Zn)]}{3}$$

$$IK = \frac{[-f(P/K) - (N/K) + f(K \times Ca) + f(K \times Mg) + f(K \times Fe) + f(K \times Zn)]}{6}$$

$$ICa = \frac{[f(Ca/Mg) + f(Ca/Fe) - f(Mn/Ca) - f(Zn/Ca) - (K \times Ca)]}{5}$$

$$IMg = \frac{[-f(Ca/Mg) - (K \times Mg)]}{2}$$

$$ICu = \frac{[-f(Zn/Cu)]}{1}$$

$$IFe = \frac{[-f(Ca/Fe) - f(Mn/Fe) - f(Zn/Fe) - (K \times Fe)]}{4}$$

$$IMn = \frac{[f(Mn/Ca) + f(Mn/Fe) - f(Zn/Mn)]}{3}$$

$$IZn = \frac{[f(Zn/Ca) + f(Zn/Cu) + f(Zn/Fe) + f(Zn/Mn) - f(N \times Zn) - f(P \times Zn) - (K \times Zn)]}{7}$$

*Índice de Nutrientes DRIS modificado (IM-DRIS)*  
*e Índice de Equilibrio Nutricional DRIS modificado (IEN-MDRIS)*  
*según Walworth*

Walworth (1985), introduce como modificación al sistema DRIS, que además de los cocientes y productos entre nutrientes de Beaufils (1973), fuesen considerados los cocientes entre cada nutriente y la materia seca (MS) de los tejidos vegetales (por ejemplo. N/MS). Esto se realiza, ubicando a la MS en el denominador, tratándola como a cualquier otro elemento.

La materia seca de hecho, es la medida del C, H y O en el tejido, elementos que a pesar de ser esenciales, son generalmente olvidados y no tratados como tales. Entonces, en la modalidad del DRIS modificado (M-DRIS), el cálculo de los IM-DRIS (Índices en el M-DRIS), incorpora una nueva función y aparece un nuevo índice, el correspondiente a la materia seca (IMS), manteniendo al igual que Beaufils (1973), las mismas funciones de comparación.

Utilizando el mismo ejemplo de un cultivo cualquiera del punto anterior, en el Cuadro 4.14., se presentan las normas M-DRIS del cultivo figurado, donde se destaca que aparecen las formas de expresión de los nutrientes con la materia seca.

**Cuadro 4.14. Normas M-DRIS para N, P y B de un cultivo cualquiera.**

Forma de expresión de la norma	Norma DRIS	
	Media	CV (%)
N/MS <sup>(1)</sup>	30,6	8
P/MS <sup>(1)</sup>	3,2	22
B/MS <sup>(2)</sup>	21,2	23
N/P <sup>(3)</sup>	10	14
N/B <sup>(3)</sup>	1,49	21
B/P <sup>(3)</sup>	6,74	22

(1) En g por kg (g.kg<sup>-1</sup> MS), (2) En mg por kg (mg.kg<sup>-1</sup> MS) de materia seca y (3) sin unidades.

La muestra problema y las transformaciones requeridas del Cuadro 4.12. son las mismas, así que no se calcularán de nuevo y solo se presentan a continuación, las adicionales que requiere el M-DRIS.

Calculando las funciones:

$$f(N/MS) = \left[ \left( \frac{31}{30,6} \right) - 1 \right] \frac{1000}{8} = 2; \text{ porque } N/MP \text{ (muestra)} > \text{ Norma } N/MS$$

$$f(P/MS) = \left[ 1 - \left( \frac{3,2}{2} \right) \right] \frac{1000}{22} = (-) 27; \text{ porque } P/MS \text{ (muestra)} < \text{ Norma } P/MS$$

$$f(B/MS) = \left[ 1 - \left( \frac{21,2}{12} \right) \right] \frac{1000}{23} = (-) 33; \text{ porque } B/MS \text{ (muestra)} < \text{ Norma } B/MS$$

A continuación se calculan los IM-DRIS de cada nutriente:

$$IMS = \frac{[(-)f(N/MS) - f(P/MS) - f(B/MS)]}{3} = \frac{[(-)2 - (-)27 - (-)33]}{3} = 19$$

$$IMN = \frac{[f(N/MS) + f(N/P) + f(N/B)]}{3} = \frac{[2 + 39,3 + 41,9]}{3} = 28$$

$$IMP = \frac{[f(P/MS) - f(N/P) - f(B/P)]}{3} = \frac{[(-)27 - 39,3 - (-)5,6]}{3} = (-) 20$$

$$IMB = \frac{[f(B/MS) - f(N/B) - f(B/P)]}{3} = \frac{[(-)33 - 41,9 + (-)5,6]}{3} = (-) 27$$

Y finalmente se obtienen los IEN-MDRIS:

$$IEN-MDRIS \text{ de la muestra} = \sum |IMS| + |IMN| + |IMP| + |IMB| = \sum |19| + |28| + |(-) 20| + |(-) 27| = 94$$

Siendo la sumatoria de los índices igual a cero.

Si se comparan los índices de los nutrientes calculados por el M-DRIS con el DRIS de Beaufils (1973), se nota la aparición de un nuevo índice, el de la materia seca, mientras que los demás índices de nutrientes, varían muy poco, con excepción del N, el cual disminuye notablemente, lo cual resulta interesante porque al detallar el Cuadro 4.14., y comparar el N de la muestra con la norma DRIS del N, se observa que el valor de N de la muestra (31 g N.kg<sup>-1</sup>), no está muy distante de la norma (30,6 g N.kg<sup>-1</sup>), por lo tanto el índice del N está sobrestimando un exceso que no es real. Este tipo de indagación solo es practicable en el M-DRIS, por el hecho de que en este se encuentran a disposición normas de nutrientes sobre materia seca, de las cuales no dispone el DRIS de Beaufils (1973).

Estos resultados sobre el N y su índice DRIS, generan controversias más que alicientes a utilizar el M-DRIS, si se mantiene la discusión en función del eje de balance cero, como punto del equilibrio nutricional óptimo.

La solución a esta controversia, fue propuesta por Hallmark et al. (1987, 1990), quienes señalaron que el punto de equilibrio nutricional óptimo para el M-DRIS, es el índice de la materia seca.

Aplicando la solución propuesta a los índices de los nutrientes del cultivo cualquiera, los IM-DRIS corregidos (IM<sub>c</sub>) serán como se describe a continuación:

$IM_cN = IN - IMS = 28 - 19 = 9$	$IM_cP = IP - IMS = (-)20 - 19 = (-)39$	$IM_cK = IK - IMS = (-)27 - 19 = (-)46$
----------------------------------	---	---

Por consiguiente, se puede observar que la sobreestimación del N es corregida, porque ahora el IM<sub>c</sub>N es de 9 unidades y no 28 (ni 41 como en el título anterior), quedando más ajustado a la realidad nutricional de la muestra hipotética y se deriva un diagnóstico nutricional bajo el esquema M-DRIS más preciso.

Este cambio de eje de balance cero, determina que todos los IM-DRIS, cuyos valores estuviesen por encima del IMS, aún cuando fuesen valores negativos, no estarían afectando por deficiencia el equilibrio nutricional de la planta (Hallmark et al., 1990; Walworth et al., 1986).

Esta aproximación, además incorpora dinamismo a los diagnósticos nutricionales DRIS, debido a que el eje de balance óptimo o punto del equilibrio nutricional ideal es variable en su magnitud y no sería un valor fijo, como lo es el eje de balance de Beaufils (1973), que es de magnitud cero. En consecuencia, el eje de balance óptimo o punto del equilibrio nutricional, dependerá del estado nutricional de la planta en relación a los nutrientes que la materia seca representa: el carbono, el hidrógeno y el oxígeno.

En este mismo orden de ideas, Sumner (1963), citado por Walworth y Sumner (1987), reportó que cuando los nutrientes con índices DRIS más pequeños que el de la materia seca fueron agregados vía fertilizante, el cultivo respondió con incrementos del rendimiento en el 70 % de los casos. Inversamente, cuando los nutrientes con índices DRIS más grandes que los de la materia seca fueron agregados vía fertilizante, se obtuvieron incrementos en apenas un 48 % de los casos.

Por lo tanto, Walworth y Sumner (1987) concluyeron que el índice de materia seca puede tener una aplicación útil, como un delimitador entre nutrientes que están presentes en cantidades insuficientes o suficientes, para la absorción de carbono, hidrógeno y oxígeno en una planta.

En conclusión, para efectos de interpretación, las fórmulas de cálculo para interpretar los índices de los nutrientes en el DRIS modificado (IM-DRIS) se deben plantear como índices modificados corregidos (IM<sub>c</sub>-DRIS), de la siguiente manera:

$$IM_c\text{-DRIS} = I\text{-DRIS} - IMS$$

Y en consecuencia el índice de materia seca durante la interpretación es de valor o magnitud igual a cero.

El cálculo del índice de equilibrio nutricional (IEN-MDRIS), se puede realizar indistintamente con los I-MDRIS o los IM<sub>c</sub>-DRIS, dado que al final se obtiene el mismo resultado.

Para ilustrar el M-DRIS con mayor número de nutrientes y mostrar su secuencia lógica de elaboración desde el DRIS de Beauflis (1973), se modificaron los Cuadros 4.8. y 4.9. en los Cuadros 4.15. y 4.16.

**Cuadro 4.15. Cocientes con la materia seca (MS), cocientes y productos entre nutrientes de las normas DRIS para el plátano Hartón (celdas no tachadas) seleccionadas a través de la mayor relación de varianzas.**

	MS	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>Cocientes</b>										
N	N/MS	-	<del>N/P</del>	N/K	-	-	-	-	-	-
P	P/MS	P/N	-	P/K	-	-	-	-	-	-
K	K/MS	<del>K/N</del>	<del>K/P</del>	-	-	-	-	-	-	-
Ca	Ca/MS	-	-	-	-	Ca/Mg	Ca/Cu	Ca/Fe	<del>Ca/Mn</del>	<del>Ca/Zn</del>
Mg	Mg/MS	-	-	-	<del>Mg/Ca</del>	-	Mg/Cu	Mg/Fe	Mg/Mn	<del>Mg/Zn</del>
Cu	Cu/MS	-	-	-	<del>Cu/Ca</del>	<del>Cu/Mg</del>	-	Cu/Fe	<del>Cu/Mn</del>	<del>Cu/Zn</del>
Fe	Fe/MS	-	-	-	<del>Fe/Ca</del>	<del>Fe/Mg</del>	<del>Fe/Cu</del>	-	<del>Fe/Mn</del>	<del>Fe/Zn</del>
Mn	Mn/MS	-	-	-	Mn/Ca	<del>Mn/Mg</del>	Mn/Cu	Mn/Fe	-	<del>Mn/Zn</del>
Zn	Zn/MS	-	-	-	Zn/Ca	Zn/Mg	Zn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	-
<b>Productos</b>										
N	-	-	-	-	N x Ca	N x Mg	N x Cu	N x Fe	N x Mn	N x Zn
P	-	-	-	-	P x Ca	P x Mg	P x Cu	P x Fe	P x Mn	P x Zn
K	-	-	-	-	K x Ca	K x Mg	K x Cu	K x Fe	K x Mn	K x Zn
Ca	-	<del>Ca x N</del>	<del>Ca x P</del>	<del>Ca x K</del>	-	-	-	-	-	-
Mg	-	<del>Mg x N</del>	<del>Mg x P</del>	<del>Mg x K</del>	-	-	-	-	-	-
Cu	-	<del>Cu x N</del>	<del>Cu x P</del>	<del>Cu x K</del>	-	-	-	-	-	-
Fe	-	<del>Fe x N</del>	<del>Fe x P</del>	<del>Fe x K</del>	-	-	-	-	-	-
Mn	-	<del>Mn x N</del>	<del>Mn x P</del>	<del>Mn x K</del>	-	-	-	-	-	-
Zn	-	<del>Zn x N</del>	<del>Zn x P</del>	<del>Zn x K</del>	-	-	-	-	-	-

Fuente: Rodríguez y Rodríguez (1997)

**Cuadro 4.16. Posibles normas MDRIS para el plátano Hartón (celdas no tachadas), si se hubiesen seleccionado a partir del valor de F tabulado.**

MS	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	
<b>Cocientes</b>										
N	<del>N/MS</del>	-	<del>N/P</del>	N/K	-	-	-	-	-	
P	<del>P/MS</del>	P/N	-	P/K	-	-	-	-	-	
K	<del>K/MS</del>	<del>K/N</del>	<del>K/P</del>	-	-	-	-	-	-	
Ca	<del>Ca/MS</del>	-	-	-	Ca/Mg	<del>Ca/Cu</del>	Ca/Fe	<del>Ca/Mn</del>	<del>Ca/Zn</del>	
Mg	<del>Mg/MS</del>	-	-	-	<del>Mg/Ca</del>	-	<del>Mg/Fe</del>	<del>Mg/Mn</del>	<del>Mg/Zn</del>	
Cu	<del>Cu/MS</del>	-	-	-	<del>Cu/Ca</del>	<del>Cu/Mg</del>	-	<del>Cu/Mn</del>	<del>Cu/Zn</del>	
Fe	<del>Fe/MS</del>	-	-	-	<del>Fe/Ca</del>	<del>Fe/Mg</del>	<del>Fe/Cu</del>	-	<del>Fe/Zn</del>	
Mn	<del>Mn/MS</del>	-	-	-	Mn/Ca	<del>Mn/Mg</del>	<del>Mn/Cu</del>	Mn/Fe	-	
Zn	Zn/MS	-	-	-	Zn/Ca	<del>Zn/Mg</del>	Zn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	
<b>Productos</b>										
N	-	-	-	-	<del>N x Ca</del>	<del>N x Mg</del>	<del>N x Cu</del>	<del>N x Fe</del>	<del>N x Mn</del>	N x Zn
P	-	-	-	-	<del>P x Ca</del>	<del>P x Mg</del>	<del>P x Cu</del>	<del>P x Fe</del>	<del>P x Mn</del>	P x Zn
K	-	-	-	-	K x Ca	K x Mg	<del>K x Cu</del>	K x Fe	<del>K x Mn</del>	K x Zn
Ca	-	<del>Ca x N</del>	<del>Ca x P</del>	<del>Ca x K</del>	-	-	-	-	-	-
Mg	-	<del>Mg x N</del>	<del>Mg x P</del>	<del>Mg x K</del>	-	-	-	-	-	-
Cu	-	<del>Cu x N</del>	<del>Cu x P</del>	<del>Cu x K</del>	-	-	-	-	-	-
Fe	-	<del>Fe x N</del>	<del>Fe x P</del>	<del>Fe x K</del>	-	-	-	-	-	-
Mn	-	<del>Mn x N</del>	<del>Mn x P</del>	<del>Mn x K</del>	-	-	-	-	-	-
Zn	-	<del>Zn x N</del>	<del>Zn x P</del>	<del>Zn x K</del>	-	-	-	-	-	-

Fuente: Calculado a partir de los datos reportados por Rodríguez y Rodríguez (1997).

