



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS MONTECILLO
FORESTAL

**SUSTRATOS ALTERNATIVOS PARA LA
PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. EN VIVERO**

KARLA REYNA MALDONADO BENITEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2010


La presente tesis titulada: "SUSTRATOS ALTERNATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. EN VIVERO" realizada por la alumna: Karla Reyna Maldonado Benitez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado parcial de:

MAESTRO EN CIENCIAS

FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR



DR. JAVIER LÓPEZ UPTON

ASESOR



DR. VICTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR



DR. DAVID DEL VALLE PANIAGUA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2010

AGRADECIMIENTOS

Dad gracias en todo, porque esta es la voluntad de Dios para con vosotros en Cristo Jesús. 1ra. Ts 5:18.

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad que me brindó para continuar con una etapa más de mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento que permitió realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. Arnulfo Aldrete, por su amistad, paciencia y apoyo al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia, fundamentales para la concreción de este trabajo.

Al Dr. Javier López Upton, por su apoyo en la fase de vivero, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá por su apoyo y amistad durante la realización del trabajo de investigación y su valiosa contribución durante la elaboración de este documento.

Al Dr. David del Valle Paniagua por su colaboración para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta por su permanente disposición y valiosas críticas al discutir los resultados de este trabajo.

A todos aquellos que me brindaron su tiempo y me permitieron compartir parte de su espacio y conocernos: Oscar, Diana, Liliana, Arlete, Esther, Karlilla, Magda, Wenses y Gerardo, por los grandes y gratos momentos, así como las experiencias que juntos compartimos.

A los trabajadores del Programa Forestal: Asunción, José Luis, Lauro, Máximo y Sergio, por su amistad y gran apoyo en el establecimiento y mantenimiento del ensayo en vivero.

A todos y cada uno de los integrantes del Programa Forestal por su buena disposición durante mi estancia en este lugar.

DEDICATORIA

A Dios, mi Señor, mi Guía, mi Proveedor, el Dueño de mi vida; sabes lo esencial que has sido en mi posición firme de alcanzar esta meta, esta alegría, que si pudiera hacerla material, la hiciera para entregártela, pero a través de esta meta, podré siempre de tu mano alcanzar otras que espero sean para tu Gloria. ¡Te amo eternamente!

A MI MADRE, Aideé Benítez Méndez. Gracias mami por enseñarme el temor a Dios, por tus oraciones eternas, tus sabio consejos y tu infinito amor.

A la memoria de mi PADRE, José Maldonado Pérez por que hasta el último día de su vida siempre me brindo su amor y apoyo incondicional.....Gracias, porque en tu nombre Lilia me ha brindado todo el apoyo y cariño, permitiéndome ser un integrante más de su familia.

A TODA MI FAMILIA, hermano, tíos, primos y sobrinos por darme la estabilidad emocional, apoyo y cariño para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes. En especial a mi abue Natyta por su amor ilimitado y su paciencia infinita.

A mi porción de cielo que bajó hasta acá para hacerme la mujer más feliz y realizada del mundo, gracias porque nunca pensé que de tan pequeño cuerpecito emanara tanta fuerza y entusiasmo para sacar adelante a alguien. TE ADORO ARANTZA.

Al amor de mi vida Juan Carlos, por ser la persona que ha compartido el mayor tiempo a mi lado, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe. Gracias por tu apoyo incondicional y tu paciencia pero sobre todo por creer en mí TE AMO.

A TODOS MIS AMIGOS pasados y presentes; pasados por ayudarme a crecer y madurar como persona y presentes por estar siempre conmigo apoyándome en todo las circunstancias posibles, también son parte de esta alegría, Ale, Vero, Caro, Norma y Er gracias por recorrer conmigo este sendero.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ANEXOS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL SUMMARY	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Origen y distribución de <i>Pinus greggii</i> Engelm.....	5
2.1.1 Importancia ecológica.....	6
2.2 Producción de planta en vivero.....	6
2.3 Prácticas culturales en vivero.....	7
2.3.1 Sustratos.....	8
2.3.2 Riegos.....	10
2.4 Calidad de planta en vivero.....	11
2.4.1 Evaluación de criterios morfológicos para la calidad de planta.....	13
2.4.2 Evaluación de criterios fisiológicos para la calidad de planta.....	17
CAPÍTULO 3. PRODUCCIÓN DE <i>Pinus greggii</i> Engelm. EN MEZCLAS DE SUSTRATO CON HIDROGEL Y CUATRO NIVELES DE RIEGO	23
RESUMEN	23
ABSTRACT	24
3.1 INTRODUCCIÓN.....	25
3.2 OBJETIVOS.....	28
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.3.1 Etapa de vivero.....	29
3.3.2 Preparación de mezclas de sustratos.....	29
3.3.3 Producción de planta.....	30
3.3.4 Prácticas culturales.....	30
3.3.5 Localización del sitio de la plantación.....	31
3.3.6 Establecimiento de la plantación.....	32
3.3.7 Diseño del experimento.....	32

3.3.8 Variables evaluadas y análisis estadístico.....	33
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
3.4.1 Propiedades físicas de las mezclas.....	36
3.4.2 Propiedades químicas de las mezclas.....	41
3.4.3 Efecto de las mezclas de sustrato con hidrogel en la producción de <i>Pinus greggii</i> Engelm.....	45
3.4.4 Efecto de las mezclas de sustrato en cuatro niveles de riego.....	51
3.4.5 Supervivencia en campo.....	55
3.5 CONCLUSIONES.....	58
CAPÍTULO 4. CUANTIFICACION DE CLOROFILA EN PLÁNTULAS de <i>Pinus greggii</i> Engelm. PRODUCIDAS EN MEZCLAS DE SUSTRATO CON HIDROGEL Y CUATRO NIVELES DE RIEGO.....	59
RESUMEN.....	59
ABSTRACT.....	60
4.1 INTRODUCCIÓN.....	61
4.2 OBJETIVOS.....	63
4.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
4.3.1 Concentración de clorofila a, b y total.....	64
4.3.2 Diseño del experimento.....	65
4.3.3 Variables evaluadas y análisis estadístico.....	65
4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
4.5 CONCLUSIONES.....	74
CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Proporciones de los componentes en la mezclas evaluadas.	30
2	Principales propiedades físicas de 3 mezclas de sustrato con tres dosis de hidrogel probadas en vivero en la producción de <i>Pinus greggii</i> Engelm	37
3	Componentes de la curva de liberación.	38
4	Principales propiedades químicas de 3 mezclas de sustrato y tres dosis de hidrogel probadas en vivero en la producción de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	42
5	Análisis de varianza para las variables altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), índice de esbeltez (IE), relación parte aérea-raíz (R.PA/R), e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a nueve mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel en el crecimiento de <i>P. greggii</i> Engelm.	46
6	Altura (ALT), diámetro(DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR), en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en vivero.	47
7	Relación parte aérea-raíz (RPA/R), Índice de esbeltez (IE) e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en vivero.	49

8	Análisis de varianza para las variables altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), índice de esbeltez (IE), relación parte aérea-raíz (R.PA/R), e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a cuatro niveles de riego en el crecimiento inicial de <i>P. greggii</i> Engelm	51
9	Análisis de cuadrados medios para las variable concentración de clorofila a, b y total en respuesta a 9 mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel en el crecimiento inicial de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	67
10	Concentración de clorofila a, b y total en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de <i>Pinus greggii</i> Engelm en vivero.	69
11	Análisis de cuadrados medios para las variable concentración de clorofila a, b y total en respuesta a 10 mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel y cuatro niveles de riego en el crecimiento inicial de <i>Pinus greggii</i> Engelm.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable altura en el crecimiento de <i>Pinus greggii</i> en vivero.	52
2	Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable diámetro del cuello de <i>Pinus greggii</i> en vivero.	53
3	Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable peso seco de la raíz (PSR) y peso seco de la parte aérea (PSA) en el crecimiento de <i>Pinus greggii</i> en vivero.	53
4	Supervivencia por efecto de cuatro niveles de riego en plántulas de <i>Pinus greggii</i> .	56
5	Supervivencia en diez tratamientos a base de corteza- aserrín he hidrogel	57
6	Interacción entre riego y mezclas de sustratos para las variable clorofila a, b y total en el crecimiento de <i>Pinus greggii</i> en vivero.	71

ANEXOS

Anexo		Página
1	DISTRIBUCIÓN DE MEZCLAS Y NIVELES DE HIDROGEL EN VIVERO.	95
2	ANÁLISIS DE COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LAS VARIABLES MORFOLOGICAS EN RESPUESTA A CUATRO NIVELES DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE <i>P. greggii</i> Engelm.	96
3	COMPONENTES DE LA CURVAS DE LIBERACIÓN.	98

RESUMEN GENERAL

El objetivo principal en la investigación del concepto de calidad de planta es determinar qué características estructurales y fisiológicas deben presentar las plántulas en vivero, por lo cual existen subproductos de la industria maderera útiles como sustratos para producir plantas en vivero; así como sustancias acondicionadoras para mejorar la humedad disponible a la planta. Por esta razón se evaluó el efecto de un polímero sintético en mezclas de sustrato alternativo con cuatro niveles de riego para la producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con un tratamiento adicional, donde se estudiaron 10 mezclas de sustrato compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita. A los 5 meses después de aplicar los diferentes niveles de riego, las plantas desarrolladas en 20 % corteza + 80 % aserrín y 4gL^{-1} de hidrogel presentaron el mayor incremento para las variables altura (21.8 cm) y diámetro (3 mm). En los tratamientos sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (32.8cm), diámetro del cuello (3.3 mm) y relación parte aérea/ raíz (2.13). Sin embargo, en la condición de estrés los incrementos no fueron significativos para la altura (15.64 cm), diámetro del cuello (2.56 mm) y relación parte aérea/ raíz (1.8). Los tratamientos con 4 g/L de hidrogel presentaron 77% de PRH, suficiente AFD (26%); 29% de ADD, pero su baja proporción de macroporos (3.3% PA) limitó la aireación del material (29% de CA), lo que pudo ocasionar problemas de oxígeno en la raíz. La más alta supervivencia en campo, se observó en el nivel de riego cada tres días (79%) en comparación de los otros tres riegos. El efecto de los tratamientos no presentó significancia en las plántulas llevadas a campo debido al desbalance morfológico que se presentó en vivero.

La capacidad de una especie para el adecuado mantenimiento del aparato fotosintético es un indicador de su tolerancia al estrés hídrico. Por esta razón, se cuantificó la concentración de clorofila a, b y total con la técnica de Inskeep y Bloom en plantas de *Pinus greggii* Engelm, producidas en mezclas de sustrato con hidrogel bajo diferentes niveles de riego en vivero. Se estudiaron 10 mezclas de sustrato

compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita, utilizando un diseño de parcelas divididas con un tratamiento adicional. A los 5 meses después de aplicar los diferentes niveles de riego, el tratamiento con 40% corteza + 60% aserrín y sin hidrogel, fue el tratamiento con los valores más altos de concentración de clorofila a (0.1512 mg/L), b (0.1005 mg/L), y por consecuencia de clorofila total (0.2516 mg/L). Los valores del riego cuatro, fueron los que más sobresalieron, siendo los tratamientos con 20% de corteza y 80% de aserrín los que mayor concentración de clorofila presentaron en todos los riegos con 0.15981 mg/L de clorofila a, 0.11387 mg/L de clorofila b y 0.2736 mg/L de clorofila total. Debido a que no hubo significancia en la variable hidrogel, se concluye que las plántulas de *Pinus greggii* sufrieron las menores afectaciones del régimen hídrico, ya que son especies que puede aumentar su resistencia a la sequía, lo que limita el uso de “la concentración de clorofila” como indicador para evaluar la tolerancia a la sequía en coníferas. Los tratamientos con dosis altas de hidrogel pueden tener éxito como medio de crecimiento ya que presentaron valores muy cercanos al testigo. La adición de hidrogel en el sustrato podría tener posibilidades para producir especies forestales utilizando el sistema de producción tecnificado.

PALABRA CLAVE:

Calidad de planta, mezclas de sustrato, polímero, prácticas culturales.

GENERAL SUMMARY

The primary target in the investigation of the concept of quality of plant is to determine what characteristic structural and physiological must present seedlings in nursery, thus exist useful by products of the lumber industry as substrates to produce plants in nursery; as well as conditioning substances to improve the humidity available to the plant. Therefore was evaluated the effect of a synthetic polymer in mixtures of alternative substrate with four levels of irrigation for the production of *Pinus greggii* Engelm. in nursery. A design of parcels divided with an additional treatment was used, where 10 mixtures of substrate studied composed by sawdust, crust of pine, disturbs, agrolite and vermiculite. To the 5 months after applying the different levels from irrigation, the plants developed in 20% crust + 80% sawdust and 4gL^{-1} of hydrogel displayed the greater increase for the variables height (21.8 cm) and diameter (3 mm). In the treatments with no limitation upon humidity the rates of growth were majors in height (32.8cm), diameter of the neck (3.3 mm) and relation divides aerial root (2.13). Nevertheless, in the condition of stress the increases were not significant for the height (15.64 cm), diameter of the neck (2.56 mm) and relation divides aerial/ root (1.8). The treatments with 4 g/L of hydrogel presented 77% of PRH, sufficient AFD (26%); 29% of ADD, but its low proportion of macropores (3.3% PA) limited the ventilation of the material (29% of CA), which could cause oxygen problems in the root. The highest survival in field was observed in the irrigation level every three days (79%) in comparison of the other three irrigations. The effect of the treatments did not present significance in seedlings taken to field due to unbalance morphologic that I appear in nursery.

The capacity of a species for the suitable maintenance of the photosynthetic apparatus is an indicator of its tolerance to hydric stress. Therefore, one quantified the chlorophyll concentration a, b and total with the technique of Inskeep and Bloom in plants of *Pinus greggii* Engelm, produced in mixtures of substrate with hydrogel under different levels from irrigation in breeding ground. 10 mixtures of substrate studied composed by

sawdust, crust of pine, disturbs, agrolite and vermiculite, using a design of parcels divided with an additional treatment. To the 5 months after applying the different levels from irrigation, the treatment with 40% crust + 60% sawdust and without hydrogel, was the treatment with the highest values of chlorophyll concentration a (0,1512 mg/L), b (0.1005 mg/L), and by consequence of total chlorophyll (0,2516 mg/L). The values of irrigation four, were those that excelled more, being the treatments with 20% of crust and 80% of sawdust those that greater chlorophyll concentration presented in all the irrigations with 0.15981 mg/L a chlorophyll , 0.11387 mg/L of b chlorophyll and 0.2736 total chlorophyll mg/L. Because not significance had in variable hydrogel, it concludes that seedlings of *Pinus greggii* affectations suffered smaller of regime hydric, since they are species that can increase their resistance to the drought, which limits the use of “the chlorophyll concentration” like indicator to evaluate the tolerance to the coniferous drought. The treatments with high doses of hydrogel can be successful like growth means since they presented values very near the witness. The addition of hydrogel in the substrate could have possibilities to produce forest species using the technified production system.

Key word:

Seedling quality, substrate mixtures, polymeric, cultural practices.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Según cifras de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2004) 45% del territorio nacional presenta algún tipo de degradación en distintos niveles, principalmente por el cambio de uso de suelo destinado a actividades como la agricultura, la ganadería y la deforestación.

A partir de esta problemática y como alternativa mitigatoria, el gobierno del Distrito Federal ha plantado durante los últimos 15 años 80 millones de árboles con baja supervivencia, siendo ésta no mayor al 50% a un año de establecida la plantación; a nivel nacional el promedio estimado está entre el 50 y el 60% (Carrasco, 2000). Estos valores están por debajo de las aceptadas en programas de reforestación nacionales y extranjeros; de acuerdo al PRONARE (Programa nacional de reforestación) se debe lograr el 60% de la supervivencia de las plantas establecidas.

Este comportamiento señala que no es la cantidad de brinzales que se producen en vivero, ni la cantidad de brinzales que se plantan en campo, sino que es la calidad de éstos y la relación con su crecimiento y supervivencia en el terreno, lo que da señales de haber logrado un programa de reforestación exitoso (Bautista, 2005). Por lo tanto, el éxito y el fracaso de las plantaciones que se establezcan dependen considerablemente de la calidad de planta en vivero, que radica principalmente en su condición fisiológica y morfológica (Villar, 2003).

Un concepto que cada vez adquiere mayor importancia en México ante las bajas tasas de supervivencia registrada, es el de la calidad de los brinzales producidos en vivero. En países con tradición en el establecimiento de plantas forestales, dicho aspecto es básico, ya que influye en el éxito posterior de las plantaciones (Prieto *et al.*, 1999). La calidad de planta en términos generales, está definida por su comportamiento final en

terreno, el que está regulado por los atributos morfológicos y fisiológicos de la misma, y por su interacción con el ambiente del sitio de plantación (Duryea y Landis, 1984).

Salvo la calidad genética, que proporciona la elección de un adecuado origen de la semilla a utilizar, el resto de las características de la planta como son la calidad morfológica (control de variables externas: altura, diámetro del cuello de la raíz, peso seco aéreo, peso seco radical, etc.), calidad fisiológica (control de variables fisiológicas: potenciales hídricos, contenido en carbohidratos, potenciales de regeneración radical, etc.), calidad biológica (se deriva de una correcta micorrización) y calidad sanitaria, pueden ser determinadas y fomentadas en la fase de cultivo mediante la utilización de técnicas y medios apropiados para adecuarse a las condiciones ambientales del sitio de plantación (Peñuelas y Ocaña, 1996).

La supervivencia y la capacidad del crecimiento de una planta dependen de sus recursos en cuanto a carbono, agua y nutrientes, que son determinados en última instancia por la estructura y las cualidades fisiológicas de la planta (Burdett, 1990).

El objetivo principal en la investigación del concepto de calidad de planta es determinar qué características estructurales y fisiológicas deben presentar las plántulas en vivero para lograr crecer rápidamente en un ambiente determinado y cómo pueden estas características funcionales alcanzarse durante la etapa de vivero (Rose *et al.*, 1990).

Una de las formas más directas para poder mejorar la calidad de planta en vivero es a través del uso eficiente de prácticas culturales, entre las que se encuentran el riego, la intensidad y calidad de luz y la época de siembra en la producción de plantas para lograr un mayor crecimiento en biomasa tanto en su sistema radical como el parte aérea (Cetina *et al.*, 1999). La fase de vivero resulta esencial por ser el único lugar donde se puede realizar un control sobre las variables morfológicas y fisiológicas de la planta, más adecuadas para obtener planta de calidad, que sea resistente y vigorosa (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta un productor de plantas es el de disponer de suficiente sustrato de buena calidad, que permita un adecuado desarrollo de las plantas. En México, la tierra de monte es el sustrato más común en los viveros forestales donde se utiliza el sistema tradicional. Sin embargo, su uso causa un impacto ambiental indeseable (Sandoval y Stuardo, 2000). Por lo tanto, es necesaria la búsqueda de sustratos alternativos, como el aserrín y la corteza de pino, que son subproductos de la industria maderera considerados desperdicio, por lo que son económicos y fáciles de adquirir.

El aserrín y la corteza son residuos del proceso de aserrío y pueden llegar a ser un problema en la industria de la madera, debido a que ocupan mucho espacio en el proceso del aserrío (Juárez *et al.*, 2001) y su acumulación representa un problema de contaminación ambiental, en particular en donde se deposita (Starbuck, 1997).

En los últimos años, el aserrín se ha utilizado como sustrato, generando buenos resultados (Reyes, 2005), aunque su calidad depende del tipo de madera que se utilice y de los aditivos añadidos (Burés, 1997). Cabe mencionar que estos materiales son más baratos (hasta 70% menos) que la turba, vermiculita y agrolita, y también tienen características apropiadas para reducir la actividad de hongos fitopatógenos y mejorar la porosidad (Landis *et al.*, 1990). Sin embargo, una de las desventajas que presenta el aserrín en la producción de plantas en vivero, es la poca retención de agua, que se podría reducir con el uso de componentes en el sustrato que capte grandes cantidades de agua, como lo es el hidrogel; y así atenuar la frecuencia de riego o la evaporación de la misma.

