

Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales

Interpretation of vector analysis nomograms for nutrient diagnosis of forest tree species

Miguel Ángel López-López¹ y Jorge Alvarado-López²

RESUMEN

La interpretación de los nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales de crecimiento preformado suele ser una tarea complicada que, en algunos casos, puede conducir a conclusiones vagas o insatisfactorias. Este documento incluye una guía para facilitar la interpretación de éstos. Comparada con los modelos tabulares existentes para interpretar los nomogramas, la presente guía incluye una mayor cantidad de posibles vectores, proporciona más posibilidades de interpretación para cada vector y las discrimina, de acuerdo con el manejo del nutriente bajo análisis. Además, si es el caso, se especifica el estado del nutrimento, antes y después de aplicarlo.

PALABRAS CLAVE:

Concentración nutrimental, diagnóstico nutrimental, dilución nutrimental, nomogramas, nutrición forestal.

ABSTRACT

The interpretation of the nomograms from the vector analysis technique for nutrient status diagnosis of preformed growth forest tree species frequently is a difficult task that may lead in some cases to vague or even unsatisfactory conclusions. The present document contains a guide to help nutrient diagnosticians to interpret such nomograms. As compared with the existing tabular models for nomogram interpretation, this guide includes a higher amount of possible vectors, it provides a wider spectrum of interpretation possibilities for each of the vectors, and discriminates the interpretation of the nomograms according to the level of manipulation of the nutrient being analyzed. Furthermore, if it applies, the status of the nutrient before and after the application of treatments is defined.

KEY WORDS:

Nutrient concentration, nutrient diagnosis, nutrient dilution, nomograms, forest nutrition.

INTRODUCCIÓN

La interpretación de los resultados del análisis de tejido vegetal en especies forestales, ya sea con fines de diagnóstico nutrimental o investigación científica, suele ser una tarea

1 Postgrado Forestal, Línea de Investigación de Impacto y Mitigación del Cambio Climático Global, Colegio de Postgraduados. lopezma@colpos.mx.

2 Postgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados. jorgel@colpos.mx.

complicada (Timmer, 1991; Lopez-Lopez *et al.*, 2009). Actualmente, se han desarrollado varias técnicas para tal fin.

En el ámbito forestal, una de las técnicas de interpretación de análisis vegetal que ha tenido un creciente auge y aceptación durante los últimos años, especialmente en el medio científico, es la denominada "análisis de vectores", desarrollada por Timmer y Stone (1978).

Aunque el objeto del presente escrito no es explicar la metodología del análisis de vectores, se presenta una breve explicación de dicha técnica, con el propósito de introducir al lector que incurSIONA en la misma; sin embargo, para mayores detalles sobre el método, se recomienda recurrir a Haase y Rose (1995), Valentine y Allen (1990), Weetman (1989), Weetman y Wells (1990) y Timmer (1991). Para los fines del presente trabajo, es necesario señalar que, con frecuencia, la interpretación de los gráficos o nomogramas utilizados en este método resulta complicada y en ocasiones confusa, debido a la dificultad para asociar los efectos de las variables consideradas en la técnica [biomasa de un número determinado de acículas o fascículos, concentración (cantidad presente por unidad de biomasa) y contenido (cantidad presente en el total de biomasa) de un nutrimento de interés], lo que puede conducir al desaliento de los usuarios del método.

OBJETIVO

En la actualidad, se cuenta con modelos o guías tabulares para interpretar los nomogramas (Valentine y Allen, 1990; Weetman *et al.*, 1993); sin embargo, éstos son demasiado escuetos e inflexibles y, en ocasiones, el sentido que se da a ciertos vectores resulta vago o poco convincente. Por otro lado, los modelos

tabulares sugieren interpretaciones de los vectores, sin definir si tal interpretación aplica al estado del nutrimento respectivo antes o después de aplicado el tratamiento.

En este documento se pretende poner a disposición del usuario del análisis de vectores una guía para: 1) interpretar algunos vectores que hasta ahora no se han interpretado en la literatura publicada y cuya posibilidad de que ocurran en alguna circunstancia es real (Figura 1), 2) hacer una interpretación de todos los vectores posibles, más amplia que la propuesta en las guías tabulares publicadas y 3) interpretar en su caso el estado de un nutrimento antes y después de aplicado un tratamiento.