En el Cuadro 4.17., se muestran los I-DRIS y sus funciones, calculados a partir de las Normas DRIS del plátano Hartón del Cuadro 4.15., pero esta vez, bajo la concepción del M-DRIS; destacándose que todos los IM-DRIS tienen un mismo denominador, como consecuencia del mismo número de funciones, dado que provienen de seleccionar las formas de expresión a partir de la varianza de los datos en el grupo de plantas de máximo rendimiento. Manteniendo el mismo orden de ideas, se presentan en el Cuadro 4.18., los IM-DRIS y sus funciones, calculados a partir de las formas de expresión propuestas como Normas DRIS del plátano Hartón (Cuadro 4.16.) y corregidos, tal como se explicó en el en el Cuadro 4.14., utilizando el nueve como denominador común.

**Cuadro 4.17. Fórmulas de los IM-DRIS, elaboradas a partir de las normas DRIS para el plátano Hartón de Rodríguez y Rodríguez (1997).**

---

**Fórmulas de cálculo de los IM-DRIS**

$$IMS = \frac{[-f(N/MS) - f(P/MS) - f(K/MS) - f(Ca/MS) - f(Mg/MS) - f(Cu/MS) - f(Fe/MS) - f(Mn/MS) - f(Zn/MS)]}{9}$$

$$IMcN = \frac{[f(N/MS) + f(N/K) - f(P/N) + f(N \times Ca) + f(N \times Mg) + f(N \times Cu) + f(N \times Fe) + f(N \times Mn) + f(N \times Zn)]}{9} - IMS$$

$$IMcP = \frac{[f(P/MS) + f(P/K) + (P/N) + f(P \times Ca) + f(P \times Mg) + f(P \times Cu) + f(P \times Fe) + f(P \times Mn) + f(P \times Zn)]}{9} - IMS$$

$$IMcK = \frac{[f(K/MS) + f(P/K) - (N/K) + f(K \times Ca) + f(K \times Mg) + f(K \times Cu) + f(K \times Fe) + f(K \times Mn) + f(K \times Zn)]}{9} - IMS$$

$$IMcCa = \frac{[f(Ca/MS) + f(Ca/Mg) + (Ca/Cu) + f(Ca/Fe) - f(Mn/Ca) - f(Zn/Ca) - f(N \times Ca) - f(P \times Ca) - f(K \times Ca)]}{9} - IMS$$

$$IMcMg = \frac{[f(Mg/MS) - f(Ca/Mg) + f(Mg/Cu) - f(Mg/Fe) + f(Mg/Mn) - f(Zn/Mg) - f(N \times Mg) - (P \times Mg) - (K \times Mg)]}{9} - IMS$$

$$IMcCu = \frac{[f(Cu/MS) - f(Ca/Cu) - (Mg/Cu) + f(Cu/Fe) - f(Mn/Cu) - f(Zn/Cu) - f(N \times Cu) - f(P \times Cu) - (K \times Cu)]}{9} - IMS$$

$$IMcFe = \frac{[f(Fe/MS) - f(Ca/Fe) - (Mg/Fe) - f(Cu/Fe) - f(Mn/Fe) - f(Zn/Fe) - f(N \times Fe) - f(P \times Fe) - (K \times Fe)]}{9} - IMS$$

$$IMcMn = \frac{[f(Fe/MS) + f(Mn/Ca) - f(Mg/Mn) + f(Mn/Cu) + f(Mn/Fe) - f(Zn/Mn) - f(N \times Mn) - f(P \times Mn) - (K \times Mn)]}{9} - IMS$$

$$IMcZn = \frac{[f(Zn/MS) + (Zn/Ca) + f(Zn/Mg) + f(Zn/Cu) + f(Zn/Fe) + f(Zn/Mn) - f(N \times Zn) - (P \times Zn) - (K \times Zn)]}{9} - IMS$$


---

**Cuadro 4.18. Fórmulas de los índices MDRIS, calculadas a partir de las formas de expresión propuestas en el Cuadro 4.17. como normas DRIS para el plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón).**

---

**Fórmulas de cálculo de los IM-DRIS**

$$IMS = \frac{[-f(N/MS) - f(P/MS) - f(K/MS) - f(Ca/MS) - f(Mg/MS) - f(Cu/MS) - f(Fe/MS) - f(Mn/MS) - f(Zn/MS)]}{9}$$

$$IMN = \frac{[f(N/MS) + f(N/K) - f(P/N) + f(N \times Ca) + f(N \times Mg) + f(N \times Cu) + f(N \times Fe) + f(N \times Mn) + f(N \times Zn)]}{9} - IMS$$

$$IMP = \frac{[f(P/MS) + f(P/K) + (P/N) + f(P \times Ca) + f(P \times Mg) + f(P \times Cu) + f(P \times Fe) + f(P \times Mn) + f(P \times Zn)]}{9} - IMS$$

$$IMK = \frac{[f(K/MS) - f(P/K) - (N/K) + f(K \times Ca) + f(K \times Mg) + f(K \times Cu) + f(K \times Fe) + f(K \times Mn) + f(K \times Zn)]}{9} - IMS$$

$$IMCa = \frac{[f(Ca/MS) + f(Ca/Mg) + (Ca/Cu) + f(Ca/Fe) - f(Mn/Ca) - f(Zn/Ca) - f(N \times Ca) - f(P \times Ca) - (K \times Ca)]}{9} - IMS$$

$$IMMg = \frac{[f(Mg/MS) - f(Ca/Mg) + f(Mg/Cu) + f(Mg/Fe) + f(Mg/Mn) - f(Zn/Mg) - f(N \times Mg) - (P \times Mg) - (K \times Mg)]}{9} - IMS$$


---

$$\text{IMCu} = \frac{[f(\text{Cu/MS}) - f(\text{Ca/Cu}) - f(\text{Mg/Cu}) + f(\text{Cu/Fe}) - f(\text{Mn/Cu}) - f(\text{Zn/Cu}) - f(\text{N} \times \text{Cu}) - f(\text{P} \times \text{Cu}) - (\text{K} \times \text{Cu})]}{9} - \text{IMS}$$
$$\text{IMFe} = \frac{[f(\text{Fe/MS}) - f(\text{Ca/Fe}) - f(\text{Mg/Fe}) - f(\text{Cu/Fe}) - f(\text{Mn/Fe}) - f(\text{Zn/Fe}) - f(\text{N} \times \text{Fe}) - f(\text{P} \times \text{Fe}) - (\text{K} \times \text{Fe})]}{9} - \text{IMS}$$
$$\text{IMMn} = \frac{[f(\text{Fe/MS}) + f(\text{Mn/Ca}) - f(\text{Mg/Mn}) + f(\text{Mn/Cu}) + f(\text{Mn/Fe}) - f(\text{Zn/Mn}) - f(\text{N} \times \text{Mn}) - f(\text{P} \times \text{Mn}) - (\text{K} \times \text{Mn})]}{9} - \text{IMS}$$
$$\text{IMZn} = \frac{[f(\text{Zn/MS}) + f(\text{Zn/Ca}) + f(\text{Zn/Mg}) + f(\text{Zn/Cu}) + f(\text{Zn/Fe}) + f(\text{Zn/Mn}) - f(\text{N} \times \text{Zn}) - f(\text{P} \times \text{Zn}) - (\text{K} \times \text{Zn})]}{9} - \text{IMS}$$

---

### *Índices de Nutrientes e Índice de Equilibrio de Nutrientes según Jones (1981)*

Como alternativa a las funciones originales de Beaufils (1973), Jones propone, el uso de una sola función de comparación:

$$f(A/B) = \frac{k(A/B - a/b)}{s}; (A/B) \text{ puede ser mayor, menor o igual a } a/b$$

Donde:

f(A/B) = Función de comparación.

k = Valor constante (10 o 20).

A/B = Cociente en la muestra problema.

a/b = Cociente norma DRIS.

s = Desviación estándar del cociente norma DRIS.

Todo lo demás se calcula igual y atiende a las propuestas de Beaufils (1973) y Walworth (1985), en relación con elaborar las formas de expresión, su selección, formulación de los índices DRIS y cálculo de índice de equilibrio de nutrientes.

El autor explica que la fórmula propuesta por Beaufils (1973), cuando  $A/B < a/b$  sobre estima las desviaciones de las muestras deficientes. Esta afirmación es negada por Walworth y Sumner (1987), quienes señalan que la contribución del numerador y el denominador en los cocientes es igual y es importante mantener esa contribución en el cálculo de los índices, por el hecho de su igualdad a cero.

### *Índices de Nutrientes e Índice de Equilibrio de Nutrientes según Elwali y Gascho (1984)*

Estos autores no introducen cambios en la elaboración de las formas de expresión y selección de normas DRIS de Beaufils (1973), no alteran las funciones de comparación de Beaufils (1973) y Jones (1981), ni la formulación de los índices DRIS de Beaufils (1973) y Walworth (1985), así como tampoco, el cálculo de los índices de equilibrio de nutrientes de Beaufils (1973).

Elwali y Gascho, plantean evaluar la relatividad de los excesos o insuficiencias, introduciendo modificaciones a nivel de los resultados de las funciones de comparación, antes de sumarlas y promediarlas para obtener los índices

DRIS. Esa evaluación se desarrolla de la siguiente manera: Los valores de las funciones deben modificarse y ser considerados equilibrados o de valor cero, cuando estén dentro del rango de equilibrio de la norma DRIS (norma  $\pm$  una vez la desviación estándar), antes de realizar la operación de sumar y promediar en cada I-DRIS. De esta manera, esta modificación introduce en cada índice, un mayor número de funciones que se igualan a cero, minimizando la posibilidad de diagnosticar erróneamente desequilibrios no existentes (Savoy y Robinson, 1990; Elwali y Gascho, 1984).

Para explicar esta propuesta con un ejemplo, en el Cuadro 4.19., se presentan los datos del Cuadro 4.14. con la nueva información, necesaria para la discusión de esta propuesta.

**Cuadro 4.19. Normas DRIS, desviación estándar (s), rango de equilibrio nutricional DRIS (REN-MDRIS), muestra problema y funciones igualadas a cero según propuesta de Elwali y Gascho (1984), para N, P y B en un cultivo cualquiera.**

Forma de expresión	Normas DRIS			REN-MDRIS	Muestra problema <sup>(1)</sup>	f(A/B) = 0
	Media	CV (%)	s			
N/MS(1)	30,6	8	2,44	28,16 – 33,04	33	Sí
P/MS	3,2	22	0,704	2,496 – 3,904	2	No
B/MS	21,2	23	4,88	16,32 – 26,08	12	No
N/P	10	14	1,4	9,6 – 11,4	16,5	No
N/B	1,49	21	0,313	1,177 - 1,803	2,8	No
B/P	6,74	22	1,483	5,257 – 8,227	6	Sí

(1) Nutrientes en g.kg<sup>-1</sup> de materia seca para N y P y mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca para B.

La desviación estándar (s), se calculó a partir de la información presentada en el Cuadro 4.14., mediante la fórmula del coeficiente de variación.

$$C.V.(%) = \frac{s}{X} 100$$

El rango de equilibrio nutricional DRIS (REN-DRIS) se elaboró a partir de la norma, sumándole el valor de la desviación estándar para obtener el límite superior y restándosele, para obtener el límite inferior.

El valor de la muestra problema se mantiene. La columna f(A/B) = 0, indica cuales funciones son igualadas a cero por el argumento de Elwali y Gascho (1984), verificable confrontando cada valor de la muestra problema con su correspondiente rango de equilibrio DRIS. De tal manera, se observa que solo el cociente N/MS y B/P se reportan dentro del rango señalado ( $\pm$  s), por lo tanto, su función indistintamente del resultado, se igualará a cero.

A partir del Cuadro 4.20., se realizó la operación matemática bajo el ambiente del M-DRIS, para posteriormente comparar con los resultados de la nueva propuesta.

