



Universidad Autónoma Chapingo

División de Ciencias Forestales

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

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

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

JESÚS VALENTÍN GUTIÉRREZ GARCÍA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Enero de 2014

Chapingo, Texcoco, Estado de México



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

Tesis realizada por **Jesús Valentín Gutiérrez García** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



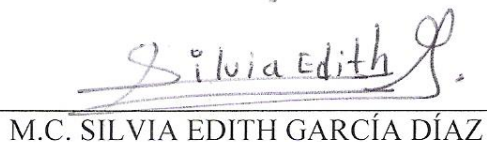
DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

CODIRECTOR:



DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

ASESOR:



M.C. SILVIA EDITH GARCÍA DÍAZ

ASESOR:



DR. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Maestría en Ciencias Forestales de la División de Ciencias Forestales, por haberme dado la oportunidad de cumplir una meta más en mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento que me brindó para la realización de mis estudios de maestría.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por todo el apoyo, tiempo y la experiencia proporcionada para la realización de este trabajo.

Al Dr. Antonio Villanueva Morales por el apoyo y las observaciones realizadas al presente trabajo

A la M.C. Silvia Edith García Díaz por su colaboración y participación en la realización de este trabajo.

Al Dr. José Luis Romo Lozano por su disposición y contribución en la elaboración del presente trabajo.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por el apoyo para la realización de los análisis nutrimentales, proyecto no. 137902003, a los trabajadores del vivero y del laboratorio de semillas de la DICIFO, por el valioso apoyo en el establecimiento y mantenimiento del ensayo en vivero.

A todos aquellos que contribuyeron con su tiempo y experiencia para que dicho trabajo fuera realizado de la mejor forma posible, de los cuales no digo nombres para no omitir alguno, sin embargo les agradezco.

DEDICATORIA

A Dios, por proveerme de salud, fuerza y permitirme existir en esta vida.

A mi madre la Sra. María Guadalupe García Cantellán por darme la vida, apoyarme y confiar siempre en mí.

A mi padre el Sr. Francisco Gutiérrez Navarro, a quien le tengo un gran respeto y admiración, dedico este logro por su apoyo incondicional y enseñanzas.

A mis hermanos: Armando, María Gladis, Yeni Angélica y Francisco Gerardo, por todo el apoyo proporcionado en el ámbito personal como profesional. Con quienes se siempre puedo confiar y recurrir en cualquier momento o circunstancia...Gracias.

A mi esposa Miriam Olvera España, por su compañía y el estar a mi lado en esta etapa de mi vida, así como al hermoso y más grande regalo que me ha dado hasta ahora. Refiriéndome a mi hijo Ulises de Jesús, al cual dedico cada logro y meta alcanzada.

A Oralia, Jesús, José, Damaris, familia Olvera España y a toda la familia en general.

A todos mis amigos, compañeros y conocidos, con los cuales compartí diversos momentos e hicieron que mi estancia en Chapingo fuera más placentera y agradable.

DATOS BIOGRÁFICOS

Jesús Valentín Gutiérrez García nació el 24 de Febrero de 1987, en San Francisco de Campeche, estudio la secundaria en la escuela telesecundaria número 32 en el poblado de Venustiano Carranza, Candelaria, Campeche. Los estudios de preparatoria los realizó en la preparatoria agrícola de la UACH, así como los estudios de licenciatura en la carrera de Ingeniería en Restauración Forestal, en la División de Ciencias Forestales. En lo que respecta a sus estudios de postgrado de maestría, estos fueron realizados en la maestría de ciencias en ciencias forestales, en la DICIFO de la Universidad Autónoma Chapingo. En cuanto a la experiencia laboral, él trabajó en la empresa Plantaciones Tehuantepec S.A. de C.V. y en la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) en el área de dictaminación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 RIEGO.....	4
4.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	5
4.3 EFECTOS DE LA SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS	6
4.3.1 <i>Efecto de la salinidad en la disponibilidad del agua</i>	6
4.3.2 <i>Efecto del sodio en la permeabilidad del medio de crecimiento</i>	7
4.4 FACTORES PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA	7
4.5 CORRECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO	10
4.6 NUTRIMENTOS.....	11
4.7 DESCRIPCIÓN DE <i>Pinus cembroides</i> Zucc.	13
4.7.1 <i>Descripción botánica</i>	13
4.7.2 <i>Distribución</i>	14
4.7.3 <i>Hábitat</i>	14
4.7.4 <i>Importancia</i>	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1 LOCALIZACIÓN	15
5.2 METODOLOGÍA.....	16
5.2.1 <i>Calidad del agua</i>	16
5.2.2 <i>Fertilización</i>	19
5.2.3 <i>Mantenimiento del experimento</i>	20
5.2.4 <i>Calidad de planta</i>	20
5.2.5 <i>Diseño experimental</i>	22
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1 pH DEL AGUA DE RIEGO	24
6.2 INDICADORES MORFOLÓGICOS	25
6.3 CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL FOLIAR	27
6.3.1 <i>Nitrógeno</i>	28
6.3.2 <i>Fósforo</i>	31
6.3.3 <i>Potasio</i>	33
6.3.4 <i>Calcio</i>	35
6.3.5 <i>Magnesio</i>	37
6.3.6 <i>Cobre</i>	38
6.3.7 <i>Zinc</i>	40
6.3.8 <i>Manganeso</i>	42
6.3.9 <i>Boro</i>	43
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
8. BIBLIOGRAFIA	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estándares normales de los parámetros de medición de calidad de agua.	9
Cuadro 2. Contenido de macro y micronutrientes del fertilizante comercial por etapa.	19
Cuadro 3. Tratamientos y dosis de fertilización utilizadas por fase de desarrollo.	19
Cuadro 4. Resultados obtenidos en lo que respecta a los atributos morfológicos.	26
Cuadro 5. Resultados de concentración de nutrimentos en el follaje de <i>P. cembroides</i>	27
Cuadro 6. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento nitrógeno.	28
Cuadro 7. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento fósforo.	31
Cuadro 8. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento potasio.	33
Cuadro 9. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento calcio.	35
Cuadro 10. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento magnesio.	37
Cuadro 11. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento cobre.	39
Cuadro 12. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento zinc.	40
Cuadro 13. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento manganeso.	42
Cuadro 14. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento boro.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Cuadro 1. Estándares normales de los parámetros de medición de calidad de agua.	9
Figura 1. La relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrimentos.	13
Figura 2. Proceso de acidificación en laboratorio.	17
Figura 3. Acidificación de un litro de agua de riego del vivero.	18
Figura 4. Análisis de muestras en laboratorio.	21
Figura 5. Diseño experimental.	22
Figura 6. Comportamiento del pH del agua de riego.	24
Figura 7. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de los nutrimentos.	29
Figura 8. Concentración promedio de potasio en follaje de <i>P. cembroides</i>	34
Figura 9. Concentración promedio de calcio en follaje de <i>P. cembroides</i>	36
Figura 10. Concentración promedio de zinc en follaje de <i>P. cembroides</i>	41

CALIDAD DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus cembroides* Zucc. EN VIVERO WATER QUALITY FOR THE FOREST NURSERY PRODUCTION OF

Pinus cembroides Zucc.

Jesús Valentín Gutiérrez–García¹, Dante Arturo Rodríguez–Trejo².

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue conocer la calidad del agua de riego y su efecto en la morfología y concentración nutrimental foliar de *Pinus cembroides* Zucc., ante diferentes niveles de pH y dos dosis de fertilización. Las plantas fueron cultivadas en vivero por 10 meses, en contenedores de 170 cm³, utilizando un sustrato a base de turba de musgo, vermiculita y agrolita en una proporción de 40-30-30 respectivamente. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, con dos factores, pH del agua de riego y fertilización. Los niveles para el primer factor fueron 8 y 5.5. Los niveles del segundo factor, fueron dos regímenes de fertilización: establecimiento (50-123-73 en ambos casos); crecimiento (100-22-83) y (150-33-125); finalizador (15-41-109) y (30-82-218). Las variables morfológicas evaluadas fueron: altura, diámetro, peso seco foliar y peso seco raíz. Los índices de calidad de planta evaluados fueron: índice de calidad de Dickson (ICD), relación parte aérea/raíz, índice lignificación, índice de esbeltez y concentración nutrimental foliar. Sólo en el análisis nutrimental, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los nutrimentos: K, Ca, Mg, Cu, Zn, y Mn. En general, la dosis alta de fertilización y el pH=5.5, mostraron mayores niveles foliares para la mayoría de los nutrimentos mencionados. No se observaron efectos de toxicidad por exceso de nutrimentos.

Palabras clave: Calidad de planta, pH del agua, análisis nutrimental, agua, fertilización.

ABSTRACT

The objective of this work was to know the irrigation water quality and its effect on the morphology and nutriment concentration in leaves of *Pinus cembroides* Zucc, using different pH levels and two fertilization doses. The seedlings were cultivated in a forest nursery for 10 months, in 170 cm³ containers. The growing media was a mix of peat moss, vermiculite and agrolite (40%, 30 % and 30 %). The experimental design was complete randomized blocks. The factors were pH of water and fertilization. The levels for the first factor were 5.5 and 8, while the second included two fertilization regimes: establishment (both levels with 50-123-73); growth (100-22-83) for one level and (150-33-125) for the other; and hardening (15-41-109) and (30-82-218). The morphological variables evaluated were height, diameter, foliage dry weight, and root dry weight. The seedling quality indexes evaluated were: Dickson index, shoot/root ratio, lignification index, slenderness index, and foliage nutrients concentration. Only in this last variable were found significant differences in K, Ca, Mg, Cu, Zn and Mn. Overall, the high fertilization regime and the water pH=5.5, showed the highest foliar nutrient concentrations. No toxic effects were observed.

Keywords: Seedling quality, water pH, nutrimental analysis, water, fertilization.

¹ Autor, ² Coautor.

1. INTRODUCCIÓN

Los viveros para la producción de planta en contenedor requieren de diversos cuidados y manejos. Éstos permitirán obtener plantas de calidad, mismas que deberán tener una mayor probabilidad de sobrevivencia en su establecimiento en campo. Pero sin lugar a duda, existe un recurso indispensable y que no puede faltar durante todo el proceso, el cual es fundamental para toda planta en producción. Éste es el agua, cuyo recurso tiene que ser abundante y disponible constantemente para la producción, además de que debe cumplir ciertos parámetros de calidad.

Un aspecto importante a considerar en la actualidad dentro de los viveros, desde el punto de vista ecológico y político, es la calidad de agua. Los fertilizantes y plaguicidas químicos han contribuido de manera importante a incrementar el crecimiento de las plantas en los viveros, pero también pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas cuando se permite su liberación del medio de propagación (Landis, 1994).

Convenientemente para todos los que producen planta en viveros, su producción se ve favorecida, ya que se tiene la oportunidad de controlar diferentes factores ambientales, así como controlar hasta cierto punto la incidencia de microorganismos causantes de enfermedades, lo cual permite un mejor desarrollo de las plantas.

En lo que respecta al agua y su calidad, se toman en cuenta tres criterios: salinidad, sodicidad y toxicidad. El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimiento de cultivos. El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca un elevado por ciento de sodio intercambiable (PSI), con deterioro de la estructura del suelo. El criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones (Mendoza, 2009).

En la actualidad, se ha usado prácticamente toda agua disponible para satisfacer los requerimientos de humedad de los diferentes cultivos bajo riego. Provocando que se lleguen a utilizar hasta el límite las aguas superficiales y subterráneas, de la más variada composición química y concentración de sales (Mendoza, 2009). De acuerdo con la evaluación de los viveros de México realizada en el 2008, se encontró que la mayoría de ellos no cuentan con los parámetros adecuados de calidad de agua de riego; entre éstos sobresalen el pH y la conductividad eléctrica, pues se encuentran por encima de los estándares óptimos. Lo anterior en más del 50% de los viveros evaluados (Gutiérrez y Olvera, 2011).

Es poca la información que existe en el país referida a estudios relacionados a la calidad del agua de riego empleada en viveros forestales, y el efecto que ésta tiene en la producción de planta. Sobre todo cuando los parámetros de calidad no son los óptimos, por lo cual surge el interés de realizar esta investigación, la cual permitirá proporcionar hasta cierto punto información sobre los posibles efectos en las plantas en fase de vivero. El presente trabajo busca indagar la calidad del agua de riego y su efecto en *P. cembroides* Zucc., en el vivero de la División de Ciencias Forestales, Texcoco, Edo de México.

Con los resultados obtenidos, se espera conocer un poco más el desarrollo y las respuestas de planta de *Pinus cembroides* ante un cambio de nivel de pH, con la aplicación de un método correctivo en el agua y con dos dosis de fertilización. Además se pretende que este trabajo sirva como referencia para mejorar la calidad de agua de riego utilizada en los viveros que producen en contenedor y obtener planta de mejor calidad.

