

1 Métodos de análisis foliar aplicados bosques naturales y exóticos de interés comercial:  
2 características, ventajas y desventajas.

3

4 Methods of foliar analysis applied for economic interest exotic and natural forest:  
5 characteristics, advantages and disadvantages.

6

7 Carlos Esse<sup>1,2</sup>, Víctor Gerding<sup>1</sup>, María José Sanhueza<sup>2</sup>

8

9 <sup>1</sup>Instituto de bosques y sociedad. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos naturales, Universidad Austral  
10 de Chile. Casilla 567, Valdivia, Chile. [karlos.esse@gmail.com](mailto:karlos.esse@gmail.com)

11 <sup>2</sup>Escuela de Ciencias Forestales. Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco. Casilla  
12 15-D, Temuco, Chile

13

14

15

## Resumen

16

17 El presente trabajo, corresponde a una síntesis bibliográfica cuyo objetivo radica en  
18 la descripción de las principales características de tres de los métodos más utilizados en los  
19 análisis de tejido foliar de origen vegetal. Para ello, se analizaron los estudios relacionados  
20 la temática expuesta, desde los cuales se extrajeron los principales resultados y discusiones  
21 sobre las ventajas del uso de cada uno de ellos. Los métodos aquí presentados corresponden  
22 al método de los valores críticos (VC), método DRIS (diagnosis and recommendation  
23 integrated system), y método a través del análisis de vectores. Las principales conclusiones  
24 indican que los tres métodos permiten abordar en general las distintas condiciones en las  
25 cuales crecen los bosques naturales y exóticos de interés comercial, no destacándose ningún  
26 método sobre otro, sin embargo, cada uno posee sus ventajas dependiendo de la especie  
27 tratada y el sitio. Lo anterior permite su recomendación con base a características de la  
28 especie analizada y las condiciones de sitio en las cuales crece y se desarrollan las especies  
29 forestales.

30 Palabras clave: foliar, macro-elementos, micro-elementos

31

32

## Abstract

33

34 This work corresponds to a literature synthesis that works towards the description of the  
35 main features of three of the most used methods in the analysis of plant leaf. For this  
36 reason, studies related the topics discussed were analyzed, from which the main results and  
37 discussing the advantages of using each extracted. The methods presented here correspond  
38 to the critical values method (VC), DRIS (diagnosis and recommendation integrated  
39 system) method, and method by vector analysis. The main findings indicate that the three  
40 methods generally can address the different conditions under which natural and exotic  
41 forests growing commercial interest, no highlighting any method over another, yet each has  
42 its advantages depending on the species treated and site. This allows its recommendation  
43 based on characteristics of the analyzed species and site conditions in which forest species  
44 grow and develop.

45 Key word: foliar, macro-elements, micro-elements

46

47

## Introducción

48

49 La escasez de nutrientes puede limitar la producción de las especies vegetales en la  
50 mayoría de los ambientes. Bajo condiciones naturales la cantidad de nutrientes disponible  
51 siempre es limitada, por lo que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y  
52 maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes para conseguir una máxima producción  
53 de biomasa. A fin de controlar la respuesta de un cultivo a distintas actividades de manejo,  
54 como la fertilización, y detectar problemas que perjudiquen el rendimiento, impidiendo la  
55 máxima producción, es imprescindible el diagnóstico de la nutrición mineral. Para ello el  
56 análisis foliar es la técnica más recomendada (Del Valle *et al* 2002, Lucena *et al* 2002).  
57 Dicho análisis, también conocido como análisis de tejido vegetal, determina el contenido  
58 elemental de nutrientes de una parte de la planta en particular, que comúnmente es la hoja.  
59 Dicho análisis está basado en el hecho de que la hoja es el órgano con mayor actividad  
60 metabólica. De esta forma, las variaciones en la nutrición se pueden observar con más  
61 facilidad en dicho órgano (Polania 2000). Esta técnica es cada vez más utilizada para

62 determinar el estado nutritivo de las plantaciones forestales a objeto de definir los  
63 programas de fertilización más adecuados (Lambert 1984).

64 Según Eymar et al. (2008), el análisis foliar permite desarrollar una serie de  
65 aproximaciones y métodos de diagnóstico. No obstante, los métodos tradicionales poseen  
66 serias limitaciones debido a que el contenido total depende de la edad de desarrollo de la  
67 hoja, posición de la hoja sobre la planta, el momento de toma de muestra, balances de  
68 nutrición, presencia de elementos benéficos o tóxicos, entre otros (Lucena et al. 2002).

69 Entre los métodos de análisis foliar suelen citarse los métodos estáticos y dinámicos (Moses  
70 y Timmer 1999, Ngonu y Fisher 2004). Los estáticos como, por ejemplo, el método de  
71 valores críticos, comparan el contenido de un elemento dado y su norma. Entre los métodos  
72 dinámicos son comunes el análisis de vectores y el DRIS. En el ámbito forestal, los  
73 métodos más utilizados derivan tanto de aquellos estáticos como dinámicos (Needham et al.  
74 1990).

