

## FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO EN UN LATIZAL DE *Pinus patula* Schl. et Cham.

### FERTILIZATION WITH NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN *Pinus patula* Schl. et Cham SAMPLINGS.

Martha O. Lázaro-Dzul<sup>1</sup>; Juan Velázquez-Mendoza<sup>2</sup>; José J. Vargas-Hernández<sup>2</sup>; Armando Gómez-Guerrero<sup>2</sup>; María E. Álvarez-Sánchez<sup>3</sup>; Miguel A. López-López<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Estudiante de maestría, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Correo-e: marodzul@hotmail.com (<sup>1</sup>Autor para correspondencia).

<sup>2</sup> Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, Programa Forestal. km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230.

<sup>3</sup> Profesor Investigador, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

#### RESUMEN

Las masas forestales enfrentan el problema de productividad, la cual demanda que se incremente en cantidad y calidad. El crecimiento forestal depende de varios factores, entre ellos, el edáfico, que actúa sobre el árbol mediante el agua y los elementos minerales. Se incrementa la productividad forestal al mejorar la disponibilidad nutrimental mediante la fertilización. Consecuentemente, la finalidad de este trabajo fue estudiar la fertilización con nitrógeno (0, 138, 185), fósforo (0, 15, 21) y potasio (0, 123, 164) kg·ha<sup>-1</sup> con relación al crecimiento de follaje nuevo, mediante un experimento factorial 3<sup>3</sup> en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. de 10 años de edad, en Aquixtla, Puebla, durante 2009-2010. La tasa relativa de crecimiento instantáneo (TCRI) en volumen de follaje nuevo fue mejor (0.0255 mL·mL<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>) con la dosis 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK, y la TCRI de peso seco fue mejor (0.0254 y 0.0249 g·g<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>, respectivamente) con las dosis 138-0-123 y 138-0-0. Se determinó deficiencia de nitrógeno, que se atribuyó a la acidez edáfica y a la lenta mineralización de la materia orgánica. La dosis recomendada para las condiciones edáficas y climáticas del sitio experimental fue 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> NPK para volumen de follaje nuevo y 138-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK para peso seco.

Recibido: 11 de enero del 2011  
 Fecha de aceptado: 01 de noviembre del 2011  
 DOI: 10.5154/r.chscfa.2011.01.001  
<http://www.chapingo.mx/revistas>

**PALABRAS CLAVE:** Tasa relativa de crecimiento, follaje nuevo, fertilizantes líquidos.

#### ABSTRACT

The forests today face the problem of productivity; it is demanded to increase in quantity and quality. Forest growth depends on several factors, including soil, which acts on the tree by the water and mineral elements. Forest productivity is increased by improving nutrient availability through fertilization. Consequently, this research is aimed to study the nitrogen fertilization (0, 138, 185), phosphorus (0, 15, 21), and potassium (0, 123, 164) kg·ha<sup>-1</sup> compared to the growth of new foliage, using a 3<sup>3</sup> factorial experiment in a *Pinus patula* Schl. et Cham plantation of 10 year old trees, in Aquixtla, Puebla, during 2009-2010. The instantaneous relative growth rate (TCRI, by its acronym in Spanish) in terms of new growth was better (0.0255 mL·mL<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>) with a 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> NPK dose; and TCRI dry weight was better (0.0254 and 0.0249 g·g<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>, respectively) with a 138-0-0 and 138-0-123 dose. Nitrogen deficiency was determined, which was attributed to soil acidity and the slow mineralization of organic matter. The recommended dose for soil and climatic conditions of the experimental site was 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> for volume of new foliage and 138-0-0 NPK kg·ha<sup>-1</sup> for dry weight.

**KEYWORDS:** relative growth rate, new foliage, liquid fertilizers

#### INTRODUCCIÓN

La eficiencia de los ecosistemas forestales depende, entre otros, del factor ambiental, que involucra la radiación electromagnética, la exposición del dosel vegetal, la temperatura y la disponibilidad de agua y nutrientes (Mayor *et al.*, 1994). Los especialistas forestales pueden hacer muy poco para modificar este factor, de tal manera que los esfuerzos que hacen para incrementar la productividad de los bosques se concentran, mayormente, en el manejo de nutrientes.

#### INTRODUCTION

The efficiency of the forest ecosystems depends, amongst other things, on the environmental factor, which involves: electromagnetic radiation, vegetable canopy exposition, temperature and the availability of water and nutrients (Mayor *et al.*, 1994). Forest specialists cannot do a lot to modify this factor, which means that all the efforts made to increase productivity in the forests are mainly concentrated in nutrient management.

La disponibilidad nutrimental en el suelo puede modificarse en forma directa mediante diversos tratamientos, como la fertilización (Fisher y Binkley, 2000). Sin embargo, existe dificultad al tratar de realizarla, debido en parte a que la cantidad de fertilizante a aplicar es un asunto complejo de determinar, por la gran cantidad de interacciones que se presentan en el bosque. Dichas interacciones pueden expresarse como una función entre los requerimientos nutricionales de los árboles, la naturaleza del fertilizante a emplear, la fertilidad natural del suelo, las interacciones entre el suelo y el fertilizante, el momento y el método de aplicación. Por lo tanto, en ocasiones se aplican dosis y tipos de fertilizantes inadecuados.

Al respecto, se han realizado diversos estudios con la finalidad de conocer la influencia de la fertilización en el crecimiento y desarrollo de las especies forestales, en los cuales se han probado diferentes dosis de fertilización, especialmente en la fase de vivero. Algunos de estos estudios se han enfocado a mejorar las características de las plantas que les permitan tener un mejor desarrollo en campo al momento del trasplante (Rikala y Repo, 1997; Puértolas *et al.*, 2003; Villar-Salvador *et al.*, 2004; Oliét *et al.*, 2008). Otros trabajos en plantaciones maduras reportan el efecto de la fertilización con diversos nutrimentos sobre el crecimiento (Turner *et al.*, 2002; Crous *et al.*, 2009; y Dovey, 2009); sin embargo, en la mayoría de los casos no se indica la forma en que se diseñaron las dosis de fertilización que aplicaron. Esto último da pie a inferir que las dosis de nutrimentos a aplicar se deciden en forma arbitraria y que responden a un interés particular del investigador, *e.g.* suelos con baja fertilidad, suelos ácidos o alcalinos, especie arborea, sequía, etc.