2. OBJETIVOS

General

- Conocer la calidad del agua de riego y su efecto en la morfología y concentración nutrimental foliar de *P. cembroides* Zucc., ante diferentes niveles de pH, en el vivero de la División de Ciencias Forestales, Texcoco, Edo de México.

Específicos

- Aplicar un método de corrección en el agua de riego y conocer la respuesta en el desarrollo de *P. cembroides*.
- Conocer el efecto de dos dosis de fertilización en la morfología y concentración foliar nutrimental de las plantas ante dos niveles de pH del agua de riego.

3. HIPÓTESIS

- La calidad y el desarrollo de planta de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero se ve afectada ante diferentes niveles de pH del agua de riego.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Riego

El agua es un factor primordial para el desarrollo de las plantas. En condiciones naturales es su principal limitante, por el contrario, uno de sus más importantes promotores en los cultivos forzados. Casi todos los procesos fisiológicos de la planta están afectados en mayor o menor medida por el agua. La influencia del agua en el proceso de las plantas se refleja en los cuatro puntos siguientes (Peñuelas y Ocaña, 1994):

- El agua es el mayor componente de las plantas vivas, constituyendo entre el 80 y 90% de su peso fresco.
- Es el solvente universal, siendo el vehículo de transporte de nutrimentos dentro de la planta.
- Es el reactivo bioquímico en muchos procesos de la actividad vital de las plantas, incluida la fotosíntesis.
- Es esencial para mantener la turgencia de las células de la planta.

La distribución de agua de riego en vivero en contenedores es un problema importante. Pues el paso del agua de un contenedor a otro no suele producirse en la mayoría de materiales usados. Ejemplo de ello son los sistemas automatizados, en los cuales infiere la apertura de la boquilla, siempre de tamaño reducido, hace difícil la distribución homogénea del riego y este problema se agrava en plantas desarrolladas, cuando las desviaciones del agua por las hojas distorsiona el riego gravemente (Ruano, 2003).

4.2 Evaluación de la calidad del agua

La calidad del agua para riego está determinada por la cantidad y tipo de sales que la constituyen. El agua de riego puede crear o corregir suelos salinos o alcalinos. La concentración de sales en el agua de riego reduce el agua disponible para los cultivos, es decir la planta debe ejercer mayor esfuerzo para poder absorber el agua; puede llegar incluso a sufrir estrés fisiológico por deshidratación, afectando esto su crecimiento (Moya, 2009).

La calidad del agua es determinada por dos factores: las partículas suspendidas (sedimentos o plagas) y por las sales disueltas.

Partículas suspendidas y plagas. Son materiales inorgánicos como arcilla, cieno y partículas finas de arena, las cuales son muy pequeñas para permanecer suspendidas, por lo que deberán ser filtradas en forma mecánica o removidas mediante tratamientos químicos (Tchobanoglous y Schroeder 1985; citado por Landis, 1994). Los sedimentos suspendidos son abrasivos y pueden desgastar rápidamente el equipo como bombas, inyectoros de fertilizante y aspersores.

La fuente del agua de riego determina qué tipo de materiales suspendidos puede contener, y las fuentes comunes para viveros de contenedor incluyen las provenientes del sistema de agua potable, aguas superficiales y de pozos profundos. Las plagas pueden también estar suspendidas en el agua. El agua de fuentes superficiales, especialmente de estanques en áreas agrícolas puede contener propágulos de plantas, enfermedades potenciales para el vivero, las cuales incluyen semillas de malezas y esporas de hongos, algas, musgos y hepáticas (Landis, 1994).

Sales disueltas (Landis, 1994). Muchos iones de diferentes minerales pueden estar disueltos en el agua a utilizar para el riego, pero incluso una agua clara puede contener sales dañinas. En las zonas costeras, los sitios potenciales para el vivero pueden tener aguas subterráneas contaminadas por la intrusión de agua

salada; en efecto, los viveros deberán de estar ubicados un poco más al interior, a fin de evitar problemas de toxicidad por iones de sodio (Na^+) y cloro (Cl^-). Algunos cationes, tales como los iones de calcio (Ca^{2+}) y de magnesio (Mg^{2+}) que se encuentran presentes en las aguas “duras”, pueden ser problemáticos o benéficos, dependiendo de sus concentraciones.

4.3 Efectos de la salinidad en el crecimiento de las plantas

Las sales solubles pueden afectar el crecimiento de las plantas en formas distintas, entre las cuales está el hecho de que disminuye gradualmente la respiración, causando en general la disminución de la asimilación de carbono y el metabolismo de las plantas, asociado a un lento crecimiento en estas condiciones (Lambers *et al.*, 1996).

4.3.1 Efecto de la salinidad en la disponibilidad del agua

La salinidad total de una fuente de agua medida con la CE, ejerce un efecto osmótico en la solución del medio de crecimiento, que puede reducir el agua disponible para el crecimiento de la planta. Las sales reducen el potencial osmótico, y por tanto el potencial hídrico en la solución del medio de crecimiento: un valor de 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representa una fuerza osmótica de 0.1 MPa. Aunque esto aparenta no ser particularmente elevado, puede resultar significativo en etapas críticas, como durante la germinación de la semilla. Especialmente si se permite que el sustrato se seque, lo cual puede incrementar grandemente la concentración osmótica (Whitcomb, 1984; citado por Landis, 1989). El autor referido, reporta que el nivel de sales solubles se duplica cuando se reduce el contenido de humedad en el sustrato de 50% a 25%.

4.3.2 Efecto del sodio en la permeabilidad del medio de crecimiento

Cuando el sodio se encuentra presente en alta concentración en el agua de riego, el calcio y el magnesio se precipitan en la solución del suelo por la acción de carbonatos y bicarbonatos, entonces el sodio se acumula y sustituye al calcio y magnesio en el intercambio de cationes dado lugar a un desequilibrio eléctrico de las partículas coloidales del suelo, debido al predominio de cargas negativas, las partículas se repelen, el suelo pierde estructura, con lo que existe menos entrada de oxígeno al suelo, disminuye la permeabilidad, se fomenta la compactación y encostramiento. (Porta, 2010).

4.4 Factores para determinar la calidad del agua

Se han publicado una gran cantidad de guías para la determinación de la calidad del agua, debido a los diferentes estándares que se aplican para cada propósito. Tanto la salinidad total como la concentración de iones individuales de sal, son importantes. Las concentraciones iónicas pueden ser expresadas como miligramos por litro (mg/l) o partes por millón (ppm), los cuales, para nuestro propósito, son equivalentes. La otra unidad estándar es miliequivalentes por litro (meq/l). Para propósitos de evaluación del sitio, se consideran cuatro factores de importancia (Landis, 1994):

pH ligeramente ácido. El pH es la medida de la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia, con base en una escala logarítmica de 0 a 14; los valores menores a 7.0 son ácidos y los valores superiores a 7.0 son alcalinos. Los materiales utilizados para formular medios de crecimiento difieren considerablemente en pH. Las turbas de musgo son por lo común naturalmente ácidas, dependiendo de la planta constituyente y de la calidad local del agua, mientras que la vermiculita puede tener un pH desde neutral (7.0), hasta medianamente alcalino (Bunt, 1988).

El pH del suelo es también un factor importante en la determinación de la disponibilidad de nutrimentos en los suelos. La lluvia ácida es una fuente cada vez mayor de la acidez del suelo causada por la deposición atmosférica de ácido nítrico y de ácido sulfúrico en la precipitación. Estos ácidos primero desplazan cationes intercambiables de minerales de arcilla y materia orgánica del suelo (Lambers *et al.*, 1996).

Conductividad Eléctrica (CE). Este índice de salinidad mide la concentración total de iones disueltos, Este parámetro se mide con un conductímetro y registra la presencia de sólidos disueltos. El agua pura no conduce la corriente eléctrica. Mientras mayores contenidos de sólidos más alto es su valor, y se expresa en $\mu\text{S cm}^{-1}$ o mS cm^{-1} o dS m^{-1} o $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ o mmhos cm^{-1} a 25°C (Farham *et al.*, 1979).

Iones tóxicos y metales pesados. El nivel de daño depende del tiempo, la concentración y la sensibilidad del cultivo y el consumo de agua. Los iones del agua de riego pueden causar daño en forma individual o combinada son: cloro (Cl), sodio (Na) y boro (B). La reducción del crecimiento de los cultivos por la salinidad es causada por el potencial osmótico (PO) ya que reduce la capacidad de las raíces de las plantas a extraer agua del suelo. La disponibilidad del agua en el suelo está relacionada a la suma del potencial mátrico y potencial osmótico (Alpi y Tognoni, 2000).

Iones complementarios. Aunque no son tóxicos para las plantas, otros iones afectan en forma indirecta la calidad del agua de riego. El calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}), el sulfato (SO_4^{2-}) y el bicarbonato (HCO_3^-) afectan otros índices de calidad como la dureza y la alcalinidad, incluso el HCO_3^- puede causar manchas foliares. Además de ser nutrimentos minerales, el Ca^{2+} y el Mg^{2+} pueden contrarrestar los efectos nocivos de los iones de Na^+ y Cl^- (Landis, 1994).

Existen estándares de referencia para la calidad de agua y los cuales deben permanecer en cierta proporción, con la finalidad de disminuir el efecto negativo en el desarrollo de la planta, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 1. Estándares normales de los parámetros de medición de calidad de agua.

Índice de calidad	Unidades	Clasificación por calidad		
		Buena	Marginal	Pobre
Salinidad	dS/m	0-0.5	0.5-1.5	>1.5
Efecto del Sodio en permeabilidad del suelo ¹	RAAS	0-6	6-9	>9
pH		Umbral de toxicidad* 6.0 a 7.5		
Iones tóxicos		Máximo permitido		
Sodio (Na ⁺)	Ppm	50		
	Meq	2.2		
Cloro (Cl ⁻)	Ppm	70		
	Meq	2.0		
Boro (B) ²	Ppm	0.75		
	Meq	N/D		
Iones nutrientes				
Calcio (Ca ²⁺)	Ppm	100		
	Meq	5.0		
Magnesio (Mg ²⁺)	Ppm	50		
	Meq	4.2		
Sulfato (SO ₄ ²⁺)	Ppm	250		
	Meq	5.2		
Iones que producen manchado foliar				
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	Ppm	60		
	Meq	1.0		
Dureza total (Ca + Mg)	Ppm	206		
Hierro	Ppm	0.1		

1 La razón ajustada de adsorción de sodio (RAAS), no es importante en los viveros que producen en contenedor, a menos que se utilice suelo como medio de crecimiento.

2 El boro existe en varias formas iónicas, y por ello los miliequivalentes no pueden ser determinados con precisión.

* Estos valores consideran un sustrato poroso y con buen drenaje. El agua con bajas concentraciones de sales puede causar serios problemas si el drenaje es deficiente o si las prácticas de riego permiten la acumulación de sales.

Ppm= Partes por millón, meq=miliequivalentes, dS/m= decisiemens/metro,

Fuente: modificado de Ayers 1977, Bunt (1976), Swanson (1984), Fitzpatrick y Verkade (1987), Vetanovetz y Knauss (1988) citados por Landis (1994).

Debido a que la mayoría del agua utilizada en la producción de planta en vivero no mantiene dichos estándares, o por lo menos no en la mayoría de los índices, es necesario buscar formas o alternativas que ayuden a disminuirlos en la medida de lo posible, esto con la finalidad de brindar agua con la mejor calidad posible, para lo cual existen ciertos métodos de corrección y los cuales se describen en los párrafos siguientes.

4.5 Corrección de la calidad del agua de riego

De acuerdo con Ruano (2003); Peñuelas y Ocaña (1994); las principales técnicas para mejorar la calidad del agua son las siguientes:

- **Acidificación.** Busca el mantenimiento del pH en los niveles ideales de cultivo y eliminar iones de carbonatos y bicarbonatos. El proceso de acidificación consiste en añadir cantidades de ácido al agua de riego para reducir el pH del agua al nivel deseado (normalmente 5.5).

Los ácidos más usados son el nítrico, el fosfórico, sulfúrico e incluso el acético. El fosfórico tiene la ventaja de que es el ácido más seguro de manejar, no reacciona violentamente con el agua, ni produce humus tóxicos, y es una fuente de fósforo como nutrimento. Sin embargo tiene el inconveniente de ser caro y de añadir fósforo al sistema de cultivo, distorsionando las relaciones fertilizantes, por lo que a menudo es sustituido por el ácido sulfúrico, mucho más enérgico y barato, aunque más peligroso en su utilización.