75 Para determinadas especies, las distintas fuentes de variación de los contenidos  
76 foliares condicionarán la aplicabilidad y eficacia de estos sistemas de diagnóstico (Bates  
77 1971). Así, por ejemplo, la variabilidad encontrada en los contenidos foliares de distintas  
78 procedencias puede ser importante, lo cual dificultaría la definición de niveles de referencia  
79 para una determinada especie (Español et al. 2000). Por ende, las diversas técnicas y  
80 metodologías aplicadas a estos análisis suelen entregar aproximaciones a los estados  
81 nutritivos.

82 Basado en lo anterior, el presente trabajo de síntesis bibliográfica tiene por objetivo  
83 describir las ventajas y desventajas más importantes de los métodos de análisis foliar  
84 conocidos como valores críticos, DRIS y análisis de vectores.

85

86 Métodos para expresar el contenido de nutrientes en los tejidos.

87

88 El contenido de los elementos nutritivos en los tejidos vegetales se expresa en  
89 unidades peso/peso, considerando el peso del elemento y el peso seco (60 a 105 °C) del  
90 tejido que lo contiene. Comúnmente, los macro-elementos (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S)  
91 en los tejidos se expresan como porcentaje (%) y los micro-elementos (B, Cl, Cu, Fe, Mo,  
92 Mn y Zn) en miligramos/kilogramo (mg/kg). Usando unidades del Sistema Internacional,

93 los elementos mayores también se expresan en gramos/kilogramo (g/kg) y los micro-  
94 elementos como microgramos/gramo ( $\mu\text{g/g}$ ). Es frecuente también la expresión anticuada  
95 de partes por millón (ppm) como equivalente a miligramos/kilogramo.

96 Normalmente los contenidos de elementos mayores se expresan en porcentaje con  
97 dos dígitos decimales (0,00%). Los elementos menores se expresan en  
98 miligramos/kilogramo, contenidos  $> 10 \text{ mg/kg}$  se expresan como números enteros,  
99 contenidos  $> 1 \text{ mg/kg}$  pero  $< 10 \text{ mg/kg}$  se expresan con un decimal (0,0) y los contenidos  
100 menores a  $1 \text{ mg/kg}$  se expresan con dos decimales (0,00).

101 Un programa de interpretación del análisis foliar busca relacionar los resultados con  
102 valores simples como el contenido crítico o contenido estándar de cada elemento nutritivo  
103 para el cultivo en estudio (Polania 2000). Cuando se tiene suficiente experiencia es  
104 preferible interpretar los resultados dentro de un juego de datos que definen un rango  
105 completo de contenidos que van desde la deficiencia hasta el exceso.

106

107

#### Métodos para análisis foliar

108

109 El método de los valores críticos (VC)

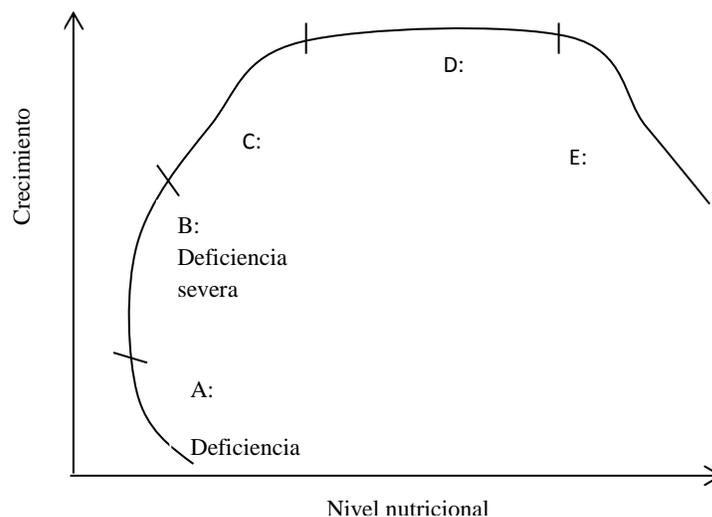
110 Se define al nivel crítico o contenido límite al contenido de un elemento nutritivo en  
111 el tejido vegetal, por debajo del cual se afecta el crecimiento (Gregoire y Fisher 2004).  
112 Consiste en la comparación de los valores obtenidos con niveles de referencia, que en la  
113 mayoría de los casos están basados en un desarrollo óptimo del cultivo y en un determinado  
114 estadio del ciclo vegetativo (Ciudad 2007). Éste es el valor clave para la ponderación del  
115 análisis nutricional y posible aplicación de fertilizante (Lallana y Lallana 2001). Este  
116 diagnóstico requiere que la composición de la planta sea comparada con valores estándares  
117 para un determinado estado fenológico o de crecimiento y para un órgano en particular.

118 En la aproximación por el valor crítico, la calibración se realiza graficando el contenido del  
119 elemento en hojas con un estado de crecimiento específico en función del rendimiento  
120 relativo obtenido de datos provenientes de ensayos de campo o cultivos con altos  
121 rendimientos, en experimentos controlados, con diferentes dosis de fertilizante para un  
122 nutriente en particular. En la figura 1, la forma de la curva de la parte izquierda (secciones  
123 A, B y C) se conoce como efecto Steenbjerg, dado cuando un elementos es extremadamente

124 deficiente y un aporte suplementario, por pequeño que sea, produce una respuesta muy  
125 brusca en el crecimiento que resulta en una disminución de la concentración en los tejidos  
126 (Oliet et al. 1999).