Para el caso de especies forestales mexicanas, como es *Pinus patula*, los datos relacionados con dosis de fertilización aplicadas directamente en campo son escasos y más aún en árboles mayores de cinco años. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como finalidad presentar una propuesta para generar dosis de fertilización NPK y determinar la fórmula de fertilización NPK adecuada para aumentar el crecimiento de follaje nuevo, en una plantación comercial de *P. patula*, con árboles de 10 años de edad.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó de agosto de 2009 a junio de 2010, en el Conjunto Predial Forestal, Fracción Rancho Chichicaxtla, en el predio Los Corrales, paraje La Tronconera, municipio de Aquixtla, Puebla, México (19° 43' 20.9" de latitud norte, 97° 59' 35.6" de longitud oeste y 2,980 m de altitud). Se utilizó un experimento factorial 3<sup>3</sup> con un diseño experimental completamente al azar. Los factores de variación que se probaron fueron nitró-

The nutrimental availability in the soil can be modified in a direct way through different treatments such as fertilization (Fisher and Binkley, 2000). However, a difficulty arises when trying to develop it, mainly because the amount of fertilizer to be applied is a complex matter to determine, because of the huge amount of interactions present in the forest. These interactions may be expressed as a function between the nutritional factors in the trees, the components of the fertilizer to be used, the soil's natural fertility, the interactions between the soil and the fertilizer, the moment, and the method applied. This is the main reason why the dose application and fertilizer types are sometimes inadequate.

Several studies have been made with the purpose of learning the influence of fertilization in the growth and development of forest species, in which different doses of fertilization were tested, especially in the nursery phase. Some of these studies have been focused on improving the plants characteristics in order to improve their development in the field, when making the transplant. (Rikala and Repo, 1997; Puértolas *et al.*, 2003; Villar-Salvador *et al.*, 2004; Oliét *et al.*, 2008). There are some other studies referring to mature plantations that make a statement on the fertilization effect with different nutrients over their growth (Turner *et al.*, 2002; Crous *et al.*, 2009; and Dovey, 2009). However, in most cases, it does not indicate the way in which the applied fertilizer doses were designed. This last point signals that the nutrient dose applied is chosen in an arbitrary way, corresponding to the investigator's personal interest. For example: soil with low fertility, acid or alkaline soil, forest species, drought and etcetera. In the case of Mexican forest species, such as *Pinus patula*, the data related to fertilization doses applied directly in the field are very rare, and even rarer in trees older than five years old. Based on the data presented above, this study had as a purpose to present a proposal in order to create an NPK fertilization dose and determine the correct NPK fertilization formula to increase new foliage, in a *P. patula* commercial plantation with ten year old trees.

---

## MATERIALS AND METHODS

This experiment was developed from August 2009 to June 2010 in the Conjunto Predial Forestal, Fracción Rancho Chichicaxtla, in Los Corrales, La Tronconera, municipality of Aquixtla, Puebla, Mexico. It is located at 19° 43' 20.9" north latitude, 97° 59' 35.6" west longitude, and 2,980 m. altitude. A 3<sup>3</sup> factorial experiment was made with a random experimental design. The variation factors tested on were nitrogen (N) (0,138,185), phosphorus (P) (0,15,21), and potassium (K) (0,123,164) kg·ha<sup>-1</sup>, respectively. The level combination of these three factors generated 27 treatments with 3 replicates established.

geno (N) (0,138,185), fósforo (P) (0,15,21) y potasio (K) (0,123,164)  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. La combinación de los niveles de los tres factores produjo un total de 27 tratamientos y se establecieron tres repeticiones. La unidad experimental fue de  $97.5 \text{ m}^2$  (15 m de largo x 6.5 m de ancho), con un espaciado de 2 m entre parcelas; y dentro de cada parcela se dejó 1 m de borde; así, el área útil fue de  $58.3 \text{ m}^2$  (13 m de largo x 4.5 m de ancho). La determinación de las dosis de N, P y K se realizó con base en el análisis foliar y una estimación de producción de biomasa anual de la especie. Para ello se hizo un recorrido por el lote experimental, con la finalidad de elegir diez sitios representativos. En cada sitio de muestreo se seleccionaron dos árboles de tamaño similar a todo el lote, de los cuales se obtuvo una muestra de follaje del crecimiento anual del ciclo anterior, es decir, del año 2009. Se conservó en hielo para su transporte al laboratorio. En el laboratorio, el follaje se lavó con agua destilada, se secó con papel absorbente y se metió en bolsas de papel para secarse en una estufa con convección de aire, a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 72 h. Posteriormente, las muestras se sacaron y se determinó el peso seco. Se obtuvo el promedio de peso seco de las 20 muestras, el cual fue de 2,250 g. A las acículas secas se les determinó el contenido de N, P y K, que en promedio, fue 1.3 % N, 0.12 % P y 0.59 % K. En seguida se determinó la extracción nutrimental y se extrapoló a  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . También se determinó, antes de establecer el experimento, que el suelo presentó un intervalo de pH 5.5-5.7 y un contenido de materia orgánica de 20 %.

La aplicación de los fertilizantes se realizó en forma líquida, en una sola aplicación. Los fertilizantes se aplicaron en doce puntos distribuidos homogéneamente dentro de cada parcela, el 25 de octubre de 2009; esta fecha se consideró como el día uno del experimento. Se utilizaron los siguientes fertilizantes: sulfato de potasio (0-0-50), fosfato monopotásico (0-52-34.5), nitrato de potasio (12-0-44), nitrato de magnesio (11-0-0 + 15 Mg), fosfonitrato (33-0-0), fosfato monoamónico (12-61-0), sulfato de amonio (20.5-0-0), sulfato de magnesio (0-0-0 + 9 Mg) y ácido fosfórico (85 %). Se preparó una solución nutritiva para cada tratamiento, en donde los macronutrientes nitrógeno (30 %  $\text{N-NH}_4$ : 70 %  $\text{N-NO}_3$ ), fósforo y potasio se aplicaron en las cantidades mencionadas anteriormente. El calcio y el magnesio aplicados fueron  $8.2$  y  $2.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Para completar la solución nutritiva se aplicaron los micronutrientes Mn, Zn, Cu, B, Mo y Fe, con base en cantidades que reportan Hewitt y Smith (1975).