Como nueva alternativa en el manejo de la plantación y para la protección de las raíces, se han utilizado polímeros a base de poliacrilamida, cuya principal característica es su alta capacidad de retención de agua, la cual sería utilizable por las plantas (Araya, 1997; Nissen, 1995). Según Stockhausen (1994), el hidrogel puede ser aplicado directamente a las raíces, con el objetivo de protegerlas de la deshidratación durante su transporte y almacenamiento. El hidrogel que almacena el agua envuelve las raíces y

asegura de humedad inicial a la planta utilizándola como protector contra deshidratación radicular. Según Save *et al.* (1995), esta sustancia puede suministrar el elemento vital a la planta para su desarrollo por un período más extendido, reduciendo la frecuencia de riego. Una frecuencia más baja de irrigación permite una pérdida más baja de productos químicos aplicados al cultivo de la planta por lixiviación y el lavado, y por lo tanto, un ahorro en su uso y una contaminación ambiental menor.

El uso del hidrogel en viveros es una alternativa más que se presenta por las ventajas que le confieren sus características físicas y químicas, ya que posee la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua permitiendo una hidroregulación en el cultivo, mejorando así la retención del agua en el suelo abastecido por la precipitación o por irrigación, reduciendo las pérdidas debido a la evaporación y a la filtración (Terry y Nelson, 1996). Este polímero mejora la estructura del suelo y la aireación del mismo, permitiendo así, la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivo abandonado y poco fértil cuando se emplea de forma extensiva (Akhter *et al.*, 2004).

Dadas las características ecológicas de *Pinus greggii* como para ser considerado como una especie de alto potencial no sólo para restauración y protección de cuencas, sino para el establecimiento de plantaciones forestales y programas eficientes de uso y conservación, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del hidrogel en mezclas de sustrato sobre la frecuencia de riego y la calidad de *Pinus greggii* en vivero, con el fin de evaluar la supervivencia en campo.

CAPÍTULO 2.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución de *Pinus greggii* Engelm.

El área de distribución natural de *Pinus greggii* abarca de los 20°13' hasta a los 25°29' de latitud norte, una diferencia de un poco más de 5° entre los sitios más alejados (Perry, 1991; Ramírez *et al.*, 2005). Ramírez *et al.* (2005) reportan que *Pinus greggii*, se distribuye a lo largo de la Sierra Madre Oriental en dos distintas regiones geográficas de México con condiciones ambientales diferentes: la parte norte del país en los Estados de Coahuila y Nuevo León (24° a 25° de latitud Norte) y en los estados de Querétaro, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz (20° a 21° de latitud Norte) en la región centro del país; con una discontinuidad de 360 Km en la parte central que se presenta entre los 21°30' y 24°30' de latitud norte. Las causas de esta disyunción todavía son desconocidas, ya que la Sierra Madre Oriental carece de notable interrupción en el tramo correspondiente, aunque las cordilleras son de menor altitud que donde habita este pino (Ramírez *et al.* 2005).

El aislamiento geográfico entre ambas regiones limita e impide el flujo genético lo que fomenta la diferenciación, así estudios de variación morfológica (López *et al.*, 1993; Donahue y López, 1996) sugieren la presencia de cierto nivel de diferenciación morfológica y fisiológica, por la cual Donahue y López (1999) describen a estos ecotipos como variedades distintas; la región “norte” que incluye nueve poblaciones naturales conocidas como *Pinus greggii* var. *greggii* y la región “sur” con 11 poblaciones identificadas como *P. greggii* var. *australis* Donahue & López. De esta forma es tratado este pino a nivel mundial (Dvorak *et al.*, 2000).

2.1.2. Importancia ecológica.

Pinus greggii es una especie endémica de México, con amplia importancia ecológica y económica. Esta especie ha presentado una adecuada adaptación a suelos degradados, y alta supervivencia bajo condiciones de limitantes de humedad así como en la recuperación de suelos erosionados (Vargas y Muñoz, 1988) por lo que tiene un gran potencial para ser utilizado en aquellos programas de reforestación y conservación en condiciones poco favorables.

Por otro lado, se utiliza como una alternativa con respecto a otras especies de *Pinus* para el establecimiento de plantaciones comerciales a gran escala (Dvorak y Donahue, 1992), ya que ha superado en crecimiento a *P. patula* en algunas regiones de Sudáfrica y en México (Kietzka *et al.*, 1996; Dvorak *et al.*, 2000; López *et al.*, 2004).

2.2. Producción de planta en vivero

Los viveros de especies forestales cobran cada día más importancia, tanto en la restauración de ecosistemas forestales, como en el establecimiento de plantaciones comerciales, la dasonomía urbana o los sistemas agroforestales, contribuyendo a la reducción de problemas ecológicos y económicos de la sociedad. Independientemente que las plantas sean producidas en viveros tradicionales o tecnificados, en bolsa, en contenedor o a raíz desnuda, un concepto clave es la calidad de planta (Rodríguez, 2008). La producción de planta en vivero se considera como la base esencial y punto de partida de programas de reforestación y plantaciones para diversos fines como lo son producción de bienes, servicios a la comunidad, tratando de mantener el equilibrio del ambiente (Wightman y Santiago, 2003).

El propósito fundamental de un vivero es la producción de plantas de calidad, es decir, sanas y fuertes. En el vivero se les proporcionan los cuidados necesarios durante el cultivo y manejo hasta que pueda ser trasplantadas a su ubicación definitiva (Nicolas y Roche-Hamon, 1988).

Para producir planta en vivero con los atributos morfológicos y fisiológicos apropiados, es necesario que en las prácticas de manejo se consideren las características de la planta que se desea producir y las condiciones del sitio de plantación (Prieto *et al.*, 2004). Sin embargo, el control de calidad de plántulas de vivero debe no solo evaluar el potencial de supervivencia y desempeño futuro del material a plantar, también debe intentar conocer cuáles son las causas de la buena y mala calidad del material, para poder desarrollar un programa de control y mejoramiento en el vivero. Las causas u orígenes de la calidad se deben a dos aspectos principales: calidad de la semilla (aspecto genético) y calidad del manejo del material en vivero (aspecto silvicultural u ambiental) (Sánchez y Murillo, 2004).

Por lo tanto el enfoque de un vivero tiene que ser de acuerdo con la calidad física y genética de la planta y no, como desafortunadamente se ha vuelto muy común, lograr una “meta” en función de la “cantidad” de plantas producidas (Wightman y Santiago, 2003). Estas características, que van a determinar la capacidad de una planta para establecerse y desarrollarse adecuadamente una vez trasplantada, lo que está condicionado por todas las fases de producción, que abarcan desde la germinación hasta el establecimiento de la planta en campo. Por tanto, la fase de vivero resulta esencial por ser el punto de partida, además de ser el único momento en el que es posible realizar un control sobre algunas variables del proceso que afectan a la producción de planta de calidad (Landis *et al.*, 1998).

2.3. Prácticas culturales en vivero

La apariencia física de cualquier organismo (su fenotipo) es el resultado de su composición genética (su genotipo), influenciada por el ambiente en el cual creció. En los viveros forestales, el fenotipo de una planta está en función del genotipo (fuente de semilla, origen de la estaca o cultivar) y el ambiente del vivero en el cual se desarrolló. En nuestros días, el ambiente de un vivero es la composición de su ubicación geográfica, del tipo de instalaciones para la propagación, y de las prácticas culturales (Landis *et al.*, 1995).

La producción de la planta en diferentes sistemas de producción en vivero ha sido un esfuerzo para producir individuos con características específicas de acuerdo a las condiciones particulares del sitio de plantación (Peyton, 1990). En años recientes la habilidad de los viveristas para modificar las características morfológicas y fisiológicas de la planta, han incrementado las técnicas de cultivo en vivero (Hobbs, 1984).

Un adecuado tratamiento en vivero requiere de la aplicación integrada y eficiente de un conjunto de técnicas relacionadas con el sustrato, envases, fertilizantes, micorrizas, riego, control de plagas, enfermedades y control de las condiciones ambientales (Prieto *et al.*, 2004). Un ejemplo de cómo influye el ambiente en las plantas, a través de las condiciones del sitio o las prácticas culturales es el “efecto de vivero”, esto es, las plantas producidas en contenedor en diferentes viveros, pueden ser fisiológicamente diferentes y repercutir en su supervivencia y crecimiento (Landis *et al.*, 1995).

Cuando se satisfacen los requerimientos condicionantes en el vivero y se ha hecho una adecuada preparación del sitio, la plantación y la protección en el terreno resultará en un alto porcentaje de supervivencia y un rápido crecimiento de las plantas en campo (Duryea y Landis, 1984).

2.3.1. Sustrato

El término “sustrato”, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular. El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición de la planta, clasificándolo así en químicamente inerte (perlita, lana de roca, roca volcánica, por ejem.) y químicamente activo (como lo es la turba, la corteza de pino, el aserrín, fibra de coco, entre otros) (Pastor, 2000).

La correcta elección de un sustrato es el resultado de las necesidades que exige el cultivo y todo ello condicionado por las prácticas y técnicas empleadas en cada vivero (por ejem. riego, fertilización, control de plagas y enfermedades). No existe un sustrato ideal pues cada combinación del tipo de especie, lugar, contenedor, tipo de manejo y duración del cultivo, nos puede generar en teoría, requerimientos diferentes al sustrato (Ansorena, 1994). Además, el hecho de que un sustrato pueda estar compuesto por un único material o una mezcla, hace necesario evaluar las propiedades físicas de los materiales utilizados, realizar ensayos de crecimiento o emplear modelos adecuados para asegurar las características deseadas en el sustrato (Heiskanen, 1993).

El sustrato de cultivo es el responsable de satisfacer los principales requerimientos funcionales de las plantas (agua, aire, nutrientes minerales y soporte físico) por ello es importante la selección de éste, ya que dependiendo de sus características físicas, químicas y biológicas, repercutirá en la producción de un sistema radical funcional, con buen anclaje, y que proporcione una buena capacidad de almacenamiento de reservas y predisposición a la colonización en campo (García *et al.*, 2001).

Las propiedades de tipo físico resultan de enorme importancia, ya que una vez colocada la planta en el contenedor resulta prácticamente imposible modificar sus parámetros físicos iniciales. Esto hace que deba contemplarse con especial cautela el binomio “retención de agua-aireación” (Burés, 1997). Dentro de los parámetros físicos, se podría esperar que en un sustrato con muy bajo espacio poroso total las raíces no tengan espacio necesario donde desarrollarse, y tanto el agua como el oxígeno que debe circular en ese ambiente sea restringido (Ansorena, 1994). Por otro lado la capacidad de retención de agua está relacionada con el riego, lo que podría reflejarse en exceso de agua o excesiva desecación del medio (Heiskanen, 1993). Sustratos con muy bajo espacio de poros con aire presenta problemas de drenaje debido a la cantidad de agua que es capaz de almacenar el sustrato fuera de las partículas que lo forman (Pastor *et al.*, 2003).

Es muy importante conocer las propiedades físicas de los sustratos antes de su utilización, debido a que una vez que se encuentre en el contenedor y la planta esté

creciendo en él no es posible modificar sus características físicas básicas (Ansorena, 1994). Las propiedades físicas son de gran importancia para el normal desarrollo de la planta, pues determinarán la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz. (Abad y Noguera, 1998).

Al contrario de los parámetros físicos, las propiedades químicas pueden resultar modificables mediante técnicas de cultivo adecuadas. Cuando el sustrato es muy ácido ($\text{pH} < 5.0$) o alcalino ($\text{pH} > 7.5$) suelen aparecer síntomas de deficiencia de nutrientes, no debido a su escasez en el medio de crecimiento sino por hallarse de forma química no disponible para la planta (García *et al.*, 2001). Otra propiedad muy importante es la conductividad eléctrica, pues es indicadora por un lado de la “carga nutricional” o disponibilidad inmediata de nutrientes, y por otro, está relacionada con la calidad del agua (Pastor, 2000).

2.3.2. Riego

El riego es una de las prácticas culturales más importantes en la producción de planta, ya que ayuda a mantener un adecuado nivel del agua para que el crecimiento ocurra sin restricciones (Landis *et al.*, 1989; Lopushinsky, 1990), al influir en la mayoría de los procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de compuestos químicos, la división y la elongación celular, el transporte de elementos esenciales y la termorregulación foliar de las plantas, procesos que dependiendo del nivel de estrés hídrico alcanzado, pueden afectar el rendimiento de las plantas (CEFORA, 1994; Rojas, 2003).

El 99% del agua que absorbe la planta se pierde en el proceso de transpiración. Para evaluar las necesidades de riego, hay que añadir la pérdida de agua desde la superficie del sustrato y el exceso que se estime conveniente para drenar y evitar la acumulación de sales y/o desbalances nutricionales acumulativos, es decir, las necesidades de agua de un cultivo vienen marcadas por el agua perdida por transpiración y las necesidades del lavado (Alarcón, 2006). En cualquier momento, el

contenido de agua de la planta refleja un balance integrado entre la absorción a través de las raíces, y las pérdidas por transpiración del follaje hacia la atmósfera (Ritchie, 1984).

Esta diferencia entre la absorción de agua y la pérdida de humedad, crea tensión hídrica en la planta. En los viveros forestales que producen en contenedor, la tensión hídrica de las plantas se mantiene a niveles bajos durante la etapa de cultivo, mediante el uso de riego para estimular el crecimiento (Landis *et al.*, 1989).

Las necesidades de agua de las plantas van a depender de la especie y su estado fenológico, del medio de cultivo y de las condiciones ambientales; además de la existencia de especies de bajo consumo y otras de consumo hídrico superior, en función de su número y reparto de estomas, el espesor y permeabilidad de su cutícula, así como la superficie foliar. (Lopushinsky, 1990). El estado del agua en las plantas puede ser descrito en varias formas distintas: contenido de humedad, potencial hídrico, y movimiento del agua. Probablemente las mediciones más útiles del estado del agua en las plantas, son el contenido de humedad y el potencial hídrico (Spomer, 1985).

Para una gestión racional de la nutrición hídrica en un vivero, se calcula la dosis de riego en función del volumen y características físico-químicas del sustrato, y se ajusta la frecuencia de riego en función de la demanda hídrica de la planta (Alarcón, 2006).

2.4. Calidad de planta

Duryea (1985) la define como aquella que es capaz de alcanzar un desarrollo (supervivencia y crecimiento) óptimo en un medio determinado; sin embargo, no existe un único modelo de calidad ideal para cada especie, éste será diferente para cada lugar y cada situación, tanto en el espacio como en el tiempo (Patiño y Marín, 1993).

La calidad ideal de una planta forestal producida en vivero podría resumirse en su "adecuación para cada propósito" (Willen y Sutton, 1980; Ritchie, 1984), la cual incluiría su capacidad para sobrevivir a estrés ambiental prolongado y producir un

crecimiento vigoroso tras su trasplante. Asimismo, este concepto de calidad implica el logro de los objetivos al final de la rotación a un costo mínimo.

Toral (1997), menciona que una planta ideal o de óptima calidad es aquella que es capaz de sobrevivir en el terreno con altas tasas de crecimiento inicial. Mexal *et al.* (1990), comenta que una planta ideal posee los atributos físicos y fisiológicos requeridos que satisfagan los objetivos de los programas de reforestación. Johnson y Cline (1991), señalan que un brinzal de calidad es aquel que puede sobrevivir en un estrés ambiental prolongado y producir un vigoroso crecimiento posterior a la plantación. Landis *et al.* (1995), menciona que la calidad de planta es resultado de su genética (genotipo) y del ambiente de propagación.

Rodríguez y Duryea (2003), mencionan que el éxito de las reforestaciones depende de las características fisiológicas y morfológicas de los árboles, las cuales influyen en la supervivencia y crecimiento de la plantación. Reportan que el peso seco de la parte aérea y el de las acículas primarias se correlacionó con la supervivencia, la concentración de azúcares en la raíz principal, con peso seco total y con la longitud del tallo.

En términos generales una planta de calidad es la resultante de cuatro componentes: 1) la calidad genética, 2) la morfología, 3) la fisiología y 4) la sanitaria (Villar, 2003). La calidad genética de las semillas o de las plántulas se basa en una serie de propiedades inherentes a los materiales de los cuales se obtienen (árboles selectos, rodales, huertos semilleros) y que se puede traducir en una diferente capacidad funcional, plasticidad fenotípica (Balaguer *et al.*, 2001), patrones fenológicos (Alía *et al.*, 1996) o susceptibilidad a determinados agentes patógenos (Mendel, 1984). Numerosas especies presentan variaciones funcionales entre poblaciones dando lugar a ecotipos que presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores bióticos y abióticos. (Kindelman *et al.*, 2007).

Tanto la calidad morfológica como la fisiológica depende de la carga genética y procedencia de las semillas, de las condiciones ambientales, de los métodos y técnicas

de producción, además de la estructura y equipamientos utilizados en su producción; dando como resultado un conjunto de atributos funcionales más o menos plásticos relacionados con la economía hídrica y de carbono del brinzal (Parviainen, 1981). Finalmente, la calidad sanitaria se refiere a la presencia de agentes patógenos en la planta que pueden mermar su futuro desarrollo.

Entre los múltiples parámetros y ensayos que se han definido en los últimos años con el fin de caracterizar la calidad de las plantas producidas en vivero y predecir su comportamiento en campo, cabe destacar la propuesta realizada por Grossnickle *et al.* (1991). Estos autores proponen la utilización de índices que expresen el comportamiento potencial intrínseco del material producido inmediatamente tras su trasplante. Estos índices se determinan mediante la realización de una serie de ensayos que simulen el comportamiento de las plantas en el ambiente de plantación, identificando las características morfológicas y fisiológicas de importancia para el establecimiento de las plantas en un determinado sitio.

La selección de una calidad de planta adecuada puede ayudar a minimizar los efectos en el establecimiento y crecimiento inicial por parte de los factores limitantes del lugar de plantación, los cuales, con el tiempo, irán asumiendo un papel más importante en la determinación del comportamiento y desarrollo de la masa (Villar, 2003).

2.4.1. Evaluación de criterios morfológicos para la calidad de planta

Históricamente, los parámetros morfológicos se han usado como estimadores de calidad de planta simplemente porque son fácilmente medibles, aunque no hay que obviar que no son los únicos, ni probablemente los más importantes, pero se puede decir que la morfología es un importante estimador de la supervivencia y el crecimiento de los brinzales (Thompson, 1985). En la determinación de la calidad de planta lista para plantación, se utilizan parámetros que se basan en aspectos fenotípicos,

denominados morfológicos, y en aspectos internos de las plantas denominados fisiológicos (Gomes *et al.*, 2002).

Para el sector forestal la morfología de la planta es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma bajo condiciones ambientales determinadas, y a las prácticas culturales del vivero (Birchler *et al.*, 1998); por lo mismo, la calidad morfológica de una planta hace referencia a un conjunto de caracteres tanto de naturaleza cualitativa como cuantitativa sobre la forma y estructura de la planta o alguna de sus partes (Villar, 2003).

Los atributos de tipo cualitativos se pueden caracterizar a simple vista y se refieren a aspectos como el vigor, consistencia, coloración de hojas, aspectos sanitarios, deformaciones radicales y tallos múltiples, entre otros. La altura de la parte aérea y diámetro del cuello de la raíz y la proporción entre ellos, junto con los caracteres cualitativos; son los caracteres morfológicos de naturaleza cuantitativa que habitualmente son empleados en el control de calidad de los lotes de plantas o en estudios científicos (Colombo *et al.*, 2001).

Aunque actualmente no existe una normativa específica, para nuestro país sobre calidad morfológica de planta, siempre es deseable que ésta presente un adecuado equilibrio entre parte aérea y radical (en función del tamaño de contenedor usado), así como potenciar el sistema radical para dotarlo de una arquitectura, capacidad de almacenamiento de reservas y una predisposición a la colonización suficiente para asegurar su supervivencia postplantación (Villar *et al.*, 2007).

a) Altura de la planta

Prieto *et al.* (1999) la definen como un indicador de la superficie fotosintética y del área de transpiración, y representa su capacidad para almacenar carbohidratos. Sin embargo, si la planta es muy alta y el tallo no está lignificado, también tendrá problemas

por el viento y la lluvia. Hahn (1984) y Dumroese *et al.* (1998) mencionan que plantas grandes (con alturas de 35 a 40 cm) de buena constitución morfológica son apropiadas.

b) Diámetro del cuello del tallo

El diámetro del cuello del tallo da una aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo (Cortina *et al.*, 1997). Se asocia el tamaño en sistema radical y permite predecir la supervivencia en campo. Un mayor diámetro indica mayor transporte de agua y nutrientes, también un tallo más lignificado y grueso indica que es más resistente a daños por temperaturas altas (Prieto *et al.*, 1999).