**Cuadro 4.20. Normas M-DRIS para N, P y B y muestra problema con sus nutrientes sobre materia seca exactamente iguales y sus correspondientes transformaciones, de un cultivo cualquiera.**

Forma de expresión	Normas M-DRIS	Muestra problema
	Media	
N/MS (g.kg <sup>-1</sup> )	30,6	30,6
P/MS (g.kg <sup>-1</sup> )	3,2	3,2
B/MS (mg.kg <sup>-1</sup> )	21,2	21,2
N/P	10	9,56
N/B	1,49	1,44
B/P	6,74	6,62

(1) Nutrientes en g (g.kg<sup>-1</sup> MS) y mg por kg (mg.kg<sup>-1</sup> MS) de materia seca

Cálculo del Índice de la Materia Seca para el MDRIS (IMS):

$$IMS = \frac{[(-) f(N/MS) - f(P/MS) - f(B/MS)]}{3} = \frac{[(-)2 - (-) 27 - (-) 33]}{3} = 19$$

Cálculo del Índice de la Materia Seca, según Elwali y Gascho (1984):

$$IMS = \frac{[- f(N/MS) - f(P/MS) - f(B/MS)]}{3} = \frac{[- 2 - (-) 27 - (-) 33]}{3} = 19$$

El índice de interpretación del N corregido para el MDRIS (IMcN), se calculó de la siguiente manera:

$$IMcN = \frac{[f(N/MS) + f(N/P) - f(N/B)]}{3} = \frac{[2 + 39,3 + 41,9]}{3} = 28 - 19 = 9$$

Cálculo del índice de interpretación corregido para N, bajo la propuesta de Elwali y Gascho (1984):

$$IMcN (EG) = \frac{[f(N/MS) + f(N/P) - f(N/B)]}{3} = \frac{[2 + 39,3 + 41,9]}{3} = 28 - 19 = 9$$

En el caso del P, el índice de interpretación corregido para el MDRIS (IMcP) se calculó de la siguiente manera:

$$IMcP = \frac{[f(P/MS) - f(N/P) - f(B/P)]}{3} = \frac{[(-) 27 - 39,3 - (-) 5,6]}{3} = (-) 20 - 19 = (-) 39$$

Cálculo del mismo índice, bajo la propuesta de Elwali y Gascho (1984):

$$IMcP (EG) = \frac{[f(P/MS) + f(N/P) - f(B/P)]}{3} = \frac{[(-) 27 - 39,3 + 0]}{3} = (-)22 - 19 = (-) 41$$

El cálculo del Índice de Interpretación del B para el MDRIS (IMcB):

$$IMcB = \frac{[f(B/MS) - f(N/B) + f(B/P)]}{3} = \frac{[(-) 33 - 41,9 - (-) 5,6]}{3} = (-) 27 - 19 = 46$$

Índice de Interpretación bajo la propuesta de Elwali y Gascho (1984):

$$\text{IMcB (EG)} = \frac{[f(\text{B/MS}) + f(\text{N/B}) - f(\text{B/P})]}{3} = \frac{[(-) 33 - 41,9 - 0]}{3} = (-)25 - 19 = 44$$

Y finalmente la obtención de los Índices de Equilibrio Nutricional según el Mc-DRIS y el de Elwali y Gascho (1984) IEN-DRIS (EG):

$$\text{IEN-McDRIS de la muestra} = \Sigma [|\text{IMS}| + |\text{IMN}| + |\text{IMP}| + |\text{IMB}|] = \Sigma |19| + |9| + |(-) 39| + |(-) 46| = 113$$

$$\text{IEN-McDRIS (EG) de la muestra} = \Sigma [|\text{IMS}| + |\text{IMN}| + |\text{IMP}| + |\text{IMB}|] = \Sigma |19| + |9| + |(-) 41| + |(-) 44| = 113$$

El IEN-McDRIS(EG) no se diferencia realmente del IEN-McDRIS, porque las funciones DRIS transformadas a cero, redistribuyen los valores de los índices de diagnóstico, en todo el conjunto.

## EXPLICACIÓN DEL DIAGNÓSTICO DRIS

Por definición, el Diagnóstico DRIS interpreta el equilibrio nutricional. A continuación, se presentan algunos comentarios sobre la esencia del diagnóstico DRIS, tal como fue presentada por Beaufils en 1973 y sus siguientes modificaciones a nivel de cálculo, en el mismo orden cronológico que los cálculos de los Índices de los Nutrientes DRIS (I-DRIS) e Índice de Equilibrio Nutricional DRIS (IEN-DRIS). No obstante, es importante enfatizar, que se introducirán nuevas modificaciones no discutidas en el punto anterior, porque los cambios hechos por Beverly (1991) y Rodríguez y Rodríguez (1998), se orientan a la interpretación de los índices, no intervienen o introducen cambios a la forma de cálculo de los mismos.

### *Diagnóstico DRIS de Beaufils (1973)*

Los I-DRIS son interpretados a partir del eje de equilibrio nutricional ideal o perfecto, el cual es de magnitud cero y de esta manera pueden resultar positivos, negativos o iguales a cero, lo que permite ordenarlos de menor a mayor y realizar el diagnóstico del equilibrio nutricional de la planta.

Sánchez *et al.* (1991); Ángeles *et al.* (1990); Russelle y Sheaffer (1986); Beverly *et al.* (1984); Elwali y Gascho (1984) y Jones y Bowen (1981), concuerdan en que el DRIS, proporciona una interpretación más precisa de los nutrientes limitantes en relación con los métodos tradicionales, con la ventaja de determinar el orden y el grado de limitación de cada nutriente en consideración.

Otra de las innovaciones introducidas por Beaufils (1973), en relación con la interpretación del equilibrio nutricional, se visualiza fácilmente en el ejemplo para sus Índices DRIS (I-DRIS) e Índices de Equilibrio Nutricional (IEN-DRIS). A pesar de reportarse el N y el P en g por kg de materia seca ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) y el B en mg por kg de materia seca ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ), los índices DRIS no mantienen esas unidades, lo cual permite que el IP y el IB puedan ser comparados en igualdad de condiciones. Debido a que ambos índices son

negativos y carentes de unidades de g o mg, se puede interpretar que los dos nutrientes están desequilibrando el estado nutricional de la planta e identificar con certeza, que el B, por tener el índice más negativo, está siendo más requerido que el P.

Walworth y Sumner (1987), señalan que, en una prueba de laboratorio con un equilibrio de nutrientes óptimo, todos los índices DRIS de los nutrientes se igualarían a cero. Sin embargo, en condiciones distintas al laboratorio, cuando eventualmente solo un nutriente se igualará a cero, esto no sería indicio de que necesariamente el nutriente estaría en su concentración óptima. Tomemos que, en un instante cualquiera, se obtuviera el siguiente resultado:

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg
Índice	-21	0	+7	+7	+7

Estos índices señalan que el N es el nutriente más deficiente y el que en primera instancia sería necesario agregar. Aunque el índice del P es cero, en la secuencia de los nutrientes se interpreta que fue el menos abundante después del N, es decir, el segundo nutriente más necesario en agregar. La cantidad de P a aplicar, evidentemente sería menor que si estuviese como deficiente. Finalmente, se interpreta que los demás elementos, están en un exceso relativo en el tejido.

En relación con los señalamientos anteriores de Walworth y Sumner (1987), en la cual en un equilibrio óptimo, todos los I-DRIS se igualan a cero, los autores de este capítulo han observado que en la práctica, concretamente cuando se utilizan hojas de cálculo digitalizadas o se diseña un software, hay que tomar en cuenta y entender, que serían particularmente valores muy cercanos a cero.

Matemáticamente es prácticamente imposible que en una muestra problema, los valores del contenido de sus nutrientes sobre materia seca, sean exactamente iguales a las Normas cocientes, a pesar de que estos valores sean idénticos a su correspondiente norma en las transformaciones a cocientes (Cuadro 4.20.), debido a que las medias de las Normas cocientes provienen de la subpoblación de alto rendimiento, y no de dividir directamente las medias de los cocientes con la materia seca, tal cual como se realiza en la muestra problema.

### *Diagnóstico DRIS de Elwali y Gascho (1984)*

Con esta propuesta, hay una reordenación de la magnitud de los índices, ya que un importante número de funciones son forzadas o igualadas a cero.

Para estos autores, el signo del índice, solo es importante para indicar el orden de aplicación de los nutrientes para mejorar el equilibrio. Esto quiere decir que, en términos de relativa importancia para el rendimiento, el elemento más negativo. Sumner (1999), señala que a pesar de no ser incorrecto lo propuesto por Elwali y Gascho (1984), hay poca utilidad en hacerlo, si se mantiene en mente que los índices DRIS son simplemente

una afirmación de los equilibrios relativos entre los nutrientes, sin dar a entender que están limitando el rendimiento.

#### *Diagnóstico DRIS de Hallmark et al. (1990)*

Como ya se ha comentado, en el M-DRIS, se establece que el eje de equilibrio es el eje de la Materia Seca (MS). Hallmark *et al.* (1990) señalan que, usando los mismos juicios del valor crítico, un elemento sería considerado deficitario, si fuese absorbido en menor cantidad que lo indicado como requerido para la formación de materia seca. Análogicamente, un elemento debería ser considerado faltante, si su I-DRIS fuese menor que el IMS. En el mismo orden de ideas, un elemento se encontraría en exceso relativo, cuando su I-DRIS fuese mayor que el de la MS.

Los índices de la MS (no corregidos) serían muy negativos, en muestras problemas de tejido más jóvenes que el estado fenológico, o edad del tejido del cual se determinaron las normas o valores de referencia (edad usualmente denominada como estado fenológico de referencia), y hay que considerar que la interpretación sería errónea en señalar, que están en exceso relativo los nutrientes con índices mayores (aun siendo negativos) que el índice de la MS muy negativo.

Lo contrario sucede con tejidos más viejos que los tejidos del estado fenológico de referencia, donde la interpretación también equivocada de la concentración de los nutrientes con índices menores que la MS muy positiva sería, que esos nutrientes se encontrarían en deficiencia relativa (Beverly, 1991).

No obstante, Beverly (1991), comenta que la principal desventaja de esta propuesta, es que reintroduce el efecto de la edad del tejido muestreado en el tenor del nutriente durante el proceso de diagnóstico DRIS, que notoriamente dicho sistema había superado. Esta situación indicaría de manera muy clara, que las muestras tendrían que ser colectadas cuidadosamente en una época determinada del desarrollo, o sea en el mismo estado fenológico de referencia (Parent y Granger, 1989). Sin embargo, debido a las implicaciones del M-DRIS, Sumner (1999) indica que, en el diagnóstico, se deben combinar este criterio del DRIS y el del valor crítico. Walworth y Sumner (1988), también señalan que en condiciones limitantes por factores externos (agua, temperatura, etc.), el IMS se debe interpretar como un valor que cuantifica el crecimiento de la planta en condiciones limitadas por la fotosíntesis, mas no por los nutrientes.

#### *El diagnóstico DRIS de Beverly (1991)*

De acuerdo con Beverly (1991), la interpretación de los índices se puede abordar, solo después de hacer la comparación de los resultados de los análisis de laboratorio o muestra problema contra los rangos de suficiencia del respectivo cultivo publicados en la literatura.

Para mostrar esta modalidad de interpretación, se utilizará como base, una modificación de la Tabla 4.20., la cual tiene un rango de nutrientes, necesario para confeccionar el diagnóstico de Beverly (1991). (El REN-MDRIS se utiliza con fines didácticos, no se debe confundir con el rango de suficiencia) y presentarlo claramente ahora en el Cuadro 4.21.

**Cuadro 4.21. Normas DRIS, desviación estándar (s), rango de equilibrio nutricional (REN-MDRIS) e interpretación de Beverly (1991) para N, P y B en un cultivo cualquiera.**

Forma de expresión	Normas DRIS			REN-MDRIS	Muestra	Índices M-DRIS	Interpretación Beverly (1991)
	Media	CV (%)	s				
N/MS <sup>(1)</sup>	30,6	8	2,44	28,98 – 32,22	31	16	Adecuado
P/MS	3,2	22	0,704	2,73 – 3,67	2	(-) 40	Deficitario
B/MS	21,2	23	4,88	17,95 – 24,45	12	(-) 44	Deficitario
N/P	10	14	-	-	-	-	-
N/B	1,49	21	-	-	-	-	-
B/P	6,74	22	-	-	-	-	-

(1) Nutrientes en g.kg<sup>-1</sup> de materia seca para N y P y mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca para B.

De acuerdo con este autor, el N está dentro de los límites del rango de equilibrio nutricional y se interpreta como adecuado, mientras que el P y el B, son considerados deficitarios, porque sus índices están por debajo del respectivo REN-MDRIS.

Esta interpretación del diagnóstico MDRIS resulta atrayente, por el motivo que introduce un límite que permite separar el nutriente del equilibrio nutricional adecuado del inadecuado, y en el caso presentado en el Cuadro 4.14., bajo el contexto del M-DRIS, el índice del N no tiene punto de referencia o un límite que permita definir claramente donde termina el nivel adecuado y se inicia el exceso, solamente se puede concluir que está en el perímetro del exceso relativo.

Un ejemplo más complejo se presenta a continuación en el Cuadro 4.22., a partir de los trabajos realizados en patrones de limón Volkameriano (*Citrus volkameriano* Pasq) por Creste (1996), los cuales presentaban hojas amarillentas.

**Cuadro 4.22. Índices MDRIS (IM-DRIS) e interpretación según Beverly (1991), en patrones de limón Volkameriano (Adaptado de Creste, 1996).**

IM-DRIS	IM-Mg	IMS	IM-Ca	IM-N	IM-K	IM-Cu	IM-S	IM-Zn	IM-Fe	IM-Mn	IM-P	IM-B	IEN-M
	-15,1	-11,3	-9,1	-7,3	-2,0	-1,1	-0,6	-0,5	-0,1	3,6	3,7	39,8	82,9
I. Beverly	A	-	D	E	E	A	A	A	E	E	E	E	-

A = Contenido adecuado; D = Contenido deficiente; E = Contenido excesivo

De acuerdo a la metodología M-DRIS, se interpretaría que la muestra bajo diagnóstico presentaría una deficiencia de Mg ( $IMMg = -15,1$ ), por ser el único nutriente con un índice inferior al de la MS. Los nutrientes cuyos índices estén entre el valor de la MS y el valor cero, se interpretarían como de contenido adecuado, y los que se encuentran sobre el eje cero, se considerarían como de contenido excesivo.

Sin embargo, mediante el esquema de Beverly (1991), el único que califica como deficiente es el Ca, mientras los contenidos del Mg, el Cu, el S y el Zn, califican como adecuados, y los de N, K, Fe, Mn, P y B tendrían un contenido alto a excesivo por estar por encima de las respectivas normas.

### *Diagnóstico DRIS de Rodríguez y Rodríguez (1998)*

Rodríguez y Rodríguez (1998), combinando todos los aspectos positivos: rango de equilibrio adecuado = norma  $\pm 2/3$  de la desviación estándar de Beaufils (1971), signo del índice de Sumner (1990), MS como eje de balance de Walworth (1985) y comparación contra rangos de suficiencia publicados de Beverly (1991), propusieron que la interpretación de los resultados de análisis de Beverly (1991), fuese ampliada mediante la elaboración de los Rangos de Equilibrio Nutricional de cada cultivo.