METODOLOGÍA

La derivación para interpretar los vectores se basó en la teoría relacionada con los efectos de dilución y concentración nutricional que ocurren en cualquier sistema vegetal, como consecuencia de la producción de materia seca (Timmer, 1991; Mengel y Kirkby, 2000). De acuerdo con esta teoría, la concentración de nutrimentos en los tejidos vegetales está en función tanto de su disponibilidad en el suelo, como de las tasas de crecimiento del vegetal. Cuando las tasas de crecimiento son bajas, los nutrimentos se encuentran en los tejidos en concentraciones que pueden ser superiores al nivel crítico, aun cuando el nutrimento se encuentre disponible en bajas concentraciones en el suelo. Por el contrario, cuando las tasas de crecimiento son altas, los nutrimentos, especialmente aquellos cuya disponibilidad en el suelo es baja, se diluyen dentro de los tejidos (López y Estañol, 2007).

Otra teoría utilizada para interpretar los vectores de Timmer 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. Este factor puede ser un nutriente, la temperatura ambiente o del suelo, la humedad ambiental o del suelo, etc. Múltiples investigaciones señalan que el factor limitante es alternante y que una vez que éste se corrige surge otro nuevo (Sumner, 1977a; 1977b; Moreno *et al.*, 2002). Esta ley implica que cuando el factor limitante del crecimiento se corrige, el vegetal responde positivamente a ese tratamiento y provoca dilución de otros nutrientes que se encuentran poco disponibles. En otros términos, si ocurre un efecto positivo de un tratamiento sobre el crecimiento, ello significa que tal tratamiento mejoró el estado del factor limitante (Sumner, 1977a).

En la derivación de las posibles interpretaciones de los diversos vectores también se incluyen los efectos antagónicos o sinérgicos entre nutrientes y entre éstos y otros factores del crecimiento. Ejemplos de tales efectos son la competencia por sitios de absorción entre el amonio y el potasio (Mengel y Kirkby, 2000), la disponibilidad de hierro y la baja actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo (pH alto) (Rodríguez, 1982; Mengel y Kirkby, 2000; López y Estañol, 2007), la elevada disponibilidad de la mayoría de micronutrientes cuando el suelo tiene un pH bajo (Rodríguez, 1982; Mengel y Kirkby, 2000) y el antagonismo entre el fósforo y el zinc (Mengel y Kirkby, 2000), entre otros.

Finalmente, varias de las interpretaciones se adoptaron a partir de investigaciones publicadas sobre el análisis de vectores (Timmer y Stone, 1978; Weetman, 1989; Valentine y Allen, 1990; Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Timmer y Teng, 1999; Salifu y Timmer, 2001). Por supuesto, aquellas interpreta-

ciones publicadas que se consideran incorrectas se puntualizan en el momento de describir la interpretación actual.

La figura 1 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. En este nomograma se incluyen vectores que pueden generarse bajo diversas circunstancias. La interpretación de cada uno de éstos se discute bajo dos ópticas: 1) cuando el nutriente que se interpreta coincide con el que se aplica y 2) cuando el nutriente 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 isólineas, 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 nutriente) y el tercero, el cambio de una isólinea de contenido a otra.

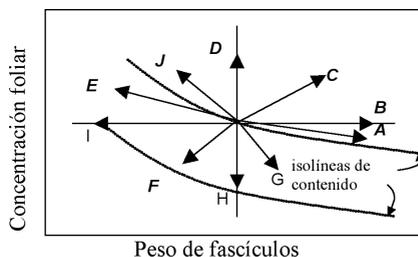


Figura 1. Vectores posibles en la técnica de análisis gráfico de vectores. Los vectores marcados con negritas e *itálicas* han sido interpretados en documentos publicados.

RESULTADOS

Interpretación de los vectores

De acuerdo con los criterios mencionados en la sección de metodología, los diversos vectores que pueden presentarse en un nomograma de Timmer se interpretan como sigue:

Vector A (+, -, +)

En este vector, el peso de fascículos se incrementa mientras que la concentración disminuye y el contenido aumenta. Esto significa que:

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. Q limitaba el crecimiento antes del tratamiento, por lo tanto el cultivo respondió a su aplicación.

2. Q no limitaba el crecimiento, pero interactuó con el factor limitante y mejoró su estado. Es decir, probablemente hubo un efecto sinérgico con otro factor del crecimiento.

3. La disponibilidad de Q aumentó, aunque en menor proporción que el crecimiento, lo cual provocó una dilución de Q (Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001). Esto indica que, después del tratamiento, Q es deficiente.