- Ósmosis inversa. Consiste en forzar el agua de riego a través de una membrana semipermeable para que las sales queden retenidas en ella. Aunque son sistemas de un costo inicial y mantenimiento elevados.
- Desionización. Es un método efectivo pero caro y lento. Solo se usa en plantas de mucho valor. El proceso consiste en cambiar los iones no deseados por otros que sean aceptables para el cultivo de las plantas. Existen técnicas para aplicar fertilizantes mediante este intercambio iónico, aunque el control de fertilización que se puede realizar por estos sistemas no es adecuado.
- Suavizantes de agua. Aunque es poco recomendable para su uso en viveros, consiste en sustituir el calcio y el magnesio del agua por sodio, que es más perjudicial para las plantas.
- Cloración. Es un tratamiento viable para viveros con problemas de hongos, bacterias o algas introducidas a través del agua de riego. Basta con la adición de uno o dos ppm por unos minutos para eliminar estos organismos.
- Filtración. Los filtros se usan prácticamente en todas las instalaciones de riego para eliminar partículas coloidales o en suspensión, que pueden dañar el equipo de riego o fertilización, se pueden usar además para eliminar unos patógenos no deseables como semillas de malas hierbas y de algunos propágulos vegetativos.

4.6 Nutrimientos

El 95% de la biomasa vegetal anhidra está formada por C, O e H. El resto incluye los elementos esenciales N, P, S, K, Ca, Mg y cantidades muy pequeñas de Mn, Fe, Cl, Cu, Zn y en algunos casos B y Mo (Binkley, 1993).

Los nutrientes se mueven en el suelo a la superficie de la raíz, por el flujo de masa y difusión, pero se necesitan sistemas selectivos (canales, portadores) para el transporte de los nutrientes en el simplasto. Dado que el transporte de

aniones mayoría se produce por un gradiente de potencial electroquímico, la energía metabólica se requiere para importar estos nutrimentos de la rizosfera. Aunque el transporte de cationes puede producirse por un gradiente electroquímico, la energía metabólica también se requiere para importar estos nutrimentos de la rizosfera debido a que el mantenimiento del gradiente electroquímico requiere ATP. Cuando los nutrimentos esenciales se mueven lentamente a la superficie de las raíces, requiriendo mecanismos de adaptación, especialmente para la adquisición de fosfato, hierro y Zinc (Lambers *et. al.*, 1996).

Rodríguez (2008) expresa que los macronutrientes son denominados así por estar presentes en relativamente grandes concentraciones en los tejidos vegetales y son (entre paréntesis su forma nutrimental más común); N (NO_3^- , NH_4^{4+}), P ($\text{H}_2\text{PO}_4^{4+}$), K, Ca, Mg, S (SO_4^{4+}) y los micronutrientes son: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo.

Varias de las funciones se presentan a continuación (Binkley, 1993): N (es el componente más importante de todos los aminoácidos, forma una parte muy importante de los ácidos nucleicos), P (desempeña una importante función en las transformaciones de energía de las células en forma de ATP), K (su función principal es la de activar encimas, el control de la apertura y cierre de estomas de las hojas), Ca (constituyente de paredes celulares, activa enzimas y se le requiere para la división celular), Mg (componente de la estructura de la molécula de la fotosíntesis, la clorofila), S (forma parte de aminoácidos, proteínas y coenzimas), Fe (se le halla en cloroplastos y enzimas respiratorias), Mn (requerido para la síntesis de clorofila, proporciona estabilidad estructural a las proteínas), Zn (forma parte de varias enzimas y se requiere para la síntesis de ácido indolacético), Cl (función osmótica, interviene en la producción de O_2 durante la fotosíntesis), B (regula el metabolismo de los carbohidratos), Cu (llevar a cabo un cambio en el estado redox, el cual es necesario para que se produzca la reducción del oxígeno), Mo (involucrado en varios sistemas enzimáticos, incluyendo la reducción del nitrato).

Debe tenerse siempre presente la curva de concentración de nutrimentos en el tejido vegetal. La relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrimentos en los tejidos de la planta, siguen un patrón característico. El crecimiento aumenta con los niveles de concentración hasta un punto crítico (A). Más allá de este punto, el incremento de los niveles de los nutrimentos ya no influye en un mayor crecimiento, pero permite un consumo excesivo, o incluso la toxicidad (Landis, 1989).

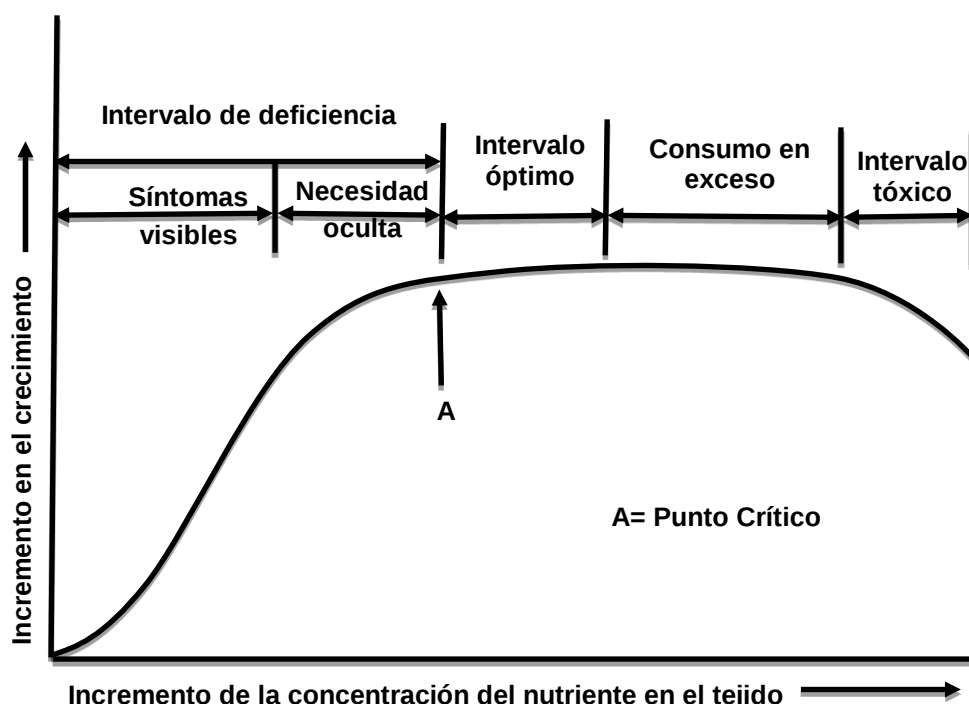


Figura 1. La relación entre el crecimiento de las plantas y los niveles de nutrimentos (Landis, 1989).

4.7 Descripción de *Pinus cembroides* Zucc.

4.7.1 Descripción botánica

Es un Árbol perennifolio, de 5 a 10 m (hasta 15 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de 30 cm (hasta 70 cm); la copa es redondeada y abierta en individuos maduros y piramidal (espaciada) en individuos jóvenes con follaje ralo, sobre todo en sitios muy secos, de color verde oscuro algo azulado, pálido a veces

amarillento. Las hojas están en grupos de 2 a 3, entre 2.5 y 10 cm de longitud, cubren abundantemente las ramitas y dejan una cicatriz en éstas cuando caen; el tronco es corto con ramas ascendentes, delgadas y colocadas irregularmente en el tallo, comenzando casi siempre desde la base (Eguiluz, 1978).

La corteza externa es de color café rojiza a casi negra, se rompe en gruesas láminas, con pequeñas escamas delgadas y fisuras profundas; las flores masculinas son amentos cilíndricos; los conos son subglobosos de 5 a 6 cm de ancho, casi sin pedúnculo, aislados o en grupos de 5, caedizos con escamas grandes gruesas y carnosas cuando están verdes y de color verde café-anaranjadas o rojizas cuando el cono madura. Las semillas son desnudas, subcilíndricas, ligeramente triangulares, sin ala, de 10 mm de largo, café o negruzcas, abultadas en la parte superior y adelgazadas hacia la base. Presenta un sistema radical profundo; siendo de sexualidad monoica (Eguiluz, 1978).

4.7.2 Distribución

Pinus cembroides es uno de los pinos de mayor distribución en México (19 estados). Forma masas puras en la Sierra Madre Oriental al norte del Trópico de Cáncer. Las mayores poblaciones están en: Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo, y Zacatecas. Altitud: 1,350 a 2,800 m.

Aunque también se encuentra en Aguascalientes, Baja California. Norte y Sur, Distrito Federal, Guanajuato, Jalisco, México, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí Sonora, Tamaulipas y Veracruz (Perry, 1991).

4.7.3 Hábitat

Se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, al pie de las montañas. En clima templado seco (Bsk) hasta templado subhúmedo (Cwb) con precipitaciones de 365 a 450 (800) mm anuales y con 7 u 8 meses secos. En Temperaturas que oscilan entre 7 °C hasta 40 °C con promedios de 18 °C; alcanzando mínimas extremas de -7 °C y máximas de 42 °C o a veces mayores.

Es una especie típica de suelos pobres, secos, pedregosos o calizos, grisáceos o negros, calcáreos con alto contenido de yeso, delgados en lomeríos y aluviones en los valles de muy buen drenaje y con pH de 4 a 8, normalmente prefiere los suelos de neutros a alcalinos (Perry, 1991).

4.7.4 Importancia

Los bosques de piñón son muy extensos en ambas cadenas montañosas de la parte norte del país. Conforman una vegetación de transición entre las formaciones xerofíticas de la altiplanicie mexicana y las vertientes internas de las Sierras Madres Oriental y Occidental. Su recolección abastece más del 90% del mercado nacional, su colecta y venta, proporcionan ingresos a una numerosa cantidad de familias. Aunque no es muy común, su madera suave y de veteado agradable llega a utilizarse en la fabricación de muebles rústicos. También se ha sugerido su uso, en proyectos de recuperación de suelos, en huertos familiares e incluso en la reforestación urbana (Eguiluz, 1978).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en el vivero experimental de la División de ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo ubicado a una latitud de 19°29' 46" y longitud de 18° 51" a una altura de 2250 msnm.

La clasificación climática correspondiente a Chapingo de acuerdo con García (1978) es un clima CW con lluvias en verano, siendo julio el mes más lluvioso. La temperatura media anual es de 15° y las extremas promedio son de 24.18°C y 5.97° C siendo mayo el mes más caluroso y diciembre el más frío. Las heladas se presentan de octubre a febrero y parte de marzo. Los vientos dominantes son de dirección NW, su velocidad promedio es de 0.8 m/s y los vientos de máxima intensidad son los de N con 12 m/s.

5.2 Metodología

5.2.1 Calidad del agua

Para el presente estudio primero se realizó el análisis de agua del vivero de la División de Ciencias Forestales. Para ello se procedió a tomar una muestra de agua en un recipiente de plástico con capacidad de 1 L; la muestra se tomó dejando correr el agua del sistema de riego por un minuto y posteriormente se llenó el frasco. Una vez obtenida la muestra fue enviada al laboratorio central de análisis de la Universidad Autónoma Chapingo para su respectiva evaluación, donde realizaron las siguientes determinaciones:

- pH: medida determinada con potenciómetro.
- Conductividad eléctrica (CE): por puente de conductividad
- Calcio (Ca), Magnesio (Mg): mediante espectrofotometría de absorción atómica
- Sodio (Na), Potasio (K): por medio de espectrofotometría de emisión de flama
- Carbonatos (CO_3^{2-}), Bicarbonatos (HCO_3^-): mediante volumetría de ácido sulfúrico
- Cloro (Cl): con volumetría de nitrato de plata
- Sulfatos (SO_4^{2-}): mediante turbidimetría de cloruro de Bario
- Boro (B): mediante fotolorimetría con Azometina H

Esto con la finalidad de saber en qué condiciones de calidad se encontraba el agua de riego utilizada en el vivero. Posteriormente se inició la etapa de establecimiento del experimento. Para el experimento se utilizó la especie de *P. cembroides* Zucc. con un mes de edad, por lo que los tratamientos se iniciaron una vez germinada la semilla, dicho material fue proporcionado por el vivero.

La siembra se realizó en contenedores de 54 cavidades, con capacidad de 170 cm³ por cavidad, con un sustrato a base de turba de musgo (peat moss), vermiculita y agrolita (40, 30 y 30%, respectivamente), adicionado con *Trichoderma harzianum* cepa T-22 KRL-AG2 (PHC[®] T-22[®]) y hongos ectomicorrícicos *Pisolithus tinctorius* (PHC[®] Ecto-Rhyza[®]).

