

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

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

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

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

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

## Resumen

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

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

## Abstract

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

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

## Introducción

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Métodos para análisis foliar

#### El método de los valores críticos (VC)

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

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

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

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

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

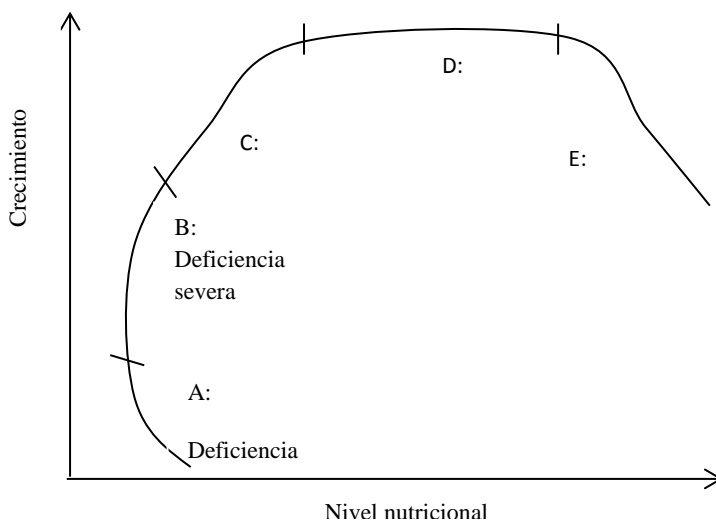


Figura 1. Relación entre el crecimiento de la planta y su contenido de elementos nutritivos

El mayor problema de este tipo de aproximaciones proviene de la dificultad de asegurar que el tejido para el diagnóstico es tomado en el mismo estado de desarrollo al usado para establecer el valor crítico, este diagnóstico requiere que la composición de la planta sea comprada con valores estándares para un determinado estado fenológico o de crecimiento y para un órgano en particular, lo cual en algunos casos dificulta el análisis. En efecto, cuando la hoja es analizada fuera de ese estadio vegetativo, surge la incógnita de si los niveles nutritivos referenciales son igual de útiles (Lucena et al. 2002, Ciudad 2007). A través de este método, puede obtenerse una interpretación errada de los resultados si la persona que interpreta los análisis no está familiarizada con las relaciones entre la acumulación de materia seca y el contenido de elementos (Lucena et al. 2002).

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

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

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

#### El método DRIS (diagnosis and recommendation integrated system)

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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 son derivadas de voluminoso número de observaciones (Walworth y Sumner 1987, Rodríguez y Rodríguez 2000). Algunas ventajas del método tienen relación con que permite ordenar los elementos nutritivos de forma secuencial de acuerdo a su grado o nivel de limitación del rendimiento o cultivo, permite realizar un diagnóstico nutricional en cualquier etapa de desarrollo de cultivo, permite incorporar en el diagnóstico a la materia

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

Como limitantes se indica que si el diagnóstico en el sistema DRIS se intenta realizar de la misma manera que se realiza en los sistemas del nivel crítico 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 combinaciones que habría que realizar, adicionalmente, la comparación uno a uno de los contenidos de los elementos contra las normas, no permite definir las relaciones de balance entre los diferentes elementos (Rodríguez y Rodríguez 1998, Rodríguez *et al* 1998, 1999). Además, el método podría llegar a ser muy útil si se dispusiera de una gran base confiable de datos, no sólo en número, sino en años y calidad de la información.

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

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

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

### Método a través del análisis de vectores

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

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

Otra teoría utilizada para interpretar los vectores es la ley del mínimo de Liebig (Larcher 1995), la cual postula que el vegetal crece a una tasa tan alta como lo permita el factor del crecimiento que se encuentre menos disponible. Múltiples investigaciones señalan que el 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

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

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

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

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

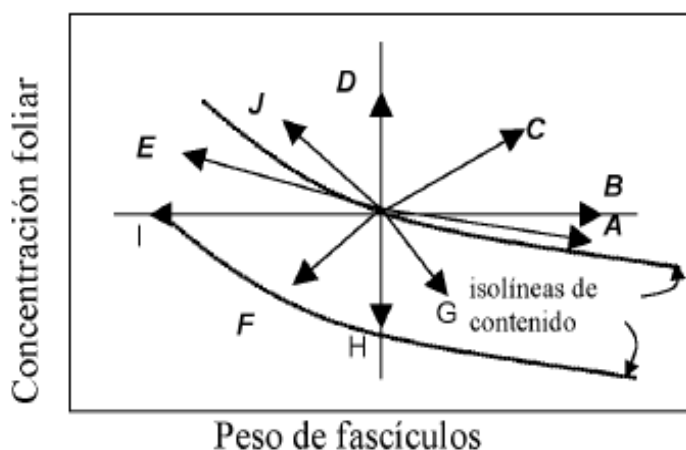


Figura 2. Vectores posibles en la técnica de análisis gráfico de vectores. Los vectores A, B, C, D, E, F y J han sido interpretados en documentos publicados (López y Alvarado 2010).

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

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

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

## Discusión y Conclusiones

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

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

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

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

#### Referencias

- Bates, T. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Science* 112: 116-130.
- Beaufils, E. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science. Bull.* 1. University of Natal. (Sudáfrica). 132 p.
- Beverly, R. 1991. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Micro-Macro Publishing. Inc. Athens, Georgia, USA.
- Ciudad, J. 2007. Diagnóstico nutricional en el diagnóstico de hojas. CSR SERVICIOS. España. 2 p.
- Del Valle, R., Briceño W., y H. Peña. 2002. Evaluación de niveles críticos y normas DRIS para el diagnóstico nutricional del banano "*Giant cavendish*" en dos regiones de Venezuela. In: Acorbat. Memorias XV reunión. Realizada en Cartagena de Indias, Colombia. Medellín. 365-369.

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

- Moreno, Ch., L. López, B. Estañol, y A. Velázquez. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham, en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques* 8: 51-60.
- Moses, I., y R. Timmer. 1999. Vector competition analysis of black spruce seedling responses to nutrient loading and vegetation control. *Canadian Journal Forest Research*. 29: 474-486.
- Needham, T., J. Burger, y 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.
- Ngono, G., y R. Fisher 2004. Nutritional diagnoses in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) established stands using three different approaches. *Forest Ecology and Management* 203 (1-3): 195- 208.
- Oliet, J., M. Segura, F. Domínguez, E. Blanco, R. Serrada, M. López, y F. Artero 1999. Fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de plantas forestales de vivero. Efecto de dosis y formulación sobre la calidad de *Pinus halepensis*. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 8: 207-228.
- Polania, F. 2000. Análisis foliar: Fundamentos y Métodos de evaluación. *Boletín Informativo, Federación nacional de cultivadores de cereales -FENALCE- fondo nacional cerealista*. Bogotá, Colombia. 7 p.
- Rodríguez, O., y V. Rodríguez. 2000. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. *Revista Facultad Agronomía. LUZ*. 17: 449-470.
- Rodríguez, V., y O. Rodríguez 1998. Hoja de cálculo de índices DRIS e IBNDRIS. Material de apoyo. Curso de nutrición mineral. IX Jornadas de investigación del decanato de Agronomía. UCLA, junio 1998 Barquisimeto. Venezuela. Diskette. 8 pp.
- 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 Facultad Agronomía. LUZ* 16:425-432.



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