Rodríguez y Duryea (2003) encontraron que en plántulas de *Pinus palustris* Mill, producidas a raíz desnuda, la longitud de la raíz esta correlacionada positivamente con la supervivencia con el diámetro del cuello y la longitud del tallo, en plántulas de 12 meses de establecida en el campo.

c) Sistema radical

Cuando se presenta un mayor sistema radical se tiene una mayor densidad de raíces finas, con lo cual se aumenta las posibilidades de supervivencia en campo ya que explorará una extensa área de suelo y por lo tanto se optimiza la capacidad de absorber agua y nutrientes (Wenny *et al.*, 1998). Asociado a esto se encuentra el potencial de crecimiento radical (RGP) es una medida de la capacidad de la planta para producir rápidamente nuevas raíces en un ambiente favorable. La capacidad de producir nuevas raíces es un indicador del estado fisiológico actual (integridad funcional) y en determinados casos puede predecir la supervivencia y el vigor de la planta tras la plantación (Ritchie y Tanaka, 1990).

d) Relación parte aérea/raíz

La relación parte aérea/raíz se obtiene mediante la división del peso seco de la parte aérea de la planta entre el peso seco de la raíz, y es una variable morfológica

usada comúnmente para la evaluación de las plantas (Bernier *et al.*, 1997). Mexal y Landis (1990) reportan que la relación parte aérea/ raíz de la planta ideal producida a raíz desnuda debe de ser mayor o igual a 0.40, equivalente a una relación 1:2.5.

El fundamento para el uso de este atributo es derivado de una perspectiva de balance hídrico, es decir, cierta cantidad de área foliar necesita una cierta cantidad de raíces para obtener agua del suelo y así compensar la transpiración (Bernier *et al.*, 1997). Sitios particularmente secos o en condiciones de alta evaporación, no son aptos para plantas que presenten una relación parte aérea/raíz alta; ya que esto indica que la raíz no es tan abundante, y por lo tanto las plantas son más susceptibles al estrés hídrico. Una relación baja parte aérea/raíz indica que las raíces son abundantes con respecto al área foliar y la planta tiene un alto potencial para evitar el estrés hídrico (Bernier *et al.*, 1997).

e) Índice de calidad de Dickson (ICD)

La fórmula de Dickson *et al.* (1960) considera tres variables morfológicas: biomasa, la altura y el diámetro. Este índice proporciona un método adecuado para la evaluación, durante la estación de crecimiento, y se obtiene mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\text{ICD} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo(g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

La evaluación de calidad de planta que involucre una interacción de varias características morfológicas genera un indicador muy conveniente del comportamiento en campo a largo plazo; ya que valores más altos representan plantas de mayor calidad mejor balanceadas de sus dimensiones de la parte aérea y radical (Dickson *et al.*, 1960).

2.4.2. Evaluación de criterios fisiológicos para la calidad de planta

La caracterización de la calidad de planta forestal de vivero está basada en una clasificación definida ya a principios de los ochenta, y que distingue en primer lugar entre dos grandes tipos de atributos (Chavasse, 1980; Duryea, 1985): atributos materiales, directa e inmediatamente medibles; y atributos de respuesta o comportamiento, que hace referencia a la respuesta de la planta cuando es sometida a una condición ambiental particular.

Los atributos de comportamiento tratan de caracterizar aspectos tales como las reservas minerales o de carbohidratos, la funcionalidad de la membrana en el control de los movimientos iónicos hacia el exterior y el interior de las células, la capacidad de ajuste osmótico, y la elasticidad de las paredes celulares (Duryea y Landis, 1984, Hawkins y Binder, 1990, Mckay, 1999). Cada uno de estos atributos materiales expresa alguna condición de la planta que debe de estar relacionada con su calidad, es decir, con la potencial respuesta en supervivencia y crecimiento postransplante (Gil y Pardos, 1997).

Sin embargo, los atributos de comportamiento, al evaluar una respuesta que es fruto de la integración de múltiples condiciones de la planta, se puede considerar atributos de síntesis, ya que poseen la capacidad de resumir en uno o pocos parámetros muchos caracteres morfológicos de calidad (Burdett, 1990). Los atributos de comportamiento se caracterizan por el tipo de condiciones ambientales a las que son sometidas las plantas, así por la variable respuesta que mide (Oliet *et al.*, 2003). La ventaja de los atributos fisiológicos es que proporcionan una medida real del vigor y la resistencia de la planta, es decir, el tamaño de un brinzal o su estado nutricional no puede informar si una planta ha perdido vigor debido a una enfermedad o a una helada severa en vivero. Por ello, estos atributos a menudo presentan una buena correlación con el desarrollo de las plantas en campo (Ritchie, 1984, Burdett, 1990, Mckay, 1999).

Por lo tanto, ya que la morfología no nos indicará si las reservas no estructurales de carbohidratos de una planta son bajas o se dañan sus raíces finas; las cualidades fisiológicas se deben de considerar como complemento a las cualidades morfológicas y no como una alternativa (Mattsson, 1997).

a) Estado hídrico

El contenido de agua influye directamente en la germinación, tamaño de la planta, relación parte aérea/raíz y periodo de crecimiento (Birchler *et al.*, 1998). Se considera que cuando el follaje presenta contenidos relativos de humedad iguales o menores al 80%, la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico; por lo tanto, es recomendable tomar en cuenta que al momento de la plantación, la planta contenga el mayor contenido de humedad posible (Duryea y Dougherty, 1991). El estado hídrico de una planta (y la magnitud del estrés) es generalmente caracterizado por el potencial hídrico (Ψ_w) y el contenido relativo de agua (*RWC*, es decir, el contenido porcentual de agua en relación al contenido de agua a hidratación máxima) (Turner, 1988). Dado que existen importantes diferencias entre especies en el grado de tolerancia al estrés, es difícil establecer parámetros objetivos que definan al estrés y su magnitud en forma general.

Existen numerosos períodos de tiempo en los que las plantas son especialmente sensibles al estrés hídrico: durante la elongación activa del tallo, durante los procesos de extracción del vivero y plantación, así como una vez que son trasplantadas. Por ello, para obtener un óptimo crecimiento y desarrollo de la planta en vivero, al igual que una humedad adecuada para la plantación, es importante mantener el potencial hídrico de la planta por debajo de los límites de estrés durante la época de crecimiento, así como durante la extracción, selección, transporte y plantación (Duryea y Dougherty, 1991). Sin embargo, no conviene olvidar que reducir el riego y provocar estrés hídrico es también una herramienta importante empleada para inducir la parada del crecimiento y la entrada en latencia de las plantas (Vilagrosa *et al.*, 2006).

b) Contenido de carbohidratos

El estado de las reservas de carbohidratos de la planta es un parámetro fisiológico que puede dar alguna indicación de la salud y el vigor de la misma y que también puede tener implicaciones en el comportamiento en campo (Birchler *et al.*, 1998). Los carbohidratos se pueden dividir en estructurales (celulosas y hemicelulosas), reservas (almidón) y azúcares (carbohidratos metabólicamente activos) (Marshall, 1985). Por un lado el almidón, un carbohidrato de elevado peso molecular, y por otro lado los azúcares solubles, que comprenden una heterogénea familia de azúcares de pequeño peso molecular. Las plantas los emplean para su mantenimiento y crecimiento, si bien su modo de utilización durante el proceso de implantación en campo difiere entre los grupos de plantas leñosas (Villar, 2003).

En las coníferas, la formación de nuevas raíces durante las primeras etapas en campo se produce principalmente a partir de los azúcares formados en la fotosíntesis del momento y en menor medida de los de reserva (van den Driessche, 1988). Solamente en situaciones de estrés en las que la fotosíntesis de las plantas se ve mermada las plantas recurren a los azúcares almacenados previamente. La falta de carbohidratos de reserva en dichas situaciones puede afectar negativamente el desarrollo de las plantaciones (Marshall, 1985).

Las plantas al ser llevadas al sitio de plantación no pueden realizar la fotosíntesis durante varias semanas o más tiempo, ya que se encuentran en un medio diferente al vivero. Durante este tiempo las plantas dependen de sus reservas de carbohidratos, los cuales proporcionan el mantenimiento de la respiración (Duryea y Dourgherty, 1991).

c) Contenido de nutrientes

Cada especie tiene requerimientos particulares de nutrientes que permitirán un crecimiento y un vigor óptimos; estos requerimientos no son constantes y cambian

según las plantas crecen y se desarrollan (Timmer y Armstrong, 1987). Este factor puede ser influenciado por malas prácticas de manejo como el aplicar una fertilización en una época o dosis inadecuada ocasionando estrés, reduciendo el crecimiento, y si su efecto es prolongado puede llegar a afectar la supervivencia de la planta (Martínez *et al.*, 1995). Las plantas que reciben una fertilización elevada y, por tanto, que presentan una concentración o un contenido (concentración x masa) de nutrientes minerales elevado en los tejidos, suelen sobrevivir y crecer más después de la plantación que las poco fertilizadas y con un estado nutricional pobre (van den Driessche, 1992; Olliet *et al.*, 1997). El nitrógeno suele ser el elemento mineral más importante ya que es el más abundante en la planta y está implicado positivamente con la transpiración debido a que aumenta la superficie foliar, la relación parte aérea / parte radical, y muchas veces la conductancia estomática (Vilagrosa *et al.*, 2006). A menudo, el desarrollo postplantación de las plantas no se relaciona con la concentración de nitrógeno sino con el contenido de este elemento (Mattsson, 1997; Villar *et al.*, 2007). Ello probablemente sea debido a que en algunos ambientes, el tamaño de la planta o de alguna de sus partes es más relevante para su proceso de arraigo en campo que la propia concentración del nutriente.

La concentración de potasio en los tejidos también puede condicionar la supervivencia de las plantas, especialmente bajo condiciones de estrés hídrico. Christersson (1976) encontró que en algunas coníferas los individuos con niveles bajos de K presentan menor supervivencia que los que presentan niveles óptimos o elevados. Ello parece explicarse por el incremento de la resistencia de las plantas a la sequía debido a ajustes osmóticos y a una reducción de la tasa de transpiración (van den Driessche, 1992).

d) Tolerancia al estrés.

Dado lo extendido del término 'estrés' en la bibliografía científica, se enumerarán algunas definiciones enunciadas en la literatura. La definición biofísica de estrés involucra una fuerza ejercida sobre un objeto en relación con el área sobre la cual se

aplica (es decir, posee un significado equivalente al de presión). Por lo tanto, el término estrés en el marco de la fisiología vegetal 'refleja la magnitud de presión ambiental que fuerza al cambio en la fisiología de una planta' (Nilsen y Orcutt, 1996). Levitt (1980) definió al estrés como: 'cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos'.

A menudo es difícil distinguir entre aquellas respuestas que repercuten negativamente en la planta y aquellas que poseen un efecto benéfico. Nilsen y Orcutt (1996) señalan que algunos factores pueden tener ambos efectos. En este sentido, Lichtenthaler (1996) distingue tres conceptos: a) estrés: estado de una planta cuando se la somete a una fuerza, b) tensión o esfuerzo: es la respuesta de la planta al estrés antes que ocurra algún daño y c) daño: es el resultado de un estrés de tal intensidad que no puede ser compensado por la planta.

Usualmente el término 'tensión' (o esfuerzo) es escasamente utilizado por los fisiólogos vegetales, siendo usado más bien 'respuestas al estrés'. Es importante destacar que, aunque el estrés y sus respuestas vinculadas puedan estar presentes, no siempre esto implica la existencia de daño, aún cuando la planta esté sujeta a períodos largos o incluso a estrés continuo (Tambussi, 2004).

Otros autores definen al estrés como 'cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de algún proceso fisiológico (por ejemplo, crecimiento o fotosíntesis) por debajo de la tasa máxima respecto de la que podría alcanzar' (Lambers *et al.*, 1998). Según esta definición, la mayoría de las plantas estarían sometidas a algún tipo de estrés, ya que es improbable la ausencia de algún factor limitante. Estos mismos autores definen tres escalas temporales en la respuesta de las plantas al estrés: a) respuesta al estrés, b) aclimatación y c) adaptación.

Existen variadas clasificaciones de los factores de estrés. En general, estos pueden ser clasificados en físicos, químicos y bióticos, siendo los dos primeros agrupados bajo el término de 'estreses abióticos'. Entre los factores físicos se pueden

mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, altas-bajas temperaturas y radiación UV. Entre los factores químicos son ampliamente estudiados: la contaminación atmosférica metales pesados, toxinas, salinidad etc. Finalmente, entre los factores bióticos pueden mencionarse la competencia, la herbivoría, la alelopatía y los patógenos en general (Tambussi, 2004)

e) Resistencia al frío

Este atributo es importante por dos razones: primero, por los graves daños que se producirían en el caso de exponer plantas no endurecidas a la helada (Warrington y Rook, 1980), y en segundo lugar, para determinar indirectamente el estado de latencia y de resistencia al estrés de las plantas (Lavender, 1985). Esta información es importante para establecer temperaturas límite que determinen cuándo extraer y almacenar determinados lotes de plantas (Faulconer, 1988), ya que el éxito en las operaciones de plantación será mayor cuando el manejo se realice en los momentos de alta resistencia al estrés. La reducción de la temperatura, unido al acortamiento de los días, acentúa la resistencia de las plantas a las heladas y a otros factores de estrés como la sequía (Burr, 1990; Bigras *et al.*, 2001; Pardos *et al.*, 2003). Cuanto más fría sea una estación mayor grado de endurecimiento alcanzan las plantas.

Para estimular la respuesta de las plantas a temperaturas bajas, éstas son sometidas total o parcialmente a intervalos de temperaturas bajo cero y se evalúa el daño sufrido. La respuesta de la planta mide el nivel de endurecimiento al frío. Las técnicas para evaluar el daño por heladas, son las pruebas de crecimiento o pruebas de conductividad e impedancia eléctrica (Burr, 1990).

CAPÍTULO 3

PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. EN MEZCLAS DE SUSTRATO CON HIDROGEL Y CUATRO NIVELES DE RIEGO.

RESUMEN

Existen subproductos de la industria maderera útiles como sustratos para producir plantas en vivero; así como sustancias acondicionadoras para mejorar la humedad disponible a la planta. Por esta razón se evaluó el efecto de un polímero sintético en mezclas de sustrato alternativo con cuatro niveles de riego para la producción de *Pinus greggii* Engelm en vivero. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con un tratamiento adicional, donde se estudiaron 10 mezclas de sustrato compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita. A los 5 meses después de aplicar los diferentes niveles de riego, las plantas desarrolladas en 20 % corteza + 80 % aserrín y 4gL^{-1} de hidrogel presentaron el mayor incremento para las variables altura (21.8 cm) y diámetro (3 mm). En los tratamientos sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (32.8cm), diámetro del cuello (3.3 mm) y relación parte aérea/ raíz (2.13). Sin embargo, en la condición de estrés los incrementos no fueron significativos para la altura (15.64 cm), diámetro del cuello (2.56 mm) y relación parte aérea/ raíz (1.8). Los tratamientos con 4 g/L de hidrogel presentaron 77% de PRH, suficiente AFD (26%); 29% de ADD, pero su baja proporción de macroporos (3.3% PA) limitó la aireación del material (29% de CA), lo que pudo ocasionar problemas de oxígeno en la raíz. La más alta supervivencia en campo, se observó en el nivel de riego cada tres días (79%) en comparación de los otros tres riegos. El efecto de los tratamientos no presentó significancia en las plántulas llevadas a campo debido al desbalance morfológico que se presentó en vivero. Los tratamientos con dosis altas de hidrogel pueden tener éxito como medio de crecimiento ya que presentaron valores muy cercanos al testigo. La adición de hidrogel en el sustrato podría tener posibilidades para producir especies forestales utilizando el sistema de producción tecnificado.

PALABRAS CLAVES: Caracterización química y física, sustrato, índices de calidad, retención de agua.

CHAPTER 3

PRODUCTION OF *Pinus greggii* Engelm. IN MIXTURES OF SUBSTRATE WITH HYDROGEL AND FOUR LEVELS OF IRRIGATION.

SUMMARY

Useful by-products of the lumber industry exist as substrates to produce plants in nursery; as well as conditioning substances to improve the humidity available to the plant. Therefore was evaluated the effect of a synthetic polymer in mixtures of alternative substrate with four levels of irrigation for the production of *Pinus greggii* Engelm. in nursery. A design of parcels divided with an additional treatment was used, where 10 mixtures of substrate studied composed by sawdust, crust of pine, disturbs, agrolita and vermiculita. To the 5 months after applying the different levels from irrigation, the plants developed in 20% crust + 80% sawdust and 4gL⁻¹ of hydrogel presented the greater increase for the variables height (21.8 cm) and diameter (3 mm). In the treatments with no limitation upon humidity the rates of growth were majors in height (32.8cm), diameter of the neck (3.3 mm) and relation divides aerial root (2.13). Nevertheless, in the condition of stress the increases were not significant for the height (15.64 cm), diameter of the neck (2.56 mm) and relation divides aerial root (1.8). The treatments with 4 g/L of hydrogel displayed 77% of PRH, sufficient AFD (26%); 29% of ADD, but its low proportion of macropores (3,3% PA) limited the ventilation of the material (29% of CA), which could cause oxygen problems in the root. The highest survival in field, was observed in the irrigation level every three days (79%) in comparison of the other three irrigations. The effect of the treatments did not present significance in seedlings taken to field due to unbalance morphologic that appear in breeding ground. The treatments with high doses of hydrogel can be successful like growth means since they presented values very near the witness. The addition of hydrogel in the substrate could have possibilities to produce forest species using the technified production system.

Key words: Chracterization chemistry and physics, substrate, quality index, water retention

3.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de una plantación forestal está relacionada con la calidad de los brinzales establecidos. En el vivero, para obtener plantas de calidad no sólo es necesario contar un buen material genético, también es indispensable la incorporación de la tecnología adecuada en el proceso de producción. En tal sentido, el sustrato en el que la planta desarrollará sus primeros estadíos de vida es un elemento tecnológico fundamental para la obtención de plantas de calidad (Alorda, 2003). Su función, al igual que el suelo, es dar soporte físico para el crecimiento y desarrollo de la planta; por ello, la matriz del sustrato es la responsable de otorgar un espacio para el crecimiento de las raíces y almacenamiento de agua y nutrientes (Landis *et al.*, 1990).

La elección del sustrato a emplear es de especial interés para producir plántulas en vivero. La composición física y química del sustrato está directamente relacionada con el crecimiento, vigor y producción de materia seca y supervivencia de las especies (Prieto *et al.*, 1999). Por lo general, se utilizan mezclas de diferentes tipos, siempre buscando una textura liviana que facilite el drenaje y la aireación, y que presenten un medio adecuado donde la planta desarrolle un buen sistema radical que le permita prosperar una vez plantada en el terreno definitivo (García *et al.*, 2001).

Obviamente, el precio del sustrato debe ser accesible y lo más económico posible. Sin embargo, actualmente en los viveros tecnificados se usa como sustrato principal una mezcla de turba, agrolita y vermiculita (usualmente en proporciones de 60:30:10); materiales importados a altos costos. En este sentido, están apareciendo en el mercado materiales “ecológicamente correctos”, como los procedentes del reciclaje de subproductos que son a la vez biodegradables o reciclables, entre los que se encuentran el aserrín y la corteza de pino (Burés, 1997)..

La utilización de este tipo de materiales ofrece dos ventajas fundamentales: la primera se refiere a materiales autóctonos más baratos de obtener, a los que no se les añade el costo del transporte. Mientras que la segunda ventaja da una finalidad

productiva a materiales secundarios de otros procesos productivos (incluso industriales) que de otra manera hubiesen acabado acumulándose como desperdicios en pilas gigantescas sin uso. Por ello, la utilización de este tipo de materiales es marcadamente económica y así como de carácter ecológico (Starbuck, 1997).

Estos materiales son más baratos (hasta 70% menos) que la turba, agrolita y vermiculita, y también tienen características apropiadas para reducir la actividad de hongos fitopatógenos y mejorar la porosidad (Landis *et al.*, 1990). La corteza, por ejemplo, cuando está composteada aumenta su capacidad de intercambio catiónico, y aunque el aserrín puede presentar algunos problemas de fitotoxicidad cuando está crudo, lo que se puede corregir con el lavado del mismo o con el proceso de descomposición (Boodley, 1998).