Para la evaluación de volumen y peso seco de follaje nuevo se realizaron cuatro muestreos. El primero se realizó 150 días después de la fertilización (DDF). Los siguientes muestreos se realizaron cada 30 días. En todos ellos se incluyeron dos repeticiones del expe-

The experimental unit was  $97.5 \text{ m}^2$  (15 m long x 6.5 m wide), with a spacing of 2 m between plots. Each plot had 1 m of edge leaving  $58.3 \text{ m}^2$  of useful area (13 m long x 4.5 m wide). The choosing of the N, P and K doses was made based on the foliar analysis and an estimate of the annual biomass production of the species. In order to do that, a walking around the experimental lot was made, to choose ten representative places. Two trees of similar size to the whole lot were selected in each sampling area; a sample of the previous cycle annual growth was taken (2009) and kept in ice to be transported to the laboratory. In the laboratory, the foliage was washed with distilled water, dried with absorbing paper and kept in paper bags to dry off on an air convection stove at  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , during 72 hours. After that, the samples were taken out of the bags and the dry weight was determined. An average of the 20 dry weight samples was made, which was 2,250 g. The N, P, and K content were measured from the dry acículas which, on average, was 1.3 % N, 0.12 % P, and 0.59 % K. The nutrient removal was also determined and they were extrapolated to  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Before starting the experiment it was determined that the soil presented an interval of pH 5.5 to 5.7 and 20 % of organic matter content.

The fertilizers were applied only once and as a liquid. They were applied homogeneously in 12 distributed areas within each plot of land, on October 25 of 2009; this was day number 1 in the experiment. These were the fertilizers used: potassium sulfate (0-0-50), monopotassium phosphate (0-52-34.5), potassium nitrate (12-0-44), magnesium nitrate (11-0-0 + 15 Mg), phosphonitrate (33-0-0), monoammonium phosphate (12-61-0), ammonium sulfate (20.5-0-0), magnesium sulfate (0-0-0 + 9 Mg), and phosphoric acid (85 %). A nutrient solution was prepared for each treatment in which nitrogen (30 %  $\text{N-NH}_4$ : 70 %  $\text{N-NO}_3$ ), phosphorus, and potassium were applied in the previously mentioned amounts. Calcium and magnesium were applied in  $8.2$  and  $2.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively. Finally, micronutrients Mn, Zn, Cu, B, Mo and Fe were also applied, based on the amounts that Hewitt and Smith mention (1975).

Four samplings were made to evaluate the dry weight and volume of new foliage. The first one was made 150 days after the fertilization (DDF).

The following samplings were collected every 30 days which included two replicates of the same experiment, and then one tree was selected per replicate. In each replicate two foliage samples were taken from the upper third of the canopy. Branches with complete solar exposure were taken, but only the foliage from the last growth flow (2010). Volume was estimated, through the Archimedes method (Tippens, 2001), from the new growing shoot with a measuring cylinder, with a 2 mL. ap-

**CUADRO1. Análisis estadístico para volumen de crecimiento nuevo en el tratamiento 1.**

Fuente	gl	CME	F-Valor	Pr > F	
Modelo	1	8.2565	19.06	0.0006	
Error	14	0.4331			
Total corregido	15				
R-Cuadrada 0.6765					
Parámetros estimados					
Variable	gl	PE	EE	Valor t	Pr >  t
Término independiente	1	2.1748	0.2782	7.82	<.0001
TIEMPO	1	0.0223	0.0051	4.37	0.0006

gl: grados de libertad, CME: cuadro medio del error, PE: parámetros estimados, EE: error estandar, Pr: probabilidad, t: t-student

Con los datos de la regresión lineal se obtuvo el modelo siguiente:  
 LNVOL = 2.17 + 0.0223 TIEMPO  
 El intervalo de confianza se calculó en esta forma:  
 Intervalo de confianza = error estándar del tiempo x valor de t-student (14 gl error, α 0.05)  
 Intervalo de confianza = 0.005 x 1.7613 = 0.009

rimento. Se seleccionó un árbol por repetición. De cada árbol se tomaron dos muestras de follaje del tercio superior de la copa. En ramas con exposición solar plena; solamente se colectó el follaje correspondiente al último flujo de crecimiento (2010). Al crecimiento nuevo del brote se le estimó el volumen, con una probeta graduada, con una aproximación de 2 mL. El volumen se estimó mediante el método de Arquímedes (Tippens, 2001). Para la obtención del peso seco, las muestras se colocaron en una estufa con convección de aire, a 70 °C, hasta obtener peso constante (48 h); posteriormente, las muestras se pesaron en una balanza digital, con aproximación a 0.01 g. Con los datos de peso seco y volumen de follaje nuevo de cada tratamiento, se calculó la tasa relativa de crecimiento instantánea (TRCI), con base en la metodología descrita por Hunt (1981), y se ajustó la siguiente función de crecimiento, mediante una ecuación de regresión lineal simple:

$$\text{LnVOLFVN} = T \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{LnPSFN} = T \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Ln = logaritmo natural

VOLFVN = volumen de follaje nuevo (mL)

PSFN = peso seco de follaje nuevo (g)

T = tiempo (días) entre las mediciones de peso seco y volumen de follaje nuevo (150, 179, 208 y 236 DDF).

El análisis estadístico que se realizó para obtener la regresión proporcionó el error estándar, por lo que se determinó el intervalo de confianza t-Student, con un α de 0.05. Como ejemplo se tiene el análisis realizado en el Tratamiento 1, para la variable volumen (Cuadro 1). En el Cuadro 2 se puede observar el modelo ajustado

**TABLE 1. Statistic analysis for new growth volume in treatment 1.**

Source	df	MSE	F-Value	Pr > F	
Model	1	8.2565	19.06	0.0006	
Error	14	0.4331			
Total corrected	15				
R-Square 0.6765					
Estimated parameters					
Variable	gl	PE	EE	Valor t	Pr >  t
Independent term	1	2.1748	0.2782	7.82	<.0001
TIME	1	0.0223	0.0051	4.37	0.0006

df: degrees of freedom, MSE: mean square error, EP: estimated parameter, SE: standard error, Pr: probability, t: t-student

With the data from the linear regression the next model was obtained:  
 LNVOL = 2.17 + 0.0223 TIME  
 The confidence interval was calculated like this:  
 Confidence interval = standard error of time x t-student value (14 df error, α 0.05)  
 Confidence interval = 0.005 x 1.7613 = 0.009

proximation. In order to get the dry weight, the samples were placed in an air convection stove up to 70 °C, until getting a constant weight (48h). Later on, the samples were weighed on a digital scale, with a 0.01 g approximation. The instantaneous relative growth rate (TCRI, by its acronym in Spanish) was calculated according to the dry weight and volume of the new foliage in each treatment, based on the methodology described by Hunt (1981), the following growth function was adjusted through a simple linear regression equation:

$$\text{LnNFV} = T \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{LnNFDW} = T \dots\dots\dots (2)$$

Where:

Ln = natural logarithm

NFV = new foliage volume (mL)

NFDW = new foliage dry weight (g)

T = time (days) between dry weight measures and new foliage volume (150, 179, 208, and 236 DDF).

