

# DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE HOJAS DE *QUERCUS ROBUR* L. EN UN BOSQUE DE ESTA ESPECIE EN GALICIA, N.O. DE ESPAÑA, 6 AÑOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE CLARA

Margarita Alonso Santos<sup>1</sup>, María José Rozados Lorenzo<sup>1</sup>, María Francisca Ignacio Quinteiro<sup>1</sup>, Francisco Javier Silva Pando<sup>1,2</sup> y María Teresa Fonturbel Lliteras<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Forestal de Lourizán–CIF. Consellería de Medio Rural, Xunta de Galicia. Apdo. 127. 36080–PONTEVEDRA (España). Correo electrónico: margarita.alonso.santos@xunta.es

<sup>2</sup>Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002-LUGO (España)

## Resumen

En una masa de *Quercus robur* L. en Galicia, NO de España, se efectuaron tratamientos de clara de diferente intensidad (0, 15, 35 y 55% de reducción del área basimétrica), dejando los árboles apeados en el lugar de corta. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con 3 bloques y 4 niveles de clara en cada uno de ellos. Después de 6 años, se efectuó un muestreo foliar, en verano, para la determinación de macro y micronutrientes, así como del peso seco foliar. El análisis de vectores resultó ser una herramienta útil para valorar el efecto de los distintos niveles de clara sobre el crecimiento y estado nutricional de las hojas, corroborando lo hallado mediante ANOVA. Únicamente la clara de un 55% de reducción del área basimétrica del arbolado incrementó el crecimiento de los árboles y mejoró especialmente el estatus de N y también el de otros nutrientes como Ca, Mg y Cu en las hojas. Lo anterior indica que los tratamientos intensos de clara, dejando los restos en el lugar, pueden mejorar la absorción de N, elemento limitante en la mayoría de las masas forestales.

Palabras clave: *Tratamientos silvícolas, Nutrición mineral, Peso seco foliar, Crecimiento, Análisis vectorial*

## INTRODUCCIÓN

Los tratamientos de clara en masas forestales y la acumulación in situ de los residuos de corta, pueden favorecer la redistribución de nutrientes entre el arbolado residual e incrementar su crecimiento (THIBODEAU et al., 2000). En un estudio anterior sobre este mismo experimento (ALONSO et al., 2005), hemos comprobado que a corto plazo, 2 años después del tratamiento, solo la clara del 55% inducía incrementos

significativos en la concentración de carbono y nitrógeno en el suelo forestal (hojarasca y mantillo), no observándose éstos cambios en el suelo mineral; a medio plazo, seis años después del tratamiento, tampoco se observaron cambios significativos debidos a la clara en el suelo mineral, a excepción del incremento de potencial redox en extractos acuosos de suelo (0-20 cm) en las parcelas con clara intensa, indicando condiciones más oxidantes (ALONSO et al., 2008; 2009). Estos efectos de la clara pueden ser par-

ticularmente favorables en suelos deficitarios en nutrientes, como son la mayoría de los suelos forestales de Galicia, debido a las condiciones de alta pluviosidad, orografía y características del substrato rocoso (BARÁ, 1998; BARRAL Y DIAZ FIERROS, 1999). Una herramienta que ha mostrado ser de gran utilidad para el diagnóstico del estado nutricional de las plantas es el análisis de vectores, método gráfico basado en los cambios en la concentración (eje y), contenido de nutriente (eje x) y peso seco foliar (eje z), relativos a un control o muestra de referencia (valor 100), siendo  $x = f(y, z)$ . Inicialmente, este método se utilizó para medir la respuesta a la fertilización (TIMMER & STONE, 1978). En el ámbito forestal, algunas referencias de su utilización son TIMMER & MILLER (1991), WEETMAN et al. (1993), TIMMER & ARMSTRONG (1987), SALIFU & JACOBS (2006), MOORE & FAN (2000), SOLLA-GULLON et al. (2004) y SYPERT (2006). El análisis de vectores se ha utilizado también para estudiar la respuesta a otros factores como tratamientos silvícolas o cualquier otro que pudiese alterar el estatus de nutrientes (HAASE & ROSE, 1995; VELÁZQUEZ et al., 1992; LAPOINTE et al., 2006; PROE et al., 1999). La producción de materia seca foliar está altamente correlacionada con la respuesta en crecimiento a largo plazo en coníferas (TIMMER & MORROW, 1984) y en frondosas (LARSON & ISEBRANDS, 1972) y provee, entonces, una medida fácil y una estima del futuro crecimiento del árbol. El análisis de vectores puede interpretar los efectos de la producción de materia seca sobre la concentración de nutrientes, incluyendo efectos de dilución, desequilibrio e interacciones entre nutrientes (TIMMER, 1991). Puede compararse el balance de varios nutrientes en un único gráfico (nomograma), donde la dirección y longitud de los vectores representan cambios en el nivel de nutrientes y masa foliar. Una mayor longitud del vector representa una mayor respuesta con respecto al control, que un vector más corto. Los cambios en la diagonal del nomograma, indican que no hay ninguna variación en la masa foliar, mientras que los cambios en horizontal o vertical indican crecimientos o decrecimientos en la producción de materia seca foliar. Vectores horizontales indican que no hay cambios en la concentración de nutrientes, y vectores verticales,