En lo que se refiere al método correctivo utilizado para el presente proyecto de investigación fue el de acidificación, cuyo proceso consistió en preparar un litro de solución al 1% de ácido fosfórico (H₃PO₄) y aplicarlo a la muestra de agua para bajar el pH hasta dejarlo a los niveles deseados, pero para ello fue necesario realizar una serie de pruebas en laboratorio. Estas pruebas consistieron en primera instancia en calibrar el equipo de medición de pH, colocando el electrodo dentro de una solución de calibración pH 7.01, una vez hecho esto, el electrodo es puesto en un vaso de precipitados con agua destilada, después de haber calibrado el instrumento de medición se pasa a la preparación de un litro de solución de ácido fosfórico al 1 %, esta se obtiene vertiendo 788.25 ml de agua destilada en una probeta y posteriormente se le adicionan 11.75 ml de H₃PO₄ en forma lenta (Figuras 2 y 3).



Figura 2. Proceso de acidificación en laboratorio.

Una vez obtenida la solución, se procedió a colocar el litro de agua muestreada en un vaso de precipitado, y con el medidor de pH se realiza la primer lectura. Después se le adiciona 1 ml de la solución al 1% y se le toma la siguiente lectura. Este procedimiento se repite hasta obtener el pH de agua deseado, que para el caso de este estudio fue 5.5. Con base en la cantidad de ml de solución de ácido utilizado para alcanzar el nivel de pH deseado en 1L de agua, se calcula cuánto ácido se aplicará en el agua total a utilizar para los riegos de las plántulas.

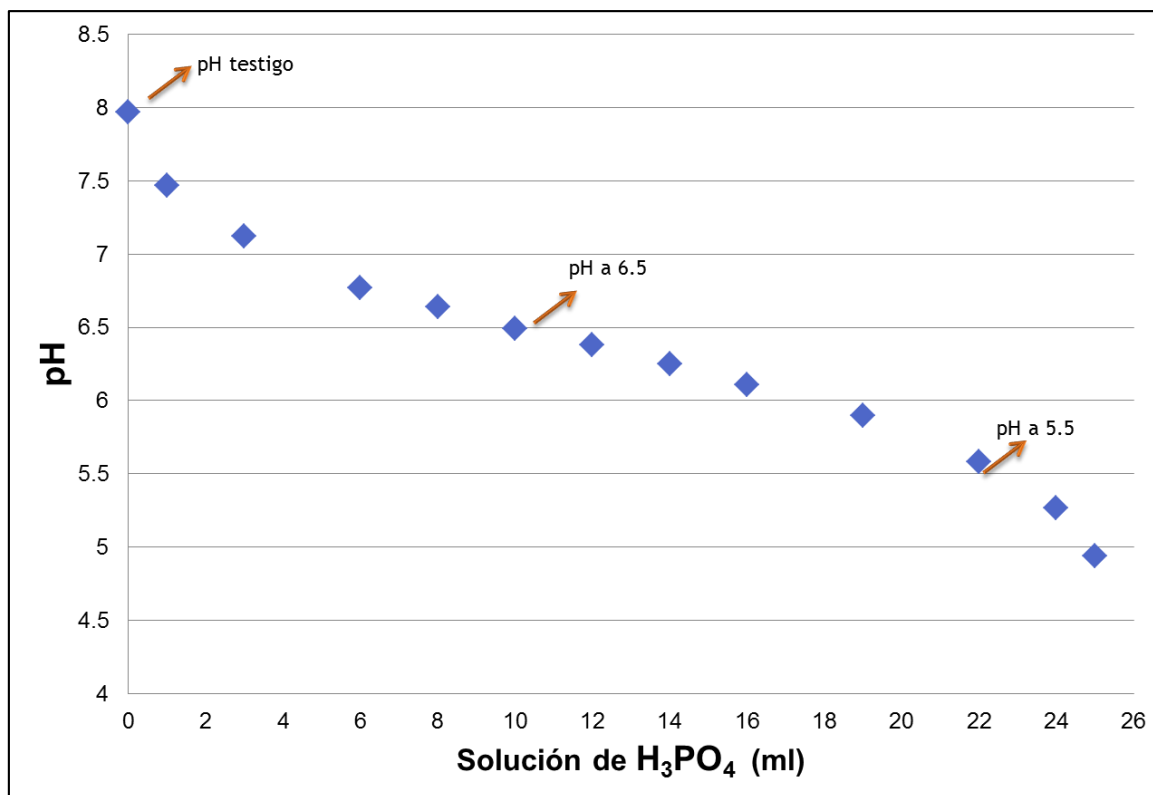


Figura 3. Acidificación de un litro de agua de riego del vivero.

Para el caso de un litro agua de riego tomada del vivero de la División de Ciencias Forestales, obtenida en el mes de Diciembre del año 2011, se necesitó para bajar su pH original, igual a 8, hasta un pH de 5.5. Para ello se aplicaron 21 ml de solución al 1% de H_3PO_4 (Figura 3). Sin embargo, durante la aplicación de riegos en diferentes épocas en el vivero, se hicieron otras determinaciones de la cantidad requerida de solución de H_3PO_4 , con la finalidad de aplicar la cantidad adecuada de ácido fosfórico y mantener el pH requerido para la investigación.

5.2.2 Fertilización

El fertilizante utilizado fue uno de carácter comercial de nombre Peters Professional®, con los siguientes contenidos:

Cuadro 2. Contenido de macro y micronutrientes del fertilizante comercial por etapa.

Nutriente	Iniciador	Desarrollo	Finalizador
Nitrógeno (N)	8%	20%	4%
Fosfato disponible (P ₂ O ₅)	45%	10%	25%
Potasio Soluble (K ₂ O)	14%	20%	35%
Magnesio (Mg)	0.10%	0.15%	0.30%
Boro (B)	0.0068%	0.025%	0.025%
Cobre (Cu)	0.0036%	0.025%	0.06%
Hierro (Fe)	0.05%	0.10%	0.40%
Manganeso (Mn)	0.025%	0.05%	0.06%
Molibdeno (Mo)	0.0009%	0.01%	0.005%
Zinc (Zn)	0.0025%	0.05%	0.06%
Azufre (S)	-	-	2.0%

En el Cuadro 3 se describen las dosis de fertilización utilizada en los diversos tratamientos empleados, considerando como base la concentración de nitrógeno.

Cuadro 3. Tratamientos y dosis de fertilización utilizadas por fase de desarrollo.

Tratamientos		Concentración (ppm)		
pH del agua	Fertilización	Iniciador (N-P-K)	Crecimiento rápido (N-P-K)	Finalizador (N-P-K)
1) 8.0	Baja (F1)	(50-123-73)	(100-22-83)	(15-41-109)
2) 8.0	Alta (F2)	(50-123-73)	(150-33-125)	(30-82-218)
3) 5.5	Baja (F1)	(50-123-73)	(100-22-83)	(15-41-109)
4) 5.5	Alta (F2)	(50-123-73)	(150-33-125)	(30-82-218)

5.2.3 Mantenimiento del experimento

Una vez establecido el diseño experimental se procedió a realizar los riegos en forma manual, siendo un promedio de tres riegos por semana. La aplicación del fertilizante inicializador se mantuvo por ocho semanas, el de crecimiento rápido por 24 semanas y el finalizador por seis semanas.

En el proceso de desarrollo de la fase de experimentación se estuvo monitoreando todo el tiempo la variación de los niveles de pH contenidos en el agua de riego utilizada, con el fin de adecuar las dosis de solución de ácido fosfórico requerido para mantener el pH deseado y necesario para el presente proyecto y no existieran variación que pudiesen afectar los resultados.

5.2.4 Calidad de planta

Una vez concluido el tiempo necesario para el desarrollo óptimo de la planta en contenedor, se procedió a realizarles una serie de análisis, tomando en cuenta ciertos atributos e índices de calidad, los cuales fueron atributos morfológicos, índices morfológicos y concentración foliar de nutrimentos.

Atributos morfológicos:

Diámetro del cuello de la plántula: para esta medición se utilizó un vernier con aproximación a centésimas de milímetros.

Altura de plántula: considerando la medición desde el cuello de la plántula hasta la yema apical de la misma. Para su medición se utilizó una regla graduada con aproximación a milímetros.

Biomasa aérea. Para ello las muestras fueron secadas en horno a 70 °C, hasta obtener peso constante en ellas. Se usó balanza analítica (Figura 4).

Biomasa de la raíz. Para ello las muestras fueron secadas en horno a 70 °C, hasta obtener peso constante en ellas. Se usó balanza analítica.

Biomasa total: para obtener esta variable, se sumó el peso seco de la parte aérea y de la radical.

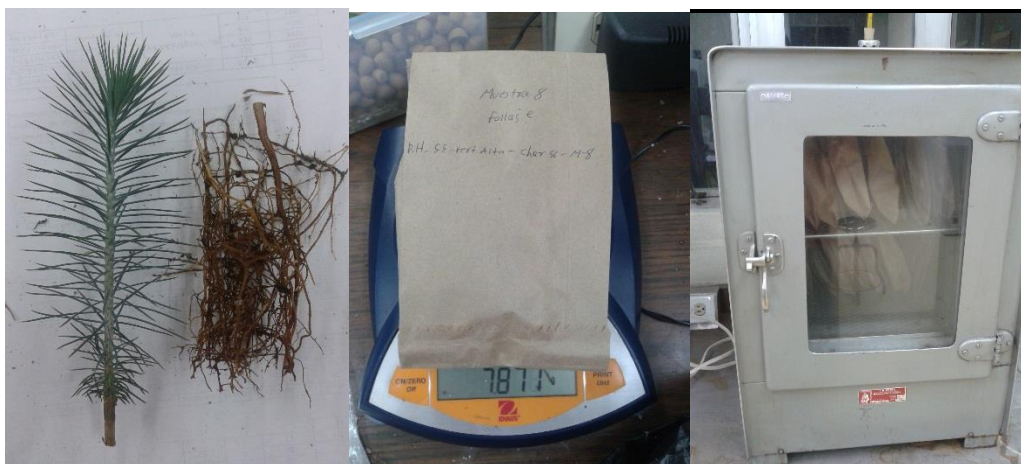


Figura 4. Análisis de muestras en laboratorio.

Índices de calidad:

Índice de esbeltez (IE): este índice define la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro (mm); este índice se determina así (Duryea, 1985):

$$(IE) = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Índice de calidad de Dickson (ICD): es un modelo propuesto por Dickson et al., (1960), citados por Rodríguez (2008):

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}}$$

Índice de lignificación: con este índice se determinó el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas y se obtiene con la siguiente relación (Prieto et al., 2004):

$$\text{Índice de lignificación (IL)} = \frac{\text{Peso total seco (gr)}}{\text{Peso total húmedo (gr)}}$$

Análisis nutrimental de la planta:

Para este análisis se tomaron 8 muestras por tratamiento, las cuales fueron recolectadas en forma aleatoria de cada unidad experimental. Se tomó toda la parte aérea de la planta, se separó el follaje. Una vez realizado lo anterior, como se muestra en la Figura 4 las muestras fueron secadas en la estufa del laboratorio de la DICIFO a una temperatura de 70°C y una vez secas se llevaron al Laboratorio Central de Suelos. Donde se realizó el análisis de 9 nutrimentos minerales (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B,).

5.2.5 Diseño experimental

Para la fase de vivero se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, propuesto de la siguiente forma (Figura 5). El factor de bloque tomado en consideración para elegir este diseño, es debido al efecto de borde que se llega a presentar con las plantas que se encuentran en las orillas, pudiendo tener en ocasiones ciertos efectos en su crecimiento.

B1	T ₁ (UE ₁)	T ₂ (UE ₂)	T ₃ (UE ₃)	T ₄ (UE ₄)
B2	T ₃ (UE ₅)	T ₄ (UE ₆)	T ₁ (UE ₇)	T ₂ (UE ₈)
B3	T ₄ (UE ₉)	T ₁ (UE ₁₀)	T ₂ (UE ₁₁)	T ₃ (UE ₁₂)
B4	T ₂ (UE ₁₃)	T ₃ (UE ₁₄)	T ₄ (UE ₁₅)	T ₁ (UE ₁₆)

Figura 5. Diseño experimental.

Los tratamientos son:

T₁= Agua con pH de 8*, testigo, más Fertilización baja (F₁) con 100 ppm de N

T₂= Agua con pH de 8, testigo más Fertilización alta (F₂) con 150 ppm de N

T₃= Agua con pH de 5.5 más F₁ (100 ppm de N)

T₄= Agua con pH de 5.5 más F₂ (150 ppm de N)

*Tal fue el valor del pH del agua de riego, pero varió ligeramente a lo largo del experimento, según se describe en Resultados.

Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales (UE) estuvieron constituidas por 54 plántulas en arreglos de 6 X 9, debido a la disposición y cantidad de cavidades por charola.

Análisis estadístico

Una vez obtenidos los datos, se procedió a llevar a cabo el análisis de varianza, con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, versión 9.0) y la prueba de comparación de medias por el Método de Fisher's LSD (diferencia mínima significativa), con un nivel de significancia de 5 %.