The statistical analysis made to obtain the regression provides the standard error, from which the confidence interval t – student was determined, with an α of 0.05. As an example, the analysis, made in Treatment 1 for the volume variable, is presented (Table 1). In Table 2 the model adjusted for the 27 treatments referring to the dry weight and volume variables of new foliage, can be observed.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Instantaneous relative growth rate (TCRI)

#### Volume

The new foliage volume instantaneous relative growth rate (TCRI) in *P. patula trees* for the 27 treatments,

**CUADRO 2. Modelo ajustado de regresión lineal para volumen y peso seco de follaje nuevo en árboles de *Pinus patula*, de 10 años de edad. Aquixtla, Pue., México.**

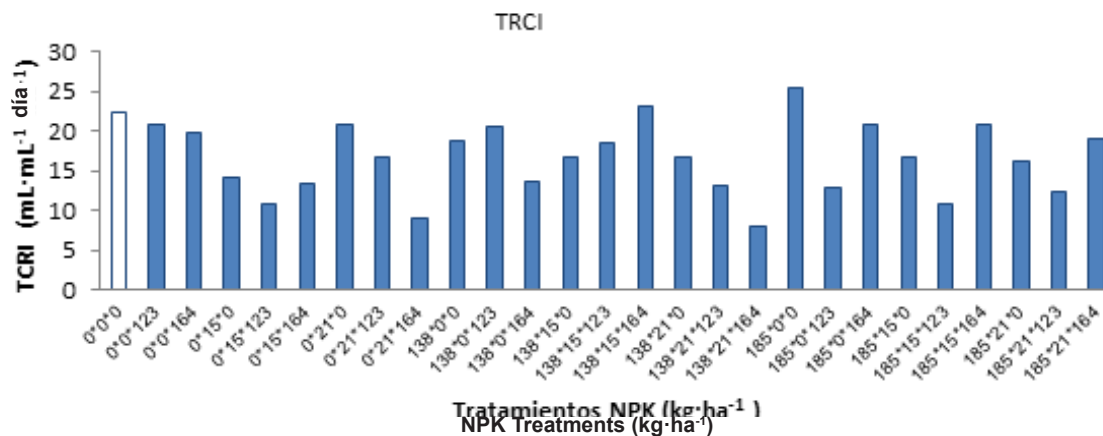
Tratamiento	Modelo ajustado volumen de follaje nuevo	modelo ajustado peso seco de follaje nuevo
1	$\lnVOL = 2.175 + 0.022Tiempo$	$\lnPS = 0.510 + 0.020Tiempo$
2	$\lnVOL = 2.129 + 0.021Tiempo$	$\lnPS = 1.214 + 0.011Tiempo$
3	$\lnVOL = 2.208 + 0.020Tiempo$	$\lnPS = 1.264 + 0.016Tiempo$
4	$\lnVOL = 2.697 + 0.014Tiempo$	$\lnPS = 1.311 + 0.019Tiempo$
5	$\lnVOL = 2.680 + 0.011Tiempo$	$\lnPS = 1.486 + 0.013Tiempo$
6	$\lnVOL = 2.552 + 0.013Tiempo$	$\lnPS = 0.994 + 0.014Tiempo$
7	$\lnVOL = 1.900 + 0.021Tiempo$	$\lnPS = 1.027 + 0.018Tiempo$
8	$\lnVOL = 2.672 + 0.017Tiempo$	$\lnPS = 1.482 + 0.017Tiempo$
9	$\lnVOL = 2.971 + 0.009Tiempo$	$\lnPS = 1.270 + 0.015Tiempo$
10	$\lnVOL = 2.316 + 0.019Tiempo$	$\lnPS = 0.565 + 0.025Tiempo$
11	$\lnVOL = 2.414 + 0.021Tiempo$	$\lnPS = 0.941 + 0.025Tiempo$
12	$\lnVOL = 2.684 + 0.014Tiempo$	$\lnPS = 0.926 + 0.021Tiempo$
13	$\lnVOL = 2.574 + 0.017Tiempo$	$\lnPS = 1.541 + 0.015Tiempo$
14	$\lnVOL = 2.253 + 0.018Tiempo$	$\lnPS = 0.722 + 0.024Tiempo$
15	$\lnVOL = 2.117 + 0.023Tiempo$	$\lnPS = 0.857 + 0.021Tiempo$
16	$\lnVOL = 2.632 + 0.017Tiempo$	$\lnPS = 1.369 + 0.020Tiempo$
17	$\lnVOL = 2.684 + 0.013Tiempo$	$\lnPS = 1.301 + 0.015Tiempo$
18	$\lnVOL = 2.873 + 0.008Tiempo$	$\lnPS = 1.005 + 0.019Tiempo$
19	$\lnVOL = 1.888 + 0.025Tiempo$	$\lnPS = 1.188 + 0.015Tiempo$
20	$\lnVOL = 2.606 + 0.013Tiempo$	$\lnPS = 1.082 + 0.017Tiempo$
21	$\lnVOL = 2.450 + 0.021Tiempo$	$\lnPS = 1.016 + 0.019Tiempo$
22	$\lnVOL = 2.435 + 0.017Tiempo$	$\lnPS = 0.702 + 0.022Tiempo$
23	$\lnVOL = 2.847 + 0.011Tiempo$	$\lnPS = 1.235 + 0.020Tiempo$
24	$\lnVOL = 2.135 + 0.021Tiempo$	$\lnPS = 0.894 + 0.020Tiempo$
25	$\lnVOL = 2.625 + 0.016Tiempo$	$\lnPS = 1.452 + 0.014Tiempo$
26	$\lnVOL = 2.817 + 0.012Tiempo$	$\lnPS = 0.825 + 0.024Tiempo$
27	$\lnVOL = 2.346 + 0.019Tiempo$	$\lnPS = 1.068 + 0.016Tiempo$

InVOL: logaritmo natural de volumen, InPS: logaritmo natural de peso seco.