Esta nueva propuesta plantea que los Rangos de Equilibrio Nutricional sean delimitados de la siguiente manera:

- Rango de Equilibrio Nutricional Adecuado, los valores de los análisis de las muestras, en el rango de  $\pm 2/3$  de la desviación estándar de la norma DRIS, rango que Beaufils (1973) denominó como rango de balance adecuado.
- Rango de Equilibrio Nutricional Bajo, los valores de los análisis de las muestras, inferiores al valor de la norma DRIS  $- 2/3$  de la desviación estándar.
- Rango de Equilibrio Nutricional Alto, los valores de los análisis de las muestras, superiores al valor de la norma DRIS  $+ 2/3$  desviación estándar.

Los resultados de los análisis de las muestras se consideran de la siguiente manera:

- Contenido adecuado de un nutriente, cuando está dentro del rango de suficiencia o en su defecto, del rango de equilibrio nutricional DRIS (norma  $\pm 2/3$  desviación estándar).
- Contenido bajo de un nutriente, cuando se encuentran debajo de ese rango de equilibrio nutricional (norma  $- 2/3$  desviación estándar) o del rango de suficiencia.
- Contenido alto de un nutriente, cuando su contenido se encuentre por encima del rango de equilibrio nutricional (norma  $+ 2/3$  desviación estándar) o del rango de suficiencia.

Además, utilizan el signo del respectivo IMc-DRIS, para determinar el orden en el cual los nutrientes se alejan del criterio del equilibrio óptimo con relación a la MS.

Para una mejor visualización, interpretación y presentación didáctica, Rodríguez y Rodríguez (1998), presentan el ejercicio, colocándole símbolos al Rango de Equilibrio Nutricional según:

↓ = Indica contenido bajo del nutriente; ↔ = Indica contenido adecuado del nutriente;

↑ = Indica contenido alto del nutriente

En el Cuadro 4.23., se presentan las normas DRIS del plátano Hartón, su desviación estándar el REN-MDRIS y la media de la concentración de los nutrientes provenientes de 20 muestras de hojas (F III) del cultivo del plátano, con rendimientos medios de 13 kg/racimo, valores que se utilizarán en esta modalidad de interpretación, se desarrolla un ejemplo para explicar la propuesta.

**Cuadro 4.23. Normas DRIS, rango de equilibrio nutricional (REN-MDRIS) para el plátano Hartón y media de la concentración de nutrientes de 20 muestras con rendimientos medios de 13 kg/racimo.**

Forma de expresión	Norma <sup>1</sup>	Desviación <sup>1</sup> Estándar	REN-MDRIS	Nutrientes en la muestra
N/MS g.kg <sup>-1</sup>	27,2	1,9	25,3 - 29,1	23,4
P/MS g.kg <sup>-1</sup>	2,1	0,3	1,8 - 2,4	2,06
K/MS g.kg <sup>-1</sup>	44,9	6,5	38,4- 51,4	36,3
Ca/MS g.kg <sup>-1</sup>	9,6	2,6	7,0 - 12,2	11,3
Mg/MS g.kg <sup>-1</sup>	3,1	0,7	2,4 - 3,8	3,8
Cu/MS mg.kg <sup>-1</sup>	12,96	3,68	9,28 - 16,64	7,5
Fe/MS mg.kg <sup>-1</sup>	83,50	18,16	65,34 - 101,66	76,5
Mn/MS mg.kg <sup>-1</sup>	134,75	47	87,75 - 181,41	255,0
Zn/MS mg.kg <sup>-1</sup>	27,59	10,18	17,41 - 37,77	20,0

(1) Rodríguez y Rodríguez (1997).

Se calcularon los I-MDRIS para determinar el orden de limitación de los nutrientes y a continuación, se realizó la comparación de la concentración de los nutrientes en la muestra, contra los rangos de equilibrio nutricional (REN-MDRIS). La interpretación del equilibrio nutricional se presenta en el Cuadro 4.24.

De acuerdo a Hallmark *et al.* (1990), todos los nutrientes por debajo de la MS serían deficientes y aquellos por encima, serían excesivos. Rodríguez y Rodríguez (1998), realizan un diagnóstico mas completo, de la manera siguiente.

Los contenidos de K, N y Cu caen bajo los valores del REN-MDRIS, por tanto, en el Rango de Equilibrio Nutricional Bajo y sus índices son inferiores al IMS. Esto significa que son deficientes en esa muestra. La magnitud de

los índices DRIS, señala el orden de limitación de cada nutriente ( $K > N > Cu$ ), esto significa que el K es el elemento que en primera instancia limita el rendimiento, le sigue el N y luego el Cu.

Los contenidos de Zn, Fe y P, caen dentro del rango de valores del REN-MDRIS, lo cual indica que su contenido en el tejido es adecuado aún cuando sus IMc-DRIS, están debajo del IMS. El hecho que sus I-MDRIS sean menores al IMS, indica que aun estando en tenores adecuados, podrían ser los nutrientes que limitaran el rendimiento, después que se corrigieren las deficiencias del K, N y el Cu.

El Ca y el Mg también se encuentran en el determinado Rango de Equilibrio Nutricional Adecuado y sus IM-DRIS, con valores mayores pero cercanos al IMS, es decir, a lo requerido para el nivel de MS de ese tejido, lo cual indica que no están limitando el rendimiento.

**Cuadro 4.24. Índices M-DRIS e interpretación de Rodríguez y Rodríguez**

Nutrientes	K	N	Zn	Cu	Fe	P	MS	Ca	Mg	Mn
IM-DRIS	-15	-12	-8	-6	-5	-3	0	8	10	16
Interpretación gráfica según Rodríguez y Rodríguez (1998)	↓	↓	↔	↓	↔	↔	---	↔	↔	↑

Finalmente, el contenido de Mn es elevado, es decir, se encuentra en el Rango de Equilibrio Nutricional Alto porque su contenido es mayor al REN-MDRIS. El IMcMn está sobre el valor del IMS. Esta situación determina que el Mn, pudiere estar causando problemas de toxicidad.

Este esquema de interpretación particulariza el diagnóstico para cada nutriente y simplifica la toma de las posibles acciones correctivas.

## VALIDACIÓN DE LAS NORMAS DRIS.

Como validación, se pretende enumerar las alternativas que permitirán dar confianza al usuario en cuanto a la validez de las normas elaboradas y así de esta manera continuar con el proceso de diagnóstico nutricional:

- Se puede recurrir a evaluar los valores de referencia de bancos pequeños de un cultivo, realizando comparaciones de los diagnósticos nutricionales realizados con ellos, contra los realizados a partir de valores de referencia provenientes de experimentos de fertilización tradicionales, con respuestas significativas al rendimiento (Ángeles *et al.*, 1990).
- Creste (1996), enfocó los esfuerzos de validación de los valores de referencia en el cultivo limón siciliano (*Citrus aurantifolia* Christm. Swing), explorando el mismo banco de datos, de manera tal que, utilizando la prueba de discriminación de varianzas, fue tanteando a distintos niveles del rendimiento y separando, donde ocurrió

el mayor número de diferencias significativas entre las variables nutricionales (Cuadro 4.25.).

Donde obtuvo el mayor número de diferencias significativas, estableció el punto de corte y las medias del nivel de nutrientes de las plantas por encima de ese punto de corte o plantas de máximo rendimiento, fueron propuestas como valores de referencia. En el Cuadro 4.25., se aprecia que el punto de corte puede establecerse indiferentemente entre 70 a 80 Mg/ha por presentar el mayor número de diferencias significativas en sus nutrientes.

- Rodríguez *et al.* (1997), establecieron la vía de validación de los valores de referencia desarrollados a partir de plantas en el 20% superior del rendimiento. La validación fue realizada comparando las normas desarrolladas en naranjo "Valencia" (*Citrus sinensis* L. Osbeck), de diferentes edades, injertado sobre diferentes portainjertos y su posterior comparación contra valores desarrollados mediante sistemas clásicos por otros autores. Resultados semejantes de validación fueron reportados posteriormente por Arizaleta *et al.* (2002), en el cultivo del cafeto.

**Cuadro 4.25. Total de diferencias significativas ( $\Sigma^*$ ) o no ( $\Sigma_{ns}$ ), entre las concentraciones de los nutrientes foliares, evaluados por discriminación de varianzas a distintos niveles del rendimiento en el limón siciliano (*Citrus aurantifolia*).**

Rendimiento (Mg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Zn	Cu	B	$\Sigma^*$	$\Sigma_{ns}$
90	*	ns	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	4	7
85	**	ns	*	*	ns	**	ns	*	ns	*	**	7	4
80	**	*	*	*	ns	**	ns	**	ns	*	**	8	3
75	**	**	**	**	ns	**	ns	*	ns	ns	**	7	4
70	*	**	**	*	ns	**	ns	**	ns	*	**	8	3
65	ns	**	**	***	*	**	ns	ns	ns	ns	*	6	5
60	*	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns	**	7	4
55	*	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns	**	7	4
50	ns	**	**	**	**	*	ns	ns	ns	ns	**	6	5

\*\* diferencias altamente significativas; \* diferencias significativas; ns diferencias no significativas

Fuente: Creste (1996).

## COMPROBACIÓN Y RECOMENDACIÓN EN EL SISTEMA DRIS

La comprobación y la recomendación van muy unidas, por el hecho que comprobar es determinar que tan acertados fueron los diagnósticos DRIS, a partir de las normas DRIS validadas. Por esta razón, a continuación se presentan algunos ejemplos de comprobaciones, que permiten realizar acertadas recomendaciones, las cuales son el objetivo central y donde finaliza el diagnóstico nutricional o la evaluación de la fertilidad del suelo. En el Cuadro 4.26., se presentan los resultados en los que han sido realizados

diagnósticos progresivos en muestras de hojas de maíz, en un experimento factorial  $3^4$  N, P, K y S, usando los índices DRIS solamente en los datos de N, P y K.

**Cuadro 4.26. Diagnósticos progresivos de N, P y K en el cultivo del maíz. (Adaptado de Walworth y Sumner, 1987).**

Tratamientos				Composición foliar (%)				Índices DRIS			Materia Seca
N	P	K	S	N	P	K	S	N	P	K	g/pote
1	1	1	1	1,44	0,14	1,37	0,11	-7	-5	12	5,04
2	1	1	1	3,40	0,15	1,80	0,03	21	-29	8	5,59
2	2	1	1	1,82	0,30	0,83	0,07	-6	27	-21	8,66
2	2	2	1	1,96	0,28	3,93	0,06	-33	-10	42	9,59
3	2	2	1	2,74	0,23	3,20	0,06	-8	-17	25	6,56
3	3	2	1	2,82	0,36	3,47	0,07	-15	-3	19	9,99

En el control ( $N_1 P_1 K_1 S_1$ ), el nutriente más necesitado parece ser el N ( $IN = -7$ ), el cual cuando es agregado ( $N_2 P_1 K_1 S_1$ ), produce un incremento del rendimiento. Ahora, el P presenta el indicador más negativo ( $IP = -29$ ), por lo tanto, al ser agregado ( $N_2 P_2 K_1 S_1$ ), se presenta un incremento, pero el K pasa a ser más requerido ( $IK = -21$ ). Siendo agregado el K ( $N_2 P_2 K_2 S_1$ ), hay incremento del rendimiento, sin embargo, el N se hace restrictivo nuevamente.

Ante esa situación, se agrega aún más N ( $N_3 P_2 K_2 S_1$ ), pero con el resultado adverso de disminuir el rendimiento y tornarse restrictivo el P. Continuando con la secuencia y agregando P ( $N_3 P_3 K_2 S_1$ ), se incrementa el rendimiento sobre el obtenido con la combinación ( $N_2 P_2 K_2 S_1$ ).

La situación ocurrida al aplicar el tratamiento ( $N_3 P_2 K_2 S_1$ ), pareciera indicar que el DRIS puede tener fallas para realizar diagnósticos apropiados. Sin embargo, Walworth y Sumner (1987) explican que esa falla del diagnóstico se debió a escasez de datos. De manera que, cuando el DRIS determinó el  $IN = -33$ , algún otro factor, no incluido en los datos, el N era mas limitante.

Dentro de esta expectativa de ofrecer recomendaciones acertadas, Creste (1996), comprueba las normas desarrolladas en Limón Siciliano (*Citrus aurantifolia* Christm. Swing), en un experimento factorial con diferentes niveles de N, P y K, iniciado en 1988 en el Instituto Agronómico de Campinas, utilizando datos inéditos cedidos por Quaggio (1995). Los resultados se presentan en el Cuadro 4.27.

**Cuadro 4.27. Resultados de análisis foliares de ramas fruteras de Limón Siciliano, en muestreo realizado en 1995, parcela SF-9, Fazenda Morrinhos, IAC.**

N	P	K	g.kg <sup>-1</sup>					g.kg <sup>-1</sup>				
			N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
1	1	1	13,3	0,9	2,0	43	5,7	56	105	70	20	18
1	2	2	11,9	0,1	9,3	28,5	3,8	60	88	86	20	15
2	1	2	14,2	0,8	4,4	36,2	5,2	37	98	112	23	18
2	1	3	15,2	0,9	10,7	25,7	3,8	22	102	116	23	19
3	1	3	15,8	0,9	7,3	31,9	4,5	35	92	124	24	21
3	2	4	17,1	1,0	11,2	29,2	4,2	33	126	123	25	32
4	1	4	14,6	0,9	14,6	20,8	2,5	28	109	149	22	18

Fuente: Creste (1996).

Aplicando el DRIS a los resultados presentados en el Cuadro 4.27., se obtiene el Cuadro 4.28.