Modelo estadístico

El modelo para el análisis de los datos para dos factores, es el siguiente (Said y Zárate, 2000):

$$y_{ijk} = \mu + \beta_k + \tau_i + \Gamma_j + (\tau\Gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \quad i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, b; k = 1, \dots, r;$$

donde:

y_{ijk} = respuesta observada de la combinación i -ésimo nivel del factor pH del agua con el j -ésimo nivel del factor fertilización en el k -ésimo bloque,

μ = media general de la respuesta,

τ_i = efecto del i -ésimo nivel del factor pH de agua,

Γ_j = efecto del j -ésimo nivel del factor fertilización,

β_k = efecto del k -ésimo bloque,

$(\tau\Gamma)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del factor pH del agua y el j -ésimo nivel de fertilización y

ε_{ijk} = error experimental.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 pH del agua de riego

Como parte de los resultados obtenidos y partiendo del primer análisis de agua realizado al inicio de la fase de experimentación que fue en el mes de Diciembre de 2011 hasta Noviembre de 2012 se tuvieron las siguientes variaciones en promedio de pH del agua:

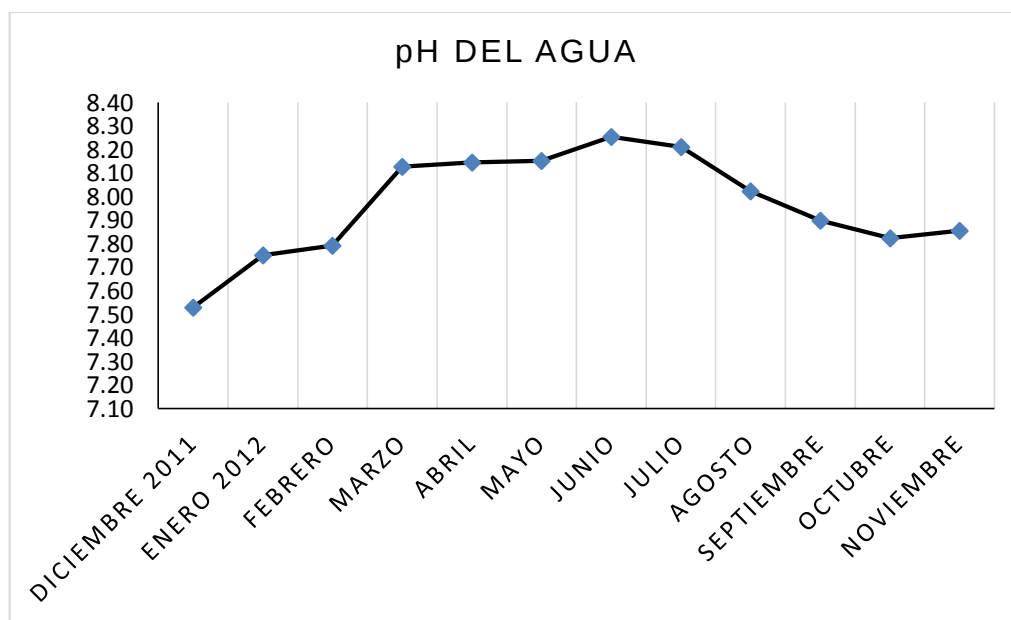


Figura 6. Comportamiento del pH del agua de riego.

Los niveles de pH del agua de riego siempre fueron tomados en forma inmediata y previo a la aplicación del riego durante todas las fases de desarrollo de la planta en vivero, esto con la finalidad de disminuir cualquier posible variación en la lectura del mismo, como se puede observar el pH del agua se mantuvo en estándares alcalinos en lo que concierne a todo el periodo de la fase experimental, presentando los niveles más altos en el periodo primavera-verano.

La variación, del pH del agua, entre 7.5 a 8.2, representa 9.3 % del mínimo y 8.5 % del máximo, con una media igual a 7.96. Trasciende que durante la primavera los valores fueron elevados, pero incrementaron aún más durante la primera mitad del verano, para reducirse gradualmente en la segunda (Figura 6). Siguieron los menores valores de pH en el otoño e invierno, esto puede deberse a que en la segunda mitad de verano y en otoño son las épocas donde se presenta la mayor cantidad de precipitación pluvial que comprende de junio a octubre, por lo cual aumenta la infiltración de sales en el suelo.

Es importante recordar que la lectura de pH es un síntoma y no una causa: un elevado pH indica la presencia de iones accesorios como CO_3^{2-} o HCO_3 . Aunque las especies forestales son capaces de tolerar un intervalo relativamente amplio de valores de pH, está bien documentado que las coníferas crecen mejor con un pH alrededor de 5.5, ya que fuera de estos límites las plántulas no muestran desarrollos satisfactorios, mientras que varias latifoliadas prefieren un valor ligeramente mayor de 6.5. Es recomendable mantener la solución del medio de crecimiento dentro de un intervalo de media unidad de pH hacia arriba y hacia abajo de estos valores objetivo recomendados (Beristain, 1980).

6.2 Indicadores morfológicos

En cuanto a la evaluación de los indicadores morfológicos, en el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos. Estadísticamente no existieron diferencias significativas entre tratamientos, en lo que concierne a las variables altura, diámetro, índices de robustez, lignificación, Dickson, peso seco parte aérea, raíz, total y relación peso seco parte aérea entre peso seco raíz.

Gallegos (1989), en plantas de *Pinus cembroides* determinó el efecto del sustrato y la dosis de fertilización. La fertilización presentó efecto significativo en las variables de crecimiento en diámetro, altura y número de ramas y no significativo para las variables peso seco aéreo y radicular, y en la relación peso seco aéreo/raíz. Los tratamientos que dieron los mejores resultados fueron: 100-300

para diámetro, 300-100 para altura y 100-200 Kg de urea y superfosfato/ha en el número de ramas

Quiroz *et al.*, (2009), consideran que el valor de esbeltez no debe ser mayor a seis, para que la planta esté equilibrada. Según este criterio para *P. cembroides* en los cuatro tratamientos se pueden considerar de calidad óptima ya que presentaron un valor promedio de 4.08 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados obtenidos en lo que respecta a los atributos morfológicos.

Tratamiento*	Altura promedio	Diámetro promedio	Índice de esbeltez	Índice de lignificación	Índice de Dickson	Peso seco parte aérea	Peso seco raíz	Peso seco total	Relación peso seco parte aérea/peso seco raíz
	(cm)	(cm)	(cm/mm)			(gr)	(gr)	(gr)	
T1	18.15a	4.45a	4.13a	0.60a	1.95a	5.56a	4.68a	10.24a	1.18a
T2	18.15a	4.62a	3.96a	0.63a	2.1a	5.68a	4.90a	10.58a	1.15a
T3	18.9a	4.54a	4.21a	0.61a	1.96a	5.53a	4.79a	10.32a	1.15a
T4	19.3a	4.84a	4.02a	0.64a	2.05a	5.74a	4.77a	10.51a	1.20a

*T1: Referido a la aplicación de agua normal con 50 ppm de N en fase inicial, 100 ppm en fase de crecimiento y 15 ppm en fase de endurecimiento. T2: Aplicación de agua normal con 50 ppm de N en fase inicial, 150 ppm en fase de crecimiento y 30 ppm en fase de endurecimiento. T3: Aplicación de agua con pH 5.5, aplicando una fertilización de 50 ppm de N en fase inicial, 100 ppm en fase de crecimiento y 15 ppm en fase de endurecimiento. T4: Aplicación de agua con pH 5.5, aplicando una fertilización de 50 ppm de N en fase inicial, 150 ppm en fase de crecimiento y 30 ppm en fase de endurecimiento.

La misma letra en una columna, denota que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Como se muestra en la relación peso seco parte aérea entre peso seco raíz, denota un valor mayor a uno, significando que la biomasa aérea es mayor que la biomasa subterránea. Esta relación no debe ser mayor a 2.5 particularmente cuando la planta se llevará a sitios con escasa precipitación (Thompson, 1985). Como se muestra en el Cuadro 4 en ninguno de los tratamientos supera dicha relación, siendo para el caso de *P.cembroides* un promedio de 1.17.

Con base a los resultados obtenidos en los indicadores morfológicos, se puede decir que no se muestran diferencias aparentemente significativas en los cuatro tratamientos utilizados.

Lo cual podría interpretarse estadísticamente, como el hecho de que los cambios en el nivel del pH del agua de riego, no tiene un efecto determinante en el desarrollo de la planta, en cuanto a los índices morfológicos descritos con anterioridad.

6.3 Concentración nutrimental foliar

Como siguientes resultados están los análisis llevados a cabo a las muestras del follaje de *P. cembroides*, realizados en laboratorio, y los cuales se presentan en forma resumida en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de concentración de nutrimentos en el follaje de *P. cembroides*. Las concentraciones mínima y máxima, fueron tomadas de Landis (1985).

Nutrimentos	Unidades	Concentración*		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

*Fuente: Modificado por Landis (1985).

** La misma letra en una columna, denota que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Es de esperarse que una planta bien nutrida tendrá mejor vigor y supervivencia comparada con una mal nutrida. De lo anterior se deriva la utilidad de la concentración de nutrimentos como estimador de calidad de planta. No obstante, un árbol puede estar bien nutrido pero tener un sistema radical deficiente, por lo que esta opción no debe considerarse sin tomar en cuenta indicadores morfológicos de calidad (Rodríguez, 2008).

Partiendo de los resultados mostrados en el Cuadro 5 y los niveles óptimos tomados como referencia, en ninguno de los tratamientos empleados se obtuvieron deficiencias de nutrimentos en el follaje de la especie evaluada en cuanto a la concentración promedio. Sin embargo, en los párrafos subsecuentes se expresan los resultados obtenidos por nutrimento, comenzando con los macronutrientes y posteriormente los micronutrientes. Haciendo énfasis que para el análisis de varianza y las interacciones de los nutrimentos con el pH del agua fueron en base a la dosis de fertilización utilizada en la etapa de endurecimiento.

6.3.1 Nitrógeno

El análisis de varianza, el nutrimento nitrógeno no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p=0.8701$) en cuanto a los tratamientos aplicados (Cuadro 6). Por lo que el hecho de bajar los niveles del pH del agua y el cambio en dosis de fertilización no proporciona un mayor aumento o disminución considerable en la concentración de dicho nutrimento en el tejido vegetal.

Cuadro 6. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento nitrógeno.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamiento	Media
NITROGENO	0.112	0.037	0.240	0.8701	T4	1.65a
					T1	1.65a
					T2	1.63a
					T3	1.51a

Interacción nitrógeno-pH del agua de riego

Se observó una interacción no significativa ($p=0.6065$), que no denota cambios en la concentración de este nutriente con pH de agua de riego elevado. No obstante, con el pH ajustado a 5.5, la fertilización más baja arrojó menor concentración de N foliar en las plantas, que la más alta. El efecto del pH del suelo en el suelo ha sido largamente estudiado. Existen cartas que muestran la disponibilidad de los nutrientes a diferentes niveles de pH del suelo (Figura 7).

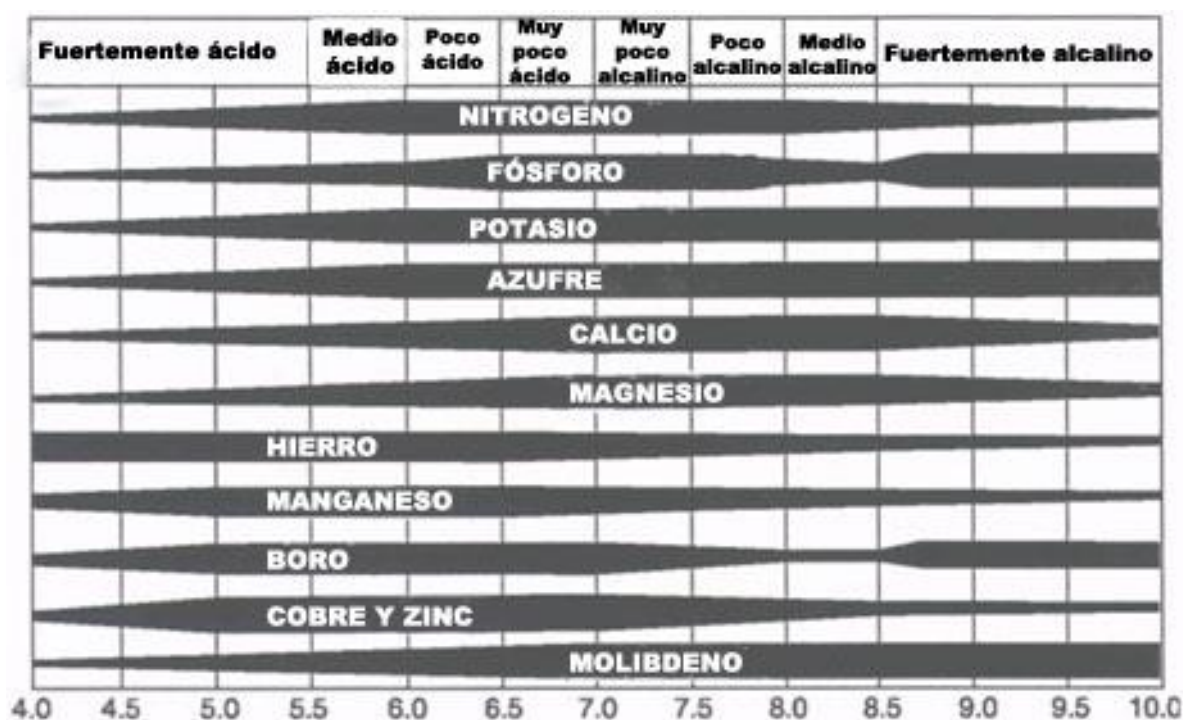


Figura 7. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de los nutrientes (Lambers et al., 1996).