**TABLE 2. Lineal regression adjusted model for new foliage volume and dry weight in 10 year old *Pinus patula* trees. Aquixtla, Puebla, Mexico.**

Treatment	Adjusted model, new volume foliage	Adjusted model, new dry weight foliage
1	$\lnVOL = 2.175 + 0.022 Time$	$\lnPS = 0.510 + 0.020T Time$
2	$\lnVOL = 2.129 + 0.021 Time$	$\lnPS = 1.214 + 0.011 Time$
3	$\lnVOL = 2.208 + 0.020 Time$	$\lnPS = 1.264 + 0.016 Time$
4	$\lnVOL = 2.697 + 0.014 Time$	$\lnPS = 1.311 + 0.019 Time$
5	$\lnVOL = 2.680 + 0.011 Time$	$\lnPS = 1.486 + 0.013 Time$
6	$\lnVOL = 2.552 + 0.013 Time$	$\lnPS = 0.994 + 0.014 Time$
7	$\lnVOL = 1.900 + 0.021 Time$	$\lnPS = 1.027 + 0.018 Time$
8	$\lnVOL = 2.672 + 0.017 Time$	$\lnPS = 1.482 + 0.017 Time$
9	$\lnVOL = 2.971 + 0.009 Time$	$\lnPS = 1.270 + 0.015 Time$
10	$\lnVOL = 2.316 + 0.019 Time$	$\lnPS = 0.565 + 0.025 Time$
11	$\lnVOL = 2.414 + 0.021 Time$	$\lnPS = 0.941 + 0.025 Time$
12	$\lnVOL = 2.684 + 0.014 Time$	$\lnPS = 0.926 + 0.021 Time$
13	$\lnVOL = 2.574 + 0.017 Time$	$\lnPS = 1.541 + 0.015 Time$
14	$\lnVOL = 2.253 + 0.018 Time$	$\lnPS = 0.722 + 0.024 Time$
15	$\lnVOL = 2.117 + 0.023 Time$	$\lnPS = 0.857 + 0.021 Time$
16	$\lnVOL = 2.632 + 0.017 Time$	$\lnPS = 1.369 + 0.020 Time$
17	$\lnVOL = 2.684 + 0.013 Time$	$\lnPS = 1.301 + 0.015 Time$
18	$\lnVOL = 2.873 + 0.008 Time$	$\lnPS = 1.005 + 0.019 Time$
19	$\lnVOL = 1.888 + 0.025 Time$	$\lnPS = 1.188 + 0.015 Time$
20	$\lnVOL = 2.606 + 0.013 Time$	$\lnPS = 1.082 + 0.017 Time$
21	$\lnVOL = 2.450 + 0.021 Time$	$\lnPS = 1.016 + 0.019 Time$
22	$\lnVOL = 2.435 + 0.017 Time$	$\lnPS = 0.702 + 0.022 Time$
23	$\lnVOL = 2.847 + 0.011 Time$	$\lnPS = 1.235 + 0.020 Time$
24	$\lnVOL = 2.135 + 0.021 Time$	$\lnPS = 0.894 + 0.020 Time$
25	$\lnVOL = 2.625 + 0.016 Time$	$\lnPS = 1.452 + 0.014 Time$
26	$\lnVOL = 2.817 + 0.012 Time$	$\lnPS = 0.825 + 0.024 Time$
27	$\lnVOL = 2.346 + 0.019 Time$	$\lnPS = 1.068 + 0.016 Time$

InVOL: volume of natural logarithm, InDW: dry weight of natural logarithm.



**FIGURA 1. Tasa relativa de crecimiento instantáneo (TRCI) de volumen de follaje nuevo en árboles de *Pinus patula* de 10 años de edad. Aquixtla, Pue., México.**

**FIGURE 1. Instantaneous relative growth rate (TRCI) of volume in new foliage of 10 year old *Pinus patula* trees. Aquixtla, Puebla, Mexico.**

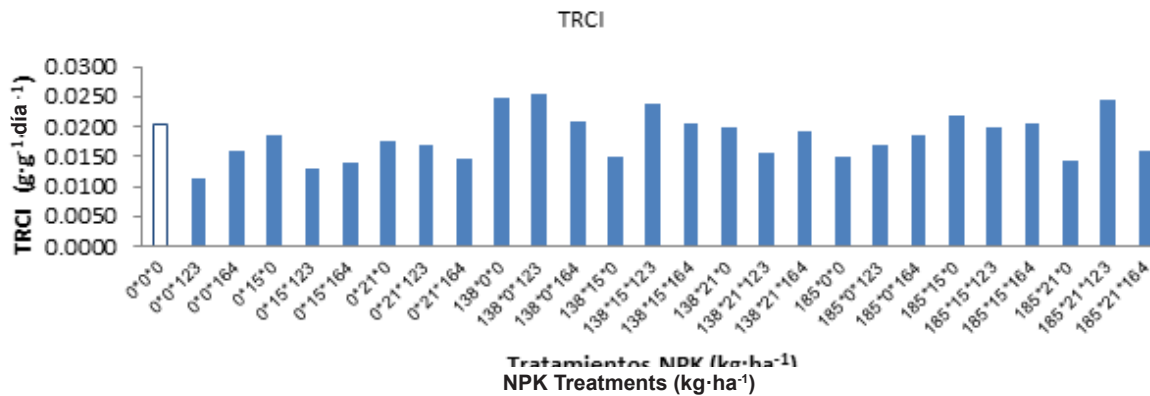


FIGURE 2. Instantaneous relative growth rate (TCRI) of dry weight in new foliage of 10 year old *Pinus patula* trees. Aquixtla, Puebla, Mexico.

FIGURA 2. Tasa relativa de crecimiento instantáneo (TCRI) de peso seco de follaje nuevo de árboles de *Pinus Patula* de 10 años de edad. Aquixtla, Pue., México.

para cada uno de los 27 tratamientos de las variables volumen y peso seco de follaje nuevo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tasa relativa de crecimiento instantáneo (TCRI)

#### Volumen

La tasa relativa de crecimiento instantáneo (TCRI) de volumen de follaje nuevo, en árboles de *P. patula*, para cada uno de los 27 tratamientos aplicados se muestra en la Figura 1. Se apreció que hubo efecto de la fertilización en el crecimiento en volumen del follaje nuevo de los árboles, ya que al comparar la tasa de crecimiento obtenida en el tratamiento testigo con 0-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK, se observó que ésta fue menor que la tasa obtenida con la dosis de 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK. Es decir, que el N promovió un incremento en el volumen del follaje por la misma unidad de peso; esto indica que el incremento en volumen posiblemente fue consecuencia de una expansión celular mayor y de un incremento del contenido de agua. Por consiguiente, se consideró que el N promovió un aumento en la succulencia del crecimiento nuevo de los árboles, lo cual se reflejó en una TCRI de volumen mayor (0.0255 mL·mL<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>) cuando se aplicó N, que sin la aplicación de este nutrimento (0.0224 mL·mL<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>).