**Cuadro 4.28. I-DRIS e IBN obtenidos de experimentos de fertilización para el limón siciliano y rendimiento (R.) (Mg.ha<sup>-1</sup>) para el año de 1995**

N	P	K	IN	IP	IK	ICa	IMg	IS	IB	ICu	Ife	IMn	IZn	IMS	IBN	R.
1	1	1	-0,9	1,2	-24	3,4	3,9	0,0	12,7	4,2	-0,5	1,0	-0,8	-0,1	52,9	2,0
1	2	2	-4,5	0,6	-1,9	-0,4	-1,8	0,0	8,6	2,3	-0,5	-1,0	-1,2	-0,1	22,7	12,4
2	1	2	-1,4	0,1	-8,1	0,8	1,4	0,0	4,1	2,8	0,1	0,5	-0,7	0,3	19,9	18,8
2	1	3	-1,6	0,1	-0,4	-0,2	-0,7	0,0	0,0	2,6	0,1	-0,1	-0,5	0,7	6,4	32,0
3	1	3	-1,6	0,1	-3,4	0,1	-0,2	0,0	2,7	2,1	0,1	0,0	-0,3	0,3	10,6	37,2
3	2	4	-1,8	0,0	-0,9	-0,3	-0,9	0,0	1,7	2,7	-0,1	-0,4	0,2	-0,1	9,1	63,8
4	1	4	-2,3	0,1	1,0	-0,9	-3,1	0,0	1,7	2,9	1,0	-0,5	-0,7	0,5	14,2	65,6

Donde: N1 = 30 kg.ha<sup>-1</sup>  
 N2 = 100 kg.ha<sup>-1</sup>  
 N3 = 170 kg.ha<sup>-1</sup>  
 N4 = 240 kg.ha<sup>-1</sup>

P1 = 20 kg.ha<sup>-1</sup>  
 P2 = 60 kg.ha<sup>-1</sup>

K1 = 30 kg.ha<sup>-1</sup>  
 K2 = 110 kg.ha<sup>-1</sup>  
 K3 = 190 kg.ha<sup>-1</sup>  
 K4 = 270 kg.ha<sup>-1</sup>

Fuente: Creste (1996).

Realizando una revisión general de las respuestas (Cuadro 4.28.), se observa que hubo un aumento de la producción, cuando coincidentalmente, se aplicaron los nutrientes que los índices DRIS acusaban como más negativos. Sin embargo, cuando los índices negativos de varios nutrientes no divergían tan marcadamente (tratamiento 3-2-4), sin fuerte respuesta al rendimiento en el tratamiento 4-1-4, (de 63,8 paso a 65,6), se hizo evidente que no era el N el más limitante, sino el Mg (IMg= -3,1).

En este caso, la falla fue del diagnóstico, no de la respuesta y es lo que desean poner en relieve Walworth y Sumner (1987), al explicar que la escasez de datos, conlleva a fallas de diagnóstico. Otro aspecto interesante, fue observado en el nutriente B, el cual fue disminuyendo su condición de excesivo en función de la adición de los elementos más faltantes (Creste, 1996).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la obtención de patrones de referencia (normas DRIS) confiables, es necesario crear bancos de datos por región, tipo de suelo, diferentes épocas (seca y lluviosa) y por variedades. Cuanto más específico sea el banco de datos, mayor será la probabilidad de una interpretación confiable. Sin embargo, de no contarse con éstas, el diagnóstico puede realizarse con las normas no locales ni existentes, debido a la amplitud del sistema DRIS.

El uso del DRIS u otro sistema de equilibrio de nutrientes, utilizado para analizar datos de nutrientes en suelos, necesita de más investigación, preferiblemente bajo situaciones de alto rendimiento.

En el caso del DRIS, la materia seca es tratada, como un constituyente adicional de la planta, teniendo entre sus cálculos tal indicador. Por lo tanto, el índice DRIS de la materia seca de una planta, debería ser representativo del proceso de adquisición del C, H y O.

El DRIS puede incluir cocientes de elementos no esenciales (Na o Si) y variables no nutricionales, tales como densidad de población y fecha de siembra. Además, cada forma de un nutriente, tal como nitrato y amonio, podrían ser considerados separadamente como nutrientes.

Hay una necesidad de representar los datos de plantas en varias etapas de crecimiento y evaluarlos en relación con la estabilidad de las diferentes formas de expresión de los nutrientes, la cual concederá una flexibilidad mayor a los diagnósticos y ampliará la aplicabilidad de subsecuentes recomendaciones.

La importancia de incluir un mayor número de variables, la expansión de la base de datos y la validación de las normas DRIS, es un requisito primario para hacer rutinario el uso del DRIS.

El DRIS ha tenido una rápida adopción y difusión, debido a sus variadas ventajas en términos de economía de recursos y del tiempo necesario para el desarrollo de normas de diagnóstico, sus sólidos basamentos conceptuales y fisiológicos y su relativa simplicidad metodológica.

## Literatura citada

- Arizaleta, M., O. Rodríguez y V. Rodríguez. 2001. DRIS foliar norms for coffee. *Acta Horticulturae*. 594:405-409.
- Arizaleta, M., O. Rodríguez y V. Rodríguez. 2002. Relación de los índices DRIS, índices de balance de nutrientes, contenido foliar de nutrientes y rendimiento del cafeto en Venezuela. *Bioagro*. 14:153-159.
- Arnold, R., J. Jett y H. Allen. 1992. Identification of nutritional influences on cone production in Fraser Fir. *Soil Science Society of America Journal*. 56:586-591.
- Ángeles, D. M., M. E. Sumner y N. W. Barbour. 1990. Preliminary nitrogen, phosphorus and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience*. 25: 652-655.
- Ángeles, D. M., M. E. Sumner y E. Lahav. 1993. Preliminary DRIS norms for bananas. *Journal of Plant Nutrition*. 16:1059-1070.
- Beaufils, E. R. 1957. Research for rational exploitation of *Hevea brasiliensis* using a physiological diagnosis based on mineral analysis of various parts of plant. *Fertilite*. 327.
- Beaufils, E. R. 1971. Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Journal of the Fertilizer Society of South Africa*. 1:1-31.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin, University of Natal, Pietermarziburg, Sur África*. 1:1-132.
- Beverly, R. 1991. Calculating e interpreting DRIS Index Values (Appendix 5). In: *Plant Analysis Handbook*. Jones, J. B. Jr., B. Wolf y H. A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro Macro Publishing Inc. Athens, Georgia, EE.UU., 422p.
- Beverly, R., J. Stark, J. Ojala y T. Embleton. 1984. Nutrient diagnosis of Valencia orange by DRIS. *Journal of the American Society of Horticulture Science*. 109:649-654.
- Bowen, J. 1990. Comparative DRIS and critical concentration interpretation of papaya tissue analysis data. *Tropical Agriculture*. 69:63-67.
- Costa, G. G., J. C. Lima, V. H. Alvarez y F. Palha. 2005. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*. 29:755-761.
- Creste J. 1996. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do limoneiro siciliano. Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

- Dara, S., P. Fixen y R. Gelderman. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status on yield in "Napolean" Sweet Cherry. *Journal of American Society of Horticulture Science*. 11:988-993.
- Dent, D. y A. Young. 1981. *Soil survey and land evaluation*. Allen y Unwin. London.
- Dumas, J. 1960. Controle de nutrition de quelques bananerais dans tríos territoires Africains. *Fruits*. 15:277-290.
- Elwali A. y G. Gascho. 1984. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guides for sugarcane fertilization. *Agronomy Journal*. 76:466-470.
- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interaction in crop plants. *Journal of plant nutrition*. 24:1269-1290.
- García, R., R. Guijarro y B. Díaz. 1976. Modificación del estado nutricional del banano por efecto del potasio en suelos rojos de Cuba, relación con el rendimiento y control de la fertilización. In: 4° International Colloquium On The Control Of Plant Nutrition, Gent, 1976. *Proceedings 4° International Colloquium on the Control of Plant Nutrition*. Gent: Ed. A. Cottenie, v. II. p. 577-584.
- Giménez, M., J. Martínez, M. Ferrández, M. A. Oltra, R. Madrid, V. Rodríguez y O. Rodríguez. 2004. Initial values of DRIS norms for Artichoke cv. Blanca de Tudela (*Cynara scolymus L.*) in the provinces of Alicante and Murcia. *Acta Horticulturae*. 660:285-291.
- Goh, K. y E. M. Malakouti. 1992. Preliminary nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium DRIS norms and indexes for apple orchards in Canterbury, New-Zealand. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23:1371-1385.
- Hallmark, W. B., J. L. Walworth, M. E. Sumner, C. J. Mooy, J. Pesek y K. P. Shao. 1987. Separating limiting and non-limiting nutrients. *Journal of Plant Nutrition*. 10:1381-1390.
- Hallmark, W., R. Beverly, M. E. Sumner, C. deMooy, H. Morris, J. Pesek y J. D. Fontenot. 1990. Soybean phosphorus and potassium requirement evaluation by three M-DRIS data bases. *Agronomy Journal*. 82:323-328.
- Henríquez R., Manuel (1996). *Procedimiento complementario al levantamiento de suelos convencional a escalas detalladas (1:10 000)* UCV. Facultad de Agronomía. Tesis MS. Maracay, Venezuela. 143 p.
- Henríquez R., M. y J. Viloría. 2000. Error de predicción del pedón representativo y la media aritmética de clases de suelo a diferentes intensidades de muestreo. *Agronomía Tropical*. 50:253-265.
- Jones, C. 1981. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 12:785-794.

- Jones, C. y J. Bowen. 1981. Comparative DRIS and crop log diagnosis of sugarcane tissue analysis, Georgia. *Agronomy Journal*. 73: 941-944.
- Jones, M. y A. Sinclair. 1991. Application of DRIS to white clover based pastures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 22:1895-1918.
- Kotsiras, A., C M. Olympios, J. Drosopoulos y H. C. Passam. 2002. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. *Scientia Horticulturae*. 95:175-183.
- Lahav, E. y D. W. Turner, 1983. Fertilising for high yield banana. IPI-Bulletin 7. International Potash Institute, Berne/ Switzerland. 62p.
- Le Bot, J., M. J. Goss, M. J. Carvalho, M. L. Van Beusichem y E. A. Kirkby. 1990. The significance of the magnesium to manganese ratio in plant tissues for growth end alleviation of manganese toxicity in tomato (*Lycopersicum esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*) plants. In: *Plant Nutrition, Physiology and Applications*. Ed. M. L. Beusichem, Kluwer Academic Publishers. pp. 223-228.
- Letsch, W. S. y M. E. Sumner. 1984. Effect of population size and yield level on selection of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15:997-1006.
- Malakouti, M. 1992. Determining of the diagnostic norms for corn on the calcareous soils of Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23:2687-2695.
- Malavolta, E., S. A. Oliveira y G. Vitti. 1993. The use of diagnosis recommendation integrated system (DRIS) to evaluate the nutritional status of healthy and blight affected citrus trees. In: *Optimization of Plant Nutrition*. Ed. Frago e Beusichem Kluwer Academic Publishers. pp. 157-159.
- Malavolta, E. G. Vitti y S. Oliveira, S. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas. Principios e aplicações*. 2da edição. POTAFOS. Piracicaba. SP. Brasil.
- Martínez, J., M. Giménez, M., Ferrández, M. A. Oltra, R. Madrid, V. Rodríguez y O. Rodríguez. 2004. Initial values of DRIS norms for Artichoke cv. Violeta de Provenza (*Cynara scolymus L.*) in the provinces of Alicante and Murcia. *Acta Horticulturae*. 660:435-441.
- Mercykutty, J. y Ranganathan, C. R. 1996. Diagnosis and Recommendation Integrated System: 2. Derivation of critical leaf nutrient concentration in Rubber. *Indian Journal of Natural Rubber Research*. 9:17-21.
- Needham, T. D., J. A. Burger y R. G. Oderwald. 1990. Relationship between Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. *Soil Science Society of America Journal*. 54:883-886.

- Nick, J. A. 1998. DRIS para cafeeiros podados. Piracicaba, ESALQ, 86p. Disertación (mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Parent, L. E. y R. L. Granger. 1989. Derivation of DRIS norms from a high density apple orchard established in the Quebec Appalachian Mountains. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114:915-919.
- Payne, G. G., M. E. Sumner y C. O. Plank. 1986. Yield and composition of soybeans as influenced by soil pH, phosphorus, zinc, and copper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 17:257-273.
- Reis, R. A., J. B. Corrêa, J. Guedes y P. T. G. Gontijo. 2002. Estabelecimento de normas DRIS para o cafeeiro no sul de Minas Gerais: Primera aproximação. *Ciência agrotecnica*. 26:269-282.
- Righetti, T. L., O. Alkoshab y K. Wilder. 1988. Diagnostic biases in DRIS evaluations on sweet cherry and hazelnut. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 19:1429-1447.
- Rodríguez, G. M. 1980. Estudios preliminares sobre nutrición con potasio de los bananos de América Central. *Fruits*. 35:283-291
- Rodríguez, V. 2002. Propuesta metodológica para analizar datos provenientes de bajos niveles de muestreo en plátano Hartón (*Musa* AAB subgrupo Plátano cv. Hartón). Barquisimeto, 47 p. Monografía (Trabajo de Ascenso). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.
- Rodríguez, V. y O. Rodríguez. 1997. Normas foliares DRIS para el diagnóstico nutricional del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón). *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*. 14:285-296.
- Rodríguez V. y O. Rodríguez. 1998. Hoja de cálculo de índices DRIS e IBN-DRIS. Material de apoyo. Curso de Nutrición Mineral. IX Jornadas de Investigación del Decanato de Agronomía. UCLA. Junio 1998. Barquisimeto. Venezuela.
- Rodríguez, O., E. Rojas y M. E. Sumner. 1997. Valencia orange DRIS norms for Venezuela. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 28:1461-1468.
- Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez y L. Díaz. 1999. Relación entre el balance nutricional y la biometría del plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) y su efecto sobre el rendimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía, LUZ*. 16:425-432.
- Rodríguez, V., A. da Silva y O. Rodríguez. 2005. Balance nutricional y número de hojas como variables de predicción del rendimiento del Plátano Hartón. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 40:175-177.
- Russelle, M. y C. Sheaffer. 1986. Use of the diagnosis and recommendation integrated system with alfalfa. *Agronomy Journal*. 78:557-560.