Los brinzales que son producidos en contenedores, toman sus nutrientes de la solución de agua en el sustrato, que lleva los nutrientes diluidos en el agua. Recuérdese que los sustratos básicamente son infértiles y que tal es una propiedad deseable en ellos. De esta forma, el viverista puede gobernar la concentración nutrimental en todo momento. Es realmente de la solución del

suelo de la que se nutren los árboles en el vivero de contenedores. Por ello se puede hacer una equiparación entre el pH de los suelos, que casi siempre tienen cierto nivel de humedad, con el del agua de riego que se usa en los viveros, para hacer comparaciones sobre la disponibilidad de nutrimentos y su concentración foliar. Esta será la base para la discusión de las interacciones entre fertilización y agua de riego, para el N y los demás nutrimentos.

La concentración promedio del nitrógeno en el follaje de las muestras de *P. cembroides* utilizadas en los cuatro tratamientos, permanecen en los niveles óptimos, siendo para el tratamiento donde se ajustó el pH del agua de riego a 5.5 y con la dosis de fertilización baja la que presento la menor concentración de este nutrimento, pero sin llegar a los niveles de deficiencia.

La literatura muestra diversas relaciones entre concentraciones de nitrógeno y supervivencia, con relación directa positiva para *Pinus elliotti* var *elliotti* (Irwin *et al.*, 1998). En otras especies la mayor fertilización con nitrógeno puede afectar la supervivencia. Tal es el caso de *Pinus contorta* (Etter, 1969). Pero también puede no haber relación entre dicha práctica y la supervivencia, como en *Pinus palustris* (Rodríguez, 2000; Jackson *et al.*, 2012).

Por lo que es necesario el realizar más pruebas para determinar hasta qué punto el nitrógeno puede ser un buen indicador de supervivencia en campo y con ello determinar que tratamientos y las dosis de fertilización serían la más convenientes para la obtención de una planta de calidad, y para el caso que nos concierne determinar cuál de los tratamientos empleados en este proyecto presenta las mejores tasas de supervivencia en campo.

6.3.2 Fósforo

El análisis de varianza para el nutrimento fósforo ($p=0.1171$) no mostró diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 7). No presentándose aumentos o disminuciones considerables estadísticamente en la concentración del nutrimento a efecto de los cambios en los niveles bajos de pH del agua de riego.

Cuadro 7. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento fósforo.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamientos	Media
FÓSFORO	0.234	0.078	2.140	0.1171	T1	0.86875a
					T2	0.80625a
					T3	0.6925a
					T4	0.65625a

Los sustratos artificiales utilizados en la producción de planta en contenedor contienen poco fósforo, aunque la turba y la vermiculita tienen elevada capacidad de intercambio catiónico, esto no afecta a los iones de fosfato cargados negativamente. Existe información de que la vermiculita tiene limitada capacidad de intercambio de aniones. Por lo tanto, un porcentaje muy elevado de fósforo aplicado al sustrato del contenedor siguen solubles y disponibles para las plantas. La desventaja es que el fósforo se lixivia muy fácilmente por las altas cantidades de agua utilizada en los viveros con producción en contenedor. Por lo cual, es necesario que los encargados de los viveros deben suministrar continuamente fósforo para lograr rápidas tasas de crecimiento deseadas para dicho sistema de producción (Landis, 1989).

En los cuatro tratamientos el porcentaje de concentración en el follaje excedió los niveles adecuados que son del 0.2 % al 0.6% (Cuadro 5). Siendo en el pH alcalino donde existió una concentración más elevada con respecto a los tratamientos en los cuales se aplicó ácido fosfórico para bajar los niveles de pH del agua.

Como se puede ver, con la aplicación del ácido fosfórico para reducir el pH del agua de riego, se podría esperar que las plantas con dichos tratamientos fueran las que obtuvieran los promedios más elevados en concentración, sin embargo no fue así. Van den Driessche (1984), con *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* entre sus diversos tratamientos, considero la aplicación de ácido fosfórico, como fuentes de P en el vivero, pero fue uno de los que no proporciono ventajas en cuanto a fuente de dicho nutrimento, caso similar al encontrado en el presente trabajo.

Arteaga y Zenil (2005), en *Pseudotsuga macrolepis* aplico superfosfato de calcio simple a diferentes dosis (0-0.36 g/planta) bajo condiciones de vivero, analizó las variables de longitud de la raíz principal, número de raíces secundarias, biomasa aérea y radicular, relación peso seco aéreo/raíz. Además de evaluar el establecimiento en campo las variables de crecimiento en diámetro del hipocotilo, altura y supervivencia. Donde el efecto del fósforo en todas las variables evaluadas fue estadísticamente no significativo, caso similar al del presente trabajo. Considerando que fue adicionado fósforo por medio del agua de riego en los tratamientos en los que se aplicó ácido fosfórico.

Con base a los resultados presentados, se podría plantear que aun manteniendo los niveles de pH ligeramente ácidos por medio de la aplicación de ácido fosfórico, esto permitirá mantener una mayor cantidad disponible en el sustrato de este nutrimento. Sin embargo, esto no asegura su absorción por parte de la planta, pues influyen otros factores como el medio de crecimiento y la capacidad de intercambio catiónico del mismo.

Niveles intermedios de pH a los usados en el presente trabajo, son los que arrojan la mayor disponibilidad de P (Lambers *et al.*, 1996), por lo cual no se observaron diferencias (Figura 7). Sin embargo, tales autores señalan que el pH del suelo afecta el estado de oxidación y la solubilidad del fósforo y, con ello, su disponibilidad.

6.3.3 Potasio

Para el caso de las muestras evaluadas para el potasio en el Cuadro 8 muestran la existencia de diferencias altamente significativas ($p=0.0002$). Esto con respecto al pH del agua y fertilización, puesto que el tratamiento al cual se le aplicó ácido fosfórico y con una dosis de fertilización alta fue la que obtuvo una mayor concentración promedio del nutrimento, sin sobrepasar los niveles óptimos que van del 0.7% al 2.5 % (Cuadro 5).

Cuadro 8. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento potasio.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamientos	Media
POTASIO	4.078	1.359	9.460	0.0002	T4	2.2525a
					T2	1.9663a
					T3	1.4388b
					T1	1.4112b

El potasio es el único macronutriente que no es un componente de la estructura de la planta, pero tiene importantes funciones metabólicas. El potasio es necesario para las numerosas reacciones enzimáticas incluyendo la síntesis de almidones y proteínas. Quizás su papel más importante es la apertura y cierre de estomas, que controla la pérdida del agua, la absorción de dióxido de carbono, y el intercambio de gases (Gil, 1995; Binkley, 1993).

Interacción potasio y pH del agua de riego

Esta interacción fue significativa ($p=0.0046$). Se observa que, para ambos niveles de pH, la mayor fertilización redujo en una mayor concentración foliar del nutrimento. El pH 5.5 implicó una respuesta mayor en la concentración foliar de este nutrimento, que el pH 8. Esta tendencia no es similar a la de la Figura 7, en la cual la mayor disponibilidad de este nutrimento, es mayor en pH en torno a 8, que la de aquél en torno a 5.5.

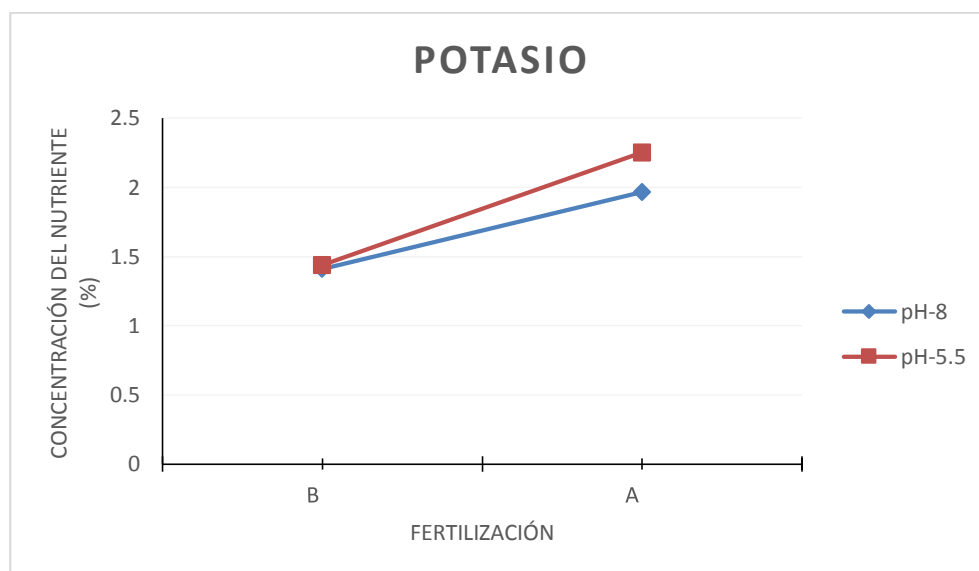


Figura 8. Concentración promedio de potasio en follaje de *P. cembroides*.

Como se puede observar en la Figura 8, se obtuvo una mayor concentración de K en los tratamientos con las dosis de fertilización alta. No obstante existiendo la concentración mayor en el tratamiento donde el pH se ajustó a 5.5. Esta tendencia es similar a la que se presenta en ciertos suelos minerales, donde la disminución del pH (por debajo de 7) resultan en el aumento de la disponibilidad de P y otros micronutrientes (Buamscha et al., 2007). Estos autores señalan, como posible efecto de ciertos ácidos orgánicos liberados por la descomposición en años de corteza de *Pseudotsuga menziesii* lo cual le redujo el pH, causándoles un incremento en la disponibilidad de P, Ca, B y Fe.

Dicho nutrimento es indispensable en fase de endurecimiento, por lo cual es indispensable se mantengan sus concentraciones en los niveles óptimos, debido a que dentro de las funciones principales está la apertura y el cierre de estomas, lo que se relaciona con resistencia a la sequía y a las heladas (Binkley, 1993).

A su vez, el potasio puede ser acumulado en los tejidos en crecimiento activo como puntas de raíces, mejorar absorción y retención de agua; entonces para el caso del establecimiento de la planta en campo es fundamental que la planta contenga la mayor concentración posible de dicho nutrimento con la finalidad de optimizar el agua.

6.3.4 Calcio

La concentración promedio de calcio en el follaje presento diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0922$) en los tratamientos aplicados con un nivel de significancia del 10% (Cuadro 9). Por lo que el bajar los niveles del pH del agua y el cambio en dosis de fertilización proporciona cambios en la concentración de dicho nutrimento en el tejido vegetal. Como puede observar el tratamiento con el pH de 5.5 y fertilización alta fue la que obtuvo en promedio la mayor concentración en el follaje sin pasar los niveles óptimos que van de 0.3% al 1% (Cuadro 5).

Cuadro 9. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento calcio.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Media	Media
CALCIO	0.946	0.315	2.370	0.0922*	T4	0.775a
					T1	0.3913b
					T3	0.385b
					T2	0.36b

*Nivel de significancia del 10% ($p<0.10$).

De hecho ninguna de las concentraciones promedios de las muestras por cada tratamiento superó los niveles, todos se mantuvieron en el rango. Sin embargo, como se ha indicado entre mejor nutrida este la planta se espera una mejor respuesta ante su establecimiento en campo.

Interacción Ca y pH del agua de riego

Con un pH elevado de agua de riego, no hubo cambios en la concentración de Ca por efecto de la fertilización. No obstante, con un pH bajo, la fertilización alta implicó la duplicación de la concentración de este elemento en el follaje de los brinzales (Figura 9). Una tendencia similar a esta última, se observa en el la relación entre pH del suelo y la disponibilidad de Ca (Figura 7).

