

CALIDAD DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus cembroides* Zucc. EN VIVERO

WATER QUALITY FOR THE FOREST NURSERY PRODUCTION OF *Pinus cembroides* Zucc.

Jesús V. Gutiérrez-García, Dante A. Rodríguez-Trejo*, Antonio Villanueva-Morales,
Silvia García-Díaz, José L. Romo-Lozano

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, 56230. (valenton900@hotmail.com.mx) (dantearthuro@yahoo.com) (antoniov28@gmail.com) (edith65@gmail.com) (jlromo@aya.yale.edu).

RESUMEN

La calidad del agua es un factor relevante para la producción de especies forestales, pero no siempre se toma en cuenta en viveros de México. Uno de los parámetros de calidad de agua es su acidez. El objetivo de esta investigación fue estudiar la respuesta en la morfología y en la concentración de iones y cationes en el tejido foliar de *Pinus cembroides* Zucc., a diferentes niveles de pH de agua y concentraciones de compuestos en las soluciones de ferti-irrigación. Las plantas fueron cultivadas en vivero, en contenedores de 170 cm³, con sustrato a base de turba de musgo (40 %), vermiculita (30 %) y agrolita (30 %). El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, con dos factores y dos niveles por factor: 1) pH del agua de riego (8 y 5.5); 2) fertilización (ppm): establecimiento (50-123-73 de N, P, K para ambos niveles), crecimiento (100-22-83 y 150-33-125), y finalizador (15-41-109 y 30-82-218); estos niveles de fertilización se denominaron bajo y alto. El efecto de factores y su interacción fue determinado con un ANDEVA ($p \leq 0.10$). Las variables morfológicas e índices de calidad evaluados fueron: altura, diámetro, peso seco aéreo, peso seco de raíz, índice de calidad de Dickson (ICD), relación parte aérea/raíz, índice de lignificación, índice de esbeltez y concentración nutrimental foliar. No hubo respuesta en variables morfológicas ni en índices, pero sí en concentración nutrimental foliar. La mayor concentración foliar de K ($p \leq 0.001$) fue con la fertilización alta en ambos niveles de pH, y la de Mn con fertilización alta y sin ajuste de pH (8.0). Las mayores concentraciones de Ca ($p \leq 0.092$), Mg ($p \leq 0.074$) y Cu ($p \leq 0.093$) ocurrieron con fertilización alta y pH=5.5, y la de Zn ($p \leq 0.001$) fue con fertilización baja

ABSTRACT

Water quality is a relevant factor for production of forest species, but it is not always taken into account in nurseries in Mexico. One of the parameters of water quality is its acidity. The objective of this work was to study the response in morphology and concentration of ions and cations in leaf tissue of *Pinus cembroides* Zucc., to different water pH and concentrations of compounds in fertigation solutions. Plants were cultivated in a nursery in 170 cm³ containers with a substrate made of peat moss (40 %), vermiculite (30 %) and agrolite (30 %). The experimental design was completely randomized blocks with two factors and two levels: 1) pH of irrigation water (8 and 5.5); 2) fertilization (ppm): establishment (50-123-73 of N, P, K for both levels), growth (100-22-83 and 150-33-125) and finalization (15-41-109 and 30-82-218); these levels of fertilization were denominated low and high. The effect of factors and their interaction was determined with an ANOVA ($p \leq 0.10$). The morphological variables and quality indexes evaluated were height, diameter, shoot dry weight, root dry weight, Dickson quality index, shoot/root ratio, lignification index, slenderness index and leaf nutrient concentration. There was no response in terms of morphological variables or indexes. There was, however, a response in leaf nutrient concentration. The highest leaf concentration of K ($p \leq 0.001$) was obtained with high fertilization at both levels of pH, and the highest concentration of Mn with higher fertilization without adjusting pH (8.0). The highest concentrations of Ca ($p \leq 0.092$), Mg ($p \leq 0.074$), and Cu ($p \leq 0.093$) occurred with high fertilization and pH=5.5, and that of Zn ($p \leq 0.001$) was with low fertilization and adjusted pH. There were interactions between fertilization and water pH for K ($p \leq 0.005$), Ca ($p \leq 0.1$) and Zn ($p \leq 0.039$). The highest nutrient concentrations were obtained with water pH=5.5 and high fertilization.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2014. Aprobado: febrero, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 49: 205-219. 2015.

y pH ajustado. Hubo interacciones entre fertilización y pH del agua para K ($p \leq 0.005$), Ca ($p \leq 0.1$) y Zn ($p \leq 0.039$). Las mayores concentraciones nutrimentales fueron para agua con pH=5.5 y la fertilización alta.

Palabras clave: Agua, análisis nutrimental, calidad de planta, fertilización, pH del agua, *Pinus cembroides*.

INTRODUCCIÓN

P*inus cembroides* Zucc. es el pino piñonero con más amplia distribución en 18 estados del norte y centro de México y en el sur de EE.UU. A pesar de su porte pequeño, proporciona leña y madera de cortas dimensiones para construcciones rurales. Su semilla es alimenticia y tiene alta demanda y valor comercial (Perry, 1991, Farjon *et al.*, 1997). Por su relevancia ecológica se usa cada vez más en reforestaciones, en proyectos de restauración, debido a su resistencia a condiciones adversas de precipitación, suelo y heladas (Vázquez *et al.*, 1999). Al fertilizar en el vivero forestal se debe cuidar que ningún nutrimento sea deficitario, pues la ley del mínimo de Liebig establece que el nutrimento en menor concentración limitará la producción. Pero al aumentar de manera gradual la fertilización, los incrementos en la producción se reducirán hasta no tener más respuesta en el cultivo, según la ley de los rendimientos decrecientes de Mitscherlich (García *et al.*, 2009).

El agua es un factor primordial para el desarrollo de las plantas y en condiciones naturales es su principal factor limitativo. Casi todos los procesos fisiológicos de los vegetales están afectados en mayor o menor medida por el agua (Peñuelas y Ocaña, 1994). Un aspecto importante en el establecimiento y manejo de viveros forestales es la calidad del agua. Los fertilizantes y plaguicidas químicos contribuyen a aumentar el crecimiento de las plantas en los viveros, pero pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas cuando se liberan del medio de propagación (Landis *et al.*, 1994).

En los viveros forestales, el agua de calidad tiene baja salinidad (salinidad total e iones tóxicos) y libre de hongos fitopatógenos, semillas de malezas, algas, y plaguicidas (Landis, 1989). Respecto a salinidad, los criterios para determinar la calidad del agua son: 1) salinidad, para evaluar el riesgo de que el agua ocasione altas concentraciones de sales, con el

Key words: Water, nutrient analysis, seedling quality, fertilization, water pH, *Pinus cembroides*.

INTRODUCTION

P*inus cembroides* Zucc. is the most widely distributed pinyon pine in northern and central Mexico and southern USA. Despite its small size, it provides firewood and short-dimensioned lumber for rural constructions. Its seed is edible and has high demand and commercial value (Perry, 1991; Farjon *et al.*, 1997). Because of its ecological relevance, it is increasingly used in reforestation, as part of restoration projects due to its resistance to adverse conditions of precipitation, soil and frosts (Vázquez *et al.*, 1999). When seedlings are fertilized in a forest nursery, care should be taken that there is no deficit nutrient since Liebig's law of the minimum establishes that the nutrient at a concentration lower than the minimum will limit production. However, when fertilization increases gradually, increases in production will decrease until there is no longer a response in the crop, according to the law of diminishing returns of Mitscherlich (García *et al.*, 2009).