127 Cabe indicar que la zona de deficiencia (A y B) muestran un crecimiento acusado  
128 frente a pequeños incrementos en la concentración de nutrientes, el nivel crítico (C) en  
129 ausencia de limitantes, se corresponde con una ligera pérdida de producción (10%), el  
130 intervalo crítico (al final de C) corresponde al intervalo de concentraciones por debajo del  
131 cual hay deficiencia y por encima la planta está ampliamente abastecida no apreciándose  
132 síntomas visuales de deficiencia, en la zona de suficiencia (D) no se produce crecimiento  
133 adicional por aumento de concentración, y en la zona de toxicidad (E) se produce una caída  
134 del crecimiento, causada por los efectos tóxicos del exceso de un nutriente con presencia de  
135 síntomas visuales (Oliet et al. 1999).

136 El valor óptimo o crítico es aquel al cual se obtiene el 90 % del rendimiento relativo  
137 máximo (Oliet et al. 1999). Este valor crítico se determina para cada elemento nutritivo en  
138 particular y se compara con el valor determinado en la muestra a diagnosticar (Gregoire y  
139 Fisher 2004). Debido a que en esta aproximación se considera cada elemento nutritivo por  
140 separado, se ignoran los efectos de interacción entre bioelementos, las que pueden causar  
141 grandes variaciones en el valor crítico. Para cuantificar dichas variaciones, más que un  
142 simple valor crítico se usa el rango de suficiencia, aunque esto contribuye a una pérdida en  
143 la exactitud del diagnóstico.



154 Figura 1. Relación entre el crecimiento de la planta y su contenido de elementos nutritivos

155

156 El mayor problema de este tipo de aproximaciones proviene de la dificultad de  
157 asegurar que el tejido para el diagnóstico es tomado en el mismo estado de desarrollo al  
158 usado para establecer el valor crítico, este diagnóstico requiere que la composición de la  
159 planta sea comprada con valores estándares para un determinado estado fenológico o de  
160 crecimiento y para un órgano en particular, lo cual en algunos casos dificulta el análisis. En  
161 efecto, cuando la hoja es analizada fuera de ese estadio vegetativo, surge la incógnita de si  
162 los niveles nutritivos referenciales son igual de útiles (Lucena et al. 2002, Ciudad 2007).

163 A través de este método, puede obtenerse una interpretación errada de los resultados si la  
164 persona que interpreta los análisis no está familiarizada con las relaciones entre la  
165 acumulación de materia seca y el contenido de elementos (Lucena et al. 2002).

166 Metodológicamente para diagnosticar problemas de nutrición vegetal en plantas, el  
167 método de los valores críticos está severamente limitado por la variación en el contenido de  
168 los elementos en relación a factores como el suelo o el área donde se realice el cultivo, e  
169 incluso puede variar según el año. Por lo tanto, un rango definido de suficiencia puede no  
170 ser aplicable en todas las situaciones. Por ello resulta muy difícil establecer el  
171 requerimiento absoluto de las plantas. Frecuentemente los rangos son muy amplios y el  
172 método tiene en cuenta cada elemento en particular, sin establecer el orden de importancia  
173 o de balance (Lallana y Lallana 2001). Además, en la definición de un cierto valor tomado  
174 como nivel crítico, tiene gran relevancia la metodología aplicada por quienes procesaron la  
175 información, por lo cual ese valor crítico puede variar si se cambia de metodología (Ciudad,  
176 2007).

177 Lo anterior conduce a no guiarse por los valores críticos, sino a las relaciones entre  
178 los distintos elementos, sobre la base de las interacciones (sinergismos y antagonismos) que  
179 se producen entre los bioelementos. Estas interacciones conducen, por lo general, a  
180 desequilibrios fisiológicos nutricionales que se manifiestan en los órganos de las plantas  
181 que se analizan. Es por ello que se hace necesario conocer qué relaciones e índices ponen  
182 de manifiesto los equilibrios fisiológicos óptimos, pues suelen poseer mayor valor de  
183 diagnóstico que los datos de contenidos aislados dados por los análisis foliares, al ser poco  
184 dependientes de las condiciones climáticas y de la época del ciclo en que se toman las  
185 muestras.

186 Español et al. (2000) utilizó este método para determinar el contenido de macro y  
187 micro elementos sobre un total de nueve especies de *Eucaliptus* en el noreste de España, los  
188 resultados indicaron que es necesarios trabajos que relacionen los contenidos foliares con  
189 desarrollo y producción, que permitan definir niveles o rangos críticos locales para las  
190 distintas especies y nutrientes y, por tanto, poder utilizar la analítica foliar como  
191 herramienta para asesorar los programas de fertilización.

192

193 El método DRIS (diagnosis and recommendation integrated system)

194

195 Con la finalidad de eliminar las limitantes señaladas, Beaufils (1973) desarrolló el  
196 método denominado sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS), el cual  
197 consta de un conjunto de normas que hacen un diagnóstico más completo, ya que clasifica  
198 en orden de importancia los elementos que requiere la planta, toma en cuenta sus  
199 interacciones, el balance nutricional y detecta deficiencias y excesos relativos. Además, y  
200 lo más importante, puede realizar diagnósticos en cualquier etapa de desarrollo en la planta.