Este efecto de succulencia se puede sustentar en el hecho de que el volumen específico de follaje (volumen de follaje/peso seco de follaje) obtenido fue menor en el tratamiento testigo (10.04 mL·g<sup>-1</sup>), comparado con el de la dosis 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK (11.35 mL·g<sup>-1</sup>). Lo anterior demuestra que esta última dosis ocasionó que el follaje del nuevo crecimiento fuera menos denso. Esta respuesta se explica, en parte, por el hecho de que cuando el suministro de N es favorable para el crecimiento, prevalece la tendencia a usar carbohidratos para formar más protoplasma y más células, más que

is presented in Figure 1. It was discovered that the fertilization caused an effect on the volume growth of the new foliage in trees; because, when comparing the control treatment growth rate (0-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> of NPK), it was observed that this one was lower than the one obtained through the 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> of NPK dose. This means that N promoted an increase in foliage volume by the same weight unit. This discovery indicates that the volume growth was a possible consequence of a larger cellular expansion and the increase of water content. As a consequence, it was considered that N promoted an increase in the trees succulence; all of this was reflected in a higher volume TCRI (0.0255 mL·mL<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>) when N was applied, rather than doing it without this nutrient (0.0224 mL·mL<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>).

This succulence effect is supported by the fact that the specific foliage volume (foliage volume/foilage dry weight) obtained, was lower than the control treatment (10.04 mL·g<sup>-1</sup>) compared to dose 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> of NPK (11.35 mL·g<sup>-1</sup>). This last part proves that the last dose made the new growth foliage less dense. This response is explained, partly, because when the N supply is good for the growth, the tendency to use carbohydrates prevails, in order to create more protoplasm and cells rather than to engross the cellular walls. It means that, in these conditions, they will be big but will have thin walls. This happens because the protoplasm is mostly water, with conditions in favor of the plants growth with high content of N, they will contain a high water proportion and low dry matter which generates more succulence and, therefore, more volume (Black, 1975), and more specific volume. At the same time, it is important to mention that Kramer and Kozłowzki (1979) mention that the nitrogen constitutes one of the most important limitations for the trees growth in forest ecosystems.

Another possible cause of the response obtained can be attributed to the predominant acidity in the experimental lot (pH 5.5 to 5.7), which means it is an acid

para engrosar las paredes celulares, por lo que las células en tales condiciones serán grandes y de paredes delgadas. Dado que el protoplasma es, en gran parte, agua, en condiciones favorables para el crecimiento las plantas con alto contenido de N contendrán una alta proporción de agua y poca materia seca, lo que genera más succulencia y, por lo tanto, volumen mayor (Black, 1975) y volumen específico mayor. Asimismo, cabe señalar que Kramer y Kozłowski (1979) mencionan que el nitrógeno constituye una de las principales limitaciones para el crecimiento de los árboles en los ecosistemas forestales.

Otra posible causa en la respuesta observada se puede atribuir a la acidez predominante en el lote experimental (pH 5.5 a 5.7), lo cual significa que es un suelo ácido. La acidez en suelos forestales se da como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa de hojarasca y la consiguiente lixiviación de las bases del suelo mineral superficial (Pritchett, 1991), durante la estación de lluvias. En un pH ácido la actividad bacteriana se reduce, y aunque aumenta la actividad de hongos, éstos no son tan eficaces en los procesos de degradación orgánica (Porta *et al.*, 2003), lo cual explicaría, entre otros factores, la alta cantidad de materia orgánica (20 %) que se cuantificó en el lote experimental. Generalmente los actinomicetos prefieren un pH de 7-7.5, las bacterias de 6.8 y los hongos de 4-5. (Ortiz-Villanueva, 1973). Por consiguiente, al existir una proporción de mineralización baja de la materia orgánica, es de esperarse que el N (N orgánico) no estuviera en la cantidad suficiente que el árbol requería en forma disponible para ser absorbido por el mismo.

Por lo anterior, al suministrar al suelo una cantidad de N en forma inorgánica (N-NO<sub>3</sub>), este nutrimento estuvo mayormente disponible para los árboles, y por ende promovió un aumento en la absorción de N-NO<sub>3</sub> y pudo incrementarse el volumen del crecimiento nuevo. Esto señala que la aplicación de fertilizantes nitrogenados tuvo un efecto positivo en los árboles. Al respecto, Fox *et al.* (2007) indicaron que en especies de pinos del sur de Estados Unidos, los nutrimentos más limitantes para el crecimiento en la etapa de cierre de copas fueron el N y el P, debido a que en este momento es cuando ocurre una demanda alta de nutrimentos por parte del árbol. Si hay deficiencia de N o el abastecimiento de N edáfico es bajo y el suelo no alcanza a suministrarlos en las cantidades adecuadas que requiere la planta para mantener un crecimiento óptimo, entonces es necesaria la fertilización con N y P.

Lo anterior ayuda a explicar por qué se obtuvieron respuestas positivas en el crecimiento en volumen de follaje nuevo con la aplicación de N, puesto que a la edad que presentaban los árboles en este estudio, ya se había iniciado el cierre de copas. Es decir, la biomasa

soil. Acidity in forest soils happens as a result of organic acids liberation during decomposition of the fallen leaves layer, and the consequent lixiviation of the superficial mineral soil bases (Pritchett, 1991), during the rainy season. Within an acid pH, the bacterial activity decreases; even though the fungus activity increases, it is not very efficient in the processes of organic degradation (Porta *et al.*, 2003). This would explain, among other things, the high amount of organic matter (20 %) that was quantified in the experimental lot. In general, actinomicetes prefer a 7 to 7.5 pH, bacterias prefer a 6.8 pH, and the fungi prefer a 4 to 5 pH. (Ortiz-Villanueva, 1973); that is why when having a low mineralization proportion in the organic matter, there was not enough N (organic N) available to meet the requirements of the tree, to be absorbed by it.