Water is a primordial factor in plant development and, in natural conditions, its principal limiting factor. Almost all plant physiological processes are affected to a greater or lesser degree by water (Peñuelas and Ocaña, 1994). One important aspect in the establishment and management of forest nurseries is water quality. Fertilizers and chemical pesticides contribute to increasing nursery plant growth, but they can also pollute surface and ground water when they are released from the propagation medium (Landis *et al.*, 1994).

In forest nurseries, quality water has low salinity (total salinity and toxic ions) and is free of phytopathogenic fungi, weed seeds, algae and pesticides (Landis, 1989). Regarding salinity, the criteria for determining water quality are the following: 1) salinity, to evaluate the risk of water causing high salt concentrations and the corresponding osmotic effect and decrease in crop yields; 2) sodicity, to analyze the risk of inducing a high percentage of exchangeable sodium (PSI), which deteriorates soil structure; 3) toxicity, to study the problems created by certain ions (Mendoza, 2009). For forest nurseries in which plants are grown

correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimiento de cultivos; 2) sodicidad, para analizar el riesgo de inducir un elevado porcentaje de sodio intercambiable (PSI), con deterioro de la estructura del suelo; 3) toxicidad, para estudiar los problemas creados por algunos iones (Mendoza, 2009). Para viveros forestales en contenedores, el agua de riego no debe tener contaminantes ni fitopatógenos, y su pH debe ser 5 a 5.5 porque se debe a una intensiva aplicación de sales fertilizantes y el pH afecta la disponibilidad de los nutrimentos. En suelos orgánicos, el pH con mayor disponibilidad es 5 a 5.5 (Landis *et al.*, 1994; Lambers *et al.*, 1998). De acuerdo con Peñuelas y Ocaña (1994) y Ruano (2003), las principales técnicas para mejorar la calidad del agua son acidificación, ósmosis inversa, desionización, suavizantes de agua, cloración y filtración. En viveros forestales en contenedores, la acidificación involucra el uso de pequeñas dosis de ácido, principalmente ácido fosfórico (H_3PO_4).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos niveles de pH de agua de riego y de dos niveles de fertilización, en la morfología y concentración nutrimental foliar de *P. cembroides* Zucc. La hipótesis fue que un nivel elevado de pH reduce la disponibilidad y, por ende, la concentración de nutrimentos en el follaje de los árboles y afecta su morfología.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapas de vivero

Este estudio se realizó en el vivero forestal de la División de Ciencias Forestales (DICIFO) de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, ubicado a 19° 29' 46" N y 18° 00' 51" O, a una altitud de 2250 m. El clima es Cw, templado-frío con lluvias en verano, la temperatura media anual es 15 °C, con extremas promedio de 24.2 °C y 6.0 °C (García, 1978).

La semilla fue recolectada de árboles en una población de la especie en Querétaro, y se sembró en contenedores de 54 cavidades, con capacidad de 170 cm³ por cavidad. El sustrato fue a base de turba de musgo (*peat moss*) (40 %), vermiculita (30 %) y agrolita (30 %), más *Trichoderma harzianum* Rifai, cepa T-22 KRL-AG2 (PHC® T-22®) (0.1 g L⁻¹) y hongos ectomicorrízicos *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker *et* Couch (PHC® Ecto-Rhyza®) (200 g m⁻³), aplicados a la siembra. Un total de 864 árboles fueron producidos.

in containers, its irrigation water should have no pollutants or phytopathogens, and pH should be 5 to 5.5 because fertilizer salts are applied intensively and pH affects nutrient availability. In organic soils, the pH that most favors availability is 5 to 5.5 (Landis *et al.*, 1994; Lambers *et al.*, 1998). According to Peñuelas and Ocaña (1994) and Ruano (2003), the principal techniques for improving water quality are acidification, inverse osmosis, de-ionization, water softeners, chlorination and filtration. In forest nursery containers, acidification involves using small doses of acid, mainly phosphoric acid (H_3PO_4).

The objective of this study was to evaluate the effect of two levels of irrigation water pH and two levels of fertilization on morphology and leaf nutrient concentration of *P. cembroides* Zucc. The hypothesis was that a high pH reduces availability and, therefore, the concentration, of nutrients in the tree's foliage and affects its morphology.

MATERIALS AND METHODS

Nursery stage

This study was conducted in the forest nursery of the División de Ciencias Forestales (DICIFO) of the Universidad Autónoma Chapingo, Estado de Mexico, located at 19° 29' 46" N and 18° 00' 51" W at an altitude of 2250 m. Climate is Cw, temperate-cold with summer rains. Annual mean temperature is 15 °C, with average extremes of 24.2 °C and 6.0 °C (García, 1978).

Seed was collected from trees of a population of the species in Querétaro and planted in 54-cavity containers with a capacity of 170 cm³ per cavity. The substrate was peat moss (40 %), vermiculite (30 %) and agrolite (30 %), plus *Trichoderma harzianum* Rifai, strain T-22 KRL-AG2 (PHC® T-22®) (0.1 g L⁻¹) and the mycorrhizal fungi *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker *et* Couch (PHC® Ecto-Rhyza®) (200 g m⁻³), applied at planting. A total of 864 trees were produced.

Adjustment of irrigation water pH

To acidify the water to the pH levels required for the experiment, 1 L of 1 % phosphoric acid (H_3PO_4) was prepared by pouring 988.25 mL distilled water into a test tube and adding 22.75 mL of the acid. Then, 1 L of sampled irrigation water was placed in a beaker and a first reading was taken with the potentiometer (model HI 991002, Hanna Instruments); 1 mL of 1 % acid solution was added and a second reading was

Ajuste del pH del agua de riego

Para acidificar el agua a los niveles de pH requeridos para el experimento, se preparó 1 L de solución de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 1 % vertiendo 988.25 mL de agua destilada en una probeta y se agregaron 11.75 mL del ácido. Luego se colocó 1 L de agua de riego muestreada en un vaso de precipitado, se realizó la primera lectura con el potenciómetro (modelo HI 991002, Hanna instruments), se agregó 1 mL de la solución con ácido al 1 % y se obtuvo la siguiente lectura con el potenciómetro. Este procedimiento se repitió hasta obtener el pH de agua deseado. Así, para 1 L de agua de riego obtenida en diciembre de 2011, se redujo el pH original de 8 hasta 5.5, para lo cual se aplicaron 21 mL de solución al 1 % de H_3PO_4 .

Fertilización

Ésta se realizó con el fertilizante comercial soluble Peters Professional®: iniciador (8-45-14), desarrollo (20-10-20) y finalizador (4-25-35), y las dosis de fertilización fueron denominadas alta y baja. La dosis alta tuvo más N, P y K, en particular N (50 % más), que la dosis baja durante la etapa de desarrollo, y también una mayor concentración de los mismos nutrientes, en especial K, durante la fase finalizadora (100 % más) (Cuadro 1). Una vez establecido el experimento, se realizó ferti-irrigación con regadera y tres aplicaciones a capacidad de campo por semana, con uno a dos riegos más por semana. El fertilizante para la etapa de establecimiento se aplicó ocho semanas, el de la fase de crecimiento rápido 24 semanas, y el finalizador seis semanas.

taken with the potentiometer. This procedure was repeated until the desired water pH was obtained. Thus, for each liter of irrigation water obtained in December 2011, its original pH of 8 was reduced to 5.5 by adding 21 mL of 1 % H_3PO_4 .