El uso eficiente de la humedad en el sustrato es importante para la producción agrícola a la luz de recursos hídricos escasos. Acondicionadores del sustrato natural y sintético, contribuyen perceptiblemente para proporcionar depósito de humedad al sustrato o al suelo, donde los sistemas de raíz se fijan normalmente. Existen materiales poliméricos que mejoran las características físicas del sustrato o del suelo, sirven como almacenadores intermediarios contra la tensión temporal de la sequía y reducen el riesgo de pérdidas de plantas, durante el establecimiento (De Boodt 1990; Johnson y Leah, 1990); esto se alcanza por medio de la reducción de evaporación a través de movimientos restringidos del agua a la superficie inferior de la capa superficial (Ouchi *et al.*, 1990).

Por ejemplo, Ness (1999) con *Nothofagus obliqua* Mirb y de *Nothofagus dombeyi* Mirb. evaluó ambas especies por intervalo de plantación (0, 3, 6, 9 y 12 días) un tratamiento de hidrogel (para proteger las raíces de la deshidratación al momento de ser extraídas del vivero) y un tratamiento sin el producto. Al cabo de dos años desde la plantación, *Nothofagus obliqua* no mostró diferencias en los diferentes momentos de plantación ni al tratamiento de hidrogel en cada uno de los parámetros evaluados. En cambio *Nothofagus dombeyi* se vio afectado en los parámetros diámetro basal, altura y

peso de planta en los momentos de plantación más tardíos. Además, en los tratamientos con hidrogel obtuvo mayores valores que en aquellos en los que no se usó el producto.

En especies forestales como *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis* se han producido plántulas de calidad adecuada usando diferentes proporciones de aserrín (Reyes, 2005). Por lo anterior, en el presente capítulo se evaluó el efecto de diferentes mezclas a base de aserrín, sobre el crecimiento y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. producida en vivero con el sistema tecnificado. Dicha especie es un importante componente en programas de restauración y protección de cuencas.

3.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de diferentes mezclas de sustrato y frecuencia de riego para la obtención de plantas de calidad en vivero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar las propiedades físicas y químicas de mezclas de sustrato con hidrogel para la producción de *Pinus greggii* Engelm.

Evaluar el efecto del hidrogel en mezclas de sustrato bajo diferentes niveles de riego en vivero sobre la calidad de la planta de *Pinus greggii*.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Etapa de vivero

La fase de vivero se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México (19° 29' N y 98° 54' O, a una altitud de 2250 m). En donde el clima es del tipo C (Wo) (w)b(1) g' que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 15.5° C, con precipitación media anual de 750 mm y oscilación térmica de 5 a 7° C.

Materiales utilizados

Se emplearon semillas de *Pinus greggii* obtenidas del banco de germoplasma del Programa Forestal en el Colegio de Postgraduados-Montecillo. Las semillas de una mezcla de varios árboles se recolectaron en el municipio de Meztlán en la comunidad de Fontezuelas, Hidalgo, en el 2004.

El aserrín utilizado fue de *Pinus patula* Schl. et Cham., recolectado crudo directamente del aserradero del Ejido Pueblo Nuevo, en el municipio de Zacatlán, Puebla, en donde se ha utilizado para la producción de especies forestales en vivero. La turba, agrolita y vermiculita son materiales importados de Canadá y se venden comercialmente en México. La corteza utilizada fue de *Pinus douglasiana* Martínez, y se obtuvo de la región sur del estado de Jalisco, donde es moderadamente composteada y se vende en forma comercial.

3.3.2 Preparación de mezclas de sustrato

Con base en los porcentajes propuestos por Reyes *et al.* (2005) quienes sugieren el uso de aserrín en proporciones de hasta 80% y 90%; se combinaron la corteza y aserrín; para el testigo se utilizó turba, agrolita y vermiculita (Cuadro1).

Cuadro 1. Proporciones de los componentes en la mezclas evaluadas.

MEZCLAS	% Componentes de las mezclas				
	Corteza	Aserrín	Turba	Agrolita	Vermiculita
1	60	40			
2	40	60			
3	20	80			
4*			60	30	10

*= Mezcla testigo

El 28 de Noviembre del 2007 se realizó la preparación de las mezclas, aplicando al sustrato un fertilizante de liberación lenta (Osmocote®), en dosis de 5 kg m⁻³ con la fórmula 14-14-14 (nitrógeno, fósforo y potasio). Las dosis de hidrogel utilizadas en el sustrato fueron de 2 g, para la dosis media y 4 g, para la dosis alta por cada litro de sustrato.

3.3.3 Producción de planta

Antes de la siembra la semilla de *Pinus greggii* fue colocada en remojo por 24 horas en una solución de 8:2 de agua destilada y peróxido de hidrógeno al 3.5; posteriormente se desinfectó por dos horas con 10 g de Captan® en polvo. La siembra se realizó el día 29 de noviembre del 2007 y se depositó de dos a tres semillas por cavidad. Los riegos fueron diarios a partir de la siembra y la germinación se presentó un mes después de ésta.

3.3.4. Prácticas culturales

Se utilizaron 120 charolas porta contenedores de propileno con 30% de fibra de vidrio de 49 tubetes con un volumen de 137 cm³, diámetro superior de 4.6 cm, diámetro inferior de 2.83 cm y 15.8 cm de largo; elaborados de polipropileno estabilizador de rayos Ultra Violeta (UV) y costillas internas.

Como preventivo para el ataque de algún hongo se inició con la aplicación de fungicidas como Captan® en dosis de 2 g/l de agua y Tecto® en dosis de 2 g/l de agua. Para mantener un pH de 6 en el agua de riego se usó ácido fosfórico (H₃PO₄) al 85%. En el mes de marzo de 2007 hubo presencia de *Fusarium* lo que se controló con una mezcla de 3 fungicidas Cabendex®, Pircos® y Antrak® en dosis de 1 g/l de agua. La aplicación de los fungicidas se realizó cada 8 días con una bomba aspersora durante un mes.

Se evaluaron cuatro niveles de riego (diario, cada tercer día, cada cuatro días y cada cinco días) empezando con su aplicación el 31 de marzo con una regadera manual. Se evaluó el efecto de éstos sobre las plántulas durante 4 meses. Esporádicamente se realizaron deshierbes en forma manual.

3.3.5 Localización del sitio de la plantación

La investigación se realizó en la parte Este de la Cuenca del Río Coxacoaco, localizada entre los paralelos 98° 47' 55'' de longitud Oeste y 19° 29' 53'' de latitud Norte, en San Miguel Tlaixpan, Estado de México. La zona se ubica entre los 2300 msnm y 2600 msnm, una ladera orientada de noroeste a suroeste con pendiente hacia el suroeste. El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1981), se define como C (wo)(w)b(i') templado húmedo, con lluvias en verano y en invierno menores de 5% de la lluvia total y temperatura media entre 12 y 18 °C. El sitio del ensayo está situado sobre una ladera de un interflujo perpendicular a la pendiente principal y presenta pendiente promedio de 8 a 10%, con alto grado de erosión.

La roca parental consiste de andesitas y brecha sedimentaria (Ortiz y Cuanalo, 1977) los suelos son de tipo litosol; suelos duros con bastante pedregosidad. En lo alto del cerro el suelo se encuentra sobre roca sólida por lo que la mayoría presenta un alto grado de erosión y en la ladera el suelo se encuentra por encima del tepetate. Se puede catalogar este suelo de estable a muy estable. El análisis mecánico indica que es un suelo con características de franco y que su contenido de arcilla oscila alrededor de

30% (Betancourt *et al.*, 2001), es bastante compacto, debido principalmente al material de origen (tobas volcánicas). La dureza del suelo reduce el desarrollo de raíces pero a la vez aumenta la estabilidad estructural del suelo.

3.3.6 Establecimiento de la plantación

El sitio de plantación utilizado fue preparado a través de la formación de terrazas. Se realizaron cepa común en las líneas de subsoleo utilizando pico y pala recta; las dimensiones de las mismas fueron de 30x30x30 cm.

Se plantó el día 3 de septiembre del 2008. El total de brinzales establecidos fue de 610, distribuidos en tres bloques por terraza. Se plantaron seis terrazas para un total de 18 bloques.

El día 3 de octubre del 2008 se llevó a cabo la medición inicial en campo para la variable diámetro en la base del tallo (mm), utilizando un vernier digital y altura de los brinzales establecidos. La altura se midió en centímetros, desde la base del tallo hasta la yema apical.

3.3.7 Diseño del experimento

El diseño bajo el cual se estableció el experimento de vivero fue un diseño en parcelas divididas, en donde en la parcela grande se ubicaron los niveles de riego, y en la parcela chica se establecieron las mezclas de sustrato e hidrogel y un tratamiento adicional (testigo). Se trata de un arreglo factorial. La unidad experimental estuvo constituida por 49 plántulas por tratamiento con tres repeticiones, obteniendo una población total de 1470 plántulas. Cada nivel de riego se compuso de 30 charolas (Anexo 1). El tamaño de muestra para el análisis destructivo fue de 15 brinzales elegidos del centro de cada parcela.

La unidad experimental en campo consistió de cinco árboles de cada tratamiento con tres repeticiones que se establecieron en terrazas divididas en tres bloques, todos los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente en cada uno de los bloques del sitio de plantación. Cada bloque estuvo conformado por 10 tratamientos, es decir, 50 plantas.

3.3.8 Variables evaluadas y análisis estadístico

a) Análisis físico-químico del sustrato

El análisis de las propiedades físicas y químicas se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Posgraduados. Las propiedades físicas de los sustratos se determinaron en cuatro repeticiones de cada uno de los tratamientos, con un volumen promedio de 137 cm³, equivalente al volumen de un contenedor para la producción de planta en vivero. La porosidad total (PT), la porosidad de aireación (PA), la porosidad de retención de humedad (PRH), así como la densidad real (DR) y la densidad aparente (DA), se determinaron basándose en la metodología descrita por De Boodt *et al.* (1974).

Las propiedades químicas que se analizaron se basaron en el manual de laboratorio propuesto por Palmer y Troeh (1989) y van Reeuwijk (1999); se analizó el pH por el método del potenciómetro, la conductividad eléctrica (CE) por el método del conductímetro y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método del acetato de amonio.

Con base en la curva de retención de humedad se determinó la curva de liberación de agua para cada mezcla, usando el método de batería de embudos (De Boodt *et al.*, 1974). La curva está compuesta de agua difícilmente disponible (ADD), agua de retención (AR), agua fácilmente disponible (AFD), capacidad de aire (CA), espacio poroso total (EPT) y materia sólida (MS).

b) Evaluación de variables morfológicas

Las plántulas se evaluaron el 21 de agosto del 2008, cuatro meses y medio después de la aplicación de los diferentes niveles de riego. Se tomaron datos de diámetro a la base del tallo, altura de la planta y la biomasa aérea y radical. A partir de éstas, se estimaron la relación parte área/raíz, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson.

La altura se midió (cm) desde la base del tallo hasta la yema apical. El diámetro se midió (mm) en la base del tallo. Para evaluar la biomasa se extrajeron las plántulas de los contenedores, se lavaron cuidadosamente para eliminar el sustrato adherido junto con el hidrogel. Las muestras se colocaron en bolsas de papel por separado la parte aérea y la radical, con sus respectivas identificaciones, y se secaron en estufa a 70° C, hasta obtener un peso constante (72 h); transcurrido este periodo, se pesaron en una balanza analítica, con precisión a miligramos.

La relación parte aérea/raíz se estimó como el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g) (Thompson, 1985). El índice de esbeltez se calculó mediante el coeficiente de la altura y el diámetro del tallo (Toral, 1977). El índice de calidad de Dickson (ICD) resultó de integrar los valores de peso seco total, e índice de esbeltez y la relación parte aérea/raíz (Dickson *et al.*, 1960).

El paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.1 para microcomputadoras se utilizó en el análisis de los datos; se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), con la finalidad de determinar diferencias significativas en las variables evaluadas entre tratamientos. Se obtuvo el análisis de varianza para cada variable, lo que permitió determinar diferencias entre los factores de interés; debido a que es un esquema factorial el experimento se analizó como parcelas divididas con un tratamiento adicional utilizando el siguiente modelo (Federer, 1955):

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + r_j + (Rr_{ij}) + T_k + (TR_{ik}) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general del ensayo

R_i = Efecto del i-ésimo riego

r_j = Efecto de la j-ésima repetición

Rr_{ij} = Error aleatorio de la parcela completa

T_k = Efecto del k-ésimo tratamiento

TR_{ik} = Interacción tratamiento*riego

ε_{ijk} = Error aleatorio de la subparcela

La razón por la cual se eligió este diseño experimental se debe a que éste nos permite probar los efectos independientes de cada factor y al mismo tiempo evaluar la interacción de los mismos.

c) Evaluación de la supervivencia

Para la evaluación de las supervivencia se utilizó el un modelo lineal generalizado (Cox *et al.*, 1989) con la finalidad de determinar diferencias significativas entre tratamientos; y se utilizó el paquete estadístico SAS, con el procedimiento de Tabla de Análisis para obtener el porcentaje de supervivencia tomando en cuenta sólo la repetición uno y dos, debido a que, por las características del terreno no se presentó supervivencia en la franja tres de cada terraza, lo cual aumentaría el error para el análisis.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 Propiedades físicas de los tratamientos

La totalidad de los sustratos presentaron densidades aparentes (DA) dentro de los rangos óptimos (Ravi, 2004). Las densidades aparentes (DA) oscilan entre 0.17 g.cm^{-3} y 0.36 g.cm^{-3} , siendo la mezcla con 60% corteza + 40% aserrín y 2 mg/L y sin hidrogel, la que presenta valores más bajos comparadas con el testigo que presentó el valor más alto (Cuadro 2).

Para el manejo de los contenedores en vivero o para el traslado de las plantas al campo es importante la DA. Mezclas con bajas DA permiten manejar mayor número de contenedores por que tienen menor peso y llevar más carga de plantas. Los valores relativamente bajos de los tratamientos son comparables con los reportados en la literatura (Ansorena, 1994) y los obtenidos por Gacía *et al.*, 1999, en la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallis*, utilizando sustratos a base de cascarilla de arroz, polvo de coco, corteza de pino y composta de jardinería en combinación con materiales inorgánicos (piedra pómez y tezontle).

Caso contrario a la DA, en la densidad real (DR) el testigo presenta el valor más bajo (1.04 g.cm^{-3}) y los tratamientos 1 y 9 los valor más altos (1.37 g.cm^{-3}). La densidad real para la corteza de pino triturada reportada por Burés (1997) es de 1.84 g.cm^{-3} . Landis *et al.* (1990) señalan que las densidades de los minerales son de 2.6 g.cm^{-3} y de la materia orgánica es de 1.55 g.cm^{-3} . Sin embargo, las densidades de las mezclas pueden variar por el tamaño de las partículas.

La porosidad total y, en particular, su distribución entre porosidad de aire y retención de humedad son consideradas las características físicas más importantes para el crecimiento y desarrollo de plántulas en vivero (Ravi, 2004). Varias de las propiedades físicas encontradas en los materiales evaluados se ajustan a los valores señalados en la literatura (Armstrong y McIntyre, 2000, García *et al.*, 2001). De acuerdo con esto, todos los tratamientos se encuentran dentro del rango óptimo, ya que los

valores oscilan entre el 68% (testigo) que es el más bajo y 89% en el tratamiento 9 con la mejor porosidad. Estos valores se acercan al 60% y 80% reportados para un sustrato ideal en contenedor Landis *et al.* (1990).

Cuadro 2. Principales propiedades físicas de 3 mezclas de sustrato con tres dosis de hidrogel probadas en vivero en la producción de *Pinus greggii* Engelm.

Propiedades físicas							
Tratamiento	Sustrato	Hidrogel g/L	Densidad en g.cm ⁻³		Porosidad en %		
			D.A.	D.R.	P.T.	P.A.	P.R.H.
1	M1	Sd	0.17	1.37	76	7	69
2	M1	Dm	0.17	1.22	86	4	81
3	M1	Da	0.19	1.32	82	4	78
4	M2	Sd	0.18	1.30	78	11	67
5	M2	Dm	0.18	1.36	82	4	78
6	M2	Da	0.18	1.31	89	3	86
7	M3	Sd	0.20	1.36	78	9	69
8	M3	Dm	0.19	1.36	70	4	66
9	M3	Da	0.20	1.37	70	3	67
10	Testigo	Testigo	0.36	1.04	68	21	58

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%). Sd=sin dosis, Dm= dosis media y Da= dosis alta. D.A.= Densidad aparente, D.R.= Densidad real, P.T.=Porosidad total, P.A.= Porosidad de aireación y P.R.H.= Porosidad de retención de humedad.

Sin embargo, los cambios ocasionados por el hidrogel sobre la porosidad total y la fracción de micro (porosidad de retención de agua) y macroporos (porosidad de aireación) puede tener otras implicaciones. A este respecto Peñuelas y Ocaña (1996) mencionan que niveles altos de porosidad (> 80%) favorecen el crecimiento de las raíces, lo que también repercute en forma positiva sobre el desarrollo de la parte aérea de las plantas. Aunado a esto, una proporción elevada de microporos permite una mayor retención de agua en el sustrato, lo cual tiene efectos positivos en el manejo de las plantas al reducir la frecuencia de riego en el vivero (Puustjarvi y Robertson, 1975). Siendo éste el caso de los tratamientos con dosis media (2, 5 y 8) y dosis alta de

hidrogel (3, 6 y 9) en donde, se presentan altos porcentajes de P.R.H. (Cuadro 2) por la presencia de hidrogel que ayuda a la retención de humedad y disminuyendo conforme se aumenta la proporción de aserrín; sin embargo, disminuyen los porcentajes de porosidad total asociado al volumen de partículas de hidrogel que ocuparon los espacios porosos (especialmente los microporos) del sustrato.

Los macroporos son los que se vacían de agua después de que el sustrato ha drenado, permitiendo la aireación de las raíces; el intervalo óptimo de macroporos es de 10 a 30% (Ansoren, 1994; Cabrera, 1999). Valores menores de 10% pueden causar problemas de oxígeno en las raíces de la plantas, ya que éstas tienden a acumularse en las paredes de los contenedores (Búres, 1997); este es un problema potencial al incluir hidrogel en las mezclas de sustratos, ya que la porosidad de aireación se reduce por debajo de 10% (Cuadro 3).

Cuadro3. Componentes de la curva de liberación

Tratamiento	Sustrato	Hidrogel	ADD	AR	AFD	CA	EPT	MS
1	M1	Sd	23	9	20	30	88	25
2	M1	Dm	29	7	25	32	86	14
3	M1	Da	26	6	23	49	86	19
4	M2	Sd	23	8	24	29	86	23
5	M2	Dm	26	10	20	35	87	19
6	M2	Da	29	11	29	28	86	11
7	M3	Sd	24	8	14	39	85	24
8	M3	Dm	31	4	21	20	86	33
9	M3	Da	26	6	27	21	85	31
10	Testigo		22	22	5	24	85	32

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%). Sd=sin dosis, Dm= dosis media 2 g/l y Da= dosis alta 4 g/l. ADD= Agua difícilmente disponible, AR= Agua de retención, AFD= Agua fácilmente disponible, CA= Capacidad de aire, EPT=Espacio poroso total y MS= Material sólido.

El agua fácilmente disponible se refiere a la cantidad de agua (% en volumen) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 10 y 50 cm de columna de agua

(Pastor, 2000). La mezcla 6 con 20% de corteza + 80% de aserrín y 4 g/L de hidrogel es la que presenta un mayor promedio de AFD (29% volumen), lo que significa que esta mezcla, tiene suficiente agua disponible para las plantas (Cuadro 3) y se encuentra dentro del rango considerado como óptimo según Abad *et al.*, (1993) con un rango de 20 a 30% en volumen. Siendo ésta mezcla la que dio una mejor combinación de AR y CA y por cierto es una de las más ligeras, por lo que presenta las características del tipo de sustrato ideal para su uso en vivero. Por el contrario la muestra testigo (5% de volumen) a pesar de tener alta capacidad de retención de agua, su nivel de AFD es bajo al igual que su nivel de aireación, esto se debe a que contiene una alta proporción de material muy fino, lo que le resta aireación y agua fácilmente disponible. Es decir que aunque tiene alta capacidad para retener agua, esta no está fácilmente disponible, además de limitar la aireación del material.