que no varía el contenido. Los suelos bajo los cuales se desarrolló esta experiencia, son como la mayoría de suelos forestales en Galicia, deficitarios en nutrientes, es por tanto, que los tratamientos de clara de sus masas forestales y la acumulación *in situ* de los residuos de corta, como es el caso que nos ocupa, deberían favorecer la redistribución de los nutrientes entre el arbolado residual e incrementar su crecimiento.

El objetivo de este estudio fue evaluar el estatus nutricional de las hojas y el crecimiento del arbolado en una población de *Quercus robur*, después de la aplicación de distintos niveles de clara efectuados 6 años antes.

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó en los montes de A Candeira y O Cordon, en una superficie aproximada de 3 ha en el municipio de Cotobade (Pontevedra) (42° 27' N; 8° 27' W; 400 m.s.n.m.). El establecimiento de las parcelas se realizó en 1999. En mayo de 2000 se aplicaron los tratamientos de clara, dejando los árboles apeados en el lugar. La descripción del lugar, así como las actividades realizadas para estudiar los cambios a corto y a medio plazo están recogidas en publicaciones anteriores (ALONSO et al., 2005 y 2009; SILVA-PANDO et al., 2009). Para estudiar los efectos de la clara a medio plazo en el estado nutricional de las hojas, se utilizaron los datos obtenidos en el muestreo foliar de junio del 2006. El diseño del experimento es de bloques al azar (3 bloques) con 4 tratamientos de clara en cada uno de ellos (0; 15; 35 y 55% de reducción del área basimétrica). En cada bloque se delimitaron 4 parcelas de 30x30m, correspondiendo cada una de ellas a un nivel de tratamiento de clara. La unidad experimental es la parcela, por lo que los valores de concentración de nutriente son el promedio de los valores obtenidos para los 4 árboles elegidos como representativos de la masa, de los que se muestrearon hojas orientadas al sur, a media copa. Las hojas se liofilizaron y molieron. El peso seco de una hoja se obtuvo dividiendo el peso de una cantidad de hojas liofilizadas por el número de ellas. El N se determinó por semimicro Kjeldahl; macro y micronutrientes totales (Ca, Mg, K, P, Fe, Cu, Zn y Mn) se extrajeron con