Fertilization

The following commercial Peters Professional® soluble fertilizers were applied: starter (8-45-14), grower (20-10-20) and finisher (4-25-35); the fertilizer dosages were denominated high and low. The high dosage had more N, P and K, particularly N (50 % more) than the low dosage during the development stage, and a higher concentration of the same nutrients, especially K, during the finalization phase (100 % more) (Table 1). Once the experiment was set up, the plants were fertigated to field capacity with a sprinkler three times a week and additionally irrigated one or two more times per week. The fertilizer for the establishment stage was applied for eight weeks, for the phase of rapid growth, 24 weeks, and for finalization, six weeks.

Morphological analysis

After 9.5 months, morphological analyses of sapling quality included the following variables: root caliper (with a digital Trupper vernier), seedling height (with a graduated ruler) shoot biomass, root biomass (samples were dried in an oven at 70 °C until constant weight and weighed with an electronic Ohaus GT4IDD scale), and total biomass (sum of shoot and root dry weights).

Morphological indexes of quality were slenderness (IE), shoot/root ratio (A/R), Dickson (ICD) (Dickson *et al.*, 1960;

Cuadro 1. Tratamientos de pH del agua y fertilización de *Pinus cembroides* en vivero. El tratamiento de fertilización alta tuvo mayores concentraciones (ppm) de N, P y K en la ferti-irrigación durante las etapas de desarrollo y final.

Table 1. Water pH and fertilization treatments of *Pinus cembroides* in the nursery. High fertilization treatment had higher concentrations (ppm) of N, P and K in fertigation during the development and finalization stages.

Tratamientos	pH del agua	Fertilización	Concentración (ppm)		
			Establecimiento (N-P-K)	Desarrollo (N-P-K)	Finalizador (N-P-K)
T1	8	Baja	(50-123-73)	(100-22-83)	(15-41-109)
T2	8	Alta	(50-123-73)	(150-33-125)	(30-82-218)
T3	5.5	Baja	(50-123-73)	(100-22-83)	(15-41-109)
T4	5.5	Alta	(50-123-73)	(150-33-125)	(30-82-218)

Análisis morfológicos

Después de 9.5 meses los análisis morfológicos de calidad de planta en los brinzales fueron: diámetro del cuello de la raíz (con vernier digital, Trupper), altura de plántula (con regla graduada), biomasa aérea, biomasa de la raíz (las muestras fueron secadas en horno a 70 °C hasta obtener peso constante, y pesadas con una báscula electrónica GT41DD, Ohaus), y biomasa total (suma de pesos secos de la parte aérea y de la raíz).

Los índices morfológicos de calidad fueron: esbeltez (IE), la relación peso seco parte aérea/peso seco raíz (A/R), Dickson (ICD) (Dickson *et al.*, 1960; citados por Duryea, 1985), y lignificación (IL) (Prieto *et al.*, 2004) y se usaron los modelos 1 a 4.

$$IE = A / D \quad (1)$$

donde *A*: altura del brinzal (cm) y *D*: diámetro del cuello de la raíz (mm).

$$A / R = BA / BR \quad (2)$$

donde *BA*: biomasa aérea (g) y *BR*: biomasa radical (g).

$$ICD = P / ((A / D) + (BA / BR)) \quad (3)$$

donde *P*: peso seco del brinzal (g).

$$IL = P / Phum \quad (4)$$

donde *Phum*: peso del brinzal en húmedo (g).

Para el análisis nutrimental foliar se tomaron ocho muestras (plantas) por tratamiento, recolectadas al azar de cada unidad experimental, tomando toda la parte aérea de la planta y se separó el follaje. Las muestras foliares de cada árbol fueron mantenidas separadas, se secaron en la estufa del laboratorio de la DICIFO a 70 °C. En el Laboratorio Central de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo se realizó el análisis de: N (digestión con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor); P (digestión con mezcla diácida y determinado por fotocolimetría por reducción con molibdo-vanadato); K (digestión con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama); Ca, Mg, Cu, Zn, Mn (digestión con mezcla diácida y determinados por espectrofotometría de absorción atómica) y B (digestión con mezcla diácida y determinado por fotocolimetría con azometina-H).

cited by Duryea, 1985), and lignification index (Prieto *et al.*, 2004), using all models 1 to 4:

$$IE = A / D \quad (1)$$

where *A*: seedling height (cm) and *D*: root caliper (mm)

$$A / R = BA / BR \quad (2)$$

where *BA*: shoot biomass (g) and *BR*: root biomass (g).

$$ICD = P / ((A / D) + (BA / BR)) \quad (3)$$

where *P*: seedling dry weight (g).

$$IL = P / Phum \quad (4)$$

where *Phum*: humid seedling weight (g).

For the leaf nutrient analysis, eight samples (plants) per treatment were collected at random from each experimental unit. The entire shoot was taken and the foliage was separated. The leaf samples from each tree were kept separated and dried in the oven at the laboratory of the DICIFO at 70 °C. Analyses of the following elements were conducted at the Central Laboratory of the Soils Department of the Universidad Autónoma Chapingo: N (digestion with diacid mixture and determined by vapor drag); P (digestion with diacid mixture and determined by photocolometry by reduction with molybdovanadate); K (digestion with diacid mixture and determined by flame emission spectrophotometry); Ca, Mg, Cu, Zn, Mn (digestion with diacid mixture and determined by atomic absorption spectrophotometry) and B (digestion with diacid mixture and determined by photocolometry with azomethine-H).

Experimental design and statistical model

The experimental design was complete randomized blocks, with two factors: pH of the irrigation water and fertilization. Each factor had two levels (pH 5.5 and 8, and high and low fertilization; Table 1). There were four blocks. Each experimental unit comprised 54 saplings in arrays of 6×9 cavities. The experimental units were obtained randomly.

The statistical analysis model was (Infante and Zárate, 2000):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad (5)$$

$$i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, b; k = 1, \dots, r$$

Diseño experimental y modelo estadístico

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con dos factores: pH del agua de riego y fertilización. Cada factor tuvo dos niveles (pH de 5.5 y 8, y fertilización alta y baja; Cuadro 1), y hubo cuatro bloques. Cada unidad experimental consistió de 54 brinzales en arreglos de 6×9 cavidades y se asignaron aleatoriamente cuatro unidades experimentales por cada bloque.

El modelo estadístico de análisis fue (Infante y Zárate, 2000):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

$$i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, b; k = 1, \dots, r \quad (5)$$

donde y_{ijk} : valor de respuesta del k -ésimo bloque, j -ésimo nivel del factor fertilización, e i -ésimo nivel del factor calidad de agua; μ : media general; α_i : efecto del i -ésimo nivel del factor pH del agua; β_j : efecto del j -ésimo nivel del factor nivel de fertilización; γ_k : efecto del k -ésimo bloque; $(\alpha\beta)_{ij}$: efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del factor pH del agua, y el j -ésimo nivel del factor fertilización; ε_{ijk} : error experimental.

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un ANDEVA (SAS, 9.0), y las medias se compararon con la prueba de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.10$). El análisis estadístico se efectuó para los tratamientos de fertilización usados en la etapa de finalización. También se usó SAS para cuatro pruebas de normalidad a los residuales del modelo estadístico ajustado a los datos de las variables e índices morfológicos evaluados: Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises y Anderson-Darling ($p \leq 0.05$).

Los datos en el Cuadro 2 muestran que no hay evidencia sobre desviación de la hipótesis de normalidad de los datos en las variables morfológicas evaluadas. Los valores p de las cuatro pruebas son ≥ 0.15 para todas las variables, excepto peso seco parte raíz cuyos valores son de 0.0208 a 0.0662. En el Cuadro 3 todos los valores p son ≥ 0.15 , esto es, no hay evidencia de una posible violación de la normalidad de los datos para los cuatro índices morfológicos evaluados.