Este diagnóstico es contrario al propuesto por Haase y Rose (1995), quienes señalan a este vector como indicador de no limitación del nutrimento Q. Weetman (1989), por su parte, menciona que este vector puede indicar que Q es limitante del crecimiento.

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

La disponibilidad del nutrimento R mejoró con la aplicación del nutrimento Q.

1. El crecimiento del cultivo mejoró al aplicar Q, ya sea porque Q era deficiente o porque hubo un efecto sinérgico de Q con R u otro factor del crecimiento.

2. El nutrimento R se diluyó, lo cual indica que, después del tratamiento, R es deficiente (Valentine y Allen, 1990; Weetman, 1989).

Vector B (+, 0, +)

Este vector indica que el peso de fascículos y la disponibilidad de Q se incrementaron al agregar Q, aunque la concentración de Q en el vegetal no se modificó.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. El crecimiento mejoró, ya sea porque Q era deficiente antes del tratamiento o porque Q tuvo un efecto sinérgico con otro factor que limitaba el crecimiento.

2. Después del tratamiento, Q es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal (Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. El crecimiento del cultivo mejoró, ya sea porque Q era deficiente antes del tratamiento, porque Q tuvo un efecto sinérgico con el nutrimento R (y éste era deficiente) o porque Q tuvo un efecto sinérgico con otro factor que limitaba el crecimiento.

2. Después del tratamiento, R es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal (Valentine y Allen, 1990).

Vector C (+, +, +)

Este vector indica un aumento en el peso de fascículos y la concentración y el contenido del nutrimento de interés en el vegetal.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. El crecimiento aumentó porque el nutrimento Q era deficiente antes del tratamiento (Weetman, 1989)

2. La aplicación del nutrimento Q subsanó la deficiencia y ocurrió un consumo de lujo de Q.

3. Después del tratamiento, el nutrimento Q no es deficiente (Weetman, 1989).

Este diagnóstico contrasta con el sugerido por Haase y Rose (1995), Imo y Timmer (1997), Salifu y Timmer (2001), Varnagiryé-Kabasinskyené (2008), quienes señalan que este vector indica deficiencia. Por supuesto, antes de aplicado el tratamiento, el nutrimento era deficiente; sin embargo, después del tratamiento, la dirección del vector implica consumo de lujo.

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. El crecimiento aumentó, ya sea porque el nutrimento agregado Q era deficiente o porque Q tuvo efecto sinérgico con la disponibilidad de R (Valentine y Allen, 1990), el cual era deficiente.

2. El nutrimento Q tuvo efecto sinérgico sobre la absorción de R, el cual era limitante antes del tratamiento.

3. Después del tratamiento, R es suficiente y ocurrió algún consumo de lujo de este nutrimento

Vector D (0, +, +)

Este vector indica que el crecimiento no se modificó por efecto del tratamiento. En cambio, tanto la concentración como el contenido de Q sí aumentaron al agregarse este nutrimento.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. El nutrimento Q no era deficiente antes del tratamiento. Su nivel era de suficiencia.

2. Después del tratamiento, el nutrimento Q está en un nivel de suficiencia.

3. Ocurrió un consumo de lujo del nutrimento Q (pérdida económica).

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. La aplicación de Q tuvo un efecto sinérgico sobre R, el cual no era deficiente.

2. Después del tratamiento, R está en un nivel de suficiencia.

3. R fue objeto de un consumo de lujo.

Vector E (-, +, -)

Este vector señala una disminución del crecimiento y el contenido, acompañada de un aumento en la concentración.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. La disminución del crecimiento se debe, ya sea a un efecto tóxico del nutrimento Q (Salifu y Timmer, 2001) o a un efecto de interacción entre Q y otro factor del crecimiento (Weetman, 1989), mismo

que se volvió limitante del crecimiento por tornarse deficiente o tóxico.

2. El nutrimento Q no era limitante del crecimiento antes del tratamiento.

3. Después del tratamiento, Q se encuentra en un nivel de suficiencia o, más probablemente, toxicidad (Weetman, 1989; Valentine y Allen, 1990; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. El nutrimento R experimentó un efecto de concentración, debido al efecto negativo directo o indirecto de Q sobre el crecimiento.