En general el AFD es inversamente proporcional a la cantidad de aserrín presente en las mezclas y el promedio aumenta proporcionalmente a la dosis de hidrogel. Esta es la variable más importante que se utiliza para determinar el valor de cualquier sustrato. Es siempre la que se debe de analizar con mucho cuidado antes de decidir su utilización.

La capacidad de aire se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después que dicho sustrato ha sido llevado a saturación y dejado drenar (normalmente a 10 cm de columna de agua) (Pastor, 2000). A pesar que la capacidad de aire (CA) se redujo ligeramente al incrementar la proporción de aserrín (tratamientos 7, 8 y 9) la mayoría de las muestras (a excepción de las 3 y 7) se encuentran dentro de los valores reportados por Abad *et al.* (1993) quienes reportan valores de 20 a 30% en base a volumen (Cuadro 2). Al respecto Paul y Lee (1976), destacan esta característica de los sustratos sobre el suelo, debido a la facilidad que tienen los sustratos para proporcionar un nivel suficiente de oxígeno y agua a la raíz; mientras mayor sea la cantidad de macroporos mejor será la aireación, ya que las raíces de las plantas obtienen el oxígeno una vez que éstos han drenado después del riego. Investigaciones con plantas jóvenes de aguacate (*Persea americana* Mill.) en contenedores

determinaron que la mayor actividad radicular se produce con 21% de oxígeno y que con valores menores se reduce el peso seco de la raíz, disminuye el número total de nutrientes en la planta y aumenta la translocación de iones fitotóxicos, como sodio y cloro, hacia la parte aérea (Paul y Lee, 1976). Por lo tanto un sustrato con alta porosidad total y capacidad de aireación puede tener éxito como medio de crecimiento, es decir, según Raviv *et al.* (2004) el mejor sustrato es el que además de retener agua posee un adecuado contenido de aire para el buen desarrollo de las plantas.

La incorporación de hidrogel ocasiona cambios importantes en las diferentes fracciones de la curva de retención del sustrato, ya que las mezclas con 2 g/L y 4 g/L de hidrogel presentan en promedio 22% y 26% de AFD respectivamente, y aunque se encuentran dentro de los valores óptimos reportados por Abad *et al.* (1993) el promedio del ADD es de 28% y 27% con lo que retienen fuertemente el agua y no está disponible a las plantas, esto es, aparentemente el hidrogel en las mezclas estuvo relacionado con un incremento en la capacidad de retención de agua, pero la planta requerirá energía extra para poder disponer de ellas al tomarla del hidrogel. El agua de reserva de las muestras con la dosis media y alta de hidrogel (7% en ambas) se encuentran dentro del rango óptimo según Abad *et al.* (1993), quienes reportan un valor de 4 a 10% en volumen.

Para poder determinar si el agua absorbida por los hidrogeles requiere de energía extra de la raíz para poder disponer de ella, tal vez se tendría que haber hecho una medición de la razón de liberación, y así determinar bajo qué presión se incrementa el potencial químico del agua dentro de la estructura del hidrogel y por tanto del sustrato acondicionado, y conocer con precisión la fuerza impulsora necesaria para liberar agua hacia los alrededores (Barón *et al.*, 2007).

Las mezclas a base de 60% de corteza + 40% de aserrín con y sin hidrogel tienen en promedio 23% de agua fácilmente disponible (AFD) y se encuentran dentro de los valores óptimos reportados por Abad *et al.* (1993). El agua difícilmente disponible, se trata del agua (% en vol.) que queda retenida en el sustrato después de

aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua (Pastor, 2000) y es alta en estas mezclas con un promedio de 26% con lo que retiene fuertemente el agua y no está disponible a las plantas. El agua total disponible (30%) se encuentra dentro del valor óptimo, con un rango de 24 a 40%. A pesar de que el agua de reserva aumenta conforme disminuye la dosis de hidrogel en las mezclas M1 (Cuadro 3), están dentro del rango óptimo (de 4 a 10% en volumen).

En el Cuadro 3 se muestra como las mezclas a base de 40% de corteza + 60% de aserrín y 20% de corteza + 80% de aserrín con y sin hidrogel no ocasionan cambios importantes en las diferentes fracciones de la curva de retención de agua del sustrato. En promedio el ADF en ambas fue de 23% y 21% respectivamente y el ADD (26%) (27%) se encuentran dentro de los valores óptimos, así como el ATD con 34% y 26%; esto es un tercio del volumen del espacio poroso total. Sin embargo, el agua de reserva, que se refiere a la cantidad de agua (% en vol.) que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 50 y 100 de columna de agua (Pastor, 2000) en las M2 si aumentó (10%) debido a la alta proporción de microporos (77%) lo que permite una mayor retención de agua en el sustrato. A diferencia de las M3 que presentaron el promedio más bajos con 6% debido también a su bajo proporción de PRH (66%).

Estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2006) en mezclas de 80% de corteza + 20% aserrín, 60% corteza + 40% aserrín y 20% corteza + 80% aserrín sin hidrogel. En donde, el AFD varió de 4.8% a 9.9%, ADD de 25.7% a 38.8%, y AR no fue superior a los 5.5; sin embargo, la CA presenta valores muy similares (18.8% - 50.1%).

3.4.2 Propiedades químicas de los tratamientos

En cuanto al pH todos los sustratos están por debajo de un valor de 5, la mayoría de los sustratos se agruparon alrededor de 4. Existe variación en el pH de las diez muestras dependiendo de los componentes de las mismas pero sólo aquellos sustratos que contenía la mayor dosis de hidrogel (tratamientos 3, 6 y 9) presentaron un

pH menos ácido con respecto a los tratamientos que no contenían hidrogel o una dosis baja (Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales propiedades químicas de 3 mezclas de sustrato y tres dosis de hidrogel probadas en vivero en la producción de *Pinus greggii* Engelm.

Propiedades químicas					
Tratamiento	Sustrato	Hidrogel g/L	pH relación 1:8	CIC Meq/100g	CE dS.ms ⁻¹
1	M1	Sd	3.51	77	0.33
2	M1	Dm	3.86	80.4	0.39
3	M1	Da	4.02	69.4	0.47
4	M2	Sd	3.6	65	0.23
5	M2	Dm	4.54	49.4	0.31
6	M2	Da	4.79	47.4	0.33
7	M3	Sd	4.31	44.4	0.27
8	M3	Dm	4.91	53.8	0.38
9	M3	Da	4.98	54.4	0.33
10	Testigo	Testigo	3.9	78	0.38

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%). Sd=sin dosis, Dm= dosis media y Da= dosis alta. CIC= Capacidad de intercambio catiónico, pH=potencial de hidrógeno y CE= Conductividad eléctrica.

El tratamiento con 60% de corteza + 40% de aserrín y sin hidrogel fue el más ácido, inclusive más que el testigo. En cambio los sustratos M3 que contenían mayor contenido de aserrín (80% de aserrín y 20% de corteza) presentaron una menor acidez que los sustratos M1 y M2, siendo el tratamiento 9 (80% de aserrín y 20% de corteza y 4g/L de hidrogel) con un pH 4.98 el menos ácido. Mateo (2005) señala que el pH de aserrín de *Pinus patula* al 100% y en combinación con tierra de monte varía entre 4.5 a 4.7 sin y con fertilización de 4 kg.m⁻³ de multicote.

Ruano (2008) menciona que en condiciones ácidas o neutras se afecta a diferentes tipos de microorganismos, incluyendo a los hongos patógenos. *Fusarium* ssp. es más virulento bajo estas condiciones y las pérdidas de las plantas por los hongos del grupo de *Damping-off* se incrementa con valores de pH por encima de 5.9. Con respecto al daño causado por *Fusarium* ssp. en las plantas recién germinadas, se concuerda con éste autor, en que es definitivo tener un pH cercano a 5.5; ya que se presentó este problema en vivero y fue controlado con productos químicos.

Peñuelas y Ocaña (1996) mencionan que el pH final del sustrato depende de la proporción en que entran en la mezcla sus componentes, del pH original de cada uno, y de las formas de cultivo que se practiquen, especialmente de la fertilización y el riego. Landis *et al.* (1990) y Ruano (2008) concuerdan en que el principal efecto del pH en un suelo mineral y en medio orgánico es su influencia en la disponibilidad de micronutrientes. Esto es, que en sustratos orgánicos el máximo nivel de absorción de nutrientes por la planta se da en pH de 5.5.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) con los valores más altos fueron de los sustratos con 60% de corteza y 40% de aserrín (M1), disminuyendo conforme aumenta la proporción de aserrín en cada tratamiento, con lo que se observa que a mayores porcentajes de corteza y menos de aserrín aumenta la CIC (Cuadro 4). Resultados similares obtuvo Sánchez (2006) en la producción de *Pinus patula* en donde los mayores valores de CIC se obtuvieron en mezclas de corteza al 80% con 20% de aserrín (89.4 meq/100g), y corteza al 60% y 40% de aserrín (87.6 meq/100g). Landis *et al.* (1990) comentan que los materiales orgánicos no composteados, como el aserrín o la corteza, limitan la disponibilidad de nitrógeno, ya que los organismos que descomponen la materia orgánica requieren de este nutrimento.

Una CIC elevada constituye un depósito de reserva para los nutrientes, mientras que los materiales con baja CIC, como la mayoría de los sustratos minerales, retienen cantidades reducidas de nutrientes y requieren una aplicación frecuente y regular de fertilizantes. Se pueden prevenir los cambios rápidos en la acidez o la alcalinidad de los

sustratos, usando materiales orgánicos en las mezclas de cultivo (Urrestarazu, 2004). Cuando el sustrato es muy ácido ($\text{pH} < 5.0$) o alcalino ($\text{pH} > 7.5$) suelen aparecer síntomas de deficiencia de nutrientes, no debidos a su escasez en el medio de crecimiento sino por hallarse en formas químicas no disponibles para la planta.

Las mezclas con los valores más bajos de CIC oscilan entre 44.4 meq / 100g y 54.4 meq / 100g en las mezclas M3. Esto se debe a que el aserrín crudo no tiene los suficientes microorganismos que descomponen la materia orgánica y por tanto su CIC es baja. Peñuelas y Ocaña (1996) analizaron la CIC de la corteza de pino al 100% y encontraron que fue de 52.6 meq/100g y las plántulas cultivadas tuvieron los mejores resultados en vivero.

De las mezclas M1 con altos valores de CIC con respecto a los demás sustratos, en el tratamiento 2 (60% de corteza con 40% aserrín y 2 g/L de hidrogel) se presentó la mayor CIC (80.4 meq/100g), esto puede deberse a que el hidrogel aumenta la eficiencia del uso de los nutrientes, ya que los retiene al reducir el lixiviado y escurrimiento en profundidad. Este aumento no presentó una diferencia en las otras mezclas, debido a la proporción de corteza y aserrín antes discutida.

La CIC es un buen índice de la aptitud del sustrato para almacenar nutrientes catiónicos esenciales: a mayor CIC, mayor fertilidad potencial del sustrato. Pero una CIC alta no asegura la presencia de cantidades suficientes de todos y cada uno de los nutrientes, puesto que el sustrato puede estar mal abastecido de uno o varios de los nutrientes e, incluso puede estar ocupado por un exceso de cationes indeseables o tóxicos.

La conductividad eléctrica, es indicadora por un lado de la carga nutricional o disponibilidad inmediata de nutrientes, y por otro, está relacionada con la calidad del agua. Los valores de la CE de los sustratos están entre los 0.23 dS ms^{-1} la más baja y los 0.47 dS ms^{-1} (Cuadro 4), siendo el tratamiento testigo igual que el tratamiento 8 (0.38 ds.ms^{-1}) y menor que le tratamiento 3 (0.47 dS ms^{-1}). Al respecto Bunt (1988) sugiere que en sustratos ricos en materia orgánica, la CE debe estar entre 0.75 y 1.99

dS ms⁻¹ en CE; de 2.00 a 3.49 dS ms⁻¹ las plantas crecen satisfactoriamente y si no toleran ese nivel de CE reducen su crecimiento. Lorenzo *et al.* (1996), consideran que el intervalo óptimo de CE es de 1.2- 2.5 dS ms⁻¹ y que valores de CE mayores de 2.5 dS m⁻¹ reducen el crecimiento de algunas especies, van de Sanden (1988) observó que, en plántulas de pepino, el incremento de la CE en el sustrato de 2 dS ms⁻¹ a 8 dS ms⁻¹ provocó una disminución del crecimiento relativo de la planta pero la respuesta de las plantas a la salinidad depende de la edad de éstas, de las condiciones ambientales, de las prácticas de manejo del cultivo y de las características de la especie (ASCE, 1990).

Aunque los valores obtenidos en el estudio se encuentran dentro del rango propuesto por García *et al.* (2003), baja conductividad implica baja concentración de nutrientes, los cuales usualmente resultan en una deficiencia nutricional y en un índice de crecimiento bajo de las plantas.

3.4.3 Efecto de las mezclas de sustrato con hidrogel en la producción de *Pinus greggii* Engelm.

En el análisis de varianza se determinó que el sustrato, el hidrogel y la interacción sustrato*hidrogel ejercen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en las variables altura, diámetro, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz, relación parte aérea raíz e índice de Dickson (Cuadro 5).

Entre los tratamientos que se compararon con el testigo, las plántulas que presentaron un diámetro mayor (3 mm) y altura mayor (21.8 cm) fueron aquellas que se desarrollaron en un sustrato compuesto de 80% de aserrín + 20% de corteza con 4 g/L de hidrogel (Cuadro 6). El menor diámetro (2.72 mm) y la altura menor (19.77 cm) ocurrió en las mezclas con 60% de corteza + 40% de aserrín con 4 g/L y sin hidrogel respectivamente, es decir, el mejor sustrato produjo plántulas 9.3% más largas y gruesas que el peor sustrato.

Cuadro 5. Análisis de varianza para las variables altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), índice de esbeltez (IE), relación parte aérea-raíz (R.PA/R), e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a nueve mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel en el crecimiento de *P. greggii* Engelm.

Análisis de Varianza								
FV	G.L	ALT	DIAM	PSA	PSR	R.PA.R	IE	IDC
Sustrato	2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0008	NS	0.0001
Hidrogel	2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	NS	0.0001
Sus*Hidro	4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0028	NS	0.0001
Testigo*	1	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	NS	0.0001
Error	1752		0.0001			0.0008		
Total	1761							

NS= no significativo * Testigo vs el efecto del factorial

Debe destacarse que el tratamiento compuesto por 80% de aserrín + 20% de corteza con 4 g/L de hidrogel fue el más destacado en las variables, al mantenerse siempre estadísticamente superior, sin estar ligado a otros grupos estadísticos, tal como sucedió en los demás tratamientos.

En la variable peso seco de la parte aérea, la mezcla de 80% de aserrín + 20% de corteza con 4 g/L obtuvo el mayor peso con 1.67 g seguido de la mezcla con 60% de aserrín + 40% de corteza y 2 g/L con 1.61 g, sin ser estadísticamente diferentes entre ambas. La mezcla con 80% de corteza + 20% de aserrín y sin hidrogel presentó el valor más bajo (1.27 g) para esta variable. Sin embargo, en el peso seco de la raíz la mezcla con 60% de aserrín + 40% de corteza sin hidrogel se observó el mayor peso (0.86 g) a diferencia de los 0.47 g que presentó la mezcla de 60% de corteza + 40% de aserrín con 4 g/L de hidrogel (Cuadro 6).

Cuadro 6. Altura (ALT), diámetro(DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR), en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. en vivero.

Comparación de medias						
Mezcla	Sustrato	Hidrogel g/L	ALT	DIAM	PSA	PSR
1	M1	SD	19.17f	2.73c	1.27f	0.74b
2	M1	DM	20.03de	2.81c	1.41e	0.504ed
3	M1	DA	19.84ef	2.72c	1.41e	0.47e
4	M2	SD	20.77cd	2.76c	1.54cd	0.86a
5	M2	DM	21.33bc	2.77c	1.61bc	0.67c
6	M2	DA	21.09bc	2.77c	1.57bc	0.54d
7	M3	SD	20.03de	2.78c	1.39e	0.83a
8	M3	DM	19.88ef	2.77c	1.45de	0.56d
9	M3	DA	21.82b	3.00b	1.67b	0.64c
10	Testigo	Testigo	23.911 ^a	3.38a	1.92a	0.77b

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%). SD=sin dosis, DM= dosis media y DA= dosis alta. † Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey= 0.05).

En relación con los sustratos, se encontró que las mezclas con 60% de aserrín + 40% de corteza con cualquiera de las tres dosis de hidrogel, presenta diferencias significativa a las mezclas con 60% de corteza + 40% y 80% de corteza + 20% de aserrín con las tres dosis de hidrogel, en las variables altura y peso seco de la parte aérea. En cuanto al factor hidrogel, en promedio las mezclas que presentaban 4 g/L de hidrogel, presentaron diferencias significativas en las variables diámetro y peso seco de la parte aérea en comparación con los tratamientos con 2 g/L y sin hidrogel.

En relación a los parámetros de crecimiento evaluados se considera que, en general, éstos fueron aceptables en las tres mezclas con hidrogel. Así, la altura final quedó en el rango de 15 a 25 cm, recomendada por Prieto *et al.* (1999) para las coníferas de México. Mexal y Landis (1990) indican que cuando el diámetro está entre 5

y 6 mm es posible que se logren tasas de supervivencia superiores al 80%. En este experimento el diámetro en todos los tratamientos fue menor a los 5 mm.

De manera general el sustrato que presentó plántulas con valores cercanos al sustrato testigo, fue el compuesto por 80% de aserrín + 20% de corteza con 4 g/L de hidrogel. Sin embargo, ninguna de las mezclas igualó o superó al testigo. Dentro de las variables indicadoras de la calidad de planta, el valor más alto de la relación parte aérea/ raíz (3.83) se presentó en plántulas que se desarrollaron en la mezcla con 60% de corteza + 20% de aserrín y 4 g/L de hidrogel, seguida de la mezcla con 40% de corteza + 60% de aserrín y 4 g/L de hidrogel (3.8). No existió el equilibrio esperado entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz (Cuadro 7).

Los valores de la relación PA/R en aquellas mezclas que presentaron la dosis media y alta de hidrogel fueron mayores al rango recomendado por Thompson (1985) para sitios con humedad garantizada (2.5) y son inconvenientes desde el punto de vista de calidad de planta.

El criterio de calidad con base en esta característica es que la parte aérea sea lo más cercano posible a la biomasa de la raíz ($RPA/R \approx 1$), porque esto puede garantizar una mayor supervivencia en campo, al evitar la transpiración de la parte aérea exceda a la capacidad de absorción de agua por la raíces (Villar, 2003).

Sin embargo, aunque no existe esta correlación habitual entre biomasa aérea y la raíz, en este experimento los tratamientos aplicados promovieron más el crecimiento de la parte aérea; se obtuvieron plantas altas aunque no necesariamente con la parte aérea “grande”, es decir, la parte aérea se elongó mucho pero se ramificó poco, debido a la alta disponibilidad de humedad en el sustrato a causa del hidrogel.

Cuadro 7. Relación parte aérea-raíz (RPA/R), Índice de esbeltez (IE) e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. en vivero.

Comparación de medias					
Tratamientos	Sustrato	Hidrogel g/L	R PA/R	IE	ICD
1	M1	SD	1.74e	7.01d	0.23c
2	M1	DM	3.46bc	7.25cd	0.20de
3	M1	DA	3.83a	7.35abcd	0.25e
4	M2	SD	1.89e	7.53abc	0.25b
5	M2	DM	3.14c	7.71a	0.22c
6	M2	DA	3.8ab	7.65ab	0.2d
7	M3	SD	1.73e	7.24cd	0.25b
8	M3	DM	3.18c	7.18cd	0.2d
9	M3	DA	3.4c	7.31bcd	0.22c
10	Testigo	Testigo	2.578d	7.1d	0.28a

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%). SD=sin dosis, DM= dosis media y DA= dosis alta. † Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey = 0.05).

Resultados similares fueron reportados por Sánchez (2006) en sustratos con 40% de corteza y 60% de turba y con 20% de corteza y 80% de aserrín, en contenedores de 220 cm³; donde se obtuvieron valores de hasta 3.58 en la relación parte aérea/ raíz en la producción de *Pinus patula*. Aunque los tratamientos con 60% de corteza + 40% de aserrín y 40% de corteza + 60% de aserrín ambos con 4 g/L de hidrogel, fueron superiores a otras especies de coníferas, aún son 32% menores que los registrados para la misma especie en el sistema de viveros tecnificados en México (Cano, 1998).