Como complemento a los resultados obtenidos de las pruebas de normalidad se computaron los gráficos de probabilidad normal para los residuales de cada variable e índice morfológico evaluado (no mostrados). Los resultados en todos los casos muestran que no hay evidencia de que estos gráficos salgan del patrón de línea recta que se requiere para evidenciar normalidad.

Respecto a la posibilidad de varianza no constante (heterocedasticidad), los gráficos de residuales versus medias de

where y_{ijk} : response value of the k^{th} block, j^{th} level of the factor fertilization, and i^{th} level of the factor water quality; μ : general mean; α_i : effect of the i^{th} level of the factor water pH; β_j : effect of the j^{th} level of the factor fertilization level; γ_k : effect of the k^{th} block; $(\alpha\beta)_{ij}$: effect of the interaction between the i^{th} level of the factor water pH and the j^{th} level of the factor fertilization; ε_{ijk} : experimental error.

Statistical analysis

Data were analyzed with an ANOVA (SAS, 9.0) and means were compared with the least significant difference test ($p \leq 0.10$). The statistical analysis was carried out for the fertilization treatments used in the finalization stage. SAS was also used for four normality tests of the residuals of the statistical model fit to the variable data and morphological indexes evaluated: Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises and Anderson-Darling ($p \leq 0.05$).

The data in Table 2 show that there is no evidence of deviation from the data normality hypothesis in the morphological variables assessed. The p values of the four tests are ≥ 0.15 for all the variables except dry root weight whose values are 0.0208 to 0.0662. In Table 3, all the p values are ≥ 0.15 , that is, there is no evidence of a possible violation of normality of the data for the four morphological indexes evaluated.

To complement the results obtained from the normality tests, graphs of normal probability were computed for the residuals of each variable and morphological index evaluated (not shown). The results in all cases show that there is no evidence that these graphs do not follow the straight-line pattern required to prove normality.

Regarding the possibility of non-constant variance (heteroscedasticity), the graphs of the residuals versus treatment means (results not shown) indicate that there is no evidence that the dispersion (variability) deviates from a pattern of constant variance (homoscedasticity). Moreover, in this case, sample size was the same for all of the treatments (balanced experiment). According to theory, for the case of balanced experiments, the effect on the inference of possible data heteroscedasticity is not so important, especially with respect to the F test of equality of treatment means.

Finally, independence of the samples was guaranteed by the randomization of the experimental units to different treatments and the random order in which observations were made.

RESULTS AND DISCUSSION

Variations in irrigation water pH, from December 2011 to November 2012, showed a difference between maximum and minimum values (7.5 to 8.2) equal

Cuadro 2. Pruebas de normalidad para las variables morfológicas utilizadas.
Table 2. Normality tests for the morphological variables used.

Prueba de normalidad	Variables morfológicas				
	Altura p	Diámetro p	Peso seco parte aérea p	Peso seco raíz p	Peso seco total p
Shapiro-Wilk	0.801	0.929	0.896	0.066	0.963
Kolmogorov-Smirnov	>0.150	>0.150	>0.150	0.020	>0.150
Cramer-Von Mises	>0.250	>0.250	>0.250	0.050	>0.250
Anderson-Darling	>0.250	>0.250	>0.250	0.064	>0.250

Cuadro 3. Pruebas de normalidad para los índices morfológicos empleados.
Table 3. Normality tests for morphological indexes used.

Prueba de normalidad	Índices morfológicos			
	Índice de esbeltez p	Índice de lignificación p	Índice de Dickson p	Relación peso seco parte aérea / peso seco raíz p
Shapiro-Wilk	0.525	0.494	0.491	0.966
Kolmogorov-Smirnov	>0.150	>0.150	>0.150	>0.150
Cramer-Von Mises	>0.250	>0.250	>0.250	>0.250
Anderson-Darling	>0.250	>0.250	>0.250	>0.250

tratamientos (resultados no mostrados), indican que no hay evidencia de que la dispersión (variabilidad) se desvíe de un patrón de varianza constante (homocedasticidad). En este caso, los tamaños de muestra fueron iguales para todos los tratamientos (experimento balanceado). Según la teoría, para experimentos balanceados el efecto sobre inferencia de una posible heterocedasticidad de los datos no es tan importante, sobre todo respecto a la prueba de F de igualdad de medias de tratamientos.

Finalmente, la independencia de las muestras quedó garantizada debido a la aleatorización de las unidades experimentales a los diferentes tratamientos y el orden aleatorio de la toma de observaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variaciones del pH del agua de riego, de diciembre de 2011 hasta noviembre de 2012, muestran una diferencia entre los valores máximo y mínimo (7.5 a 8.2) igual a 0.7 unidades, que representaron 9.3 % con respecto al valor mínimo y 8.5 % en relación al máximo. La media fue igual a 7.96. Durante la primavera los valores fueron elevados, pero aumentaron

to 0.7 units, which represented 9.3% relative to the minimum value and 8.5 % relative to the maximum. The mean was 7.96. During the spring, values were high, but they increased even more during the first half of summer, gradually decreasing during the second half. In the fall and winter there were lower values of pH, which could be due to higher precipitation in the summer and part of the fall that would increase infiltration of salts and, in turn, increase the alkaline pH of the water in the soil.

Regarding evaluation of indicators and morphological indexes, Tables 4 and 5 show the results. There were no significant differences among treatments for height, diameter, shoot and root dry weights, total biomass, shoot/root ratio, slenderness indexes, lignification or Dickson indexes.

The ratio shoot dry weight over root dry weight had an average value of 1.17, which indicates good balance between the aerial and underground parts of the saplings (Duryea, 1985). This ratio should not exceed 2.5, especially when the plant will be taken to sites where precipitation is scarce (Thompson, 1985), as is the case of the environment of the species under

aún más durante la primera mitad del verano, para reducirse gradualmente en la segunda mitad. En el otoño e invierno hubo valores menores de pH, lo cual puede deberse a mayor precipitación en el verano y parte del otoño que aumentaría la infiltración de sales y, a su vez, aumentaría el pH alcalino del agua en el suelo.

Respecto a la evaluación de los indicadores e índices morfológicos, (Cuadros 4 y 5) no hubo diferencias significativas entre tratamientos para altura, diámetro, pesos secos de parte aérea y raíz, biomasa total, relación peso seco parte aérea entre peso seco raíz, índices de robustez, lignificación e índice de Dickson.

La relación peso seco parte aérea entre peso seco raíz, muestra un valor promedio de 1.17, lo cual es un buen balance entre parte aérea y subterránea de los brinzales (Duryea, 1985). Esta relación no debe exceder de 2.5, en especial cuando la planta se llevará a sitios con escasa precipitación (Thompson, 1985), como es el ambiente de la especie bajo estudio. El coeficiente de esbeltez promedio entre todos

los tratamientos fue de 4.08 (Tabla 5), menor que el límite máximo de 6 para un árbol equilibrado (Quiroz *et al.*, 2009).

Las concentraciones de nutrientes en las especies estudiadas en diferentes tratamientos fueron diferentes (Tabla 6). Una plántula bien nutrida será más vigorosa y tendrá mejor supervivencia que una que tiene deficiencias (Landis, 1989). Un exceso de nutrientes, sin embargo, puede ser tóxico y afectar el desarrollo de la planta. Por esta razón, la concentración de nutrientes es un estimador útil de la calidad de la planta. Un árbol puede estar bien nutrido, pero si está en un contenedor pequeño, su sistema radicular será deficiente para sobrevivir en ambientes con limitaciones de humedad o suelos pobres. Por lo tanto, este tipo de indicadores fisiológicos no debe considerarse sin tener en cuenta los indicadores morfológicos de calidad (Rodríguez, 2008).