201 Este método consiste en un conjunto de normas de diagnóstico que considera las  
202 relaciones entre los elementos, más que las concentraciones individuales *per se*. Fue  
203 propuesto por Beaufils (1973), a partir de trabajos sobre fisiología y nutrición vegetal,  
204 primero con el cultivo del caucho en Vietnam y, posteriormente, con maíz y caña de azúcar  
205 en Sudáfrica (Rodríguez y Rodríguez 2000, Gregoire y Fisher 2004). Se basa en la teoría de  
206 que el estado nutricional de las plantas varía menos cuando alcanzan su máximo  
207 crecimiento (Beaufils 1973, Del Valle et al. 2002). La técnica corresponde a la  
208 comparación de relaciones entre elementos con normas establecidas. El método DRIS se  
209 diseñó para: a) lograr un diagnóstico válido a pesar de la edad de la planta o el tipo del  
210 tejido, b) ordenar los elementos nutritivos desde el más limitante al menos limitante, y c)  
211 realzar la importancia del balance de elementos nutritivos (Lucena et al. 2002).

212 El DRIS usa índices para cada elemento nutritivo, obtenidos desde la media  
213 aritmética de funciones calculadas teniendo en cuenta las relaciones de todas las parejas de  
214 los elementos en la que interviene el elemento considerado (Walworth y Summer 1987).  
215 Estas relaciones están elegidas de tal manera que su variación con la edad de la hoja sea  
216 mínima y aunque normalmente es el cociente entre los elementos, puede ser también el

217 producto. En el cálculo de las funciones interviene el coeficiente de variación (CV%) de la  
218 norma de la relación entre los elementos. Si este coeficiente de variación es bajo indica que  
219 los elementos están bien correlacionados fisiológicamente y la función tendrá alta  
220 repercusión en el cálculo de los índices (Lucena et al. 2002). Este método tiene una buena  
221 correlación inversa entre el rendimiento y la sumatoria de todos los índices en valor  
222 absoluto (Gregoire y Fisher 2004). Esto implica que un buen balance nutricional es más  
223 importante para un alto rendimiento que el efecto de un único elemento nutritivo. Han sido  
224 propuestas numerosas modificaciones de este sistema como M-DRIS, que consideran la  
225 materia seca (M). Una buena recopilación de las publicaciones de las normas DRIS se  
226 encuentra en Beverly (1991).

227 De acuerdo con Sumner (1981) y Walworth y Sumner (1987) la metodología DRIS  
228 tiene una importante ventaja y es que el tiempo en el ciclo fenológico es irrelevante y  
229 raramente se tiene en cuenta a la hora de toma de muestra. Ventaja muy interesante, ya que  
230 el contenido de elementos nutritivos en un tejido vegetal puede variar significativamente en  
231 relativamente poco tiempo. Sin embargo, el muestreo para la utilización de un sistema de  
232 diagnóstico tradicional de valores críticos, debe efectuarse en una época en que los  
233 contenidos de los elementos en las hojas sean estables. En Chile esto corresponde al  
234 periodo entre diciembre y marzo, con variaciones específicas para algunas especies  
235 latifoliadas de hoja caduca.

236 Existe una concordancia razonable entre las relaciones estimadas por normas DRIS  
237 y las relaciones calculadas con el valor crítico y el rango de suficiencia para niveles bajos,  
238 medios y altos. A pesar de ello, cuando se usan combinaciones de valores altos y bajos del  
239 rango de suficiencia para calcular las relaciones, aumenta la precisión (Rodríguez y  
240 Rodríguez 2000). En la medida que la planta madura, los tejidos contienen mayor  
241 proporción de materia seca que de humedad y bioelementos y, por consiguiente, al expresar  
242 el contenido de bioelementos en función de la cantidad de materia seca (MS), el valor  
243 decrece en el tiempo. Sin embargo, al usar las relaciones entre bioelementos, como por  
244 ejemplo,  $N/P = (100N/MS)/(100P/MS)$ , se cancela la materia seca y la relación N/P se  
245 vuelve menos dependiente de los cambios relativos en materia seca con la edad. Esto  
246 permite una mayor flexibilidad en el momento de muestreo y un período mayor de tiempo  
247 para realizar el diagnóstico (Rodríguez y Rodríguez 2000). Las normas para el DRIS son

248 obtenidas a partir del muestreo de un gran número de lotes de productores (> 500) donde se  
249 extraen muestras de hojas, se registran datos de los cultivos (año, variedad, fecha de  
250 siembra, análisis de suelo) y se evalúa el rendimiento de la cosecha. Así, el método utiliza  
251 para la definición de sus normas, una gran base de datos, pero lo más importante es que  
252 dichos datos no provienen esencialmente de ensayos experimentales, sino de cultivos  
253 comerciales, como en el caso de las especies forestales de interés comercial (Gregoire y  
254 Fisher 2004).