- Sánchez, A. 2005. Evaluación del estado nutricional del plátano Hartón por diferentes procedimientos de cálculo de los índices DRIS en hoja y suelo. Trabajo de Ascenso. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela. 55 p.
- Sánchez, C., G. Synder y H. Burdine. 1991. DRIS evaluation of the nutritional status of crisp-head lettuce. *HortScience*. 26:274-276.
- Savoy, H. y D. Robinson. 1990. Norm range size effects in calculating Diagnosis and Recommendation Integrated System indexes. *Agronomy Journal*. 82:592-596.
- Soto, B. M. 1985. Bananos, cultivo y comercialización. Lill, Costa Rica, 648p.
- Sumner, M. E. 1977. Applications of Beaufils diagnostic indexes to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. *Plant Soil*. 46:359-369.
- Sumner, M. E. 1990. Advances in the use and application of plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21:1409-1430
- Sumner, M. E. 1999. The use and misuse of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) in foliar diagnosis. (compact disc). In: Simposio sobre Monitoramento nutricional para a recomendação da adubação de culturas. Piracicaba, 1999. POTAFOS.
- Triola, M. 1999. Introdução à Estatística. LTC, Rio de Janeiro, p.127-131.
- Twyford, I. T. y J. K. Coulter. 1962. Foliar diagnosis in banana fertiliser trials. In: 4° Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems, Brussels, 1962. *Plant Analysis and Fertilizer Problems*. IV. New York's. F. Humphrey Press, 1964. p. 357-370.
- Viloria, J. A. 1989. The interrelation between soil survey and soil information systems: optimization of the data gathering procedures. University of Oxford. Ph. D. Thesis. 350 p.
- Wadt, P., R. Novais, V. Álvarez, S. Fonseca, N. Barros, y L. Dias. 1998a. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de arvores de eucalipto. *Revista Brasileira da Ciencia do Solo*. 22:661-666.
- Wadt, P., R. Novais, V. Álvarez, S. Fonseca y N. Barros. 1998b. Valores de referencia para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e chance matemática. *Revista Brasileira da Ciencia do Solo*. 22:685-692.
- Wadt, P., R. de Novais, V. Venegas y S. Bragança. 1999. Alternativa de aplicação do DRIS à cultura de Café Conilón (*Coffea canephora* Pierre). *Scientia Agrícola*. 56:83-92.

#### Capítulo 4. Sistema integrado de diagnóstico y recomendaciones (DRIS)

- Walworth, J. 1985. The development of Diagnosis Soil and Foliar Norms for Alfalfa. Ph. D. Dissertation, University of Georgia, Athens. Ga. E.U.A.
- Walworth, J. y M. E. Sumner. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). *Advances in Soil Science*. 6:149-188.
- Walworth, J. y M. E. Sumner. 1988. Foliar Diagnosis. A Review. *Advances in Plant Nutrition*. 3:139-241.
- Walworth, J., M. E. Sumner, R. Isaac y C. Plank. 1986. Preliminary DRIS norms for alfalfa in the Southeastern United States and a comparison with Midwestern norms. *Agronomy Journal*. 78:1046-1052.
- Wortmann, C., J. Kisakyey O. Edje. 1992. The Diagnosis and Recommendation Integrated System for dry-bean determination and validation of norms. *Journal of Plant Nutrition*. 15: 2369-2379.



# ANEXOS

---



*Guía para la toma de muestras de tejidos con fines de diagnóstico foliar para los principales cultivos.  
(Adaptado de Malavolta, 1997)*

<b>Cereales</b>			
<b>Cultivo</b>	<b>Época de muestreo</b>	<b>Tipo de tejido</b>	<b>Muestra(*)</b>
Arroz	Mitad del macollamiento	Hoja más joven completamente desarrollada	50
Maíz	Aparición de la inflorescencia femenina (cabellos de la mazorca).	Hoja opuesta a la mazorca	30
Sorgo	Inicio de floración	Hojas en sección intermedia de la planta	30
<b>Estimulantes</b>			
Cacao	Final del crecimiento vegetativo	3ra hoja, a partir de la punta, brote recién maduro, planta a media sombra.	18
Cafeto	Activo crecimiento	3ro a 4to par de hojas, a partir de la punta, ramas a mitad de la copa y en producción.	30
Té	De 6 a 15 meses antes de la poda	1ra hoja con yema y 3ra hoja	30
Tabaco	---	Hojas recién maduras	30
<b>Hortalizas</b>			
Auyama	Inicio de floración.	Pecíolo de hoja recién madura.	40
Ajo	Antes de la formación del bulbo, durante o después.	Hoja mas nueva completamente desarrollada.	40
Arveja	Plena floración.	Hoja entera recién madura.	40
Brócoli	Mitad del ciclo.	Nervadura principal de la hoja recién madura.	40
Cebolla	Mitad del ciclo.	Hoja más alta.	40
Coliflor	Embotonamiento.	Nervadura principal de la hoja recién madura.	40
Espinaca	Mitad del ciclo.	Hoja entera recién madura.	40
Lechuga	Formación de la cabeza.	Hojas recién maduras.	40
Patilla	Primer fruto.	Pecíolo de la sexta hoja a partir de la punta.	40
Melón	Floración, primer fruto o primer fruto maduro.	Pecíolo de la sexta hoja a partir de la punta.	40
Pimentón	Plena floración.	Hoja entera recién madura.	40
Repollo	Formación de la cabeza.	Nervadura principal de la hoja envolvente.	40
Tomate	Floración plena o primer fruto maduro.	Cuarta hoja a partir de la punta.	40
Vainita	Plena floración.	Hoja trifoliada más vieja.	40
Zanahoria	Mitad del ciclo.	Nervadura principal de la hoja recién madura.	40

<b>Frutícolas</b>			
<b>Cultivo</b>	<b>Época de muestreo</b>	<b>Tipo de tejido</b>	<b>Muestra(*)</b>
Aguacate	Final de brotación vegetativa.	Hojas de 4 meses de edad, ramas terminales, sin ramificación, a mitad de la copa.	100 hojas de 20 plantas
Cambur y plátano	Plena floración femenina.	Hoja 3 (abajo y opuesta a la flor); cortando la porción central de la hoja en 10 centímetros.	40
Cítricos	Final de brotación reproductiva o floración.	Tercera a cuarta hoja a partir del fruto, en ramas con frutos de 2 a 4 cm de diámetro.	20
Guayaba	Un mes después de finalizar el crecimiento de la rama.	Cuarto par de hojas, ramas sin frutos.	30
Lechosa	Floración.	Hoja F, la cual tiene en su axila la primera flor completamente abierta.	18
Parchita	Floración.	4ta hoja a partir de la punta	60
Piña	Crecimiento.	Hoja D, la cual corresponde a la hoja recién madura, con bordes de la base paralelas; analizar la hoja entera o porción no clorofilasa.	25
Vid	Final de floración.	Hoja en la base del racimo.	30-60

(\*) Número de hojas por hectárea.

## *Conceptos básicos de levantamiento de suelos*

*Manuel Antonio Henríquez Rodríguez*

### **Definición de levantamiento de suelos**

Un levantamiento de suelos es un proceso a través del cual la información del suelo es colectada, analizada, organizada y transferida a los usuarios. En términos generales, el objetivo de un levantamiento de suelos es dividir el paisaje heterogéneo en áreas, dentro de las cuales, el suelo o el patrón de suelos, pueda ser descrito y manejado uniformemente (Viloria, 1989).

La respuesta del suelo a su uso y manejo, ha sido una preocupación muy importante para aquellas personas que conviven con la tierra, dado el poco aprovechamiento del cual puede ser objeto este recurso, si las interpretaciones de la información de sus propiedades diagnósticas no se adecuan a lo que sucede en la realidad, es decir no están bien correlacionadas.

Con la finalidad de interpretar de la manera más adecuada el comportamiento del suelo, ante un uso y manejo dado, los agrólogos efectúan el levantamiento de las propiedades diagnósticas (textura, estructura, profundidad efectiva, pedregosidad, permeabilidad, etc.) que se caracterizan por tener una variación ampliamente independiente entre ellas, pero que tienen una alta covarianza con muchas propiedades asociadas, a fin de producir un mapa de suelos en el cual se puedan mostrar las delineaciones de polípedones o áreas de tierra que difieren en su respuesta al uso y manejo (Norris, 1970).

### **Potencialidades de los mapas a diferentes intensidades de muestreo**

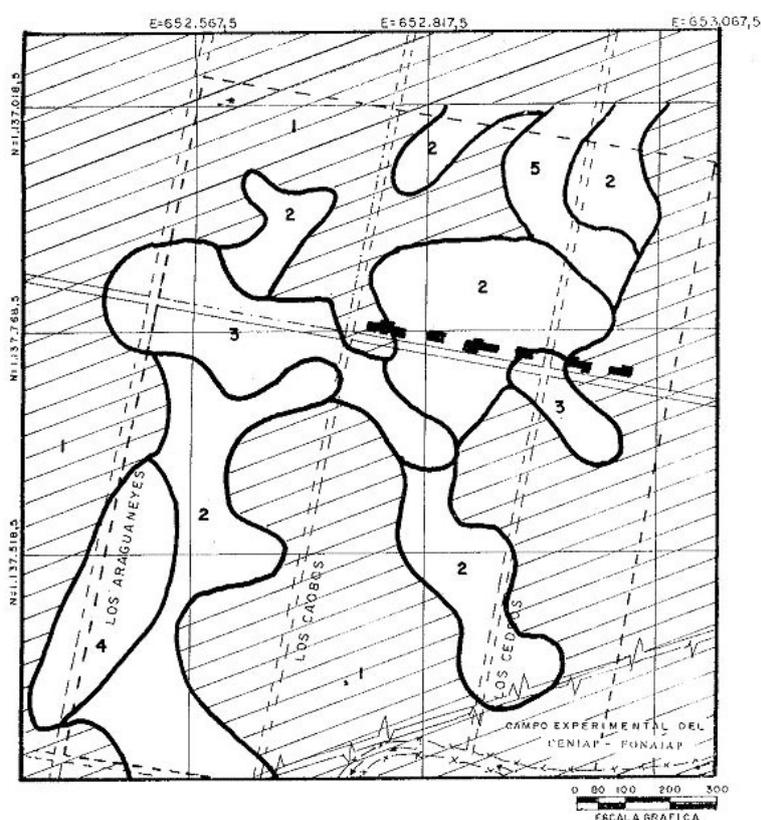
La elaboración de un mapa de suelos es costosa y es necesaria sólo cuando el usuario necesita saber la ubicación exacta de un determinado tipo de suelo, el usuario puede estar interesado en conocer sólo cuáles clases de suelo están presentes en un área.

Un estudio de suelos debe orientarse a producir información requerida para la planificación del uso de la tierra de una unidad de producción y puede realizarse en fases consecutivas, de manera de racionalizar su costo. La primera fase, puede constar de un muestreo rápido que le informará al usuario cómo es el suelo y qué clases de suelo están presentes en el área. Si esta fase revela la existencia de una proporción suficiente de tierras aptas para los usos previstos, será necesaria una nueva fase del muestreo, dirigida a producir un mapa que muestre la ubicación precisa de las diferentes clases de suelo.

Henríquez y Viloria (1998), realizaron un inventario de suelos en el campo experimental del antiguo FONAIAP (actualmente INIA) en Maracay, estado Aragua-República Bolivariana de Venezuela, para verificar las potencialidades de diferentes estudios de suelos utilizando diferentes intensidades de muestreo, para lo cual produjeron tres mapas con una intensidad de 0,4; 2,8 y 11 observaciones/ha (obs/ha). Los mapas fueron denominados de reconocimiento (MR), detallado (MD) y muy detallado

(MMD) respectivamente. En los Gráficos 1, 2, 3 se muestran las unidades cartográficas (UC) de suelos resultantes, es decir las clases de suelo predominantes y en el Cuadro 1, la síntesis de las clases de suelo existentes en el área estudiada. Con el MR se detectaron 3 UC de un máximo de 5 (MD) y 11 clases de suelo, de un máximo de 13 detectadas en el MD.

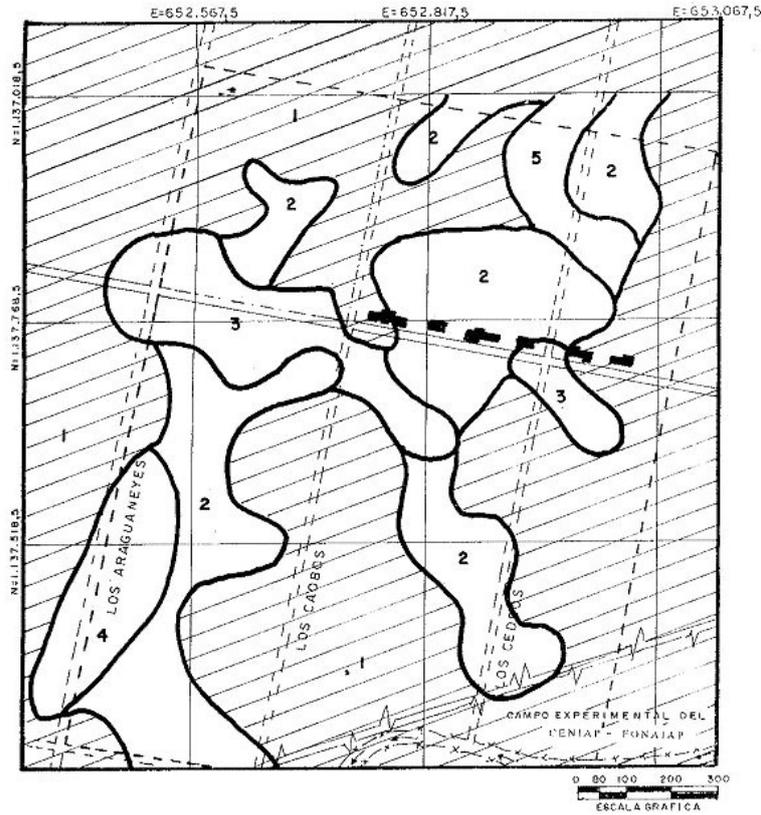
Las unidades cartográficas 4 y 5 y sus respectivas clases, que fueron identificadas en el mapa muy detalladamente (Gráfico 3), no pudieron ser identificadas con el MR debido a tres factores fundamentales: 1) Bajo % de superficie ocupado respecto a la superficie total del área, es decir 7% del MD y 6% del MMD (Cuadro 2); 2) Baja densidad de observaciones y 3) Utilización de un modelo en conglomerado (Henríquez, 1996), cuyo diseño no permitió una distribución regularmente espaciada de las observaciones de las zonas estudiadas. Con el MMD se detectaron 9 clases, lo cual es el resultado de la menor superficie utilizada para este estudio.