En viveros forestales que producen en contenedores, sustratos como musgo de turba, vermiculita y agrolita son básicamente infértiles. Esta es una propiedad deseable (Landis, 1990) ya que permite al productor de viveros

Cuadro 4. Valores promedio de los indicadores morfológicos en *Pinus cembroides*.
Table 4. Average values of morphological indicators in *Pinus cembroides*.

Tratamiento [†]	Altura promedio (cm)	Diámetro promedio (mm)	Peso seco parte aérea (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)
T1	18.15a	4.45a	5.56a	4.68a	10.24a
T2	18.15a	4.62a	5.68a	4.90a	10.58a
T3	18.9a	4.54a	5.53a	4.79a	10.32a
T4	19.3a	4.84a	5.74a	4.77a	10.51a

[†] T1: pH alto y fertilización baja; T2: pH alto y fertilización alta; T3: pH bajo y fertilización baja; T4: pH bajo y fertilización alta. No hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.10$). ♦ T1: high pH and low fertilization; T2: high pH and high fertilization; T3: low pH and low fertilization; T4: low pH and high fertilization.

Cuadro 5. Promedios de índices morfológicos en *Pinus cembroides*.
Table 5. Averages of morphological indexes in *Pinus cembroides*.

Tratamiento [†]	Índice de esbeltez	Índice de lignificación	Índice de Dickson	Relación peso seco parte aérea/peso seco raíz
T1	4.13a	0.60a	1.95a	1.18a
T2	3.96a	0.63a	2.1a	1.15a
T3	4.21a	0.61a	1.96a	1.15a
T4	4.02a	0.64a	2.05a	1.20a

[†] T1: pH alto y fertilización baja; T2: pH alto y fertilización alta; T3: pH bajo y fertilización baja; T4: pH bajo y fertilización alta. No hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.10$). T1: high pH and low fertilization; T2: high pH and high fertilization; T3: low pH and low fertilization; T4: low pH and high fertilization.

los tratamientos fue 4.08 (Cuadro 5), menor al valor límite máximo de 6 para que un brinzal esté equilibrado (Quiroz *et al.*, 2009).

Las concentraciones foliares de nutrimentos en la especie estudiada fueron diferentes entre tratamientos (Cuadro 6). Una planta bien nutrida tendrá mejor vigor y supervivencia, comparada con una que presente deficiencias nutrimentales (Landis, 1989), pero el exceso de nutrimentos puede afectar el desarrollo de la planta y ser tóxico, por lo cual la concentración de nutrimentos es útil como estimador de calidad de planta. Un árbol puede tener una buena nutrición pero si está en un contenedor pequeño su sistema radical será deficiente ante ambientes con limitaciones de humedad o suelos pobres. Por lo tanto, este tipo de indicadores fisiológicos no debe considerarse sin tomar en cuenta indicadores morfológicos de calidad (Rodríguez, 2008).

En los viveros forestales que producen en contenedores, los sustratos como la turba de musgo, la vermiculita y la agrolita, son infértiles básicamente, lo cual es una propiedad deseable en ellos (Landis, 1990) y el viverista puede controlar la concentración nutrimental. Como referencia se puede usar el pH de los suelos que tienen cierto nivel de humedad, para comparar con el del agua de riego usado en los viveros en términos de disponibilidad de nutrientes y su concentración foliar. Esa será parte de la base para

to control nutrient concentration. As a reference, the pH of soils that usually have a certain level of moisture can be used for comparison with that of irrigation water used in nurseries in terms of nutrient availability and nutrient concentrations in leaves. This will be part of the basis of discussion of the interactions between fertilization and irrigation water for the nutrients used in this experiment.

Lambers *et al.* (1998) exemplified nutrient availability at different levels of soil pH (Figure 1). Availability and, therefore, leaf concentration of several nutrients at different levels of irrigation water pH, is often similar to those present at levels of soil pH. However, this is not the case with other nutrients since soil physical-chemical properties are not the same as those of the substrates prepared in the nursery for growing forest species (Landis *et al.*, 1994).

Based on the results shown in Table 6 and on the optimum levels for conifers used in the USA as reference, there were no nutrient deficiencies in the treatments. There were, however, significant differences in the leaf concentration of K ($p \leq 0.001$) (Figure 2), because high fertilization treatments, regardless of the irrigation water pH, had a higher concentration of K (Table 6). The interaction water pH \times fertilization was significant for K ($p \leq 0.005$) (Figure 2), and for both levels of pH, high fertilization increased leaf concentration of K, particularly with

Cuadro 6. Resultados de la concentración de nutrimentos en el follaje de *Pinus cembroides*.

Table 6. Results of nutrient concentrations in foliage of *Pinus cembroides*.

Nutrimentos	Unidades	†Concentraciones recomendadas		Obtenido			
		Mínima	Máxima	T1	T2	T3	T4
N	%	1.3	3.5	1.65a	1.64a	1.51a	1.65a
P	%	0.2	0.6	0.87a	0.81a	0.69a	0.66a
K	%	0.7	2.5	1.41b	1.97a	1.44b	2.25a
Ca	%	0.3	1	0.39b	0.36b	0.39b	0.78a
Mg	%	0.1	0.3	0.18b	0.17b	0.17b	0.25a
Cu	ppm	4	20	5.85b	7.86ab	6.83ab	9.30a
Zn	ppm	30	150	103.36c	125.25ab	135.23a	122.66b
Mn	ppm	100	250	377.3ab	400.53a	370.34b	390.93ab
B	ppm	20	100	110.15a	129.45a	116.07a	121.47a

†Las concentraciones recomendadas (para coníferas de EE. UU.) fueron tomadas de Landis (1985). Letras distintas en un renglón indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.10$). T1: pH alto y fertilización baja, T2: pH alto y fertilización alta, T3: pH bajo y fertilización baja, T4: pH bajo y fertilización alta ❖ †Recommended concentrations (for US conifers) were taken from Landis (1985). Different letters in a row indicate significant differences between treatments ($p \leq 0.10$). T1: high pH and low fertilization, T2: high pH and high fertilization, T3: low pH and low fertilization, T4: low pH and high fertilization.

la discusión de las interacciones entre fertilización y agua de riego, para los nutrientes usados en el presente experimento.

Lambers *et al.* (1998) ejemplifican la disponibilidad de nutrientes a diferentes niveles de pH del suelo (Figura 1). La disponibilidad y, por ende, la concentración foliar de varios nutrientes a distintos niveles de pH del agua de riego, con frecuencia es semejante a las presentes en los niveles de pH del suelo. Sin embargo, en otros nutrientes no es así pues las propiedades físico-químicas de los suelos no son las mismas que las de los sustratos preparados en el vivero para el cultivo de especies forestales (Landis *et al.*, 1994).

Con base en los resultados mostrados en el Cuadro 6 y los niveles óptimos para coníferas de los EE. UU. usados como referencia, no hubo deficiencias nutrimentales en los tratamientos. Pero hubo diferencias significativas para la concentración foliar de K ($p \leq 0.001$) (Figura 2), porque los tratamientos con fertilización alta, independientemente del pH del agua de riego, tuvieron mayor concentración de K (Cuadro 6). La interacción pH en agua \times fertilización fue significativa para K ($p \leq 0.005$) (Figura 2) y para ambos niveles de pH; la mayor fertilización aumentó la concentración foliar de K, en particular con agua cuyo pH fue 5.5. Según Van den Driessche (1984a), en los suelos

water whose pH was 5.5. According to Van den Driessche (1984a), in very acid soils ($pH < 4.5$) K cations are not retained, and the greatest availability of this nutrient is with a $pH \geq 6$ (Lambers *et al.*, 1998); this probably occurred in our study. The trees that leave the nursery with higher levels of leaf K are more tolerant to drought and frosts because it influences stoma opening and closing. Moreover, once it enters the cell metabolic system, K forms salts with organic and inorganic acids, which contribute to regulating osmotic potential and cell water content (Rodríguez, 1999).