255 Las normas se calculan como el promedio de todas las observaciones ubicadas en el 10-  
256 20 % superior (Walworth y Sumner 1987) o tomando relaciones de valores críticos bien  
257 conocidos (Grove y Sumner 1982). La aproximación por DRIS usa índices calculados  
258 como el desvío del valor normal para cada elemento. Así, un valor negativo indica  
259 deficiencia relativa, uno positivo indica exceso y un valor cero indica balance. Al medir  
260 balances relativos, la suma de los índices debe ser cero. Los índices para nitrógeno, fósforo  
261 y potasio se calculan de la siguiente manera:

262

$$263 \quad \text{Índice N} = [f(N/P) + f(N/K)]/2 \quad [1]$$

$$264 \quad \text{Índice P} = [-f(N/P) - f(K/P)]/2 \quad [2]$$

$$265 \quad \text{Índice K} = [-f(N/K) - f(K/P)]/2 \quad [3]$$

266

267 Donde  $f(N/P) = (1.000/CV)\{(N/P/n/p) - 1\}$  con  $N/P > n/p$ ;  $f(N/P) = (1.000/CV)\{1 -$   
268  $(n/p/N/P)\}$  con  $N/P < n/p$ ,  $N/P$  y  $n/p$  son los valores para el tejido a diagnosticar y la norma,  
269 respectivamente, y  $CV$  es el coeficiente de variación para la norma en particular.  
270 Finalmente,  $f(N/K)$  y  $f(K/P)$  son calculados en forma similar.

271 DRIS elimina muchos de los problemas asociados con la determinación de los  
272 valores críticos de las respuestas a la aplicación de fertilizantes, debido a que las normas  
273 son derivadas de voluminoso número de observaciones (Walworth y Sumner 1987,  
274 Rodríguez y Rodríguez 2000). Algunas ventajas del método tienen relación con que  
275 permite ordenar los elementos nutritivos de forma secuencial de acuerdo a su grado o nivel  
276 de limitación del rendimiento o cultivo, permite realizar un diagnóstico nutricional en  
277 cualquier etapa de desarrollo de cultivo, permite incorporar en el diagnóstico a la materia

278 seca del cultivo (carbono, hidrógeno y oxígeno) como otro bioelemento, siendo las  
279 interacciones entre elementos nutritivos tomadas en cuenta.

280 Como limitantes se indica que si el diagnóstico en el sistema DRIS se intenta  
281 realizar de la misma manera que se realiza en los sistemas del nivel crítico es decir, a través  
282 de la comparación del contenido de los nutrientes de la muestra problema contra las  
283 normas, resulta un proceso tedioso, dado el gran número de combinaciones que habría que  
284 realizar, adicionalmente, la comparación uno a uno de los contenidos de los elementos  
285 contra las normas, no permite definir las relaciones de balance entre los diferentes  
286 elementos (Rodríguez y Rodríguez 1998, Rodríguez *et al* 1998, 1999). Además, el método  
287 podría llegar a ser muy útil si se dispusiera de una gran base confiable de datos, no sólo en  
288 número, sino en años y calidad de la información.

289 Moreno et al. (2002), utilizaron el método DRIS para el diagnóstico de necesidades  
290 de fertilización en vivero de la especie *Abies religiosa* (oyamel), un abeto nativo de las  
291 montañas centrales y del sur de México. A partir del estudio determinaron que DRIS  
292 predice acertadamente las necesidades de fertilización. Además, determinaron que los  
293 incrementos de altura logrados al aplicar los tratamientos de fertilización de acuerdo con las  
294 predicciones del DRIS fueron acertados para el estado nutrimental de las plántulas de *A.*  
295 *religiosa* en vivero. Este estudio concluyó, que el origen del material vegetal utilizado para  
296 desarrollar las normas DRIS, debió basarse en datos provenientes de plántulas en  
297 invernadero a fin de hacer más preciso los resultados obtenidos con el método, sin  
298 embargo, por la inexistencia de esa información se utilizó información de campo, lo cual  
299 indica que esta técnica en estudios forestales carece de bases de datos óptimas para los  
300 diversos requerimientos de diagnóstico.

301 No obstante lo anterior, los resultados de este trabajo muestran que esta norma,  
302 aunque preliminares por estar sujetas a un mejoramiento importante de su capacidad  
303 predictiva, predicen adecuadamente el estado nutrimental de las plántulas de *A. religiosa* en  
304 invernadero, siendo entonces una herramienta disponible para su uso en cualquier vivero  
305 forestal que produzca la especie en estudio. Finalmente, a pesar de los buenos resultados,  
306 sugieren que un doble diagnóstico con el DRIS basado en normas para suelo y para planta  
307 pudieran producir mejores resultados que los obtenidos mediante el diagnóstico basado  
308 solamente en material vegetal.

309           Zas (2003) determinó a partir de la interpretación de concentraciones foliares de  
310 nutrientes en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* (pino insigne) que DRIS permite  
311 diagnosticar un mayor número de problemas nutricionales que la técnica de valores críticos,  
312 lo cual coincide con lo expuesto por Romanya y Vallejo (1996).

313

314

#### Método a través del análisis de vectores

315

316           El análisis de vectores, desarrollado por Timmer y Stone (1978), es una herramienta  
317 que enlaza el estado de nutrientes y el crecimiento de la planta como respuesta a un  
318 determinado tratamiento. El análisis vectorial es una técnica utilizada tanto para estudiar el  
319 estado nutricional de los árboles como para experimentos de competencia. Este método  
320 representa, en un entorno gráfico, el contenido de cada elemento nutritivo y el peso seco del  
321 follaje, para evaluar cualitativamente el estado nutricional de una planta (Moses y Timmer  
322 1999).