**Gráfico 1. Mapa de reconocimiento.**  
Fuente: Henríquez y Vilorio, (1998).

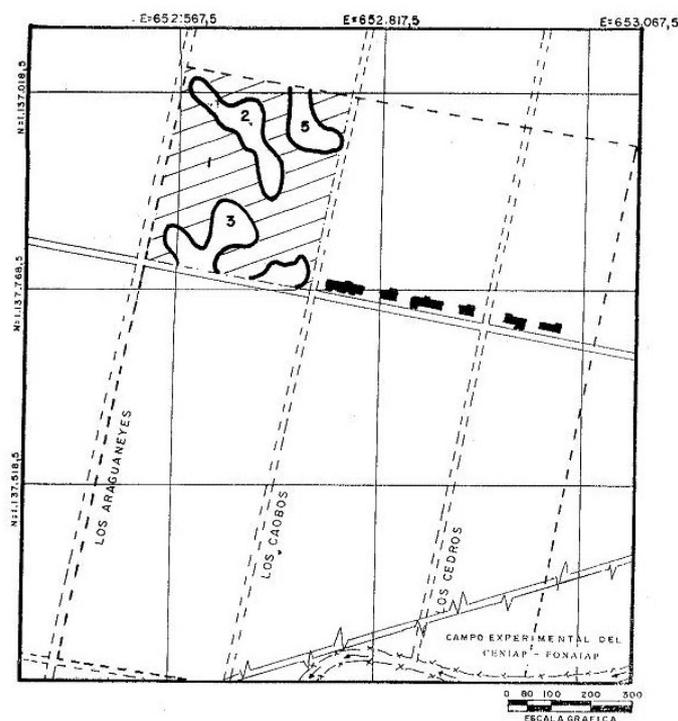
Leyenda				
Unidad cartográfica	Superficie (ha)	Familia taxonómica	% de suelo dominante + taxadjunto	Espesor del horizonte
1	65,92	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa fina, mita isohipertérmica	76	≥ 50 cm
2	3,02	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	92	≥ 50 cm
3	16,06	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	76	≤ 40 cm

## Anexo 2



**Gráfico 2. Mapa detallado.**  
Fuente: Henríquez y Vilorio, (1998).

Leyenda				
Unidad cartográfica	Superficie (ha)	Familia taxonómica	% de suelo dominante + taxadjunto	Espesor del horizonte
1	34,92	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa fina, mita isohipertérmica	82	≥ 50 cm
2	13,25	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	80	≥ 50 cm
3	4,17	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	100	≤ 40 cm
4	2,35	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa gruesa/arenosa, mita isohipertérmica	55	≥ 50 cm
5	1,56	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa fina, mita isohipertérmica	100	≤ 40 cm



**Gráfico 3. Mapa muy detallado.**  
Fuente: Henríquez y Vilorio, (1998).

Leyenda				
Unidad cartográfica	Superficie (ha)	Familia taxonómica	% de suelo dominante + taxadjunto	Espesor del horizonte
1	3,67	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa fina, mita isohipertérmica	74	≥ 50 cm
2	0,59	<i>Cumullic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	50	≥ 50 cm
3	0,77	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	56	≤ 40 cm
5	0,33	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa, mita isohipertérmica	100	≤ 40 cm

**Cuadro 1. Síntesis de las clases de suelos caracterizadas en el área bajo estudio<sup>1</sup>**

Clases de suelo	Nivel de detalle		
	MR	MD	MMD
1 <i>Cumulic Haplustolls</i> francosa gruesa.	X	X	X
2 <i>Cumulic Haplustolls</i> francosa fina.	X	X	X
3 <i>Cumulic Haplustolls</i> arcillosa fina.	X	X	
4 <i>Cumulic Haplustolls</i> francosa gruesa/arenosa.		X	
5 <i>Cumulic Haplustolls</i> francosa fina/arenosa.		X	X
6 <i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa; horizonte "A" < 40cm.	X	X	X

	Clases de suelo	Nivel de detalle		
		MR	MD	MMD
7	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa; horizonte "A" > 40cm.	x	x	x
8	<i>Fluventic Haplustolls</i> Francosa fina; horizonte "A" < 40cm.	x	x	x
9	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa fina; horizonte "A" > 40cm.	x	x	x
10	<i>Fluventic Haplustolls</i> arcillosa fina.	x	x	
11	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa/arenosa, horizonte "A" < 40cm.	x	x	x
12	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa/arenosa horizonte "A" > 40cm.	x	x	x
13	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa fina/arenosa; horizonte "A" < 40cm	x	x	

(1) Todos los suelos pertenecen a la familia mixta isohipertérmica.  
Fuente: Henríquez y Viloría, (1998).

**Cuadro 2. Porcentaje de la superficie ocupada por las unidades cartográficas delimitadas en los inventarios diagnóstico, detallado y muy detallado.**

Símbolo	Nombre	Nivel de detalle		
		MR	MD	MMD
1	<i>Cumulic Haplustolls</i> francosa fina > 40 cm.	77	62	69
2	<i>Cumulic Haplustolls</i> francosa gruesa > 40 cm.	4	24	11
3	<i>Fluventic Haplustolls</i> francosa gruesa/arenosa < 40 cm	19	7	14
4	<i>Cumulic Haplustolls</i> francosa gruesa/arenosa > 40 cm	–	4	–
5	<i>Cumulic Haplustolls</i> francosa fina/arenosa.	–	3	6
Total		100	100	100

Fuente: Henríquez y Viloría, (1998).

Los resultados de los gráficos 1 y 3 y los Cuadros 1 y 2, evidencian la importancia del estudio de reconocimiento, debido a que a través de él, se permitió estimar con mucha precisión la composición interna de las unidades cartográficas más importantes, así como el área que ocupan, aún cuando no permitió, definir los límites entre unidades cartográficas y su ubicación exacta. Estos resultados revelan la importancia del MR para satisfacer las necesidades de un usuario que esté interesado en conocer las clases presentes en el área objeto de evaluación, su composición interna, además de la proporción y potencialidades de los suelos aptos para un determinado uso, a fin de incorporar nuevas tierras a un tipo de utilización diferente al actual. Los resultados permiten dejar claro que, el MR es una herramienta muy potente para aportar al usuario información confiable y a muy bajo costo, para tomar la decisión de producir o no un mapa, evitando riesgos innecesarios y garantizando el éxito de la inversión futura

La importancia de la discusión anterior radica en dejar en evidencia que, con una densidad de 0,4 obs./ha, se pudieron dar respuestas confiables a las preguntas: ¿Cómo es el suelo?, ¿Qué clases de suelo existen?, ¿Para qué sirve el suelo?, así como también, la proporción aproximada que ocupan las unidades cartográficas en el *campo experimental*. Sin embargo, este MR no permitió dar una respuesta precisa a la pregunta ¿Dónde ocurre el suelo x?, dada la poca exactitud de los límites entre las unidades cartográficas. También queda evidenciado en esa discusión que, para delimitar las clases de suelo predominantes es necesaria una densidad de muestreo superior a las 0,4 obs./ha y que, dependiendo de las necesidades del productor, esta densidad pudiera estar entre 2,8 y 11 obs./ha.

### *Muestreo de unidades delimitadas o unidades de manejo*

Para construir un mapa de suelos hay que aplicar una o varias técnicas a través del cual se capte, analice y procese la información de los suelos, bien de forma manual o a través de un sistema de información. Existen varios procedimientos para realizar los levantamientos o inventario de suelos:

- **Mapeo por retículas y transectas.** Las observaciones se localizan en función de intervalos regulares a través de transectas rectas, paralelas y regularmente espaciadas. Los límites de suelos son dibujados por interpolación. (Viloria y Rosales, 1995; Robers y Henry, 2001).
- **Mapeo libre.** Las observaciones son localizadas a juicio del agrólogo o experto, a medida que el levantamiento procede. Se utilizan para verificar los límites de la fotointerpretación y para describir los suelos de las áreas circunscritas por esos límites (Henríquez, 1996).
- **Mapeo fisiográfico.** Es utilizado en estudios a escalas pequeñas basados en una baja densidad de observaciones. Los límites de suelo son dibujados a partir de indicadores externos observados en fotografías aéreas u otro tipo de imágenes de percepción remota. Este tipo de muestreo puede apoyarse en la *clasificación sistemática de categorías de paisaje*, propuesta por Elizalde (1986), y utilizando los sistemas deposicionales paisajes generales básicos propuestos por diversos autores (Schargel *et al*, 1971; Zinck, A., 1970 y Zinck, A. 1986):

#### **Paisajes aluviales básicos**

- \* Paisaje de montaña;
- \* Paisaje de planicie y
- \* Paisaje de pie de monte.

#### **Sistemas deposicionales aluviales**

- \* Fluvio-deltáico
- \* Valle encajonado
- \* Explayamiento.

- **Muestreo anidado o jerarquizado.** Está dirigido a determinar los componentes de variación de las propiedades del suelo, que son el resultado de la acción de factores formadores sobre un continuo de escalas espaciales y temporales, utilizando distintos intervalos o niveles de muestreo para cuantificar la variación, a fin de poder estimar sus dimensiones y establecer una densidad de muestreo que permita resolverla (Ovalles 1992).
- **Muestreo en conglomerado.** Tiene como punto de partida la subdivisión de la región considerada en áreas cuyo patrón de variación sea más o menos homogéneo, de manera que en cada subárea el origen del semivariograma pueda ser determinado mediante tripletas de puntos de muestreo (Henríquez y Vilorio, 2000).

*Número de muestras compuestas o representativas  
a tomar en cada unidad cartográfica o unidad de manejo*

La unidad cartográfica puede definirse como una unidad de manejo, sin embargo, los límites entre ambas no son coincidentes totalmente, porque los límites de la unidad de manejo obedecen a un patrón práctico (cuadrados, rectángulos, etc.), mientras que los de la unidad cartográfica, obedecen a un patrón real de distribución de los suelos. Esta unidad se considerará homogénea, cuando la respuesta de un cultivo, en un sitio particular, sea similar a un manejo determinado. En ocasiones, ambos términos se utilizan como sinónimos. A fin de determinar el número de muestras individuales y compuestas de una unidad de manejo, debe partirse del principio que, su respuesta a un uso determinado es muy similar en toda su extensión.

De no ser así, la unidad de manejo, o unidad homogénea, estaría funcionando en áreas cartográficamente contrastantes, por lo que la respuesta del cultivo a un mismo manejo será diferente. En estos casos, lo más adecuado es separar las unidades que responden de manera diferente al manejo que se aplica. También puede darse el caso que, una unidad de manejo esté establecida sobre dos unidades cartográficas diferentes, pero al no ser contrastantes, la respuesta del cultivo a un manejo similar, es similar en ambas (Henríquez, 1996). Las unidades homogéneas pueden muestrearse en forma de cuadrícula, al azar, en zig-zag, entre otras. La finalidad es tomar muestras compuestas para determinar la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Cada unidad homogénea debería estar representada por al menos una muestra compuesta. En aquellas unidades cartográficas que no son altamente homogéneas y/o en aquellas donde el manejo del mismo cultivo ha provocado diferentes respuestas, debe ser tomada, más de una muestra.

En áreas o sistemas deposicionales donde los cambios en los patrones de variación espacial de las propiedades diagnósticas no son abruptos, la tasa de variación de las propiedades de una población de suelo, puede ser estimada cuantitativamente a través de la subdivisión de la varianza

en sus componentes espaciales (utilizando un muestreo de reconocimiento adecuado para planificar los muestreos definitivos (Rey y Ovalles, 2000). Entre los muestreos de reconocimiento se pueden mencionar el de conglomerado (Gráfico 4) y el anidado. Ambos pueden ser utilizados para aplicar la teoría de las variables regionalizadas (Journel y Huijbregts, 1978).

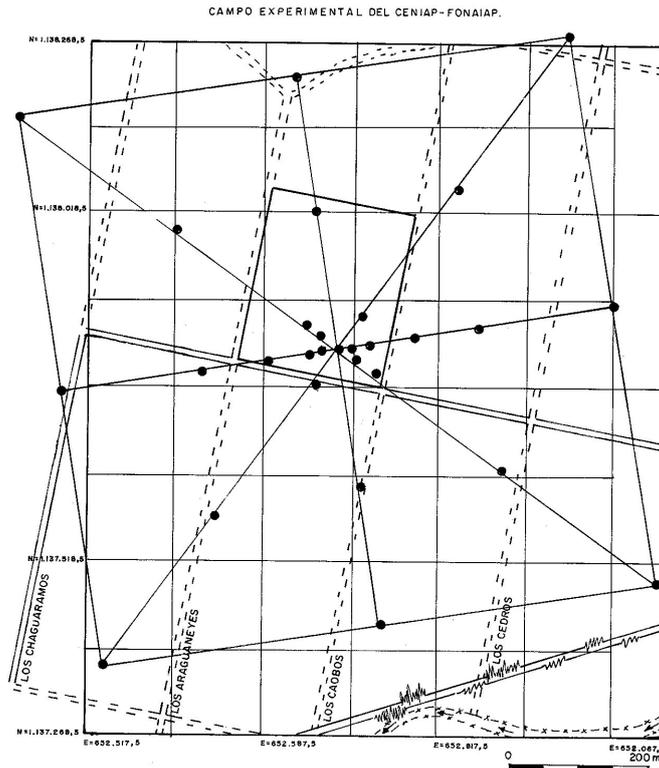
### *Identificación de la tasa de cambio de manera cualitativa*

Utilizando un muestreo de reconocimiento adecuado, es posible identificar la tasa de variación de las propiedades de una población de suelo para planificar los muestreos definitivos (Ovalles, 1991; Rey y Ovalles 2000; Lamhamedi, *et al*, 2006). La tasa de cambio espacial se ha estimado, usualmente, de manera cualitativa, Vilorio (1989). Si se definen propiedades estables, como la textura y la profundidad de interés para un cultivo, el % de saturación de bases a una profundidad seleccionada, etc., la determinación cualitativa y práctica de la tasa de cambio de forma relativamente empírica, utilizando un muestreo de reconocimiento, puede ser definida.