2. El nutrimento Q tuvo efecto sinérgico con R; mejoró su disponibilidad y causó su acumulación en los tejidos.

3. Después del tratamiento, R se encuentra en un nivel de suficiencia o, más probablemente, de toxicidad.

Vector F (-, -, -)

Este vector señala una disminución en las tres variables presentes en los nomogramas.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. Comportamiento difícil de explicar, si es que sucede.

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. La disminución del crecimiento puede deberse a un efecto tóxico de Q o a un efecto antagónico entre Q y R cuando R era deficiente antes del tratamiento (Valentine y Allen, 1990). El efecto antagónico disminuyó la disponibilidad de

R (Weetman, 1989; Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

2. Después del tratamiento, el nutrimento R es deficiente (Valentine y Allen, 1990).

Vector G (+, -, -)

El vector G indica que el crecimiento aumentó con el tratamiento, mientras que la concentración y el contenido disminuyeron.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. Comportamiento difícil de explicar, si es que sucede.

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. El crecimiento aumentó porque Q limitaba el crecimiento antes del tratamiento.

2. Al aumentar el crecimiento, R se diluyó. Esto indica que probablemente R no era un limitante primario del crecimiento, aunque sí un limitante potencial.

3. Q tuvo un efecto antagónico con R y redujo su disponibilidad (Valentine y Allen, 1990).

4. R no es un limitante del crecimiento después del tratamiento (Valentine y Allen (1990); sin embargo, según Weetman (1989), este vector puede indicar deficiencia.

Vector H (0, -, -)

Este vector indica que el nutrimento agregado no tuvo efecto alguno sobre el crecimiento, aunque sí disminuyó tanto su concentración como su contenido.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. Comportamiento difícil de entender, si es que ocurre.

Caso 2: Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. El nutrimento Q tuvo un efecto antagónico que afectó la disponibilidad del nutrimento R, el cual no era deficiente antes del tratamiento.

2. Después del tratamiento, R no es limitante del crecimiento.

Vector I (-, 0, -)

Este vector indica que el crecimiento vegetal y la disponibilidad del nutrimento agregado disminuyeron con el tratamiento.

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. La disponibilidad del nutrimento Q no mejoró con su aplicación.

2. El nutrimento Q afectó algún factor y éste fue el responsable de que disminuyera el crecimiento.

Caso 2: Análisis del nutrimento R diferente del agregado (Q) en el tratamiento.

1. Q tuvo un efecto tóxico sobre el crecimiento del cultivo (verificar si la concentración de Q se incrementó) y el tratamiento no afectó a R.

2. El nutrimento Q tuvo un efecto antagónico con el nutrimento R y se redujo la disponibilidad del segundo.

3. Después del tratamiento, R es suficiente, dado que el vegetal disminuyó en biomasa debido al tratamiento.

Vector J (-, +, +)

Caso 1. Análisis del nutrimento agregado (Q) en el tratamiento.

1. Este vector indica reducción del crecimiento y aumento de la concentración y el contenido.

2. La disminución del crecimiento, probablemente, se debe a un efecto tóxico del nutrimento Q (Salifu y Timmer, 2001).

3. Después del tratamiento, el nutrimento Q se encuentra en un nivel de toxicidad (Weetman, 1989; Haase y Rose, 1995; Imo y Timmer, 1997; Salifu y Timmer, 2001).

Caso 2. Análisis del nutrimento R diferente al agregado (Q) en el tratamiento.

1. El nutrimento Q mejoró la absorción del nutrimento R.

2. Después del tratamiento, R está en un nivel de toxicidad.

Ejemplo 1 de aplicación de la guía

Una de las conclusiones del trabajo desarrollado por Valentine y Allen (1990) dice literalmente que "debido a que las respuestas foliares, en cuanto a nutrimentos no aplicados, tuvieron poca relación con las deficiencias reales, entonces, para hacer una evaluación precisa, se requiere que el nutrimento analizado sea el nutrimento agregado a la planta". Esta aseveración tiene su origen en la evaluación de un análisis de las interacciones entre el nitrógeno, el fósforo y el crecimiento.

En efecto, de acuerdo con la presente guía, al analizar el fósforo foliar cuando sólo se aplicó nitrógeno, desde el

nivel 0 hasta el nivel 2 (Figura 2), se obtiene el diagnóstico "+, 0, +" (vector B, caso 2); es decir:

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. El crecimiento del cultivo mejoró, ya sea porque *Q* era deficiente antes del tratamiento, porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con el nutrimento *R* (y éste era deficiente) o porque *Q* tuvo un efecto sinérgico con otro factor que limitaba el crecimiento.