323

324           En el ámbito forestal esta técnica presenta un creciente auge y preferencia en los  
325 últimos años, a pesar de su complejidad operativa (López y Alvarado 2010). La derivación  
326 para interpretar los vectores se basa en la teoría relacionada con los efectos de dilución y  
327 concentración de elementos nutritivos que ocurren en cualquier sistema vegetal, como  
328 consecuencia de la producción de materia seca (Timmer 1991). En teoría, el contenido de  
329 elementos nutritivos en los tejidos vegetales está en función de su disponibilidad en el suelo  
330 y en las tasas de crecimiento vegetal. En este sentido, cuando las tasas de crecimiento son  
331 bajas, los elementos nutritivos se encuentran en los tejidos en contenidos que pueden ser  
332 superiores al nivel crítico, aun cuando el nutriente se encuentre disponible en bajas  
333 concentraciones en el suelo. Por el contrario, cuando las tasas de crecimiento son altas, los  
334 elementos nutritivos, especialmente aquellos cuya disponibilidad en el suelo es baja, se  
335 diluye dentro de los tejidos (López y Estañol 2007, López y Alvarado 2010).

336           Otra teoría utilizada para interpretar los vectores es la ley del mínimo de Liebig (Larcher  
337 1995), la cual postula que el vegetal crece a una tasa tan alta como lo permita el factor del  
338 crecimiento que se encuentre menos disponible. Múltiples investigaciones señalan que el  
339 factor limitante es alternante y que una vez que éste se corrige surge otro nuevo (Moreno et  
al. 2002). En la derivación de las posibles interpretaciones de los diversos vectores también

340 se incluyen los efectos antagónicos o sinérgicos entre bioelementos y entre éstos y otros  
341 factores del crecimiento.

342 En el caso del análisis de vectores, López y Alvarado (2010) indican que dicho  
343 análisis facilita de manera importante la interpretación de los nomogramas, a partir de sus  
344 resultados se origina una mayor gama de posibilidades de efectos de los tratamientos.

345 En el ámbito forestal se ha utilizado para identificar posiciones del bosque que  
346 responderán positivamente a la fertilización y también para predecir respuesta en  
347 crecimiento de árboles jóvenes de *Picea mariana* (picea negra) en distintas condiciones  
348 nutricionales de suelo (Mead y Mansur 1993). El método está basado en cambios  
349 significativos en el peso seco de la hoja individual, concentración de nutriente y contenido  
350 de nutriente en sectores fertilizados contra sectores no fertilizados.

351 La interpretación de los análisis respectivos está basada en la dirección y magnitud  
352 de cada vector (Gregoire y Fisher 2004). La dirección del mayor vector comúnmente  
353 significa una respuesta óptima; así, la magnitud indica el grado del estado nutricional. La  
354 figura 2 muestra un prototipo del nomograma producido a través del procedimiento  
355 desarrollado por Timmer y Stone (1978), en el que se presentan los vectores incluidos en la  
356 mayoría de documentos publicados al respecto, en adición a otros que con frecuencia se  
357 producen en los nomogramas, sin que hasta la fecha exista una sugerencia para  
358 interpretarlos.

359

360

361

362

363

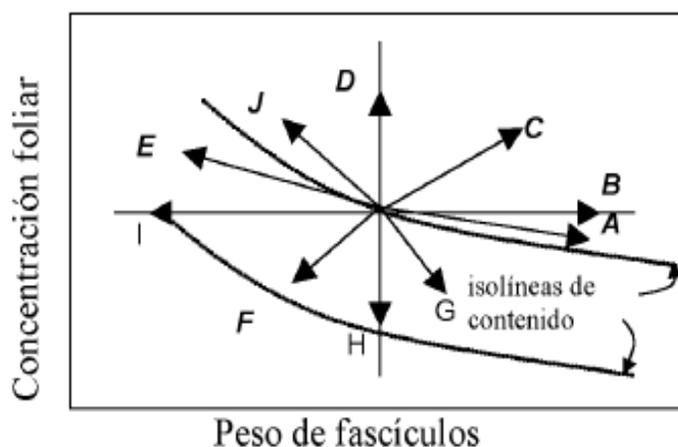
364

365

366

367

368



369 Figura 2. Vectores posibles en la técnica de análisis gráfico de vectores. Los vectores A, B,  
370 C, D, E, F y J han sido interpretados en documentos publicados (López y Alvarado 2010).

371

372 La interpretación de cada uno de éstos se discute bajo dos ópticas: 1) cuando el  
373 elemento que se interpreta coincide con el que se aplica y 2) cuando el elemento de que se  
374 trata no se ha aplicado como parte del tratamiento. Los signos empleados (+, 0 y -) se  
375 refieren al cambio, a partir del tratamiento testigo, que cada vector presenta con respecto a  
376 los ejes de la gráfica, incluyendo las isolíneas, las cuales representan el contenido  
377 nutricional. El primer signo representa el cambio en el eje X (peso seco de acículas o  
378 fascículos); el segundo, el cambio en el eje Y (concentración del elemento) y el tercero, el  
379 cambio de una isolínea de contenido a otra.