Los valores promedio del índice de esbeltez muestra el desbalance entre la parte aérea y la raíz. El mayor índice de esbeltez (7.71) se presentó en plántulas desarrolladas en la mezcla con 40% de corteza + 60% de aserrín y 2 g/L de hidrogel y el más bajo (7.01) en el sustrato con 60% de corteza + 40% de aserrín sin hidrogel. El índice de esbeltez es una medida de la morfología de la plantas; define individuos altos y delgados, o bajos y robustos (Cuadro 7). Las plántulas de *P. greggii* de este estudio corresponden a la primera categoría. Al parecer el exceso del recurso agua brindado por el hidrogel favoreció el crecimiento en altura a expensas del crecimiento en

diámetro y el crecimiento de la raíz, como ha sido citado en otras especies forestales (Castillo *et al.*, 2005). Relacionado con la esbeltez ($h:d$), Oliet (2000), recomienda que el valor de la esbeltez disminuya al aumentar la adversidad del lugar de plantación.

El índice de calidad de Dickson combina la información de los índices anteriores y los ajusta por el efecto del tamaño de la planta, por lo que un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad, lo cual implica que por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical están equilibradas (Oliet, 2000). El valor promedio más alto del índice de calidad de Dickson (0.28) fue para el testigo, seguido por la mezcla con 60% de corteza y 40% de aserrín, así como la mezcla con 80% de aserrín + 20% de corteza, ambos sin hidrogel.

Roman *et al.* (2001) indican que los tres nutrientes principales (nitrógeno, fosforo y potasio) en altas concentraciones (9 y $12 \text{ meqL}^{-1}\text{N}$ y 4 y $10 \text{ meqL}^{-1}\text{K}$) presentan un efecto similar en la misma especie, estimulando más el crecimiento de la parte aérea que de la raíz, por lo que resultaron similares los valores de los índices de esbeltez y del índice de calidad de Dickson.

Los valores bajos obtenidos, se pueden comparar con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2006), que van de 0.17 a 0.30; pero menores a los encontrados por Reyes *et al.* (2005), en la producción de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* en un sustrato a base de aserrín.

Dado que el índice de la calidad de Dickson combina la biomasa total de la planta con los dos índices anteriores (relación parte aérea /raíz e índice de esbeltez), los resultados obtenidos son lógicos, puesto que reflejan el desbalance en el crecimiento ya descrito.

3.4.4 Efecto de las mezclas de sustrato en cuatro niveles de riego.

Se encontró que el riego y la interacción riego * mezclas ejercen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) para las variables altura, diámetro, peso seco de

la parte aérea, peso seco de la raíz, relación parte aérea raíz e índice de Dickson, indicando con ello que el riego si tiene influencia en mayor o menor grado sobre estas variables (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza para las variables altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), índice de esbeltez (IE), relación parte aérea-raíz (R.PA/R), e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a cuatro niveles de riego en el crecimiento inicial de *P. greggii* Engelm.

<i>Análisis de varianza</i>								
FV	G.L	ALT	DIAM	PSA	PSR	R.PA/R	IE	IDC
Riego	3	0.0500	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Mezclas	9	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9893N	0.0001
Rieg*Mez	27	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000N	0.0001
Repetición	2	0.0043	0.1240	0.0708N	0.002	0.0000	0.8543 \hat{N}	0.0615N
Error	6	0.0001	0.0068	$\hat{0}$.1918N	$\bar{0}$.003	0.0000	0.6576 \hat{N}	$\hat{0}$.0067
Total	47							

Significativo con $p \leq 0.05$; NS= no significativo

En la interacción del riego con las mezclas, la altura promedio de las plantas varió de 32.83 (riego diario) a 15.64 cm (riego cada cuatro días). El comportamiento de la altura en las plantas al final del estudio, muestra la agrupación de los valores en riego uno y dos, como los de promedio más alto en comparación del riego tres y cuatro con promedios más bajos (Figura 1). Dentro del riego uno, las alturas que más sobresalieron fueron las de los tratamientos con 40% corteza y 60% aserrín en las tres dosis de hidrogel; aunque no fueron mejor ni igualaron los valores del testigo.

Sin embargo, en el riego cada dos días, la altura del testigo (23.73 cm) fue superada por el tratamiento nueve (20% de corteza y 80% de aserrín con 4 g/L de hidrogel) y en general por los tratamientos con 40% corteza y 60% aserrín. En el riego

cada tercer día, la altura del testigo vuelve a superar a los tratamientos con aserrín (21.05 cm), pero el tratamiento nueve es el que más se acerca al testigo (20.37cm). Los valores de la altura en el riego cuatro fueron los más bajos de los cuatro niveles de riego, los tratamientos con 40% corteza y 60% aserrín y 20% corteza con 80 % aserrín y 4g/L de hidrogel igualaron al testigo (18 cm).

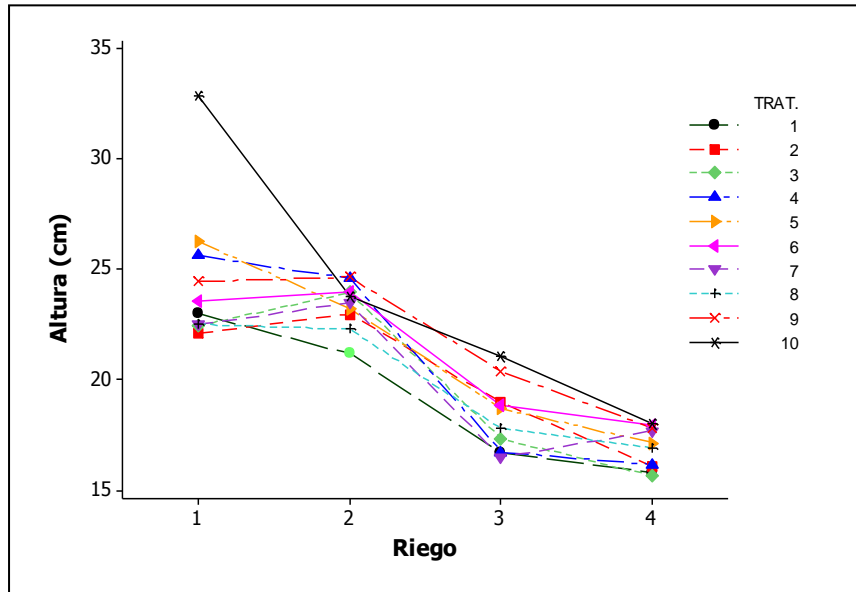


Figura 1. Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable altura en el crecimiento de *Pinus greggii* en vivero.

Por otro lado, el diámetro del cuello fue más sensible en las plantas regadas diariamente, ya que se presentaron valores de 3.3 mm; en comparación a los riegos dos, tres y cuatro con valores de hasta 2.6 mm. Aunque ninguno de los tratamientos superó al testigo (3.70 mm) el tratamiento nueve presentó valores cercanos en los cuatro riegos (Figura 2).

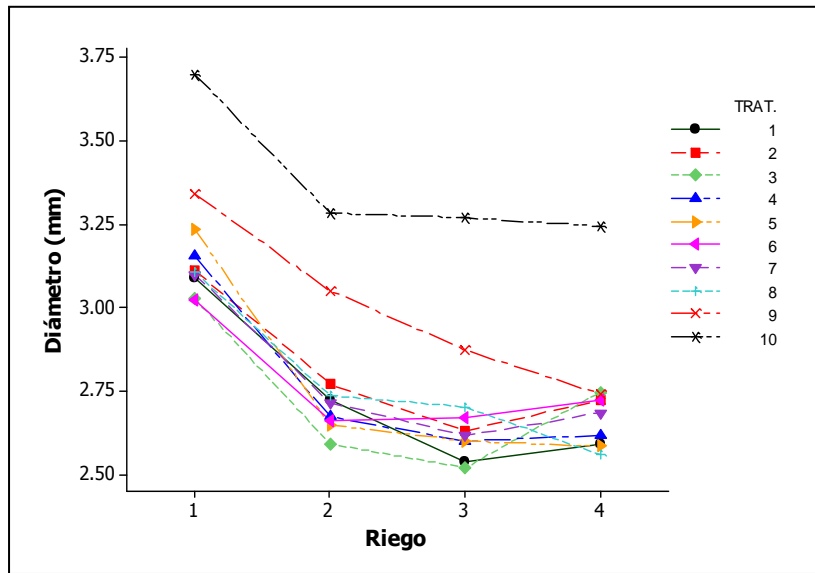


Figura 2. Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable diámetro del cuello de *Pinus greggii* en vivero.

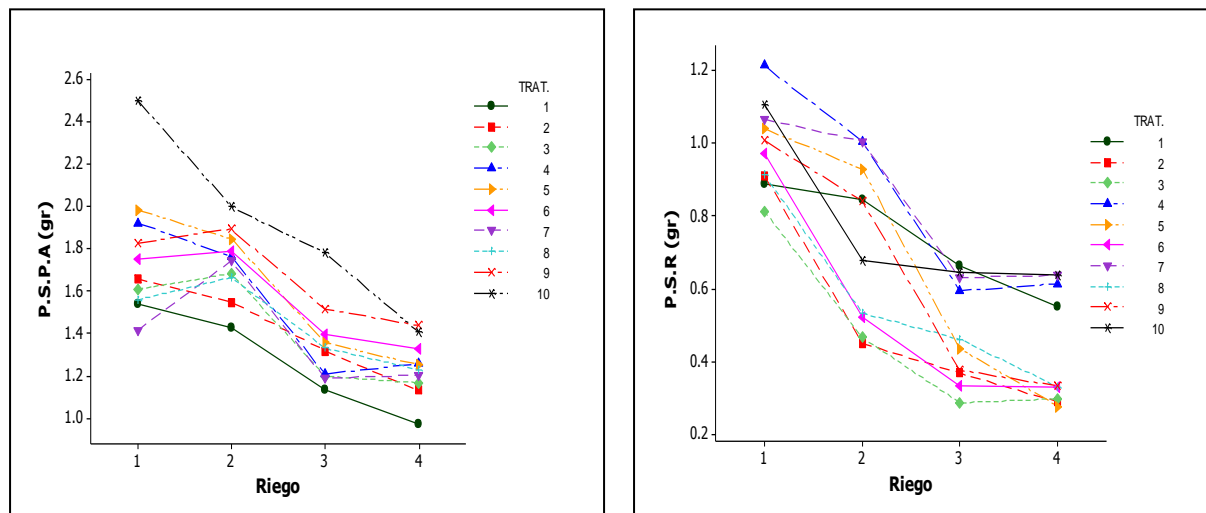


Figura 3. Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable peso seco de la raíz (PSR) y peso seco de la parte aérea (PSA) en el crecimiento de *Pinus greggii* en vivero.

En el peso seco de la parte aérea los resultados obtenidos fueron muy similares a los del diámetro, a excepción del riego cuatro, en donde el tratamiento nueve superó al testigo (1.43g); pero fue el riego que presentó los valores más bajos en comparación con el resto de los riegos. Caso contrario al peso seco de la raíz, en donde en el riego

uno y dos en el tratamiento cuatro (40% de corteza, 60% de aserrín y sin hidrogel) supera al resto de los tratamientos y mantiene valores muy cercanos al testigo en el riego tres y cuatro (Figura 3a y b).

Los resultados finales de las variables crecimiento en altura, diámetro y producción de biomasa son consideradas importantes para definir a la planta objetivo (Kooistra y Brazier, 1999), resaltan la importancia que tiene el riego durante su producción en vivero. A pesar de que las plantas estuvieron sometidas a diferentes niveles de riego sólo durante cuatro meses, la respuesta de las mismas fue inmediata al haberse obtenido menores tasas de crecimiento. Sin duda, este tema ha sido ampliamente estudiado a nivel mundial en diversas especies del género *Pinus* y la mayoría de los resultados coinciden en el sentido de que el estrés hídrico es uno de los factores que más restringe el crecimiento de las plantas (Cetina *et al.*, 2001; Cetina *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2002; Humara *et al.*, 2002; Rojas, 2003).

Los resultados presentados destacan la importancia que tiene precondicionar las plantas a menores necesidades de agua, que sirva como herramienta de manejo para inducirlas a que entren en estado de letargo e incrementen su resistencia a la sequía y en consecuencia se aumenten las posibilidades de éxito en las plantaciones en donde se establezcan. En cambio, niveles de humedad abundantes pueden retardar el inicio del letargo e interrumpir la secuencia de eventos necesarios para que desarrollen resistencia al frío, y por lo tanto resulten más susceptibles a sufrir daños por estrés (Thie y Manninen, 2003).

Resultados similares fueron obtenidos por Prieto *et al.* (2004b) al evaluar el efecto del estrés hídrico en el potencial hídrico y en el crecimiento de plantas de *Pinus engelmannii* Carr. de cinco meses de edad. En el tratamiento sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (20,7%), diámetro del cuello (69,4%) y producción total de biomasa (144,1%); mientras que en la condición de estrés los incrementos fueron menores en altura (1,3%), diámetro del cuello (9,8%) y

biomasa total (73,1%). Lo que permitió su manejo para favorecer su preacondicionamiento.

Con relación a los parámetros de crecimiento evaluados, se considera que, en general, éstos fueron aceptables en los cuatro niveles de riego. Así, la altura final quedó en el rango de 15 a 30 cm, recomendada por Prieto *et al.* (1999) para las coníferas de México. Mexal y Landis (1990) indican que cuando el diámetro está entre 5 y 6 mm es posible que se logren tasas de supervivencia superiores al 80%. En esta variable el diámetro en los cuatro niveles de riego fueron menores a los 5 mm.

Los valores finales de las relaciones peso seco de la parte aérea y del sistema radical están en los rangos recomendados por Thompson (1985), quien indica que generalmente la biomasa de la parte aérea es mayor al de la raíz y el cociente de esa relación no debe ser mayor a 2.5. La importancia de que exista un equilibrio en este índice radica en el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente de la humedad (Birchler *et al.*, 1998).

3.4.5 Supervivencia en campo

En el análisis de chi-cuadrada se determinó que el efecto del riego si presentó significancia para la variable supervivencia (0.021), siendo la principal influencia sobre la supervivencia en campo. A diferencia de esto, el efecto del sustratos e hidrogel no presentaron significancia (0.058) en plántulas de *Pinus greggii* de 10 meses de edad llevadas al terreno en la localidad de San Miguel Tlaxpan.

Las plantas que se regaron cada tres días fueron los que presentaron mayor supervivencia (79%) en comparación de los otros tres riegos. A pesar de que las plantas que se regaron cada cuatro días estaban mejor acondicionadas al estrés hídrico, fueron las que tuvieron el menor porcentaje de supervivencia (59%). El riego diario y el de cada dos días presentaron resultados muy similares con 65 y 68% de supervivencia respectivamente (Figura 4).

Tomando en cuenta que la producción de biomasa es un factor determinante en la supervivencia en campo, los valores de la altura en el riego cuatro fueron los más bajos de los cuatro niveles y el diámetro del cuello fue más sensible en las plantas regadas diariamente, ya que se presentaron valores de 3.3 mm; en comparación a los riegos dos, tres y cuatro con valores de hasta 2.6 mm. Para los índices de Dickson, el riego cuatro que presento un menor porcentaje de supervivencia, también presenta valores bajos (hasta 0.13) con lo que se confirma que el desbalance en el crecimiento se vio reflejado en el menor porcentaje de supervivencia en campo.

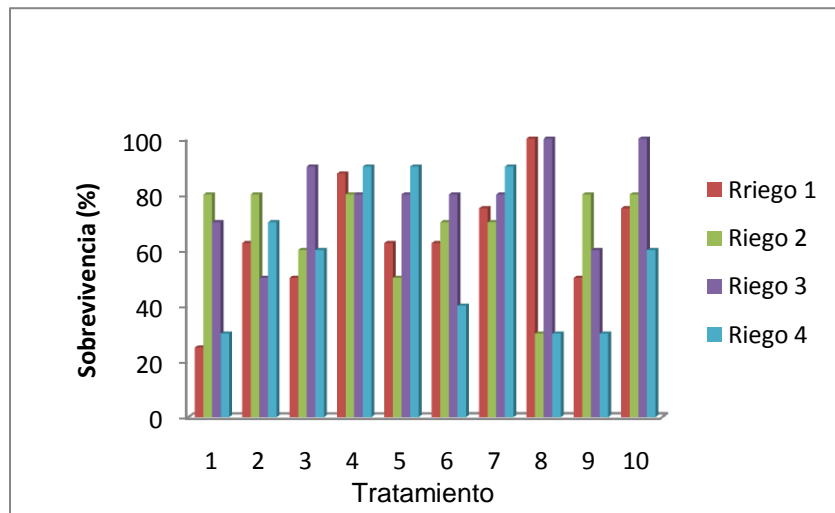


Figura 4. Supervivencia por efecto de cuatro niveles de riego en plántulas de *Pinus greggii*.

South (2000) menciona que la supervivencia inicial en campo es afectado por varios factores entre los que se encuentran, el ambiente del sitio de plantación, el manejo del brinzal, la morfología y fisiología del brinzal. Por lo tanto la identificación de los factores del ambiente que probablemente ejerzan una fuerte influencia en el desempeño de los brinzales es sumamente importante, y esto incluye el contenido de agua en el suelo al momento de realizar la plantación. La disponibilidad de los recursos hídricos no depende únicamente de la cantidad de agua que llega a la plantación, existiendo otros factores, como son el tipo de cobertura vegetal existente y las propiedades físicas de cada suelo, los que determinan el comportamiento hídrico en respuesta a las variaciones meteorológicas (Cerdeira, 1995). Hay una estrecha relación

entre propiedades físicas del suelo, disponibilidad y contenido hídrico que hacen que suelos con igual contenido en agua pero con características edáficas distintas den lugar a respuestas diferentes por parte de una misma especie (Ripoll, 2004).

El resultado obtenido posiblemente se deba, a que en la zona se presentaron encharcamientos muy puntuales en la plantación que se produjeron por la poca porosidad del suelo y tal vez hayan podido provocar la asfixia de las raíces por el uso del hidrogel; ya que los tratamientos que más porcentaje de supervivencia presentaron (84 y 79%), fueron el 4 y el 7 que no tenían hidrogel en la mezcla (Figura 5).

Cabe mencionar también que la precipitación fue un factor muy importante para la supervivencia, debido a que en 2009 se retrasó el período de lluvias y fue menos abundantes que en años anteriores. Tomando en cuenta las características del suelo durante la estación de lluvias, los horizontes superficiales se humedecen primero y los demás horizontes (más de un metro de profundidad aprox.) presentan poca cantidad de agua para la adaptación de las plantas a las nuevas condiciones de desarrollo.

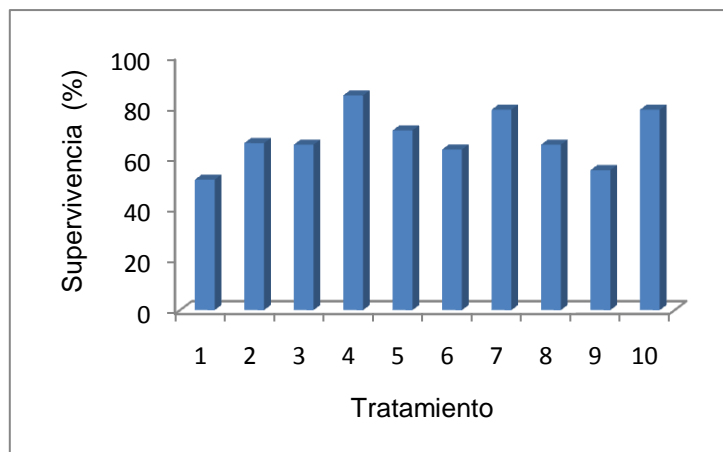


Figura 5. Supervivencia en diez tratamientos a base de corteza- aserrín e hidrogel.

Otros investigadores han encontrado que la mayor mortalidad de las plántulas se produce durante y después del primer verano en campo debido al *shock post-transplante* (Burdett, 1990; Haase y Rose, 1992), estabilizándose tras el segundo verano.