2. Después del tratamiento, *R* es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal (Valentine y Allen, 1990)

Este diagnóstico indica que *Q* (el nutrimento aplicado, nitrógeno) era deficiente antes del tratamiento. Tal aseveración explica el incremento en la biomasa de acículas logrado con la aplicación de estos tratamientos (Vectores 1,0 y 2,0; Figura 2). La respuesta observada en la figura 3 corrobora la afirmación anterior, al indicar que siempre que se aplicó una dosis de nitrógeno, hubo una respuesta

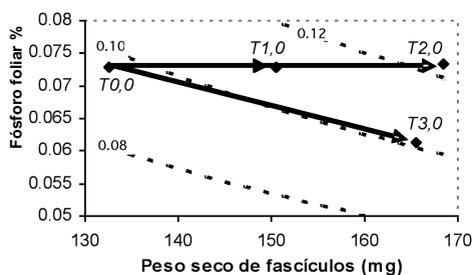


Figura 2. Respuesta del fósforo foliar a la aplicación de distintas dosis de nitrógeno (T 0,0 = dosis 0 de N y 0 de P...; T 3,0 = dosis 3 de N y 0 de P) en *Pinus taeda* L. (modificado de Valentine y Allen, 1990). Las dosis de N aplicadas fueron 0, 112, 224 y 336 kg ha⁻¹.

positiva en el crecimiento. Por otro lado, el diagnóstico mediante la presente guía indica que después del tratamiento, *R* (el nutrimento no aplicado, fósforo) es apenas suficiente para mantener el crecimiento del vegetal. Esto es cierto y se corrobora por la caída de la concentración de fósforo, cuando el nivel de nitrógeno fue demasiado alto (dosis 3 de nitrógeno, Figura 2), lo cual diagnosticaron correctamente Valentine y Allen (1990).

Cuando la dosis aplicada de nitrógeno pasó el nivel 2 al nivel 3 (Figura 2), el comportamiento del fósforo foliar cambió. En este caso, el vector es del tipo A (+, -, +), cuyo diagnóstico es el siguiente:

Caso 2. Análisis del nutrimento *R* diferente del agregado (*Q*) en el tratamiento.

1. La disponibilidad del nutrimento *R* mejoró al aplicar el nutrimento *Q*.

2. El crecimiento del cultivo mejoró al aplicar *Q*, ya sea porque *Q* era deficiente o *Q* tuvo un efecto sinérgico con *R* u otro factor del crecimiento.

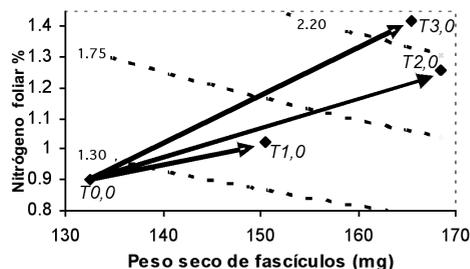


Figura 3. Respuesta del nitrógeno foliar a la aplicación de distintas dosis de nitrógeno (T 0,0 = dosis 0 de N y 0 de P...; T 3,0 = dosis 3 de N y 0 de P) en *Pinus taeda* L. (modificado de Valentine y Allen, 1990).

3. El nutrimento *R* se diluyó. Por lo tanto, después del tratamiento, *R* es deficiente (Valentine y Allen, 1990; Weetman, 1989).

De este conjunto de posibilidades, la primera indica que la aplicación del tratamiento con nitrógeno (dosis máxima) indujo un aumento que, en este caso, fue somero, en la disponibilidad de fósforo (Figura 2). Este tipo de interacciones puede deberse a cambios en la química del suelo inducidos por un tratamiento. Una posible explicación del incremento en la disponibilidad de fósforo es que el nitrógeno haya promovido un cambio en el pH del suelo y haya contribuido a solubilizar el fósforo.

La segunda aseveración deja abierta la posibilidad de que el incremento de biomasa se deba al efecto del nitrógeno o bien al efecto del mejoramiento de la disponibilidad de fósforo o a un posible efecto del tratamiento sobre otro factor que haya resultado en el mejoramiento de las condiciones generales de crecimiento del vegetal. Puede o no haber argumentos o datos que apoyen alguna de estas posibilidades.