380 Lucile et al. (2000) utilizó el método de análisis de vectores para determinar el  
381 impacto de un raleo pre-comercial en rodales de *Abies balsamea* (abeto balsámico), estos  
382 autores indican que este método es factible de utilizar para diagnosticar el estado  
383 nutricional y evaluar la respuesta a tratamientos silviculturales. Así, la mayor fortaleza del  
384 análisis de vectores está basada en la comparación, a nivel de sitio, de árboles fertilizados y  
385 no fertilizados que crecen bajo algunas condiciones medioambientales y silviculturales en  
386 particular, permitiendo comparaciones entre tratamientos silviculturales dentro de un rodal  
387 o entre rodales (Weetman, 1989).

388 Gregoire y Fisher (2004), utilizaron los tres métodos de análisis foliar discutidos en  
389 esta síntesis a objeto de diagnosticar el estado nutricional de rodales de *Pinus taeda*  
390 (loblolly pine), las conclusiones de este estudio indicaron que el análisis de vectores resultó  
391 ser más confiable que DRIS y más aún que el método de valores críticos. Además,  
392 determinaron que los métodos funcionan bien para evaluar la respuesta a la fertilización  
393 entre rodales pero no funcionan adecuadamente cuando existen variaciones de sitio a sitio,  
394 o para predecir respuestas a través de grupos de suelos distintos.

395

396

## Discusión y Conclusiones

397

398 El método de los valores críticos depende en demasía de condiciones controladas  
399 para la obtención de los valores, situación que es posible en cultivos de corto plazo, no así  
400 en aquellos de mediano y largo plazo como es el caso de los cultivos forestales para fines  
401 comerciales, en donde las condiciones de sitio suelen ser muy distintas.

402 DRIS presenta ventajas respecto al método de los valores críticos, ya que es  
403 independiente de la edad, condiciones de clima, suelo, prácticas culturales y posición de la  
404 hoja muestreada. Una de las bases del DRIS es que emplea fundamentalmente relaciones de  
405 bioelementos y no contenidos de los mismos. Estas relaciones permiten que las variaciones  
406 ocasionadas por la edad de la planta tengan menos influencia y, por lo tanto del momento  
407 de muestreo, a diferencia del método de los valores críticos.

408 El análisis de vectores es una técnica que puede utilizarse para calibrar el régimen  
409 nutritivo del bosque, monitorear en el largo plazo cambios en el estado nutritivo del bosque  
410 y predecir respuestas a la fertilización. Es un método que permite evaluar la respuesta a los  
411 distintos tratamientos.

412 A pesar de las diferencias existentes entre cada método descrito y que permiten  
413 evaluar su eficacia en el diagnóstico nutritivo de especies forestales de interés comercial, se  
414 recomienda estudiar para cada uno el costo asociado a la implementación de dichos  
415 métodos, a objeto de conocer la relación costo-beneficio y transmitir así a las empresas los  
416 beneficios de aplicar una técnica u otra.

417

#### 418 Referencias

419

420 Bates, T. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their  
421 evaluation: A review. Soil Science 112: 116-130.

422 Beaufils, E. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Science.  
423 Bull. 1. University of Natal. (Sudáfrica). 132 p.

424 Beverly, R. 1991. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Micro-Macro  
425 Publishing. Inc. Athens, Georgia, USA.

426 Ciudad, J. 2007. Diagnóstico nutricional en el diagnóstico de hojas. CSR SERVICIOS.  
427 España. 2 p.

428 Del Valle, R., Briceño W., y H. Peña. 2002. Evaluación de niveles críticos y normas DRIS  
429 para el diagnóstico nutricional del banano "*Giant cavendish*" en dos regiones de Venezuela.  
430 In: Acorbat. Memorias XV reunión. Realizada en Cartagena de Indias, Colombia. Medellín.  
431 365-369.

- 432 Español, E., R. Zas, y G. Vega. 2000. Contenidos foliares en macro y micronutrientes en  
433 nueve especies de *Eucalyptus* en el noroeste Español. Invest. Agr: Sist. Recurs. For. Vol.  
434 9(2): 209-217.
- 435 Eymar, E., I. Frutos, y C. Cadahía. 2008. Métodos de diagnóstico nutricional utilizados en  
436 la gestión de la fertirrigación de los cultivos. Dpto. Química Agrícola, Facultad de  
437 Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 18-21.
- 438 Gregoire, N., y F. Fisher. 2004. Nutritional diagnoses in loblolly pine (*Pinus taeda* L.)  
439 established stands using three different approaches. Forest Ecology and Management  
440 203:195–208.
- 441 Grove, J., y M. Sumner. 1982. Yield and leaf composition of sunflower in relation to N, P,  
442 K, and lime treatments. Fertilizer Research 3:367-378.
- 443 Larcher, W., 1995. Physiological plant ecology. Springer. 3a. ed. Berlin, Alemania. 506 p.
- 444 Lallana, V., M. del C. Lallana. 2001. Manual de prácticas de fisiología vegetal. Facultad de  
445 Ciencias Agropecuarias-UNER. 37-42.
- 446 Lambert, M. 1984. The use of foliar analysis in fertilizer research. In: Symposium on site  
447 and productivity of fast growing plantations, IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South-  
448 Africa 269 – 292.
- 449 López M, y Alvarado J. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para  
450 diagnóstico nutrimental de especies forestales. Madera y Bosques 16(1): 99-108.
- 451 López L, y B. Estañol. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a  
452 partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. Terra Latinoamericana 25: 9-  
453 15.
- 454 Lucena, J., S. Ruano, P. García-Serrano, I. Ginés, y S. Mariscal. 2002. Normas para el  
455 diagnóstico del análisis foliar del olivo, partiendo de la base de datos de Fertiberia.  
456 Madrid, España. 26 p.
- 457 Lucile, T., P. Raymond, C. Camiré, y A. Munson. 2000. Impact of precommercial thinning  
458 in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, decomposition, and  
459 foliar nutrition. Canadian Journal Forest Research. 30: 229-238.
- 460 Mead, D., y I. Mansur. 1993. Vector analysis of foliage data to study competition for  
461 nutrient and moisture: an agroforestry example. New Zealand Journal of Forestry Science  
462 23: 27-39.