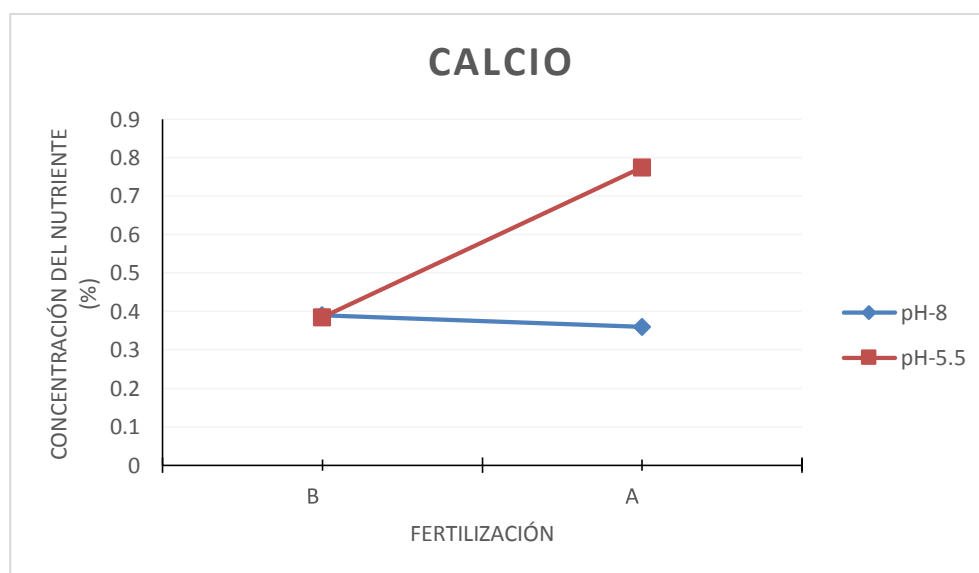


Figura 9. Concentración promedio de calcio en follaje de *P. cembroides*.

Tal como se muestra en la Figura 9, se mantienen los niveles adecuados del calcio en lo que respecta a la concentración en el follaje, solamente presentando una concentración mayor en el tratamiento cuatro, en cuyo caso es donde se mantuvo el pH del agua a 5.5, donde se podría suponer el pH del sustrato se encontrara en valores tendientes a ácidos y que la disponibilidad y asimilación de dicho nutrimento sería menor comparado con lo que indica la literatura y en la cual

se establece su mayor disponibilidad y asimilación en suelos con pH de 7 a 8.5 (Lindsay, 1979).

Argo (1998) citado por Altland y Buamscha (2008) sostuvieron que el pH bajo no reduce la disponibilidad de Ca. Caso similar al encontrado en los presentes resultados. Altland y Buamscha (2008) señalan que la disponibilidad del Ca está en función del tipo de cal y la tasa, y no en función del pH.

6.3.5 Magnesio

El magnesio, en los resultados obtenidos fue otro de los nutrimentos que mostró diferencias significativas ($p=0.0744$) con un nivel de significancia del 10%. La concentración de dicho nutrimento en el tejido vegetal, alcanza su máximo con pH de agua de riego igual a 5.5 y fertilización alta. El magnesio se halla, en el suelo, en la solución nutritiva, como forma libre, adsorbido a las micelas, como forma intercambiable, y fijo en las arcillas y en minerales primarios. El mayor reservorio se encuentra en los silicatos magnésicos, en forma no disponible hasta tras su descomposición (Gil, 1995).

Cuadro 10. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento magnesio.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamiento	Media
MAGNESIO	0.031	0.010	2.570	0.0745	T4	0.245a
					T1	0.1825b
					T3	0.17375b
					T2	0.1675b

Interacción magnesio y pH del agua de riego

Con respecto a la interacción se observó que no fue significativa ($P=0.1273$), no existiendo cambios de dicho nutrimento con el cambio de los niveles de pH del

agua de riego. Sin embargo, con el pH ajustado a 5.5, la fertilización más alta arrojó mayor concentración de Mg foliar en las plantas.

Con respecto al Mg, los cuatro tratamientos se mantuvieron en los niveles de concentración óptimos 0.1% a 0.3 % (Landis, 1985). Resultando ser las muestras de follaje de *P. cembroides* con el tratamiento número cuatro las que tienen una mayor concentración, aun cuando en dicho tratamiento se aplicó ácido fosfórico hasta bajar los niveles del pH del agua a niveles de 5.5, no afectando así la asimilación de dicho nutrimento.

Considerando los niveles bajos de magnesio y de otros nutrimentos en lo que respecta a los sustratos utilizados en la producción de planta en contenedor, se recomienda adicionar fertilizantes solubles y/o piedra caliza dolomítica, esto con la finalidad de abastecer las necesidades de magnesio de la planta.

6.3.6 Cobre

Con respecto a los resultados plasmados en el Cuadro 9, el análisis de varianza muestra una diferencia significativa ($p=0.0929$) con un nivel de significancia del 10%, sólo siendo diferentes entre sí, el tratamiento cuatro y el tratamiento uno. Por lo que el cambio de los niveles de pH del agua ejerce cierto efecto en la concentración de este nutrimento. Siendo más evidente en el tratamiento con pH de agua ajustado a 5.5 y con dosis de fertilización elevada.

Gil (1995) señala que al igual que otros cationes divalentes, este nutrimento se absorbe 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. Como el hierro, el cobre decrecienta gradualmente su disponibilidad en los suelos alcalinos y solamente se encuentra en proporciones abundantes entre pH 5 y 7.

Sin embargo, en los cuatro tratamiento se mantuvieron los niveles óptimos del nutrimento que van de 4 a 20 ppm (Cuadro 5).

Cuadro 11. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento cobre.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamiento	Media
COBRE	52.304	17.435	2.360	0.0929	T4	9.298a
					T2	7.859ab
					T3	6.829ab
					T1	5.846b

Interacción cobre y pH del agua de riego

La interacción del cobre con el pH del agua de riego no fue significativa ($P=0.1293$). En cuanto a la disponibilidad de cobre, como la del hierro, zinc, y manganeso, son en gran parte dependientes del pH (Lindsay, 1979). Debido a que se requiere mantener el pH del suelo y del medio de crecimiento para el caso de la producción de planta en contenedor entre 5.0 y 6.5 para evitar problemas de deficiencia o problemas de toxicidad por Cu.

Como el hierro, el cobre disminuye gradualmente su disponibilidad en los suelos alcalinos como se muestra en la figura 7 y solamente se encuentra en proporciones abundantes entre pH 5 y 7 (Gil, 1995).

En los dos tratamientos con dosis de fertilización alta, presentaron las mayores concentraciones en el follaje. No obstante, con un pH bajo, la fertilización alta implicó la mayor concentración de este elemento en el follaje de los brinzales. Una tendencia similar a esta última, se observa en la relación entre pH del suelo y la disponibilidad de Cu (Figura 7).

6.3.7 Zinc

En el análisis de varianza realizado con respecto al nutrimento zinc mostro diferencias altamente significativas ($p < .0001$) en el Cuadro 12. Por lo cual se tiene que dicho nutrimento se ve influenciado por el pH del agua utilizado y la dosis de fertilización aplicada.

Cuadro 12. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento zinc.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamiento	Media
ZINC	4264.978	1421.659	14.740	<.0001	T3	135.233a
					T2	125.245ab
					T4	122.655b
					T1	103.355c

Interpretándose entonces que en este caso, que el ajustar los niveles del pH del agua a 5.5 y con la dosis de fertilización baja, se obtuvo la mayor concentración del nutrimento Zn en el follaje vegetal.

Con lo cual se observa dicha tendencia y comportamiento similar en la Figura 7, referente a la mayor disponibilidad de dicho nutrimento que van en pH de 5 y 7.5 (Lambers, 1996; Gil, 1995).

Interacción zinc y pH del agua de riego

Se observó una interacción significativa ($P=0.0394$), que denota cambios en la concentración de este nutrimento con pH de agua de riego elevado y dosis de fertilización baja. Sin embargo, para el caso de pH ajustado a 5.5 y fertilización alta presentó concentraciones similares a las encontradas con agua normal y dosis de fertilización elevada (Figura 10).

Esta tendencia también corresponde con la mostrada en la figura 7, con una mayor disponibilidad de este nutrimento al nivel bajo de pH, en comparación con el nivel alto.

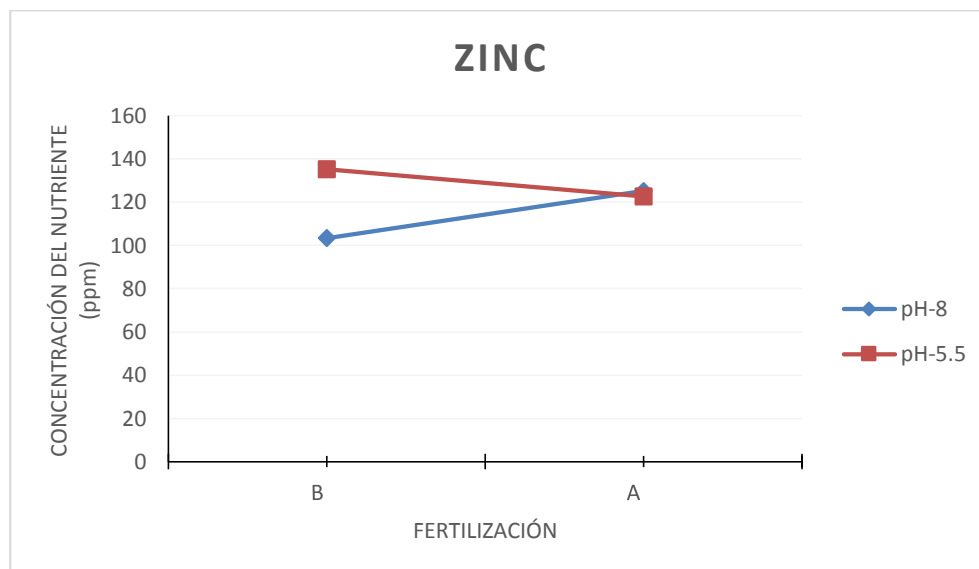


Figura 10. Concentración promedio de zinc en follaje de *P. cembroides*.

El mantenimiento de un pH ligeramente ácido en el suelo o medio de cultivo es necesario para tener una buena disponibilidad de Zn, tal como se observa en la Figura 7 y, en comparación con los resultados encontrados en el presente trabajo en relación al pH es parecida a la del hierro, siendo más disponible este nutrimento en pH bajos (Gil, 1995).

Si existieran deficiencias de Zn, estas son relativamente fáciles de contrarrestar, ya sea con fertilizantes de sulfato de zinc o quelato. Debido a que el equilibrio de micronutrientes es tan importante, los productores deben considerar el uso de una mezcla adecuada de micronutrientes para prevenir tanto las deficiencias o toxicidades. Para nuestro caso todos los tratamientos proporcionaron las concentraciones de nutrimento adecuado, que va de 30 a 150 ppm (Cuadro 5).

6.3.8 Manganeso

Para el análisis de varianza de las concentraciones de Mn en follaje (Cuadro 13), existieron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0786$) con una significancia de 10%. Por lo que los cambios en las dosis de fertilización y el ajuste del pH del agua presentan ciertos aumentos y disminuciones en la concentración de este nutriente en el follaje vegetal.

Cuadro 13. Análisis de varianza y comparación de medias del nutriente manganeso.

Nutriente	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamiento	Media
MANGANESO	4402.284	1467.428	2.520	0.0786	T2	400.53a
					T4	390.93ab
					T1	377.3ab
					T3	370.34b

Al igual que la concentración de Hierro en el follaje de *P. cembroides*, con respecto al manganeso se presenta un comportamiento similar, esto debido a que en los cuatro tratamientos aplicados a las plantas, estas respondieron con niveles que exceden los óptimos, siendo para el caso del manganeso el rango de 100 a 200 ppm (Cuadro 5). Solo que para este caso las concentraciones mayores en el follaje, no fueron las correspondientes a los tratamientos con los niveles de pH del agua bajos, pues la correspondiente al tratamiento con agua normal y con fertilización alta la que presentó la mayor concentración.

Interacción manganeso y el pH del agua de riego

Para esta interacción no se tuvo diferencias estadísticamente significativas ($P=0.6743$). No obstante, en los tratamientos con las dosis en fertilización alta, fueron donde las concentraciones del nutriente Mn en el follaje fueron mayores.

Sin embargo, en la disponibilidad de este nutrimento, es en gran parte dependiente del pH del suelo, pero para este caso su mayor asimilación fue con pH de agua alcalino y con la fertilización más alta. No siendo así, como se observa en las tendencias de la Figura 7, en donde la mayor disponibilidad de este nutrimento, es en torno a un pH de 5.5, que en los pH alcalinos o en torno a 8. Gil, 1995 señala que los suelos ácidos y pobremente aireados favorecen la disponibilidad de manganeso ya que, a estas condiciones, las especies tri- y tetravalente pueden reducirse a la divalente, siendo esta la forma más fácil de absorción para las plantas.