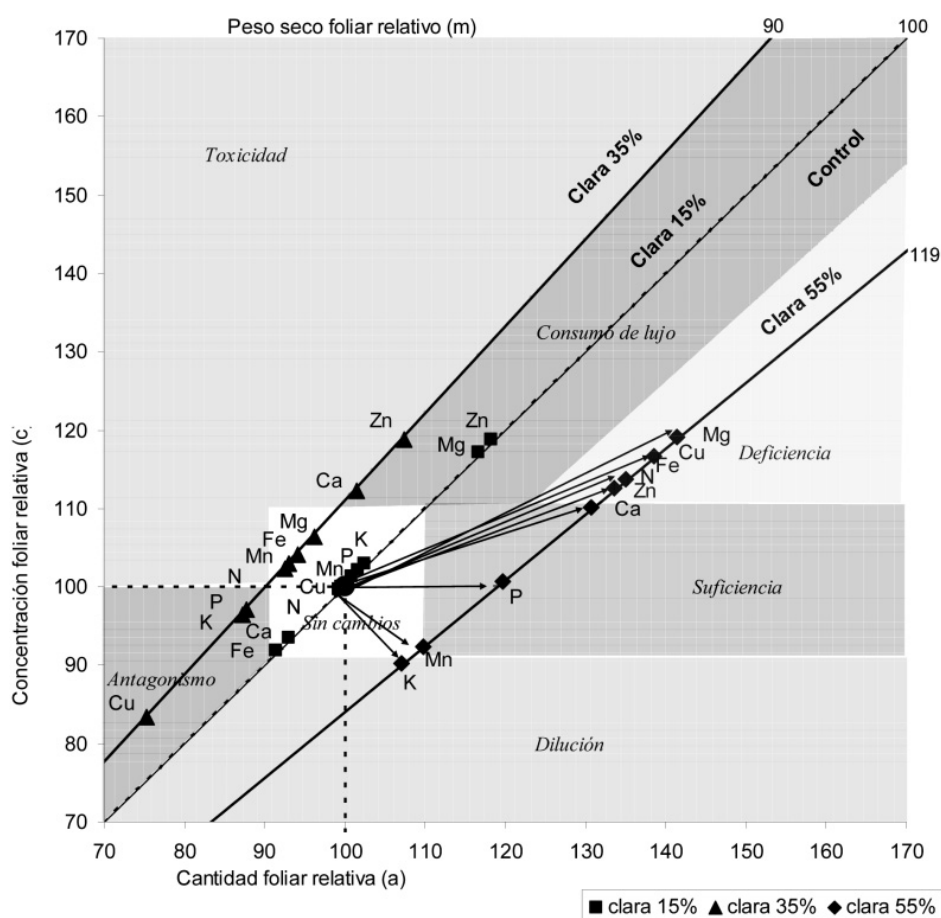
mezcla  $\text{HNO}_3$ :  $\text{HCl}$  (7:1; v/v) por digestión en microondas. El K se determinó por fotometría de llama, el P por colorimetría con reactivo sulfito-hidroquinona (A.O.A.C., 1975), y el resto de nutrientes por absorción atómica.

Para aplicar el análisis de vectores es necesario el peso seco foliar ( $\text{g}\cdot\text{hoja}^{-1}$ ) y la concentración de nutriente ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), la cantidad de nutriente se obtiene multiplicando el peso seco foliar por la concentración ( $\text{mg}\cdot\text{hoja}^{-1}$ ). En el nomograma (Figura 1), al valor promedio de biomasa foliar, concentración y cantidad de nutriente en las parcelas de referencia (sin clara), se les ha asignado el valor 100, y los valores correspondientes a las parcelas con clara de 15; 35 y 55% de reducción del área basimétrica, son los valores relativos a las parcelas de referencia. Para seguir un criterio al asignar los vectores, se considera que la diferencia con el valor de referencia debe ser de al menos un 10% (SYPERT, 2006).

Los resultados obtenidos con el análisis de vectores se contrastaron con los procedentes de un análisis de varianza de dos factores: bloque (con 3 niveles) y clara (con 4 niveles). En este análisis, los dos factores se consideran fijos. El número de parcelas fue de 3 por nivel de clara, situadas aleatoriamente en cada uno de los tres bloques. Se ha analizado el efecto del nivel de clara sobre la concentración y cantidad de nutrientes foliares y también sobre el crecimiento en diámetro entre los años 2000 y 2006. El test de medias utilizado fue el de Duncan (Tabla 1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el nomograma de vectores (Figura 1), solo el nivel de clara del 55% mostró una respuesta evidente al tratamiento, con un incremento del peso seco foliar en comparación a las parcelas



**Figura 1.** Análisis de vectores para estudiar el efecto de los distintos niveles de clara efectuados en las parcelas de *Quercus robur* en el año 2000, sobre el estado de los nutrientes foliares 6 años después (junio 2006). El valor de referencia relativo (100) representa el valor obtenido en 2006 del tratamiento control (clara 0%)