- 463 Moreno, Ch., L. López, B. Estañol, y A. Velázquez. 2002. Diagnóstico de necesidades de  
464 fertilización de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham, en vivero mediante el DRIS.  
465 Madera y Bosques 8: 51-60.
- 466 Moses, I., y R. Timmer. 1999. Vector competition analysis of black spruce seedling  
467 responses to nutrient loading and vegetation control. Canadian Journal Forest Research. 29:  
468 474-486.
- 469 Needham, T., J. Burger, y G. Oderwald 1990. Relationship between diagnosis and  
470 recommendation Integrated System (DRIS) optima and foliar Nutrient Critical Levels. Soil  
471 Science Society of America Journal 54: 883-886.
- 472 Ngono, G., y R. Fisher 2004. Nutritional diagnoses in loblolly pine (*Pinus taeda* L.)  
473 established stands using three different approaches. Forest Ecology and Management  
474 203 (1-3): 195- 208.
- 475 Oliet, J., M. Segura, F. Domínguez, E. Blanco, R. Serrada, M. López, y F. Artero 1999.  
476 Fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de plantas forestales  
477 de vivero. Efecto de dosis y formulación sobre la calidad de *Pinus halepensis*.  
478 Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 8: 207-228.
- 479 Polania, F. 2000. Análisis foliar: Fundamentos y Métodos de evaluación. Boletín  
480 Informativo, Federación nacional de cultivadores de cereales -FENALCE- fondo nacional  
481 cerealista. Bogotá, Colombia. 7 p.
- 482 Rodríguez, O., y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas  
483 DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. Revista Facultad  
484 Agronomía. LUZ. 17: 449-470.
- 485 Rodríguez, V., y O. Rodríguez 1998. Hoja de cálculo de índices DRIS e IBNDRIS.  
486 Material de apoyo. Curso de nutrición mineral. IX Jornadas de investigación del decanato  
487 de Agronomía. UCLA, junio 1998 Barquisimeto. Venezuela. Diskette. 8 pp.
- 488 Rodríguez, V., O. Rodríguez, y P. Bravo. 1998. Índice de balance de nutrientes DRIS (IBN-  
489 DRIS) para el diagnóstico nutricional del plátano (*Musa AAB* subgrupo plátano cv.  
490 Hartón). XIII Reunión ACORBAT Ecuador. 115- 113 p.
- 491 Rodríguez, V., D. Bautista, O. Rodríguez, y L. Díaz. 1999. Relación entre el balance  
492 nutricional y la biometría del plátano (*Musa AAB* subgrupo plátano cv. Hartón) y su efecto  
493 sobre el rendimiento. Revista Facultad Agronomía. LUZ 16:425-432.

- 494 Romanya, J., y V. Vallejo. 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus*  
495 *radiata* plantations in Spain. Forest Science 42: 192-197.
- 496 Sumner, M. 1981. Diagnosing the sulfur requirements of corn and wheat using foliar  
497 analysis. Soil Science. Society American Journal. 45: 87-90.
- 498 Timmer, V., y E. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized  
499 with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. Soil Science Society American  
500 Proceedings 42: 125-130.
- 501 Timmer, V. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. In, R. van den  
502 Driessche (ed.). Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press. Boca Raton, FL,  
503 EE.UU. 113- 134
- 504 Walworth, J., y M. Summer. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system  
505 (DRIS). Advertising. Soil Science 6: 149–188.
- 506 Weetman, G.F. 1989. Graphical vector analysis technique for testing stand nutritional  
507 status. pp. In, W. J. Dyck y C. A. Mees (eds.). Research strategies for longterm site  
508 productivity. Proceedings, IEA/BE A3 Workshop. Seattle, WA. August 1988. IEA/BE  
509 A3 Report No. 8. Bulletin 152. Forest Research Institute. Nueva Zelanda. 93-109.
- 510 Zas, R. 2003. Interpretación de las concentraciones foliares en nutrientes en plantaciones  
511 jóvenes de *pinus radiata*. D.Don en tierras agrarias en Galicia. Investigaciones Agrarias:  
512 Sistemas y Recursos Forestales 12: 3-11.