En áreas con poca información edáfica y donde no se han delimitado las unidades de suelo existentes, esta tasa puede ser estimada a través de la subdivisión de áreas contrastantes. La textura puede utilizarse para ese fin por ser una cualidad muy estable, no sujeta a cambios en el corto y mediano plazo. Los cambios en un sector determinado se identifican realizando determinaciones de textura de forma manual, en sentido perpendicular a la máxima variación del sistema deposicional, siguiendo el sentido de la deposición de los sedimentos, para estimar la distancia a la que se encuentran los cambios más importantes en los tamaños de partícula.

En sentido perpendicular al eje de máxima variación, deben realizarse varias transectas, cuya distancia será determinada por los cambios detectados en el sentido de la menor variación. En los puntos donde se detectaron cambios apreciables, tanto en el sentido de la máxima como en el de la mínima variación, se colocan las clases texturales determinadas al tacto, creándose una red, en la cual cada punto representa un cambio importante en la variable seleccionada.

Un mapa sencillo, pero de alto valor práctico, se puede crear uniendo puntos de textura, u otras variables similares en forma de isolíneas, lo cual permitirá la demarcación de zonas homogéneas de acuerdo con criterios definidos previamente para formar clases, p. ej.: texturas pesadas, medias y livianas. Con el mismo objetivo se puede utilizar la profundidad efectiva, el pH, la CE, aspecto de las plantas como coloración de las hojas, tamaño y otras variables que se consideren importantes para el o los cultivos que se evalúan. Preferiblemente, deben utilizarse variables que no cambien con el manejo, porque las que se pueden controlar, en un futuro dejarán de ser limitantes.



**Gráfico 4. Muestreo en conglomerado (0,4 obs/ha) para mapa de reconocimiento**

Fuente: Henríquez y Vilorio (2000)

Un agricultor cualquiera, que reciba un entrenamiento sencillo, puede hacer uso del procedimiento anterior para establecer sus propias unidades homogéneas y luego tomar la muestra representativa de ese lugar. Si deseamos ser mas precisos y deseamos cuantificar la variación espacial, para determinar el área que representa una muestra, puede entrenarse un grupo de profesionales en el uso de métodos más avanzados como los geoestadísticos. Pero su uso generará la necesidad de mayores recursos en cuanto a la formación del personal, equipos y programas sofisticados que aumentarían el costo del muestreo y la selección de áreas homogéneas. No debe descartarse el uso de estas tecnologías, pero debe estudiarse una estrategia para que su implementación sea accesible a cualquier productor agrícola.

*Número de muestras individuales (submuestras) a tomar en cada unidad cartográfica o unidad de manejo*

El número de submuestras en un área puede determinarse mediante la fórmula:

$$n = \frac{t^2_{/\alpha 2} s^2}{D^2} = n = \frac{t^2_{/\alpha 2} s^2}{p^2}$$

Donde:

n = número de submuestras.

$t^2_{\alpha/2}$  = "t" de Student con n-1 grados de libertad y un nivel de probabilidad  $\alpha/2$ .

D = límite de confianza en términos absolutos.

$p^2$  = límites de confianza en términos relativos

La limitación de este método es que no se sabe con certeza si, dentro de cada subdivisión, hay o no dependencia espacial de las diferentes propiedades que se estudian, con lo cual la muestra podría no ser representativa. No se conoce  $S^2$  por lo que hay que inferirlo.

### *Número de submuestras recomendadas por muestras compuestas o representativas en áreas definidas como homogéneas*

De acuerdo con Vilorio (1989), la reducción adicional de la varianza de estimación es muy pequeña para valores de n = 9 y virtualmente nula para n > 25. De la misma manera, Suárez (1979), encontró que muestras compuestas de al menos 10 a 15 submuestras satisfacen límites de confianza razonables. No obstante, considera que el número a adoptar dependerá de la variabilidad del suelo. Menos de 10 submuestras son necesarias para lograr una exactitud del 20% más o menos y una precisión de 80%, pero este nivel de exactitud no es aceptable para una recomendación de fertilización.

Entre 20-30 submuestras proveen una exactitud y precisión adecuada (Roberts y Henry, 2001). De manera empírica (FONAIAP, 1986) recomienda 20 submuestras por muestras compuestas. Cortés y Malagón (1992), propusieron un área de 0,25 cm<sup>2</sup> de mapa como la mínima unidad mapeable, en el Cuadro 1 los mismos autores resumen la densidad de observaciones/ha que sugieren otros autores para los estudios de suelo a diferentes escalas.

**Densidad de observaciones requeridas según la escala del estudio de suelo.**

Tipo de estudio	Escala	Densidad de observaciones/ha				
		Con fotos aéreas	Sin fotos aéreas			
Muy detallado	< 1:10 000	40-5	40-5	> 36	-	> 2
Detallado	1:10 000 - 1:25 000	1-5	1-5	9-36	-	0,5-2
Semidetallado	1:25 000 - 1:50 000	1-0,1	1-0,01	-	0,66	0,5-0,05
Reconocimiento	1:50 000 - 1:100 000	0,1-0,02	0,01		0,66-0,17	0,05-0,01
Gran visión	1:100 000 - 1:250 000	0,02-0,005	0,01-0,002	-	0,17-0,04	0,01-0,002
Esquemático	< 1:250 000	< 0,005	< 0,002	-	0,04-0,001	< 0,002
Fuente citada por Cortés y Malagón (1992)		Vink (1953)		Veneenbos (1974)		Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo

Fuente: modificado de Cortés y Malagón (1992).

Cada zona homogénea puede estar representada por una muestra compuesta si el manejo es el mismo y no hay diferencias en el aspecto nutricional de la planta y de rendimiento de los cultivos que se desarrollan en ella. De haber diferencias, se tomarán tantas muestras como lo indiquen los manejos que existan, y las variaciones entre grupos de plantas dentro de un mismo manejo.

Por su parte, Ovalles (1992) propone una metodología, basada en la teoría de las variables regionalizadas de Journel y Huijbregts (1978), con el objeto de determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de diagnóstico de fertilidad. En este caso, no se utilizan muestras compuestas, ya que ella es válida, entre otros aspectos, cuando el volumen muestreado representa una población homogénea y el objetivo es tener un estimado no sesgado del valor promedio de la propiedad de interés.

### *Muestreo de áreas homogéneas según el cultivo*

Una misma tierra puede ser sometida a diferentes usos, consecuentemente, el manejo varía entre cultivos. Un frutal exigirá de la tierra una mayor profundidad efectiva que cualquier hortaliza, su distancia de siembra será diferente al igual que su fertilización durante el ciclo del cultivo. Estos contrastes generan la necesidad de establecer muestreos diferentes.

Para el caso de frutales, algunos investigadores (FONAIAP, 1986) recomiendan tomar 20 submuestras por muestras compuestas, dentro de unidades homogéneas. Las profundidades que considera más adecuadas son de 0-20 cm y 20-40 cm. La colecta de la muestra debe realizarse de la proyección del radio medio de la copa, de donde se tomarán 4 puntos para completar una submuestra. El resto de las submuestras, unas 20 por unidad homogénea, deben tomarse en dos direcciones, formando una "X".

El muestreo de áreas homogéneas en tierras cultivadas con cebolla, es distinto al de frutales, especialmente porque sus sistemas radiculares son diferentes. La determinación del estado de fertilidad del suelo para la cebolla no necesita de un estudio a 20-40 cm, porque su sistema radicular se encuentra, en mayor proporción. Un muestreo entre 0 y 20 cm es adecuado. En este caso sería absurdo tomar en consideración el radio medio de la copa y muestrear en dos direcciones. Lo más apropiado sería tomar entre 9 y 15 submuestras por muestra compuesta antes de la siembra, en forma de retícula o zig-zag, para formar la muestra compuesta representativa del sitio considerado como homogéneo.

Las variaciones en las muestras de áreas homogéneas, entre cultivos diferentes, conllevan a reflexionar sobre la necesidad de establecer formas de muestreo distintas para usos diferentes de la tierra. También, hacen reflexionar sobre la necesidad de establecer parámetros, llámense variables, sobre los cuales deben reposar los criterios para separar áreas homogéneas y establecer las técnicas de muestreo más adecuadas para un cultivo en particular o grupos de cultivo en general.

### *Síntesis*

- Muestreamos para determinar y conocer como son los suelos.
- Necesitamos determinar la concentración de los elementos en el suelo, para aplicar las dosis adecuadas de los elementos según las necesidades del cultivo y evitar pérdidas económicas.
- El esquema de muestreo más adecuado, es aquel que nos proporcione una muestra representativa.
- La muestra, es una cuota parte de una población.
- Una muestra compuesta, es la mezcla de varias submuestras o cuotas parte de una población
- Una muestra representativa, es aquella que nos proporciona el valor más cercano a la realidad, del área que representan de ciertas variables.
- La superficie o unidad de muestreo que representa una muestra, es el área donde se supone que el valor de diferentes variables es más o menos similar.
- La confiabilidad de una muestra, dependerá del área de dónde provenga. Será más confiable cuando el área de donde provenga sea más homogénea o viceversa; y cuando su desviación típica sea la menor posible.
- Áreas heterogéneas pueden ser segregadas en áreas homogéneas, identificando la tasa de variación de una muestra del paisaje de la zona que se desea muestrear.

### **Literatura citada.**

- Cortés, A. y D. Malagón. 1992. Los levantamientos de suelos y sus aplicaciones multidisciplinarias. CIDIAT. Mérida, Venezuela. Serie suelos y clima SC-58. 409 p.
- Elizalde, G. 1986. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisaje. Primera aproximación. UCV, Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 46 p.
- FONAIAP. 1986. El cultivo de la naranja dulce. Serie Paquetes Tecnológicos N° 3-02. CENIAP. Maracay, Venezuela. 140 p.
- Henríquez R., M. 1996. Procedimiento complementario al levantamiento de suelos convencional a escalas detalladas (1:10.000) UCV. Facultad de Agronomía. Tesis M. Sc. Maracay, Venezuela. 143 p.
- Henríquez R., M. y J. Vilorio. 1998. Estrategias de captación de la información edafológica en un estudio convencional. *Agronomía Tropical*. 48:457-470.

- Henríquez R., M. y J. Viloría. 2000. Error de predicción del pedón representativo y la media aritmética de clases de suelo a diferentes intensidades de muestreo. *Agronomía Tropical*. 50:253-265.
- Journel, A. G. y C. J. Huijbregts. 1978. *Mining. Geostatistics*. Academic Press. London. 22-47 pp.
- Lamhamedi, M, L. Labbé, H. Margolis, D. Stowe, L. Blais y M. Renaoud. 2006. Spatial variability of substrate water content and growth of white spruce seedlings. *SSSAJ*, 70:108-120.
- Norris, J. M. 1970. The application of multivariate analysis to soil and studies. Grouping of soils. Using different properties. *J. Soil Sci.* 22:69-80.
- Ovalles, F. 1991. Evaluación de la variabilidad de suelos a nivel de parcela, para el establecimiento en lotes experimentales en el Estado Cojedes. *Agronomía Trop.* 41(1-2):5-21.
- Ovalles, F. 1992. Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP. Maracay, Venezuela. Serie B. 44 p.
- Rey, J. C. y F. Ovalles. 2000. Transferencia del modelo de variación de suelos entre dos áreas análogas. *Agronomía Trop.* 50:567-587.
- Roberts, T. J y J. L. Henry. 2001. El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones Agronómicas* 42:4-7.
- Schargel W., A. Zinck y P. Stagno. 1971. *Sistemas deposicionales aluviales*. MOP. Guanare, UCO, Escuela de Agronomía. Barquisimeto, Venezuela. 15 p.
- Suárez, F. 1979. Variabilidad y muestreo de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad. *Ciencia e Investigación Agraria*. 6: 151-154.
- Viloría, J. 1989. The interrelation between soil survey and soil information systems: optimization of the data gathering procedures. University of Oxford. Ph. D. Thesis. 350 p
- Viloría, J. y A. Rosales. 1995. Uso de transectas aleatorizadas, para determinar la composición taxonómica de unidades cartográficas. *Agronomía Trop.* 45:89-95.
- Zinck, A. 1970. Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales. MOP. División de Edafología. Barcelona, Venezuela. 105 p.
- Zinck, A. 1986. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. CIDIAT. Serie Suelos y Clima. S.C. 46. Mérida, Venezuela. 114 p.



El Fondo Editorial OPSU terminó de editar este libro  
en diciembre de 2018 para su publicación digital.  
Caracas, Venezuela

## **Nutrición mineral de las plantas**

**Análisis foliar mediante el DRIS**

Vianel J. Rodríguez Pérez  
(Editor-coordinador)

Orlando A. Rodríguez R.  
(Coeditor)

*La nutrición mineral de plantas: Análisis foliar, mediante el DRIS, es una publicación que nos ofrece una idea precisa y didácticamente organizada del uso correcto del sistema DRIS.*

El sistema DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), es la mejor herramienta para un diagnóstico confiable de los resultados del análisis foliar y de suelos. El DRIS permite trabajar con datos adquiridos de cultivos comerciales, ahorrando tiempo y dinero. Además, se obtienen interpretaciones que consideran todas las relaciones entre los nutrientes.

Esta publicación cuenta con la participación de reconocidos especialistas en el área, coordinados de manera brillante por el Dr. Vianel Rodríguez Pérez.