		df	F	Sig,	Clara (% reducción área basimétrica del arbolado)				Forest Foliar Condition in Europe STEFAN <i>et al</i> (1997)		
					0	15	35	55	Bajo	Optimo	Alto
N	Conc,	3	3,072	0,05*	21,42 b	21,35 b	22,04 b	24,35 a	≤15,0	25,0	> 25
	Cant,	3	3,934	0,072*	438 b	416 b	416 b	607 a			
P	Conc,	3	0,245	0,862	1,34	1,38	1,30	1,35	≤ 1,0	1,8	> 1,8
	Cant,	3	2,930	0,122	27,4	26,9	24,4	33,1			
K	Conc,	3	1,109	0,416	8,26	8,44	7,97	7,45	≤ 5,0	10,0	> 10,0
	Cant,	3	0,889	0,499	170	165	150	183			
Ca	Conc,	3	0,434	0,737	2,78	2,60	3,12	3,06	≤ 3,0	8,0	> 8,0
	Cant,	3	4,142	0,066*	55,9 b	50,8 b	58,3 ab	74,6 a			
Mg	Conc,	3	1,748	0,256	1,57	1,84	1,67	1,87	≤1,0	2,5	> 2,5
	Cant,	3	5,522	0,037*	32,3 b	35,7 b	31,5 b	46,0 a			
Fe	Conc,	3	0,617	0,629	0,073	0,067	0,076	0,083	≤0,06	0,20	> 0,20
	Cant,	3	1,956	0,222	1,55	1,30	1,43	2,05			
Cu	Conc,	3	0,748	0,562	0,006	0,006	0,005	0,007	≤0,005	0,010	> 0,010
	Cant,	3	4,591	0,054*	0,10 b	0,11 b	0,10 b	0,16 a			
Zn	Conc,	3	1,626	0,280	0,016	0,019	0,019	0,018	≤0,015	0,050	> 0,050
	Cant,	3	1,589	0,288	0,34	0,38	0,36	0,44			
Mn	Conc,	3	0,119	0,945	0,551	0,558	0,564	0,509	≤0,06	2,50	>2,50
	Cant,	3	0,348	0,793	11,5	10,0	10,6	12,2			
Biomasa foliar		3	1,473	0,313	0,208	0,207	0,188	0,247			
Δdm 00-06		3	15,102	0,003*	2,63 b	2,77 b	3,37 b	4,43 a			

**Tabla 1.** Resultados de la prueba F y valores del nivel de significación (\*,  $p < 0.10$ ) del ANOVA y valores medios de concentración (conc.;  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), cantidad de nutrientes (cant.;  $\text{mg}\cdot(100 \text{ hojas})^{-1}$ ); peso seco foliar ( $\text{g}\cdot\text{hoja}^{-1}$ ), e incremento de diámetro medio ( $\Delta\text{dm } 00-06$ ) entre el año 2000 y 2006 (cm), en las parcelas en que se aplicaron los distintos niveles de clara. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Duncan

control, lo que supuestamente estaría relacionado con un mayor crecimiento (LARSON & ISEBRANDS, 1972), hecho que corroboran los incrementos significativos de diámetro medio observados, entre el 2000 y 2006, en estas parcelas con claro intenso (Tabla 1). Nitrógeno, calcio, magnesio, hierro, cobre y zinc dan lugar a incrementos relativos de al menos un 10% (SYPERT, 2006) en el peso seco, concentración y cantidad de nutriente en las hojas (Figura 1). Siguiendo el criterio de LÓPEZ & ALVARADO (2010) en la interpretación de nomogramas, ello significaría que la clara intensa incrementó el crecimiento de los árboles remanentes tras la clara, por un efecto sinérgico con la disponibilidad y absorción de estos nutrientes, que eran limitantes antes de la clara. Después de 6 años de haber sido aplicado el tratamiento, según el análisis de vectores, estos nutrientes son suficientes en las hojas. El ANOVA para ver el efecto del nivel

de clara sobre la concentración y cantidad de nutrientes foliares nos muestra incrementos significativos de concentración y cantidad foliar de N, que añadido al crecimiento significativo del diámetro apoya las conclusiones del análisis de vectores de que este elemento era limitante, y que la clara del 55% actuó, por así decirlo, como un fertilizante nitrogenado, ya que el aporte de restos vegetales en las parcelas con clara intensa, a corto plazo, implicó incrementos en la concentración de este elemento en el suelo forestal (ALONSO *et al.*; 2005) y, por tanto, en la disponibilidad futura de este nutriente. Por otro lado, las condiciones más oxidantes en los primeros 20 cm de suelo mineral, observadas posteriormente en estas parcelas (ALONSO *et al.*, 2008), favorecerían la absorción de nitrógeno por el arbolado (DELAUNE *et al.*, 1998). THIBODEAU *et al.* (2000), utilizando el análisis de vectores, observaron el mismo efecto para