6.3.9 Boro

Como se puede observar en el Cuadro 14, en el análisis de varianza no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.3927$). Por lo cual el hecho de bajar los niveles de pH del agua de riego y cambiar las dosis de fertilización no proporciona un aumento o disminución considerable en la concentración de este nutrimento en el tejido vegetal.

Cuadro 14. Análisis de varianza y comparación de medias del nutrimento boro.

Nutrimento	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	P	Tratamiento	Media
BORO	1614.542	538.181	1.030	0.3927	T2	129.45a
					T4	121.47a
					T3	116.07a
					T1	110.15a

Interacción entre el boro y el pH del agua de riego.

Se observó una interacción no significativa ($P=0.6743$), no presentando así cambios en las concentraciones de este nutrimento con pH de agua de riego ajustadas a 5.5

Kent and Janusz (2004), estudiaron los efectos del boro en plántulas de *P. banksiana*, donde el B no afectó significativamente la supervivencia y los parámetros de crecimiento, así como las concentraciones en el tejido de elementos esenciales incluyendo K, P, Ca, Mg y S no fueron alteradas por los tratamientos de B.

Los niveles intermedios de pH a los que fueron empleados para este trabajo, es en los cuales se presentan su mayor disponibilidad de B (Lambers *et al.*, 1996; Gil, 1995). Ya que dichos autores señalan que es entre los niveles de 5 y 7 (Figura 7). Por encima de 8.5 su solubilidad decrece por que el calcio y el sodio lo precipitan, mientras que por debajo, se pierde fácilmente por lavado.

Con base en lo obtenido para el caso de los cuatro tratamientos empleados y los niveles adecuados del B que van de 20 a 100 ppm (Cuadro 5), los resultados sobrepasan ligeramente los niveles óptimos indicados, sin embargo y como se ha explicado entre mayor concentración de nutrimentos lleve la planta, se esperaría una mayor supervivencia en el establecimiento en campo, siempre y cuando el lugar donde se pretenda establecer la planta con estas concentraciones no exista alta disponibilidad del mismo, pues entonces existirían problemas de toxicidad.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los resultados obtenidos de los indicadores morfológicos del presente trabajo, se puede concluir que el ajustar los niveles de pH a 5.5 y cambiar las dosis en la fertilización no expresa diferencias estadísticamente significativas.

Mientras que en los análisis de varianza de concentración de nutrimentos en el tejido foliar, si existieron varias diferencias estadísticamente significativas. Siendo estas en los nutrimentos: potasio ($p=0.0003$), calcio ($p=0.0922$), magnesio ($p=0.0744$), cobre ($p=0.0929$), zinc ($p<0.0001$) y manganeso ($p=0.078$). Para el caso del Ca, Mg, Cu y Mn con un índice de significancia del 10%.

Para el caso de las interacciones nutrimento y pH del agua de riego, existieron diferencias estadísticamente significativas para los nutrimentos potasio ($p=0.0046$) y zinc (0.0394). El ajuste del pH del agua a niveles de 5.5 y en las dosis de fertilización, denota cambios en las concentraciones de estos nutrimentos en el tejido vegetal de las plantas de *P. cembroides*.

Con respecto a las concentraciones promedio en el follaje de los nutrimentos: nitrógeno, manganeso y boro, presentaron concentraciones que exceden a los adecuados, considerando las concentraciones indicadas por Landis (1985).

Las plantas de *P. cembroides* con el tratamiento cuatro (T4), fueron las que obtuvieron los niveles más elevados de concentración de potasio (2.25%), magnesio (0.25%), calcio (0.78%) y cobre (9.30 ppm). La concentración de nitrógeno en el tejido foliar tuvo la misma concentración (1.65 %) con el tratamiento uno (T1), en este tratamiento se obtuvieron las concentraciones mayores concentraciones de fósforo (0.87%), en el tratamiento tres (T3) se encontró la mayor concentración de zinc en el tejido foliar vegetal.

El tratamiento de agua con pH de 8 y fertilización alta (T2), fue donde se presentaron las concentraciones más altas en los nutrimentos de manganeso (400.53 ppm) y boro (129.45 ppm).

Como recomendaciones, es claro resaltar que todo vivero necesita realizar pruebas de calidad del agua de riego para la producción de planta independientemente del sistema de producción a emplear. Esto con la finalidad de determinar cómo se encuentran los parámetros de salinidad, iones tóxicos, complementarios y los que causan mancha foliar. Además de saber que nutrientes y en qué cantidad se encuentran principalmente los micronutrientes y con ello ajustar las tasas de fertilización.

Lo anterior referido a que en ocasiones el agua contiene ciertas cantidades de micronutrientes y en las concentraciones adecuadas por lo que no existe la necesidad de adicionarlos en la fertilización, provocando en ciertos casos a que estos lleguen a niveles que pudieran ser tóxicos y en lugar de beneficiar a la planta, estarían provocando daños o incluso llegar a la muerte.

Una planta de calidad siempre será la meta principal de cualquier vivero, la cual presente los mejores indicadores morfológicos y fisiológicos, con la finalidad de asegurar su sobrevivencia en su establecimiento en campo, sin embargo y tal como se presentó en la presente investigación, el ajustar con ácido fosfórico el pH del agua de riego a 5.5 y cambiar las dosis de fertilización, nos permiten tener mayores concentraciones de nutrientes, pero algunos de ellos pueden llegar hasta los niveles que pueden considerarse como superfluos o tóxicos, por lo que es necesario y se recomienda que cada vivero debe desarrollar sus propias pruebas de dichos tratamientos y determinar la cantidad de ácido a aplicar y las dosis de fertilización, ya que estos resultados pueden variar en base a la especie, sustrato y calidad de agua utilizada.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALPI, A.; TOGNONI, F. 2000. Cultivo de invernadero. 3ª ed. Editorial Adigrafos,S.A. Madrid, España. 347 p.
- ATLAND, J. E. and BUAMSCHA, M. G. 2008. Nutrient Availability from Douglas Fir Bark in Response to Substrate pH. Hortscience 43(2):478–483.
- ARTEAGA, M. B.; ZENIL, R. J. 2005. Fertilización en vivero de *Pseudotsuga macrolepis flous*. Foresta Veracruzana [en línea] 2005, 7 (Sin mes): Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2013. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49770108>> ISSN 1405-7247
- BERISTAIN, D., F. 1980. Influencia del pH del agua de riego en la incidencia de *damping-off* y desarrollo de dos especies de pino, en almácigo. Tesis de Licenciatura. Departamento de enseñanza, investigación y servicio en bosques, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 94 p.
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. Prácticas de manejo. Editorial Limusa, Barcelona, España. 518 p.
- BUAMSCHA, M. G.; ATLAND, J. E.; SULLIVAN, D. M.; HORNECK, D. A. AND CASSIDY, J. 2007. Chemical and Physical Properties of Douglas Fir Bark Relevant to the Production of Container Plants. Hortscience 42(5):1281–1286.
- BUNT, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Boston: Unwin Hyman. 309 p.
- CÁNOVAS, C., J. 1986. Diagnóstico de aguas de riego. Disponible en : <http://www.argenpapa.com.ar/img/DIAGNOSTICO%20DE%20AGUAS%20DE%20RIEGO.pdf>. Fecha de consulta: 8/11/2011.
- DIESSCHE, VAN DEN R. 1984. Response of Douglas fir seedlings to phosphorus fertilization and influence of temperature on this response. New Forest 50:155-169.

- DURYEA, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. In: evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. M.L. Duryea (ed). Forest Research Laboratory. Oregon. USA. pp: 1-4.
- EGUILUZ, P., T. 1978. Ensayo de Integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis de Licenciatura. Departamento de bosques, Escuela Nacional de Agricultura, Texcoco, México.
- ETTER, H. M. 1969. Growth, metabolic components and drought survival of lodgepole pine seedlings at three nitrate levels. *Canadian Journal of Plant Science* 49:393-402.
- FARHAM, D.S; R.S. AYERS and R.F. HASEK. 1979. Water Quality affects ornamental plant production. University of California. Division of Agricultural Sciences Leaflet 2995. 15 p.
- GALLEGOS, M. S. 1989. Influencia del sustrato y dosis de fertilización en el crecimiento de *Pinus cembroides* Zucc. bajo condiciones de vivero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. México. 80 p
- GARCÍA, E. 1978. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2da edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 246 p.
- GIL, M. F. 1995. Elementos de fisiología vegetal: relaciones hídricas, nutrición mineral, transporte y metabolismo. Ed. Mundi prensa. México. pp 249-284
- GUTIÉRREZ, G., J. V. Y OLVERA, E., M. 2011. Calidad de agua en los viveros de México. Tesis de licenciatura. Ing. en Restauración Forestal, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 72 p.

- IRWIN, K. M., DURYEA, M. L., and STONE, E. L. 1998. Fall-applied nitrogen improves performance of I-0 Slash pine nursery seedlings after outplanting. *Southern Journal of Applied Forestry* 22(2):111-116.
- JACKSON, D. P.; DUMROESE, R. K.; BARNETT, J. P. 2012. Nursery response of container *Pinus palustris* seedlings to nitrogen supply and subsequent effects on outplanting performance. *Forest Ecology and Management*, Volume 265, 1 February 2012, pp 1-12. Disponible: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112711006323>. Fecha de consulta: 18/11/2013
- KENT, G. APOSTOL, and JANUSZ, J. ZWIAZEK. 2004. Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 51(2):145-153
- LAMBERS, H., CHAPIN III, F. S., PONS, T. L. 1996. *Plant physiological ecology*. Springer. New York. 540 p.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MCDONALD, S. E. Y BARNETT, J. P. 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. 188 p.
- LANDIS, T. D. 1996. Forest Nursery Notes: Secondary Nutrients-Calcium. USDA Forest Service. pp. 8-11. Disponible en: <http://www.rngr.net/publications/fnn/1996-winter>. Fecha de consulta: 2/09/2013
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MCDONALD, S. E. Y BARNETT, J. P. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en Contenedor. Vol 2(1,2). Manual Agrícola 674. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. 92 p.

- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MCDONALD, S. E. Y BARNETT, J. P. 1989. Manual de viveros para la producción de especies forestales en Contenedor. Vol 4(2). Manual Agrícola 674. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Servicio forestal. 126 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 test. Oregon State University, Corvallis. pp: 29-48.
- LINDSAY, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. Wiley-Interscience, New York. USA. 449 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, Edo. de México. 195 p.
- MOYA, J.A. 2009. Riego localizado y fertirrigación. 4ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 575 p.
- PEÑUELAS, R., J. y OCAÑA, B. L. 1994. Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2ª edición. Ed. MUNDI-PRENSA. Madrid, España. 190 p.
- PERRY, J. P. 1991. Pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland, Oregon. pp 1–231
- PORTA, J. 2010. Introducción a la edafología: uso y protección de suelos. 2ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 535 p.
- PRIETO, R., J. A.; E. H. CORNEJO O.; P. A. DOMÍNGUEZ C.; J. de J. NÁVAR Ch.; J. G. MARMOLEJO M. y J. JIMÉNEZ P. 2004. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. Invest Agrar: Sist Recur For. 13(3). pp. 443-451. Disponible en: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/Paginas_de_443-451-\(6704\)-Estres_1105346242765.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/Paginas_de_443-451-(6704)-Estres_1105346242765.pdf). Fecha de consulta: 04/10/2012.

- QUIROZ, M. I., GONZÁLEZ, O, M. GARCÍA. R, E., SOTO, R. H., CASANOVA, D.K. 2009. Evaluación de la germinación de semillas y crecimiento de *Pitavia punctata* Mol de la costa de la región del Maule. Instituto forestal- INFOR. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Chile. 14p.
- RODRÍGUEZ, T., D. A. 2000. Reforestation technology to restores longleaf pine forest. Ph. D. Dissertation. School of Forest Resources and Conservation, University of Florida. Gainesville, Florida. 144 p.
- SCARRATT, J.B. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of Jack pine container stock. Inf. Rep. O-X-377. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre. 21 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. Ed. MUNDI-PRENSA. Madrid, España. 279 p.
- SAID, I., G. y ZARATE G., P. L. 2000. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. 6ª reimpr. Ed. Trillas. México, D. F. 84 p.
- SIGALA, R., J. A. 2009. Calidad de planta en diez viveros forestales del estado de Durango. Tesis de licenciatura. Ing. en Restauración Forestal, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 117 p.
- THOMPSON, B. E. 1985. Seedling morphology: what you can tell by looking. In: Evaluating seedling Quality. Principles, procedures, and Predictive Abilities of Major Test. Duryea M. L. ed. Corvalis Oregon. pp 59-71.