There were also significant differences ($p \leq 0.074$) in Mg content. The highest concentration found in plant tissue was with water pH 5.5 and high fertilization. The leaf K concentration increased and that of Mg decreased in *P. sylvestris* L. substrate treated with wood ash and residues from cement production to increase its pH (Klůšeico *et al.*, 2014). Conifers have a lower capacity for absorbing cations as pH increases than broadleaf species (Cregg, 2005). This fact may partially explain the lower leaf concentration of Mg when irrigation water and substrate pH is high, as observed in our study as well as by Klůšeico *et al.* (2014).

Greater availability of potassium is another factor that can reduce leaf Mg concentration, at least in the high pH level of the water in this experiment,

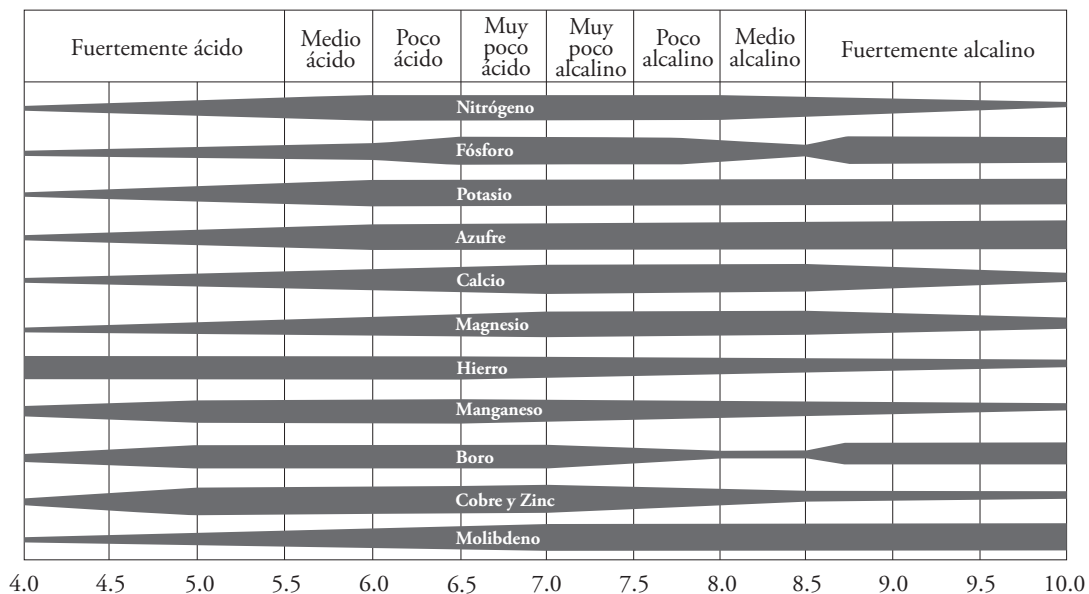


Figura 1. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de los nutrientes (adaptado de Lambers *et al.*, 1998).

Figure 1. Effect of soil pH on nutrient availability (adapted from Lambers *et al.*, 1998).

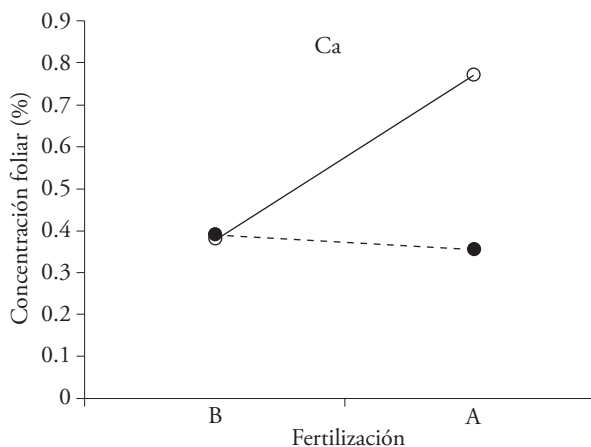
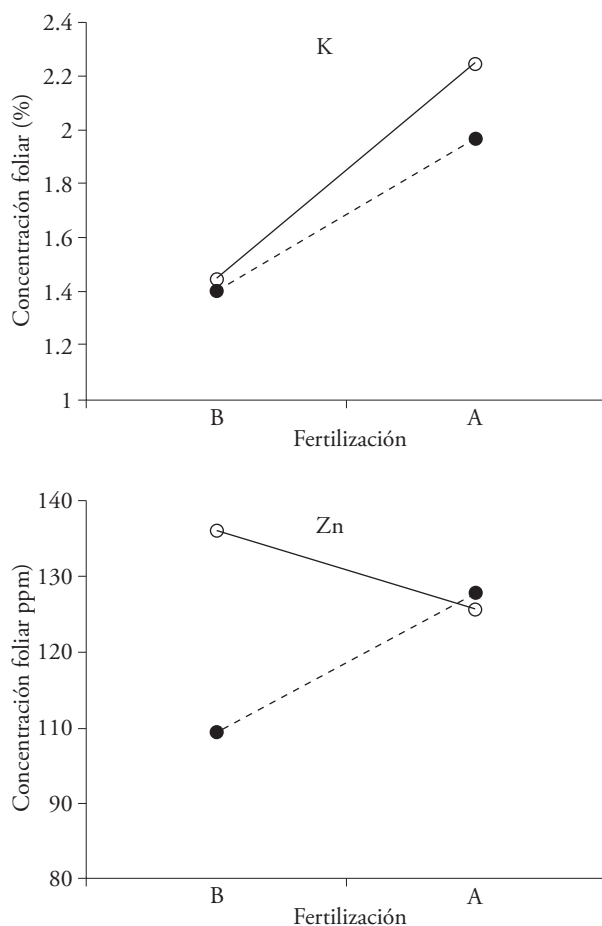


Figura 2. Interacciones fertilización \times pH del agua de riego significativas para concentración foliar promedio de K, Ca, y Zn en *Pinus cembroides*. A: fertilización alta; B: fertilización baja. El pH del agua de riego fue 5.5 (línea continua) y 8 (línea intermitente).

Figure 2. Significant interactions fertilization \times irrigation water pH for average leaf concentration of K, Ca, and Zn in *Pinus cembroides*. A: high fertilization, B: low fertilization; Irrigation water pH 5.5 (continuous line) and 8 (broken line).

muy ácidos ($\text{pH} < 4.5$) no se retienen cationes de K, y la mayor disponibilidad de este nutriente es con $\text{pH} \geq 6$ (Lambers *et al.*, 1998), lo cual probablemente ocurrió en esta investigación. Los árboles que salen del vivero con mayores niveles de K foliar toleran mejor la sequía y las heladas porque influye en la apertura y cierre de estomas. Una vez que entra al sistema metabólico celular, el K forma sales con ácidos orgánicos e inorgánicos, las cuales contribuyen a regular el potencial osmótico y el contenido de agua celular (Rodríguez, 1999).