N en las acículas de *Abies balsamea*, ya el primer año después de la clara; VELÁZQUEZ et al. (1992) mencionaron también incrementos en la cantidad y concentración foliar de N en una población de *Pseudotsuga menziessi*, 7 años después de una clara intensa. En cuanto a los otros elementos, que según el nomograma de la Figura 1 serían limitantes, solo la cantidad de Ca, Mg y Cu en las hojas es significativamente superior a las observadas en las parcelas testigo (Tabla 1) no variando significativamente su concentración, por lo que debemos ser más cautos en la interpretación de los resultados, ya que el criterio sería menos riguroso. Según STEFAN et al. (1997), se observa que los nutrientes analizados están dentro del rango de suficiencia en hojas de este tipo de bosques en Europa, aunque el Ca está casi en el límite.

## CONCLUSIONES

El análisis de vectores resultó ser una herramienta útil para valorar el efecto de distintos niveles de clara sobre el crecimiento y estado nutricional de las hojas en una masa de *Quercus robur*. Después de 6 años de efectuadas las claras, y solo con datos de peso seco foliar ( $\text{g}\cdot\text{hoja}^{-1}$ ) y concentración de nutrientes foliares, el análisis de vectores nos permitió comprobar que únicamente la clara de un 55% de reducción del área basimétrica del arbolado, incrementó el crecimiento de los árboles y mejoró especialmente el estatus de N y también el de otros nutrientes como Ca, Mg y Cu en las hojas. Los anteriores resultados confirman lo hallado mediante el ANOVA de las variaciones de diámetro medio de los árboles en ese periodo de tiempo, así como de la concentración y cantidad de nutrientes en las hojas del arbolado de estas parcelas, en relación a las parcelas control, especialmente para el N y en menor medida para Ca, Mg y Cu. Todo lo anterior indica que los tratamientos intensos de clara, dejando los restos en el lugar, pueden mejorar la absorción de N, elemento limitante en la mayoría de las masas forestales.

## Agradecimientos

A la Xunta de Galicia, que ha financiado el proyecto PGIDT00MAM5021PR, y al INIA,

con los proyectos SC098-062 y RTA 05-0218-00-00. A las auxiliares de laboratorio L. Queimadelos, M. Fernández y A. Soliño. A los auxiliares de campo A. Pazos, E. Diz y J. Ríos. A los estudiantes de Química en prácticas de la USC, así como a los de ciclos superiores de los IES Manuel Antonio y Ricardo Mella de Vigo, por su colaboración.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, M.; IGNACIO, M.F.; NUÑEZ, M.; ROZADOS, M.J.; SILVA-PANDO, F.J. Y FONTURBEL, M.T.; 2005. Cambios a corto plazo en el nivel de algunos parámetros edáficos y foliares después de una clara en una masa de *Quercus robur* L. en Galicia, NO de España. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20: 47-53.
- ALONSO, M.; IGNACIO, M.F.; ROZADOS, M.J.; FONTURBEL, M.T. Y SILVA-PANDO, F.J.; 2008. Potencial redox de la fase líquida del suelo y niveles de clareo en una población natural de *Quercus robur* L. en Galicia, NO de España. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25: 55-59.
- ALONSO, M.; IGNACIO, M.F.; ROZADOS, M.J.; SILVA-PANDO, F.J. Y FONTURBEL, M.T.; 2009. Cambios a medio plazo en el nivel de algunos parámetros edáficos y foliares después de una clara en una masa de *Quercus robur* L. en Galicia, NO de España. *En: S.E.C.F.-Junta de Castilla y León (eds.), Actas del 5º Congreso Forestal Español 5CFE01-239: 2-11.* Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pontevedra.
- A.O.A.C. 1975. Phosphorus in plants. Micromethod. *Official Methods of Analysis.* A.O.A.C. 12th Ed. 3061.
- BARÁ, S.; 1998. *Fertilización forestal.* Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Xunta de Galicia.
- BARRAL, M.T. Y DIAZ FIERROS, F.; 1999. Los suelos de Galicia. *En: Geografía General de Galicia XVII.* Hércules ed. A Coruña.
- DELAUNE, R.D.; PEZESHKI, S.R. & LINDAU, C.W.; 1998. Influence of soil redox potential on nitrogen uptake and growth of wetland oak seedlings. *J. Plant Nut.* 21(4): 757-768.
- HAASE, D.L. & ROSE, R.; 1995. Vector analysis and its use for interpreting plant nutrient