Based on what was mentioned before, when providing a specific amount of inorganic N (N-NO<sub>3</sub>) into the soil, this nutrient was mostly available for trees and promoted an increase in N-NO<sub>3</sub> absorption, which led to increasing the volume of the new growth. The facts mentioned above signal that the application of fertilized nitrogen had a positive effect on trees. Fox *et al.* (2007) mentioned that the most restricted nutrients for the growth, during the close tops stage in pine species on the South of the United States, were N and P, mostly because that is the exact point when a higher demand of nutrients happens from the tree. If soil N supply is deficient and it does not have time to provide it in the amount that the plant requires in order to keep an optimal growth, it becomes necessary to fertilize with N and P.

This all helps explain why positive responses were obtained during the growth of new foliage volume when applying N, because the canopy closing stage had already started when the trees were at this age during this study. In other words, biomass by area unit and nutrient demand was high, which means that the organic matter mineralization rate was not enough to supply *in situ* the N demand, and through the application of N, a positive response was obtained.

### Dry Weight

In the case of the instantaneous relative growth rate (TCRI) for new foliage dry weight in *P. patula* trees (Figure 2), it can be seen that combinations produced by the best responses were 138-0-0 and 138-0-123 kg·ha<sup>-1</sup> in NPK, respectively, compared with the control treatment with 0-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> in NPK. N produced a positive response in tree growth, but, compared to TRCI for volume, it happened in a slightly lower amount. Response was a bit higher when combining N with K. This is a behavior that results from N converting itself into organic compound inside the plant's roots (mainly amide and aminoacids) which later on is transformed into proteins and dry matter. On the other hand, carbohydrate translocation from

por unidad de área fue alta y la demanda nutrimental también, por lo que la tasa de mineralización de la materia orgánica no fue suficiente para abastecer *in situ* la demanda de N, y entonces se obtuvo una respuesta positiva con la aplicación de N.

### Peso seco

En el caso de la tasa relativa de crecimiento instantáneo (TRCI), para peso seco de follaje nuevo en árboles de *P. patula* (Figura 2), se puede notar que las combinaciones que produjeron las mejores respuestas fueron 138-0-0 y 138-0-123 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK, respectivamente, comparadas con el tratamiento testigo, con 0-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK. El N produjo una respuesta positiva en el crecimiento de los árboles, pero en un nivel ligeramente más bajo, comparado con la TRCI para volumen. La respuesta fue mucho mayor al combinarse el N con el K. Este comportamiento se puede explicar por el hecho de que el N se convierte en compuestos orgánicos en las raíces de las plantas, principalmente amidas y aminoácidos, los cuales después se transforman en proteínas y por último en materia seca. Por otra parte, la translocación de carbohidratos de los sitios donde se fotosintetizan a los sitios de crecimiento y, por ende, de mayor demanda, se realiza con la participación del potasio; por lo tanto, al haber un buen suministro tanto de N como de K en la planta se favoreció el crecimiento de la misma. Además, un adecuado suministro de K en la planta favorece el metabolismo del N (Kramer y Kozłowski, 1979). Se apreció que con la aplicación sólo de K el crecimiento de la planta fue menor, comparado con el tratamiento testigo (Figura 3); esto resalta el hecho de que existe una relación íntima entre nutrimentos y que, en este caso, al haber deficiencia de N, la aplicación de K no solventa dicha deficiencia. Este comportamiento fue similar al reportado por Morris (2003), quien encontró respuestas positivas a la aplicación de N en rodales de *P. patula* de 11 años de edad. Este mismo autor señala, además, respuestas positivas a la aplicación de K, en rodales de cuatro a seis años de edad, y respuestas negativas a la aplicación de K en árboles de 11 años de edad de la misma especie.

Es posible inferir que en árboles de *P. patula* la absorción de K es mayor en etapas iniciales de crecimiento que en etapas posteriores, y que cuando el árbol ya es grande la demanda de K se satisface significativamente por medio de la translocación del K existente (absorbido), y entonces la demanda de K es pequeña. Esto explicaría la poca respuesta obtenida en este estudio con la aplicación de K, dado que la edad de los árboles era ya de 10 años. Además, al aumentar la cantidad disponible del K edáfico mediante la fertilización, se presentó una alta absorción de K y ésta pudo estar en la fase de consumo de lujo.

places where they photosynthesize to the growth and more demanding places, is made thanks to the potassium participation. So, if there is a high amount of N and K supplements in the plant, growth gets favored. Besides, when having a right amount of K supplies in the plant, it favors the N metabolism (Kramer and Kozłowski, 1979). Another important result was that when only applying K, the plant's growth was minor, compared to the control treatment (Figure 3). This all means that there is an intimate relationship between nutrients and that, in this case, if there is N deficiency, K application is not enough to compensate that deficiency. This was a similar behavior as the one reported by Morris (2003) who got positive responses when applying N in distinct patches of 11 year old *P. patulas*. He also signals positive responses when applying K on 4 to 6 year old trees, and negative responses to K application on 11 year old trees from the same species.

It is possible to infer that in *P. patula* trees, K absorption is higher in beginning stages rather than posterior stages. Also, when the tree has already grown, K demand is fulfilled mostly through K's translocation (absorbed), which leads to a very small K demand. In other words, based on the fact that the study was on 10 years old trees, this would explain the low response obtained in the study. Besides, when increasing soil K through fertilization, a higher K absorption happened and there was not enough N (organic N) available to meet the requirements of the tree, to be absorbed by it.

Even though there were no visible toxicity symptoms (acículas losing their green color [straw], and chlorosis on the acículas tips, moving on to the base), dry biomass was decreased. Interactions between N and other nutrients are very common. For example, in this study, K increased N-NO<sub>3</sub> absorption, and promoted synthesis of organic nitrogen compounds – higher dry biomass synthesis -, meanwhile, P decreases NO<sub>3</sub> absorption and favors NH<sub>4</sub> absorption (Huber and Thompson, 2007). In the present study 70 % of N as N-NO<sub>3</sub> was applied, and this might be the reason why there was no positive response from P. Plus, it should be taken into consideration that applying N-NO<sub>3</sub> favors that plant uptake will be into higher inorganic anions rather than cations; with a net excretion of OH-(HCO<sub>3</sub>); pH, at the rhizosphere level, was able to increase up to one unit, compared to the rest of the soil pH (Mengel and Kirkby, 1982), and favor soil phosphorus liberation which, in addition to the one already fertilized, provoked an excess of available P and generated a nutritional unbalance that might have influenced the lack of positive responses to the P fertilization.