3.5 CONCLUSIONES

Los tratamientos con 4 g/L de hidrogel presentan una mejor retención de agua (77%PRH) y suficiente agua disponible para la plantas (26% de AFD), sin embargo, retiene fuertemente al agua (29% ADD) y debido a que su baja proporción de macroporos (3.3% PA) limita la aireación del material (29% de CA), pudiendo ocasionar problemas de oxígeno en la raíz. A pesar de ello no están expuestos al ataque por microorganismos y hongos patógenos, debido que su pH (4.6) no es tan ácido y no afecta la disponibilidad de nutrientes, lo que ocasiona una alta disponibilidad de CIC (57.4).

Las plántulas que se desarrollaron en el sustrato compuesto por 20 % de corteza + 80 % de aserrín y 4 gL⁻¹ de hidrogel presentaron los valores más altos para las variables evaluadas, por lo que los tratamientos con hidrogel se pueden utilizar satisfactoriamente y pueden tener éxito como medio de crecimiento para producir especies forestales utilizando el sistema de producción tecnificado.

La más alta supervivencia en campo, se observó en el nivel de riego cada tres días (79%) en comparación de los otros tres riegos. El efecto de los tratamientos no presentó significancia en las plántulas llevadas a campo debido al desbalance morfológico que se presentó en vivero.

El hidrogel es un material alternativo de fácil manejo y barato para el viverista forestal; en este caso se requiere un ajuste en la dosis usada en el sustrato y que se realice un manejo de riego muy acertado para evitar estrés hídrico en las plántulas, con lo que se podría conseguir una mejor tasa de crecimiento.

CAPÍTULO 4
CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EN PLÁNTULAS de *Pinus greggii*
PRODUCIDAS EN MEZCLAS DE SUSTRATO CON HIDROGEL Y NIVELES DE
RIEGO

RESUMEN

La capacidad de una especie para el adecuado mantenimiento del aparato fotosintético es un indicador de su tolerancia al estrés hídrico. Por esta razón, se cuantificó la concentración de clorofila a, b y total con la técnica de Inskeep y Bloom en plantas de *Pinus greggii* Engelm, producidas en mezclas de sustrato con hidrogel bajo diferentes niveles de riego en vivero. Se estudiaron 10 mezclas de sustrato compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita, utilizando un diseño de parcelas divididas con un tratamiento adicional. A los 5 meses después de aplicar los diferentes niveles de riego, el tratamiento con 40% corteza + 60% aserrín y sin hidrogel, fue el tratamiento con los valores más altos de concentración de clorofila a (0.1512 mg/L), b (0.1005 mg/L), y por consecuencia de clorofila total (0.2516 mg/L). Los valores del riego cuatro, fueron los que más sobresalieron, siendo los tratamientos con 20% de corteza y 80% de aserrín los que mayor concentración de clorofila presentaron en todos los riegos con 0.15981 mg/L de clorofila a, 0.11387 mg/L de clorofila b y 0.2736 mg/L de clorofila total. Debido a que no hubo significancia en la variable hidrogel, se concluye que las plántulas de *Pinus greggii* sufrieron las menores afectaciones del régimen hídrico, ya que son especies que puede aumentar su resistencia a la sequía, lo que limita el uso de “la concentración de clorofila” como indicador para evaluar la tolerancia a la sequía en coníferas.

PALABRAS CLAVES: Clorofila, polímero, estrés hídrico, aserrín.

CHAPTER 4

CHLOROPHYLL CONCENTRATION IN SEEDLINGS of *Pinus greggii* PRODUCED IN MIXTURES OF SUBSTRATE WITH HIDROGEL AND LEVELS OF IRRIGATION

The capacity of a species for the suitable maintenance of the photosynthetic apparatus is an indicator of its tolerance to hydric stress. Therefore, one quantified the chlorophyll concentration a, b and total with the technique of Inskeep and Bloom in plants of *Pinus greggii* Engelm, produced in mixtures of substrate with hydrogel under different levels from irrigation in breeding ground. 10 mixtures of substrate studied composed by sawdust, crust of pine, disturbs, agrolite and vermiculite, using a design of parcels divided with an additional treatment. To the 5 months after applying the different levels from irrigation, the treatment with 40% crust + 60% sawdust and without hydrogel, was the treatment with the highest values of chlorophyll concentration a (0,1512 mg/L), b (0.1005 mg/L), and by consequence of total chlorophyll (0,2516 mg/L). The values of irrigation four, were those that excelled more, being the treatments with 20% of crust and 80% of sawdust those that greater chlorophyll concentration presented in all the irrigations with 0.15981 mg/L a chlorophyll , 0.11387 mg/L of b chlorophyll and 0.2736 total chlorophyll mg/L. Because not significance had in variable hydrogel, it concludes that seedlings of *Pinus greggii* affectations suffered smaller of regime hydric, since they are species that can increase their resistance to the drought, which limits the use of “the chlorophyll concentration” like indicator to evaluate the tolerance to the coniferous drought.

Key word: Chlorophyll, polymer, hydric stress, sawdust

CAPÍTULO 4

CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EN PLÁNTULAS de *Pinus greggii* PRODUCIDAS EN MEZCLAS DE SUSTRATO CON HIDROGEL Y NIVELES DE RIEGO

4.1 INTRODUCCIÓN

Para un suministro racional hídrico en un vivero, se calcula la dosis de riego en función del volumen y características físico-químicas del sustrato, y se ajusta la frecuencia de riego en función de la demanda hídrica de la planta (Alarcón, 2006). Las condiciones de limitación de agua inducen en las plantas respuestas que afectan su morfología, fisiología y metabolismo. Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren se encuentran la disminución en la síntesis de proteínas y, por tanto, el cierre de estomas, que no sólo tiene como consecuencia la disminución de la pérdida de agua por la hojas, sino también la reducción en la entrada del CO₂, lo cual repercute directamente en el proceso fotosintético y, por tanto, en la formación de fuentes carbonadas necesarias para la nutrición vegetal (Cornic, 1994).

La fotosíntesis es el proceso por medio del cual la energía lumínica se convierte en energía química por parte de las plantas, las algas y las bacterias fotosintéticas (Farabee 2002). Este proceso fisiológico es el más afectado por el estrés hídrico; el daño causado puede llegar a depender de la estabilidad de los cloroplastos para mantener las reacciones fotosintéticas activas y de la velocidad de síntesis de la clorofila; así mismo, puede llegar a variar de acuerdo a la capacidad de respuesta del genotipo (Crafts-Brandner, 2004).

La clorofila es un pigmento presente en las membranas tilacoidales, se encuentra unidas por enlaces no covalentes a moléculas de proteínas. (Salisbury y Ross, 1994). La clorofila absorbe las longitudes de onda violeta, azul, anaranjado-rojizo, rojo y pocas

radiaciones de las longitudes de ondas intermedias (verde-amarillo-anaranjado). Otros pigmentos accesorios incluyen clorofila b, c, d y e, xantofilas y carotenos. Los pigmentos accesorios absorben energía que la clorofila a es incapaz de absorber. La clorofila b absorbe en azul, en el rojo y en el anaranjado del espectro. Actúan como pigmentos antena, conduciendo la energía que absorben hacia el centro de reacción (Azcón y Talón, 2000). En este sentido, la capacidad de una especie para el adecuado mantenimiento del aparato fotosintético es un indicador de su tolerancia al estrés hídrico (Scheuermann *et al.*, 1991).

En años recientes la habilidad de los viveristas para modificar las características morfológicas y fisiológicas de la planta han incrementado las técnicas de cultivo en vivero (Hobbs, 1984). A través de las condiciones del sitio o las prácticas culturales se da el “efecto de vivero”, esto es, las plantas producidas en diferentes viveros, pueden ser fisiológicamente diferentes y repercutir en su supervivencia y crecimiento (Landis *et al.*, 1995).

Los hidrogeles o polímeros hidroabsorbentes son productos muy empleados en viveros y restauración forestal pueden tener un efecto variable según la naturaleza textural del sustrato sobre el que se aplican. Sin embargo, su uso práctico se suele realizar independientemente de esta propiedad edáfica, lo que impide su optimización (Terry y Nelson, 1996).

En este sentido se pueden considerar diferentes criterios como pruebas de calidad de la planta ; como el contenido de carbohidratos, tasa de fotosíntesis, adecuado balance de fitohormonas, así como altura , diámetro y el vigor de la planta en campo (Ritchie, 1984). En este estudio se evaluó la respuesta fisiológica que presentó *Pinus greggii* a prácticas de manejo comunes en vivero, como riego y sustratos.

4.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del hidrogel en mezclas de sustrato y frecuencia de riego sobre variables fisiológicas en plantas de *Pinus greggii* producidas en vivero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar la concentración de clorofila a, b y total en plantas de *Pinus greggii*, producidas en mezclas de sustrato con hidrogel bajo diferentes niveles de riego en vivero.

4.3. MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1 Concentración de clorofila a, b y total

Esta variable se determinó en la etapa de vivero en cada una de las diez mezclas y cuatro niveles de riego. La técnica utilizada fue una adaptación de la reportada por Inskeep y Bloom (1985) la cual se resume a continuación:

Determinación de clorofila a, b y total utilizando N, N-Dimetilformamida

Debido a que esta técnica sólo había sido llevada a cabo en gramíneas se hicieron algunas adaptaciones para tomar muestras de plantas de *Pinus greggii* var. *australis*. Las plántulas de *Pinus greggii* fueron evaluadas a los cinco meses después de la aplicación de los diferentes niveles de riego. Se colectaron 0.5 g de peso fresco de acículas en la parte apical y de acículas de inferiores, para colocarse en tubos que contenían 5 ml de N, N-Dimetilformamida y se almacenaron en la obscuridad a 4 °C durante 48h con el fin de que se llevara a cabo la extracción de clorofila.

Transcurrido el tiempo de extracción, se tomó una muestra de 1.0 ml de solvente y se colocó en una celda para medir su absorbancia en un espectrofotómetro (Spectronic 21D, Milton Roy) utilizando el N, N- Dimetilformamida como blanco. Las longitudes de onda utilizadas y en donde tiene un máximo de absorción las clorofilas fueron: 664.5 nm para la clorofila a y 647 nm para la clorofila b.

Los datos de absorbancia para cada una de las longitudes de onda se usaron para calcular las concentraciones de cada una de las clorofilas (a,b y total), utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila a} = 12.70 (A_{664.5}) - 2.79 (A_{647})$$

$$\text{Clorofila b} = 20.70 (A_{647}) - 4.62 (A_{664.5})$$

$$\text{Clorofila total} = 17.90 (A_{647}) + 8.08 (A_{664.5})$$

En donde: 12.70, 2.79, 20.70, 4.62, 17.90 y 8.08 son constantes y $A_{664.5}$ y A_{647} son los valores de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro en cada una de las longitudes de onda.

Los resultados obtenidos en cada una de las ecuaciones son los valores de las concentraciones de las diferentes clorofilas en mg L^{-1} . Posteriormente se hicieron los cálculos para reportar los resultados en mg de clorofila por gramo de peso seco del tejido de la hoja con la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{l} 1\text{ml DMF} \text{_____} \text{Xmg/mL}^{-1} \\ 5\text{ml DMF} \text{_____} \text{X} \end{array}$$

Por lo tanto X/g^{-1} P.S de la muestra = mg de clorofila. g^{-1} P.S

4.3.2 Diseño del experimento

El diseño bajo el cual se estableció el análisis de vivero fue un diseño en parcelas divididas, en donde en la parcela grande se ubicaron los niveles de riego, y en la parcela chica se establecieron las mezclas de sustrato e hidrogel y un tratamiento adicional (testigo). Se trató de un arreglo factorial. La unidad experimental estuvo constituida por 49 plántulas por tratamiento con tres repeticiones, obteniendo una población total de 1470 plántulas. Cada nivel de riego se compuso de 30 charolas (Anexo 1). El tamaño de muestra para el análisis destructivo fue de 10 brinzales elegidos del centro de cada parcela.

4.3.4 Variables evaluadas y análisis estadístico

El paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.1 para microcomputadoras se utilizó en el análisis de los datos; se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), con la finalidad de determinar diferencias

significativas en las variables evaluadas entre tratamientos. Se obtuvo el análisis de varianza para cada variable para determinar las diferencias entre los factores de interés. Debido a que es un esquema factorial el experimento se analizó como parcelas divididas con un tratamiento adicional utilizando el siguiente modelo (Federer, 1955):

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + r_j + (Rr_{ij}) + T_k + (TR_{ik}) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general del ensayo

R_i = Efecto del i-ésimo riego

r_j = Efecto de la j-ésima repetición

Rr_{ij} = Error aleatorio de la parcela completa

T_k = Efecto del k-ésimo tratamiento

TR_{ik} = Interacción tratamiento*riego

ε_{ijk} = Error aleatorio de la subparcela

La razón por la cual se eligió este diseño experimental se debe a que éste nos permite probar los efectos independientes de cada factor y al mismo tiempo evaluar la interacción de los mismos.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base al modelo lineal realizado en SAS versión 9.1 ,el ANOVA realizado para la evaluación de la variable clorofila “a”, “b” y total no presenta signos de alteración en los tratamientos que tienen hidrogel (Cuadro 9) ya que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los sustratos, el hidrogel y la interacción sustrato* hidrogel. En el testigo se observa que el contenido de clorofila a, b y total aumentó con respecto al los tratamientos evaluados, diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 9. Análisis de cuadrados medios para las variable concentración de clorofila a, b y total en respuesta a 9 mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel en el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm.

F.V	G.L	A		B		Total	
Sustrato	2	0.00166	0.43616ns	0.00007	0.95497ns	0.00167	0.76858ns
Hidrogel	2	0.00075	0.68711ns	0.00070	0.61196ns	0.00267	0.65540ns
Sus*Hidro	4	0.00164	0.51316ns	0.00019	0.97057ns	0.00264	0.79619ns
Testigo	1	0.01180	0.01536**	0.02089	0.02089**	0.11001	0.00003**
Error	672	0.00200		0.00142		0.00633	

**Significativo con $p < 0.05$; ns= no significativo

Las pruebas de comparación de medias muestra que los tratamientos T4 (40% corteza + 60% aserrín y sin hidrogel) y T8 (20% corteza + 80% aserrín con 2 g/L de hidrogel) a pesar de que estadísticamente no fueron significativos, fueron los tratamientos con los valores más altos de concentración de clorofila a, b y por consecuencia de clorofila total, mientras que T1 (60% corteza + 40% aserrín y sin hidrogel) tuvo la menor concentración (Cuadro 10).

Aunque no se presenta una tendencia clara para la concentración de clorofila hacia algún tipo de sustrato o dosis de hidrogel; hay una mejor respuesta en los sustratos con 60% aserrín con y sin hidrogel. Esto se puede deber a que a mayores

porcentajes de corteza se limita la disponibilidad de nitrógeno. Según Larcher (1995) el nitrógeno y el magnesio son componentes importantes de la clorofila.

Expresando la clorofila a en mg/L respecto al peso seco de las acículas, se puede observar que no hay diferencias significativas, sin embargo se observa una tendencia en los tratamientos con 20% corteza + 80% aserrín con y sin hidrogel, al presentar concentraciones superiores de clorofila con respecto al testigo. Con lo anterior se puede suponer que el hidrogel no tuvo un efecto directo sobre el contenido de clorofila a y el posible efecto quizá sea en el tipo de sustrato (Cuadro 10).

Cuadro 10. Concentración de clorofila a, b y total en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. en vivero.

Comparación de medias					
Mezcla	Sustrato	Hidrogel g/L	Clorofila a mg/L	Clorofila b mg/L	Clorofila total mg/L
1	M1	SD	0.1248 b	0.0838 ab	0.2085 b
2	M1	DM	0.1291 ab	0.0856 ab	0.2147 ab
3	M1	DA	0.1291 ab	0.0819 ab	0.2109 ab
4	M2	SD	0.1512 a	0.1005 a	0.2516 a
5	M2	DM	0.1281 ab	0.0808 ab	0.2089 b
6	M2	DA	0.1391 ab	0.0938ab	0.2329 ab
7	M3	SD	0.1387 ab	0.0894 ab	0.2280 ab
8	M3	DM	0.1458 ab	0.0923 ab	0.2379 ab
9	M3	DA	0.1331 ab	0.0866 ab	0.2196 ab
10	Testigo	Testigo	0.1333 ab	0.0892 ab	0.2224 ab

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%). SD=sin dosis, DM= dosis media y DA= dosis alta; † Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

De igual manera la clorofila b a pesar de no tener diferencias estadísticas, se puede observar que hay un aumento en la concentración de clorofila en los tratamientos con

40% corteza + 60% aserrín y las dosis de hidrogel (0.0917 mg/L clorofila b) lo que supera el contenido de clorofila del testigo (Cuadro 10).

Con respecto a la clorofila total las diferencias existentes tampoco son significativas, sin embargo como se observa en el Cuadro 10 los tratamientos con hidrogel independientemente de la mezcla de sustrato no presentan diferencia alguna en cuanto al contenido de clorofila total. Así el T4 (sin hidrogel) presenta mayor concentración de clorofila, en cambio los tratamientos 1 (sin hidrogel) y 5 (con hidrogel) presentan los niveles más bajos de concentración de clorofila total, lo anterior parece indicar que la presencia de hidrogel no tiene un efecto directo en el contenido de clorofila total.

Los sustratos M3 fueron los que más concentración de clorofila obtuvieron en todos los riegos con 0.15981 mg/L de clorofila a, 0.11387 mg/L de clorofila b y 0.2736 mg/L de clorofila demostrando que los tratamientos cuyos sustratos contienen mayor cantidad de aserrín tienen concentraciones de clorofila total ligeramente superiores a los otros tratamientos, inclusive del testigo.

En el análisis de varianza se determinó que a excepción del riego, las mezclas, la interacción riego* mezclas y las repeticiones no ejercen un efecto significativo ($p < 0.05$) en las concentraciones de clorofila "a", "b" y total. En los tratamientos bajo los cuatro niveles de riego se observa que el contenido de clorofila a, b y total aumento con respecto al efecto de las mezclas, esta diferencia es estadísticamente significativa (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de cuadrados medios para las variable concentración de clorofila a, b y total en respuesta a 10 mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel y cuatro niveles de riego en el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm.

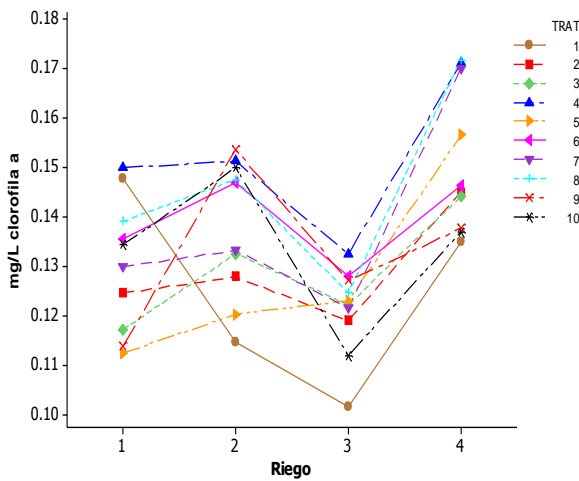
F.V	G.L	A		b		Total	
Riego	3	0.02152	0.002475**	0.02514	0.00025**	0.01001	0.00061**
Mezclas	9	0.00257	0.239623ns	0.00257	0.063632ns	0.01434	0.01653**
Rieg*Mez	27	0.00230	0.273541ns	0.06002	0.035784ns	0.00874	0.09513ns
Repetición	2	0.00216	0.340160ns	0.00024	0.847452ns	0.00367	0.55974ns
Error	6	0.00127	0.701715	0.0039	0.701714	0.00327	0.79586

**Significativo con $p < 0.05$; ns= no significativo

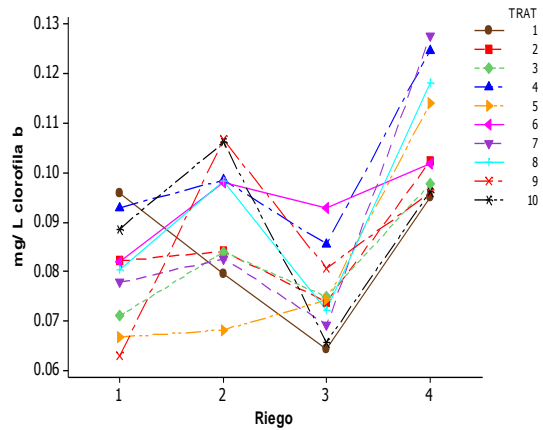
El comportamiento de la clorofila total muestra que los valores del riego cuatro, fueron los que más sobresalieron de los cuatro riegos (Figura 6c), siendo el T7 (0.29756 mg/L de clorofila) seguido por el T4 (0.29576 mg/L de clorofila) los que mayor concentración de clorofila total presentaron. El T1 (0.23007) fue el que menor mg/L de clorofila total presento de todos los tratamientos.