El Mg también mostró diferencias significativas ($p \leq 0.074$) y su concentración máxima en el tejido vegetal fue con pH en agua de 5.5 y fertilización alta. La concentración foliar de K aumentó y la de Mg se redujo en sustrato de *P. sylvestris* L. tratado con ceniza de madera y residuos de la producción de cemento para aumentar su pH (Klůšeico *et al.*, 2014). Además, las coníferas tienen una menor capacidad que las latifoliadas para absorber cationes al aumentar el pH (Cregg, 2005), lo cual puede

since, in *P. radiata* D. with higher dosages of K, Mg leaf concentration decreases because K reduces its mobility (Sun and Payn, 1999). Here, the formation of a complex with malic acid and Mg in the sapwood may be involved; this reduces the translocation of Mg from roots to the shoot, as has been documented for *Fagus sylvatica* L. Potassium can have a function in this chemical bond or in the production of chemical compounds that link cations (Schell, 1997). Even with the use of water with a pH of 5.5, the greater supply of Mg in high fertilization could have contributed to a higher concentration in this combination of treatment levels.

The average Ca concentrations were significantly different ($p \leq 0.092$) and the interaction water pH and fertilization was also significant (Figure 2). Thus, the treatment with pH 5.5 and high fertilization had a higher average Ca concentration (Table 6). Atland and Buamsha (2008) indicate that low pH does not decrease Ca availability, as occurred in our study where levels of this nutrient were not deficient, and

explicar, en parte, la menor concentración foliar de Mg con pH altos del agua de riego y del sustrato, observada en la presente investigación y por Klóšeico *et al.* (2014).

La mayor disponibilidad de K es otro factor que puede reducir la concentración foliar de Mg, por lo menos en el nivel alto de pH del agua en este experimento, pues en *P. radiata* D. Don las dosis mayores de K reducen la concentración foliar de Mg porque se abate su movilidad (Sun y Payn, 1999). Aquí puede estar involucrada la formación de un complejo con ácido málico y el Mg en la albura, y esto reduce la traslocación de Mg de raíces a parte aérea como se ha registrado para *Fagus sylvatica* L. El K puede tener una función en dicho enlace químico o en la producción de compuestos químicos que enlazan cationes (Schell, 1997). Aun usando agua con pH 5.5, el aporte mayor de Mg en la fertilización alta pudo contribuir a su concentración mayor en esa combinación de niveles de tratamientos.

La concentración promedio de Ca tuvo diferencias significativas ($p \leq 0.092$) y también fue significativa la interacción pH del agua y fertilización (Figura 2); así, el tratamiento con pH 5.5 y fertilización alta tuvo la concentración promedio mayor (Cuadro 5). Altland y Buamscha (2008) indican que el pH bajo no reduce la disponibilidad de Ca, como en el presente estudio donde no hubo niveles deficitarios de ese nutrimento, y que la disponibilidad de Ca está en función de otros factores y no sólo del pH. En algunos suelos minerales la disminución del pH (7) aumenta la disponibilidad de varios nutrimentos (Buamscha *et al.*, 2007). Estos autores señalan que ácidos orgánicos liberados por la descomposición de la corteza de *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Franco) podrían reducir el pH y aumentar la disponibilidad de Ca, P, B y Fe.

Para el cobre hubo diferencias ($p \leq 0.093$) sólo entre los tratamientos extremos, T1 y T4, con la mayor concentración foliar a pH bajo y fertilización alta. Gil (1995) señala que al igual que otros cationes divalentes, este nutrimento se adsorbe fuertemente a las partículas de arcilla en forma intercambiable, pero también se halla en forma de complejos estables en las moléculas orgánicas, como ácidos fúlvicos y húmicos. El cobre reduce gradualmente su disponibilidad en los suelos alcalinos y solamente se encuentra en proporciones abundantes entre pH 5 a 7 (Lambers *et al.*, 1998). Los resultados del presente

that Ca availability is in function of other factors besides pH. In some mineral soils, a decrease in pH (7) increases the availability of several nutrients (Buamscha *et al.*, 2007). These authors point out that organic acids released by decomposition of *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Franco) bark can reduce pH and increase Ca, P, B and Fe availability.

For copper there were differences ($p \leq 0.093$) only between the extreme treatments, T1 and T4 with the highest leaf concentration at low pH and high fertilization. Gil (1995) points out that, like other divalent cations, this nutrient is strongly adsorbed to clay particles in an exchangeable form, but it is also found in stable complexes in organic molecules, such as fulvic and humic acids. Copper gradually decreases in availability in alkaline soils and is found in abundance only when pH is between 5 and 7 (Lambers *et al.*, 1998). The results of our study also show that irrigation water with a high pH reduces the availability of copper. Although it was provided in abundance, the highest leaf concentrations occurred in plants irrigated with water with a pH of 5.5.

Zinc was also significantly different among the treatments ($p \leq 0.001$). The interaction between irrigation water pH and fertilization was also significant ($p \leq 0.03$): leaf Zn concentration decreased with high fertilization and low pH water, but it increased with higher fertilization and high water pH (Figure 2). According to McBride (1994), Zn has regular mobility in acid pH soils maintained in exchangeable forms in clays and organic matter, whereas in soils with nearly neutral pH, chemo-absorption in oxides and aluminum silica, as well as complexation with humus, markedly reduces Zn solubility. Nevertheless, although mobility of the Zn^{2+} cations is limited in slightly alkaline soils, organic Zn complexes can solubilize and increase availability of the cations. This can help explain why higher fertilization in this study increased leaf Zn concentration with pH=8.

It might be expected that, when phosphoric acid is applied to reduce irrigation water pH, there would be higher leaf P concentrations in treated plants, but this did not occur. Nor did Van den Driessche (1984b), who used the same acid to control pH of the water and as a source of P for the production of *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, find a relationship to leaf P concentration. In our study, leaf concentrations of N, P and B were not statistically different among

estudio muestran que un pH alto en el agua de riego también reduce la disponibilidad del Cu, porque se proporcionó en abundancia pero las concentraciones foliares más altas ocurrieron al regar con agua de pH 5.5.

El zinc también tuvo diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.001$) al igual que la interacción entre pH del agua y la fertilización ($p \leq 0.03$), porque la concentración foliar de Zn se redujo con la mayor fertilización y agua con pH bajo, pero aumentó con la mayor fertilización y agua con pH alto (Figura 2). Según McBride (1994), el Zn tiene una regular movilidad en suelos con pH ácido, mantenida en formas intercambiables en arcillas y materia orgánica, mientras que en suelos con pH cerca de la neutralidad, la quimioabsorción en óxidos y aluminosilicatos, así como la complejación con el humus, reducen marcadamente la solubilidad del Zn. No obstante, aunque la movilidad de los cationes Zn^{2+} es pequeña en suelos ligeramente alcalinos, complejos orgánicos de Zn se pueden solubilizar y aumentar la disponibilidad de esos cationes. Ello puede ayudar a explicar por qué la mayor fertilización en este estudio aumenta la concentración foliar de Zn con pH=8.

Para el fósforo se esperaba que al aplicar ácido fosfórico para reducir el pH del agua de riego, las concentraciones foliares mayores de P ocurrirían en las plantas con dicho tratamiento, pero no fue así. Van den Driessche (1984b) usó el mismo ácido para manejar el pH del agua y como fuente de P en la producción de *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, pero tampoco halló relación con la concentración foliar de este nutriente. En el presente estudio las concentraciones foliares de N, P y B no fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos y el Mn sólo fue diferente entre T2 y T3. Las interacciones pH agua de riego y fertilización tampoco fueron significativas para las concentraciones foliares de N, P, Mg, Cu, Mn y B. Para N la disponibilidad cambia relativamente poco en el intervalo de pH estudiado, y el P muestra más variabilidad, pero en los niveles de pH estudiados su disponibilidad es similar (Lambers *et al.*, 1998). Estos seis nutrimentos tuvieron concentraciones foliares superiores al mínimo recomendado (Cuadro 6). Manganeso y boro rebasaron el máximo pero aparentemente no llegaron a niveles tóxicos en la especie estudiada.