Finalmente, la tercera afirmación no da pie a mayor discusión. Al aplicarse la dosis de nitrógeno se incrementó el crecimiento, al grado de que el fósforo se diluyó dentro de la planta. Este efecto de dilución fue correctamente identificado por Valentine y Allen (1990) e indica que, después del tratamiento, el fósforo es deficiente (López y Estañol, 2007).

En este ejemplo, el uso de la guía contribuyó a profundizar en las interpretaciones de los vectores, proporcionando un catálogo mucho más amplio de posibles elucidaciones que el incluido en la guía tabular clásica. También mostró que las interpretaciones hechas mediante la presente guía corresponden, en su caso, con las hechas mediante la guía tabular.

CONCLUSIONES

Este ensayo indica que la clave propuesta facilita de manera importante la interpretación de los nomogramas y permite profundizar en el análisis de los vectores y producir una mayor gama de posibilidades de efectos de los tratamientos que cuando se utiliza la tradicional guía tabular. Las ventajas mencionadas permiten generar una mayor discusión de los resultados del trabajo y, probablemente, producir resultados finales más confiables y provechosos.

REFERENCIAS

- Haase, D.L. y R. Rose. 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient shifts in response to silvicultural treatments. *For. Sci.* 41(1):54-66.
- Imo, M. y V.R. Timmer. 1997. Vector diagnosis of nutrient dynamics in mezquite seedlings. *For. Sci.* 43(2):268-273.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Springer. 3a. ed. Berlin, Alemania. 506 p.
- López L., M.A. y E. Estañol B. 2007. Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutrimental. *Terra Latinoamericana* 25(1):9-15.
- Lopez-Lopez, M.A., R.M. Reich, C. Aguirre-Bravo y A. Velázquez-Martínez. 2009. Pine growth and nutrient status as related to pine/alder ratio in mixed stands. *J. Biol. Sci.* 9(7):637-647.
- Mengel, K. y A.E. Kirkby. 2000. *Principios de nutrición vegetal*. Traducción al español de la 4a. ed. por R. J. Melgar y M. Ruiz. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza.

- Moreno Ch., L.R., M.A. L. López, E. B. Estañol y A. M. 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(1):51-60.
- Rodríguez, S.F. 1982. Fertilizantes. Nutrición vegetal. AGT Editor. México, D. F. 157 p.
- Salifu, K.F. y V.R. Timmer. 2001. Nitrogen retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(1):905-913.
- Sumner, M.E. 1977a. Preliminary NPK foliar diagnostic norms for wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(2):148-167.
- Sumner, M.E. 1977b. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(3):251-267.
- Timmer, V.R. y E.L. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 42:125-130.
- Timmer, V.R. 1991. Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. pp. 113-134. *In*, R. van den Driessche (ed.). Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press. Boca Raton, FL, EE.UU.
- Timmer, V.R. y Y. Teng. 1999. Foliar nutrient analysis of sugar maple decline: retrospective vector diagnosis. *In*, Stephen B., Long Robert P. (eds.) Sugar maple ecology and health: proceedings of an international symposium; 1998 June 2-4; Warren, PA. Gen. Tech. Rep. NE-261. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, pp. 69-73.
- Valentine, D.W. y H.L. Allen. 1990. Foliar responses to fertilization identify nutrient limitation in loblolly pine. *Can. J. For. Res.* 20(2):144-151.
- Varnagyrité-Kabasinskyené, I. 2008. Complex study of foliage nutrient status in ash fertilized scots pine stands in Lithuania. *J. For. Sci.* 54(5):195-206.
- Weetman, G.F. 1989. Graphical vector analysis technique for testing stand nutritional status. pp. 93-109. *In*, W. J. Dyck y C. A. Mees (eds.). Research strategies for long-term site productivity. Proceedings, IEA/BE A3 Workshop. Seattle, WA. August 1988. IEA/BE A3 Report No. 8. Bulletin 152. Forest Research Institute. Nueva Zelanda.
- Weetman, G.F. y C.G. Wells. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. pp. 659-690. *In*, R. L. Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis. 3a. ed. Soil Science Society of America. Madison, WI, EE.UU.
- Weetman, G.F., M.A. McDonald, C.E. Prescott y J.P. Kimmins. 1993. Responses of western hemlock, pacific silver fir and western red cedar plantations on northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. *Can. J. For. Res.* 23:1815-1820.

Manuscrito recibido el 12 de septiembre de 2008

Aceptado el 18 de enero de 2010

Este documento se debe citar como: López-López, M.A. y J. Alvarado-López. 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques* 16(1):99-108.