### CONCLUSIONS

The study proved that the response to fertilizing a young *Pinus patula* plantation can be evaluated in a



Aunque no se observaron síntomas visibles de toxicidad (pérdida de color verde de las acículas [amarillo pajizo] y clorosis en las puntas de las acículas, avanzando hacia la base), sí ocasionó una disminución de la producción de biomasa seca. Las interacciones entre el N y otros nutrimentos son comunes. En este trabajo, por ejemplo, el K incrementó la absorción de N-NO<sub>3</sub> y promovió la síntesis de compuestos orgánicos nitrogenados -mayor síntesis de biomasa seca-, mientras que el P decrece la absorción del NO<sub>3</sub> y favorece la absorción del NH<sub>4</sub> (Huber y Thompson, 2007). En este trabajo se aplicó 70 % del N como N-NO<sub>3</sub>, y esta pudo ser la razón de que no se observara una respuesta positiva del P. Además, debe tomarse en cuenta que la aplicación de N-NO<sub>3</sub> propicia que la planta absorba más aniones inorgánicos que cationes, con una excreción neta de OH-(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>); el pH, a nivel de rizofera, pudo incrementarse hasta una unidad, comparado con el pH del resto del suelo (Mengel y Kirkby, 1982), y favorecer la liberación de fósforo edáfico, el cual, en adición al que se fertilizó, ocasionó un exceso de P disponible y generó un desbalance nutricional que pudo influir en la falta de respuesta positiva a la fertilización con P.

### CONCLUSIONES

El estudio mostró que la respuesta a la fertilización en una plantación joven de *Pinus patula* se puede evaluar en el corto plazo, particularmente si se consideran variables relacionadas con el proceso de fotosíntesis. Los resultados mostraron que la tasa relativa de crecimiento instantáneo (TCRI), en volumen de follaje nuevo, fue mejor (0.0255 mL·mL<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>) con la dosis 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK, y la TCRI de peso seco fue mejor (0.0254 y 0.0249 g·g<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>, respectivamente) con las dosis 138-0-123 y 138-0-0.

### AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Salvador Castro Zavala y León Jorge Castañeros Martínez, por el financiamiento otorgado para realizar este trabajo, que es parte del proyecto Diagnóstico del Estado Nutricional y Recomendación de Fertilización en *Pinus patula* en Predios Particulares, Fracción Rancho Chichicaxtla y Conjunto Predial Forestal.

### LITERATURA CITADA

Black, C. A. (1975). *Relaciones Suelo-Planta*. Argentina: Hemisferio Sur.

Crous, J. W., Morris, A. R., & Scholes, M. C. (2009). Effect of phosphorus and potassium fertilizer on tree growth and dry timber production of *Pinus patula* on gabbro-derived soils in Swaziland. *Southern Forests: a Journal of Forest*

short period of time, especially if some variables related to the photosynthesis process, are considered.

The results showed that the instantaneous relative growth rate (TCRI), referring to new foliage volume, was much better (0.0255 mL·mL<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>) with dose 185-0-0 kg·ha<sup>-1</sup> in NPK; and dry weight TCRI was much better (0.0254 and 0.0249 g·g<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>, respectively) with doses 138-0-123 and 138-0-0.

### ACKNOWLEDGEMENTS

To engineers Salvador Castro Zavala and León Jorge Castañeros Martínez for financing this study, which is part of the project: Nutritional State Diagnosis and Fertilization Recommendation in *Pinus patula* in Predios Particulares, Fracción Rancho Chichicaxtla and Conjunto Predial Forestal.

*End of English Version*

*Science*, 71(3), 235-243. DOI:2989/SF.2009.71.3.8.920.

Dovey, S. B. (2009). Estimating biomass and macronutrient content of some commercially important plantation species in South Africa. *Australian Forestry*, 72(2), 99-111.

Fisher, R. & Binkley, D. (2000). *Ecology and Management of Forest soils* (3<sup>a</sup> ed.). USA: John Wiley & Sons.

Fox, T. R., Allen, H. L., Albaugh, T. J., Rubilar, R. & Carlson, C. A. (2007). Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the southern United States. *Southern Journal of Applied Forestry*, 31(1), 5-11.

Hewitt, E. J. & Smith, T. A. (1975). *Plant mineral nutrition*. London: The University Press.

Hunt, R. (1981). *Plant growth analysis*. London: Edward Arnold.

Huber, Don M. & Thompson I. A. (2007). Nitrogen and plant disease. In: L.E., Datnoff, W.H., Elmer, and Don M., Huber, (Eds.), *Mineral Nutrition and Plant Disease* (pp. 31-44). USA: The American Phytopathological Society Press.

Kramer, J. P. & Kozlowski, T. (1979). *Physiology of Wood Plants*. New York: Academic Press.

Mayor, X., Belmonte, H., Rodrigo, A., Rodá, F. & Piñol, J. (1994). Crecimiento diametral de la encina (*Quercus ilex* L.) en un año de abundante precipitación estival: efecto de la irrigación previa y de la fertilización. *Orsis*, 9, 13-23.

Mengel, K. & Kirkby, E. A. (1982). *Principles of plant nutrition*. Switzerland: International Potash Institute.

Morris, A. R. (2003). Site and stand age effects on fertilizer responses in *Pinus patula* pulpwood plantations in Swaziland. *Southern African Journal Forestry*, 199, 27-39.

Oliét, J., Robredo, E., Salazar, J. M. & Villar, R. (2008). Fertilización otoñal de encina en vivero: efectos sobre la morfología, nutrientes, potencial de enraizamiento y res-

- puesta postrasplante. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 28, 171-176.
- Ortiz-Villanueva, B. (1973). *Edafología*. México. Patena.
- Porta, J., López-Acevedo, M. & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ª ed.). España: Mundi Prensa.
- Puértolas, J., Gil, L. & Pardos, J. A. (2003). Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry*, 76(2), 159-168. DOI: 10.1093/forestry/76.2.159
- Pritchett, W. (1991). *Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. México: Limusa.
- Rikala, R. & Repo, T. (1997). The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests*, 14, 33-44. DOI:10.1023/A:1006505919556
- Tippens, P. (2001). *Física: conceptos y aplicaciones* (4ª ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Turner, J., Mambert, M. J. & Humphreys, F. R. (2002). Continuing growth response to phosphate fertilizers by a *Pinus radiata* plantation over fifty years. *Forest Science a Quarterly Journal of Research Technical Progress*, 48(3), 556-568.
- Villar-Salvador, P., Planelles, R., Enríquez, E. & Peñuelas, J. L. (2004). Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology Management*, 196, 257-266. DOI:10.1016/j.foreco.2004.02.061