- shifts in response to silvicultural treatments. *For. Sci.* 41(1): 54-66.
- LAPOINTE, B.; BRADLEY, R.; PARSONS, W. & BRAIS, S.; 2006. Nutrient and light availability to white spruce seedlings in partial and clearcut harvested aspen stand. *Silva Fennica* 40(3): 459-471.
- LARSON, P.R. & ISEBRANDS, J.G.; 1972. The relation between leaf production and wood weight in first-year root sprouts of two *Populus* clones. *Can. J. For. Res.* 2: 98-104.
- LOPEZ, M.A. & ALVARADO, J.; 2010. Interpretación de nomogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutricional de especies forestales. *Madera y Bosques* 16(1): 99-108.
- MOORE, J.A. & FAN, Z.; 2000. Vector diagnosis of container-grown ponderosa pine nutrient status with controlled-release fertilizer incorporated in the root plug. *Intermountain Forest Tree Nutrition Cooperative. Supplemental Report n° 2*.
- PROE, M.F.; CRAIG, J.; DUTCH, J. & GRIFFITHS, J.; 1999. Use of vector analysis to determine the effects of harvest residues on early growth of second-rotation Sitka spruce. *Forest Ecol. Manage.* 122: 87-105.
- SALIFU, K.F. & JACOBS, F.; 2006. Characterizing fertility targets and multielement interactions in nursery culture of *Quercus rubra* seedlings. *Ann. For. Sci.* 63: 231-237.
- SOLLA-GULLON, F.; TABOADA, M.P.; RODRIGUEZ-SOALLEIRO, R. Y MERINO, A.; 2004. Respuesta inicial del aporte de cenizas de biomasa arbórea en el estado nutricional de una plantación joven de *Pinus radiata* D. Don. *Inv. Agraria: Sist. Rec. For.* 13(2): 281-293.
- SILVA-PANDO, F.J.; ROZADOS, M.J.; ROZAS, V.; LOPEZ-SORS, C. Y ALONSO, M.; 2009. Efecto del tratamiento de claras sobre los parámetros dasométricos de robledales iberoatlánticos (N.O. de España). En: S.E.C.F.-Junta de Castilla y León (eds.), *Actas del 5º Congreso Forestal Español 5CFE01-238*: 2-11. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pontevedra.
- STEFAN, K.; FÜRST, A.; HACKER, R. & BARTELS, V.; 1997. *Forest Foliar Condition in Europe-Results of large-scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data for previous years)*. EC-UN/EC, Austrian Federal Research Centre. Wien.
- SYPERT, R.H.; 2006. *Diagnosis of Loblolly Pine (Pinus taeda L.) nutrient deficiencies by foliar methods*. Thesis Virginia Polytechnic Institute, Master of Science in Forestry.
- THIBODEAU, L.; RAYMOND, P.; CAMIRÉ, C. & MUNSON, A.D.; 2000. Impact of precommercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, decomposition, and foliar nutrition. *Can. J. For. Res.* 30: 229-238.
- TIMMER, V.R. & ARMSTRONG, G.; 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1082-1086.
- TIMMER, V.R. & STONE, E.L.; 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilizer with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 125-130.
- TIMMER, V.R. & MORROW, L.D.; 1984. Predicting fertilizer growth response and nutrient status of jack pine for foliar diagnosis. In: E.L. Stone (ed.), *Proc. 6th N Am. For. Soils Conf., P.335-351 in Forest soils and treatment impact*. Dep of Forestry, Wildlife and Fisheries, Univ. of Tennessee. Knoxville.
- TIMMER, V.R.; 1991. Interpretation of seedlings analysis and visual symptoms. Ch. 5. In: R. van den Driessche (ed.), *Mineral nutrition of Conifer Seedlings*. CRC Press. Boca Raton.
- TIMMER, V.R. & MILLER, B.D.; 1991. Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients, and water relations of container grown red pine seedlings. *New Forests* 5: 335-348.
- VELAZQUEZ, A.; PERRY, D.A. & BELL, E.; 1992. Response of abovegrown biomass increment, growth efficiency, and foliar nutrients to thinning, fertilization, and pruning in young Douglas-fir plantations in the central Oregon Cascades. *Can. J. For. Res.* 22: 1278-1289.
- WEETMAN, G.F.; McDONALD, M.A.; PRESCOTT, C.E. & KIMMINS, J.P.; 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.