Al comparar resultados de la literatura consultada con los del presente estudio, la concentración de

treatments, and there was a difference in Mn only between T2 and T3. The interactions between water pH and fertilization were not significant for leaf concentrations of N, P, Mg, Cu, Mn or B. For N, availability changes relatively little in the interval of pH studied; P is more variable, but in the levels of pH studied, its availability is similar (Lambers *et al.*, 1998). These six nutrients had leaf concentrations above the recommended minimum (Table 6). Manganese and boron surpassed the maximum but apparently did not reach toxic levels in the studied species.

Comparing our results with results reported in the consulted literature, the concentration of several nutrients found in our study did not exhibit a typical trend. This may be due in part to the objects of study, conifers, whose response would be different from that of broadleaf or farm crop species, on which there has been more plant nutrition research.

CONCLUSIONS

The levels of fertilization and irrigation water pH studied did not affect the morphological indicators of quality of *Pinus cembroides*. There were, however, effects on the leaf concentrations of K and Ca. These two nutrients are important because they contribute to the plant's resistance to drought and low temperatures, which are common in the environments where the species is planted. Therefore, in nurseries that produce *Pinus cembroides*, the water should be acidified and fertilization should be high, as in this study, because the combination caused higher leaf K and Ca concentrations.

All of the treatments had nutrient concentrations within the intervals considered optimum, except for Mn, which had excessive, but not toxic, consumption levels.

—End of the English version—



various nutrimentos no mostró una tendencia típica. En parte esto puede ser porque los objetos de estudio fueron coníferas, cuya respuesta sería diferente a las latifoliadas o las especies de cultivos agrícolas, y en estas últimas se ha realizado más investigación sobre nutrición vegetal.

CONCLUSIONES

Los niveles de fertilización y pH del agua de riego estudiados no afectaron los indicadores morfológicos de calidad de *Pinus cembroides*, pero sí hubo efectos en las concentraciones foliares de K y Ca. Estos dos nutrimentos son importantes porque contribuyen a la resistencia a sequía y a bajas temperaturas, comunes en los ambientes donde la especie es plantada. Por lo tanto, en los viveros que produzcan *Pinus cembroides* el agua debe ser acidificada y usar la fertilización alta como en el presente estudio porque esta combinación causó las mayores concentraciones foliares de K y Ca.

Todos los tratamientos presentaron concentraciones nutrimentales dentro de un intervalo considerado óptimo, salvo el Mn, que tuvo niveles de consumo en exceso, pero no tóxicos.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al posgrado de la DICIFO, UACH, por permitirle realizar estudios en su programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales. También agradece al CONACYT por la beca proporcionada, a la UACH, por el apoyo para la realización de los análisis nutrimentales, proyecto no. 137902003 (Las plantaciones en la restauración), al vivero y al Laboratorio de Semillas Forestales de la DICIFO, por el apoyo recibido durante la investigación.

LITERATURA CITADA

- Altland, J. E., and M. G. Buamscha. 2008. Nutrient availability from Douglas fir bark in response to substrate pH. *Hortscience* 43(2): 478-483.
- Buamscha, M. G., J. E. Altland, D. M. Sullivan, D. A. Horneck, and J. Cassidy. 2007. Chemical and physical properties of Douglas fir bark relevant to the production of container plants. *Hortscience* 42(5): 1281-1286.
- Cregg, B. 2005. Conifer nutrition. *The Michigan Landscape* Sep.-Oct.: 42-45.
- Dickson, A., A. L. Leaf, and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36: 10-13.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In: Duryea, M. L. (ed). Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests*. Forest Research Laboratory. Corvallis, USA. pp: 1-4.
- Farjon, A., J. A. Pérez de la R., y B. T. Styles. 1997. Guía de Campo de los Pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Universidad de Oxford. Bélgica. 151 p.
- García, E. 1978. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 2a. ed, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.
- García S. J., P., J. J. Lucena M., S. Ruano C., y M. Nogales G. 2009. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos agrícolas de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. 119 p.
- Gil, M. F. 1995. Elementos de Fisiología Vegetal: Relaciones Hídricas, Nutrición Mineral, Transporte y Metabolismo. Mundi Prensa. México. 1147 p.
- Infante G., S., y P. L. Zárate G. 2000. Métodos Estadísticos: Un Enfoque Interdisciplinario. Trillas. México, D. F. 684 p.
- Klůšeico, J., T. Kuznetsova, M. Tilk, and M. Mandre. 2014. Short-term influence of Clinker dust and wood ash on macronutrients and growth in Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis* 45(16): 2105-2117.
- Lambers, H., F. S. Chapin III, and T. L. Pons. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. New York. 540 p.
- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. *In: Duryea, M. L. (ed). Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. Oregon State University. Corvallis, USA. pp: 29-48.
- Landis, R. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett (eds). The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4. Agriculture Handbook 674*. USDA Forest Service. Washington, D. C. pp: 72-126.
- Landis, R. D. 1990. Containers and growing media. *In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett (eds). The Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. Agriculture Handbook 674*. USDA Forest Service. Washington, D. C. pp: 41-85.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. 1994. Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Vol 1. Manual Agrícola 674. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Servicio Forestal. México. 188 p.
- McBride, M. B. 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press. New York. 406 p.
- Mendoza, S. I. 2009. Calidad de las aguas residuales urbano-industriales que riegan el valle de mezquital, Hidalgo, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 195 p.
- Peñuelas, R. J., y B. L. Ocaña. 1994. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Perry Jr., J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, USA. 231 p.
- Prieto R., J. A., E. H. Cornejo O., P. A. Domínguez C., J. de J. Nívar Ch., J. G. Marmolejo M., y J. Jiménez P. 2004. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 13(3): 443-451.
- Quiroz, I., E. García, M. González, P. Chung, K. Casanova, y H. Soto. 2009. Calidad de planta y certificación. Centro tecnológico de la planta forestal. U. A. N. L. Nuevo León, México. 5 p.
- Rodríguez S., F. 1999. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. A. G. T. Ed. México, D. F. 157 p.

- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Mundi-Prensa. México, D. F. 156 p.
- Ruano M., R. 2003. Viveros Forestales. Mundi-Prensa. Madrid, España. 279 p.
- Schell, J. 1997. Interdependence of pH, malate concentration, and calcium and magnesium concentrations in the xylem sap of beech roots. *Tree Physiol.* 17: 479-483.
- Sun, O. J., and T. W. Payn. 1999. Magnesium nutrition and photosynthesis in *Pinus radiata*: clonal variation and influence of potassium. *Tree Physiol.* 19: 535-540.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphology: what you can tell by looking. *In*: Duryea, M. L. (ed). *Evaluating Seedling Quality. Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests.* Corvallis, USA. pp: 59-71.
- Van den Driessche, R. 1984a. Soil fertility in forest nurseries. *In*: Duryea, M. L., and T. D. Landis (eds). *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings.* Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Pubs. The Hague. pp: 63-74.
- Van den Driessche, R. 1984b. Response of Douglas fir seedlings to phosphorus fertilization and influence of temperature on this response. *New Forests* 50: 155-169.
- Vázquez Y., C., A. I. Batis M., M. I. Alcocer S., M. Gual D., y C. Sánchez D. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO, Instituto de Ecología, UNAM. México.