En cuanto al riego dos, se presenta valores altos en la concentración de clorofila a en los tratamientos 4, 6, 8 y 9 superando la concentración del testigo; sin embargo, la cantidad de clorofila b sólo se mantiene por arriba del testigo en el tratamiento 9 (0.10662 mg/L) al igual que la clorofila total (0.26018 mg/L), lo cual se aprecia en la Figura 6.

a)



b)



c)

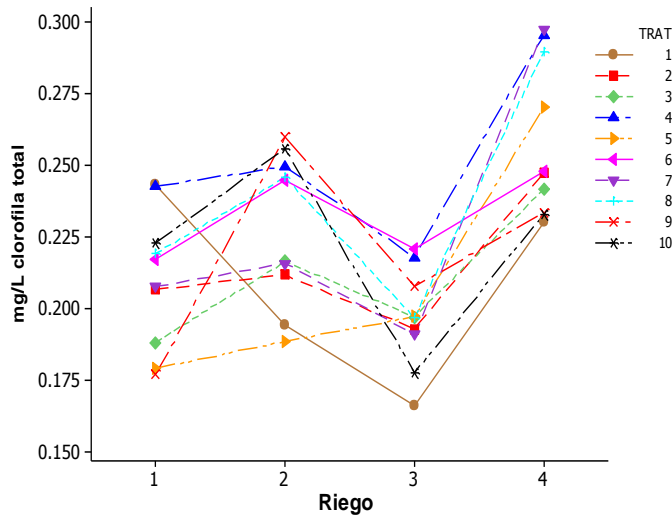


Figura 6 a, b y c. Interacción entre riego y mezclas de sustratos para las variable clorofila a, b y total en el crecimiento de *Pinus greggii* en vivero.

El promedio la concentración de clorofila a, b y total en los tratamientos con 20% corteza + 80% aserrín con y sin hidrogel es mayor (0.14481, 0.0959 y 0.24064 mg/L) que las mezclas con 60% corteza + 40% aserrín con y sin hidrogel y 40% corteza + 60% aserrín con y sin hidrogel.

El riego tres es el que presenta la menor concentración de clorofila a, b y total, siendo el tratamiento 1 (60% corteza + 40% aserrín sin hidrogel) el que muestra la concentración más baja con 0.10166 mg/L de clorofila a, 0.064397 mg/L de clorofila b y 0.16601 mg/L de clorofila total (Figura 6) y el T6 con 0.22086 mg/L de clorofila total el más alto.

Al respecto Tohidi *et al.* (2009) evaluó el uso del hidrogel en seis genotipos de canola (*Brassica napus*) bajo sequía en campo, con dos niveles de irrigación y el uso del hidrogel absorbente en dos niveles (ausencia del hidrogel como control, e hidrogel en la concentración al 7%); obteniendo diferencias significativas entre los tratamientos de la irrigación, la presencia del hidrogel, y los genotipos en caracteres agronómicos y fisiológicos. La variable hidrogel redujo el efecto destructivo del déficit de agua, mejorando varios caracteres agronómicos y fisiológicos. Observando la producción creciente y disminuyendo el requisito del agua en la planta, parece que este material es técnicamente aceptable.

Los resultados obtenidos no indican de manera clara la influencia de tipos de sustratos o de la presencia del hidrogel en la concentración de clorofila en follaje. Cornic (1994) indica que la concentración de clorofila es una técnica de interés para apreciar diferencias cuando la plántula esta en un estado de estrés de moderado a intenso.

Se considera que la obtención de resultados no muy claros se debe a que las coníferas pueden soportar altos niveles de estrés hídrico; la respuesta que presentaron bajo los diferentes niveles de riego no tuvieron una tendencia clara del contenido de clorofila, esto se pudo deber al corto periodo de evaluación o que los diferentes niveles de riego no produjeron un cambio en la reducción de la fotosíntesis.

Los diferentes niveles de riego no afectaron el contenido de clorofila ya que el tratamiento T4 (corteza 40% y aserrín 60% y sin hidrogel) presentó altas concentraciones de clorofila total tanto en el riego uno como en el riego cuatro.

Tomando en cuenta los resultados de las variables morfológicas en donde diámetro del tallo se encuentra por debajo (3 mm) del óptimo recomendado; se puede suponer que para no afectar el aparato de fotosintético las plántulas sacrificaron los carbohidratos de reserva para mantener concentraciones de clorofila constantes, dando como resultado una disminución de la biomasa.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Cetina *et al.* (2001) en donde la suspensión del riego por 14 y 28 días en plántulas de la misma especie (*P. greggii*) causó sequía edáfica equivalente a -1.23 y .253 MPa, lo cual no afectó la tasa de fotosíntesis neta a pesar de haberse alcanzado el punto de marchitez permanente, pero la tasa de crecimiento foliar disminuyó, al igual que la altura, diámetro y contenido de carbohidratos como almidón y azúcares solubles.

Al respecto Foyer (1998) señala que las plantas que se han sometido a un déficit hídrico presentan cambios en el contenido de los carbohidratos solubles, así como en la actividad de las enzimas implicadas en el metabolismo del carbono. A causa de la menor apertura estomatal, la tasa fotosintética neta disminuye al igual que la transpiración, causando un cambio en el contenido de carbohidratos.

4.5 CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación mostraron que la adición de hidrogel a las mezclas de sustratos no afectaron de manera significativa ($p < 0.05$) la concentración de clorofila en las plántulas de *Pinus greggii* Engelm. ya que el tratamiento con 40% corteza + 60% aserrín y sin hidrogel, fue el tratamiento con los valores más altos de concentración de clorofila a (0.1512 mg/L), b (0.1005 mg/L), y por consecuencia de clorofila total (0.2516 mg/L).

No se observaron diferencias sustanciales en el grado de disminución de clorofila “a”, “b” y total al pasar las plántulas del riego diario al riego cada cuatro días, lo que puede limitar el uso de “la concentración de clorofila” como indicador para evaluar la tolerancia a la sequía en coníferas.

Debido a que las coníferas son especies que puede aumentar su resistencia a la sequía mejor que las angiospermas en donde se ha estudiado ampliamente la concentración de clorofila en respuesta a estrés hídrico, los resultados obtenidos bajo los diferentes niveles de riego no tuvieron una tendencia clara, lo que sugiere evaluar por periodos más largos los efectos de la sequía en las coníferas.

CAPITULO 5. LITERATURA CITADA

Abad M., y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In* Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales. C. Cadahia (ed.). Mundi Prensa, Madrid, España. pp: 287-342.

Abad, M., P.F. Martínez G. y M.D. Martínez H. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11:141-154.

ASCE/ American Society of Civil Engineers. 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. ed.K.K. Tanji. ASCE Manuals and reports on Engineering *Practice* No.71. ASCE, New York, N.Y. 619 p.

Akhter, J., K. Mahmood, K.A. Malik, A. Mardan, M. Ahmad, and M.M. Iqbal. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Nuclear Institute for Agriculture and Biology, Faisalabad. *Plant Soil Environ. Pakistan* 10: 463–469.

Alarcón L., A. 2006. Nutrición y riego en los viveros. Universidad Politécnica de Cartagena. *Revista extra*. pp: 52-65.

Alía R. M., S. Martín A., J.del Ángel M., R.M. Galera P., D. Agúndez L., J. Gordo A., L. Salvador N., G. Catalán B. y L.A. Gil S. 1996. Las regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton, Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 67p.

Alorda, M. D. 2003. Estudio de los sustratos utilizados en la producción de plantines forestales en el noreste de Entre Ríos. Trabajo Final de Graduación, Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. 37p.

- Ansorena, J. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Araya, E. 1997. Evaluación de las propiedades físico-hídricas de dos poliacrilamidas. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia. Chile. 95 p.
- Armstrong, H. y J. McIntyre. 2000. International Substrate Manual. Elsevier International. Doetinchem, The Netherlands. pp. 10-12.
- Azcón, B. J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGraw Hill/Interamericana. Barcelona. 522 p.
- Balaguer, L. E., F. Martínez, M. Valladares E., F.J. Pérez C., F.J. Baquedano C., y E. Manrique. 2001. Population divergence in the plasticity of the response of *Quercus coccifera* to the light environment. *Functional Ecology* 15: 124-135.
- Barón, A.C., I. Barrera R., L.F. Boada E. y G. Rodríguez N. 2007. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Rev. Ing. e Inves.* 27:35-44.
- Bautista Z., N., V.M. Cetina A., J.A. Vera C., y C. Cervantes M. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb., producidos en el vivero San Luis Tlaxialtemalco, D.F. *Ra Ximhai* 1(1):167-176.
- Bernier, P.Y., M.S. Lamhamedi, and D.G. Symposium. 1997. Shoot: root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service-Quebec, Sainte-Foy, Québec, and British Columbia Ministry of Forest, Kalamalka Research Station, Vernon, BC, Canada. 115 p.

- Betancourt, Y. A., G. Hernández, J.L. Oropeza y V. Ordaz C. 2001. Rendimiento de especies forrajeras y caracterización de suelos degradados por erosión hídrica. *Rev. Fac. Agron.* 18: 56-67.
- Birchler, T., R.W. Rose, A. Royo y M. Pardos. 1998. La planta ideal: revisión de concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación agraria. Sistemas y Recursos Forestales. Oregon State University.* Vol. 7(1): 109-122.
- Bigras, F.J., A. Ryyppo, A. Lindström, y E. Stattin. 2001. Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings. *In: Conifer Cold Hardiness. F.J. Bigras and S.J. Colombo (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston.* pp: 57-88.
- Boodley, W.J. 1998. *The Commercial Greenhouse.* 2a. ed. Del Mar Publishers. Washington, EUA. pp: 146-148.
- Burr, K. 1990. The target seedling concepts: bud dormancy and cold-hardiness. *In: R. Rose, S. Campbell and T. Landis. (Eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Oregon.* pp: 79-90.
- Burdett, A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20: 415-427.
- Burés, S. 1997. *Sustratos.* Ediciones Agrotécnicas. S.S.L. Madrid, España. 342 p.
- Cabrera R, I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev. Chapingo S. Hortic.* 5(1): 5-11.

- Cano P., A. 1998. Tamaño y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. en dos sistemas de producción en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 80 p.
- Carrasco G., J. 2000. Incentivos a la supervivencia de la reforestación rural. *In:* Memorias del 1er. Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAT-PRONARE (coomps). 8-10 de noviembre. Montecillo, Estado de México. CD-Rom.
- Castillo M., I., R. Medina y J.M. Pérez M. 2005. Efecto de diferentes regímenes de riego en la calidad de planta de *Eucalyptus grandis* cultivada en vivero sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. Ciencia Tecnología y Medio ambiente. Cuba. 7(1):1-5.
- CEFORA. 1994. Viveros y reforestación en México. *In:* Curso internacional de entrenamiento. 4-22 Junio 1994. Centro de Forestación para las Américas. NMSU. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre en México. México. 120 p.
- Cerda, A. 1995. Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos. Monografías Científicas, N° 5. Geoforma Ediciones. Logroño.España. 151 pp.
- Cetina A., V.M., V.A. González H. y J.J. Vargas H. 1999. El manejo en vivero de *Pinus greggii* Engelm. y la calidad de planta. *Agrociencia* 33:423- 430.
- Cetina A., V.M., M.L. Ortega D., V.A. González H., J.J. Vargas H., M.T. Colina L., A. Villegas M. 2001. Fotosíntesis y contenido de carbohidratos de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la poda y al régimen de riego en vivero. *Agrociencia* 35: 599-607.

- Cetina A., V.M., V.A. González H., M.L. Ortega D., J.J. Vargas H., M.T. Colina L., A. Villegas M. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm., previamente sometidos a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36:233-241.
- Chavasse, C.G. 1980. Planting stock quality, a review of factors affecting performance. *New Zealand Journal of Forest.* 25: 144-171.
- Christersson, L. 1976. The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers. II. The effect of varying potassium and calcium contents on water status and drought hardiness of pot-grown *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. *Studia Forestalia Suecica* 136: 1-22.
- Colombo, S.J., M.I. Menzies, and C. O'Reilly. 2001. Influence of nursery cultural practices on cold hardiness of coniferous forest tree seedlings. *In: F.J. Bigras and S.J. Colombo (eds.). Conifer Cold Hardiness Kluwer Academic Publishers Dordrecht. Boston.* pp: 223–252.
- Cornic, G. 1994. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. *In: N. Baker and J. Bowyer (eds.), Photoinhibition of photosynthesis. From molecular mechanisms. Bios Scientific Publishers. Oxford.* pp: 293-313.
- Cortina, J., A. Valdecantosa, J. Seva P., y V. Vallejo P. 1997. Relación tamaño-supervivencia en plantones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas producidas en vivero. *In: Actas II Congreso Forestal Español.* pp: 159-164.
- Cox, P.R., D.V. Hinkley, D. Rubin and B.W. Silverman. 1989. *Generalized Linear Models.* 2da Ed. McCullah. London. pp: 98-125.
- Crafts, B. S. and M. Salvucci, E. 2002. Sensitivity of the C4 plant maize to heat stress. *Plant Physiol.* 129:1773-1780.

- De Boodt M., O. Verdonck, and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hortic.* 37:2054-2062.
- De Boot, M. 1990. Application of polymeric substances as physical soil conditioners. *In:* M. ed. De Boot *et al.* (Eds.). Soil colloids and their association in soil aggregates. London: Planum Publishing Corporation. pp: 580-592.
- Dickson, A, A.L. Leaf, and J.F Horsen. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *For. Chron.* 36(1):10-13.
- Donahue, J.K., and J. López-Upton. 1996. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* Engelm. in native forests. *For. Ecol. Manage.* (82):145-157.
- Donahue J.K., and J. López-Upton. 1999. A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in México. *SIDA* 18(4): 1083-1093.
- Dumroese, R.K., T.D. Landis, and D.L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedling at home: Simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seed. Contribution Number 860. Idaho Forest Wildlife and Range Experiment Station. USA. 54 p.
- Duryea, M.L. and T.D. Landis. 1984. Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. 143 p.
- Duryea, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In:* Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. M.L. Duryea. (ed.). Forest Research Laboratory. Oregon. USA. pp: 1-4.

- Duryea, M.L., and P. Dourgherty. 1991. Forest Regeneration Manual. Kluwer Academic Publishers. USA. 385 p.
- Dvorak, W.S., and J. Donahue, K. 1992. CAMCORE Cooperative Research Review. Department of Forestry, Collage of Forest Resources, North Carolina State University. Raleigh, N.C., USA. 93 p.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka, J. K. Donahue, G. R. Hodge, and T. K. Stanger. 2000. *Pinus greggii*. In: Conservation and Testing of Tropical and Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. NCSU, Raleigh, NC, USA. pp: 52-73.
- Farabee, M. J. 2002. Photosynthesis. <http://gened.emc.maricopa.edu/bio/bio181/BIOBK/BiobookPS.html>.
- Faulconer, J.R. 1988. Using frost hardiness as an indicator of seedling condition. In: Proc. Western For. Nursery Council and Intermountain Nurseryman's Association. pp: 89-95.
- Federer, W.T. 1955. Experimental Desing. Theory and Application. McMillan. Montreal, Canada. 539 p.
- Foyer, C., H. Lopez D., J. Dat, I. Scott. 1998. Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signaling. *Physiol. Plant.* 100:241-254.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. Instituto de Geografía,. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p
- García C., O., G. Alcántar G., R.I Cabrera, F. Gavi R. y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19(3): 249-258.

- García, M. de los A., D. Díaz, M. Alorda, C. Gallardo y O. Valenzuela. 2003. Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. IDIA XXI 8: 55-57.
- Gil, L., y J. Pardos. 1997. Aspectos funcionales del arraigo. La calidad fisiológica de la planta forestal. Madrid, España. Cuaderno de la S.E.C.F. 4: 27-33.
- Gomes, J.M., L. Couto, H. Leite G. y S.L.R García. 2002. Parámetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucaliptus grandis*. Revista *Árvore* 26(6): 655- 664.
- Grossnickle, S., J. Arnott, J.E. Major, and T.J. Tschaplinski. 1991. Influence of dormancy induction treatments on western hemlock seedlings. I. Seedling development and stock quality assessment. *Can. J. For. Res.* 21:164 174.
- Hahn, P.F. 1984. Plug+1 seedling production. *In: Forest Nursery Manual. Production of Bareroot Seedling.* M.L. Duryea, and T.D. Landis (eds.). Martinus Nijhoff/ Dr W. Junk Publishers. Oregon State University, Corvallis. Oregon. pp: 161-181.
- Haase, D.L., and R. Rose. 1992. Moisture stress and root volume influence transplant shock: preliminary results. *In: Ecology and management of Oak and Associated Woodlands.* USDA FS Rocky Mountains. For. Res. Exp. Stn. Report RM-218, 201-206.
- Hawkins, C.D., and D. Binder W. 1990. State of the art seedling stock quality test based on seedling physiology. *In: R. Rose, S. Campbell y T. Landis (ed.), Target seedling symposium.* Gen. Tech. Rep. Oregon, USDA Forest Service. pp: 91-121.

- Heiskanen, J. 1993. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. *Scan. Journal Forest Res.* (8):337-358.
- Hobbs, S.D. 1984. The influence of species and stocktype selection on stand establishment: an ecophysiological perspectiva. *In: M.L. Duryea and G.N. Brown (eds.). Seedling Physiology and Reforestation Success.* Martinus Nijhoff/Dr W. Publishers, Dordrecht/Boston/London. The Netherland. Great Britain. pp: 179-224.
- Humara, J.M., A. Casares, and J. Majada. 2002. Effect of seed size and growing media water availability on early seedling growth in *Eucalyptus globulus*. *For. Ecol. Manage.* 167: 1-11.
- Inskeep, W.P. and P. Blom, B. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiol.* 77: 483-485.
- Johnson, J.D. and M. Cline, L. 1991. Seedling quality of southern pines. *In: Forest Regeneration Manual.* M.L. Duryea and P.M Dougherty (eds.). Kluwer Academia Publishers. USA. pp: 143-159.
- Johnson, M.S., and R.T. Leah. 1990. Effect of superabsorbent polyacrylamide on efficacy of water use by crop seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 52(3): 431-434.
- Juárez T., P., H. Rubio A., R. Narváez F. y J. Jiménez C. 2001. Comparación de ocho tratamientos para la elaboración de composta a base de aserrín y estiércol. *In: Memorias del V Congreso Mexicano de Recursos Forestales.* Universidad de Guadalajara, CUCBA. SOMEREF. Guadalajara, Jalisco. pp: 395-396.

- Kindelman, A., U. Ortega L., R. Rodríguez, A. Hevia, E. Álvarez, I. Feito, M. Ciordia, y J. Majada. 2007. Materiales para Repoblaciones Forestales. Tecnología Agroalimentaria. Asturias, España 4: 25-32.
- Kietzka, J.E., N. P. Denison, and W.S. Dvorak. 1996. *Pinus greggii* a promising new species for South Africa. Tree improvement for Sustainable Tropical Forestry Proceed. QFRI-IUFRO Conf., Caloundra, Queensland, Australia. pp: 42-45.
- Kooistra, C., and D. Brazier. 1999. Seedling standards and need for them. *In*: T.D. Landis and J.P. Barnett (Tech. Cords.). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 1998. Gen. Tech. Rep. SRS-25. Asheville, NC. USDA, Forest Service. Southern Research Station. 25p
- Lambers, H., S. Chapin III F., and T.L. Pons. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer- Verlag, New York. 540 p.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1989. The Container Tree Nursery Manual. Containers and Growing Media. Vol. 4. Agric. Handbook. 674. Washington: USDA, Forest Service. 189 p.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1990. Containers and Growing Media. Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. USDA, Forest Service. Washington, D.C. 88 p.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett. 1995. Nursery planning, development, and Management. Vol. 1. Container Tree Nursery Manual. USDA. Forest Service. Washington, D.C. 188 p.
- Landis, T.D., R.W. Tinus and J.P. Barnett. 1998. Seedling propagation. Vol. 6. Container Tree Nursery Manual. USDA. Forest Service. Washington, D.C. 166 p.

- Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. 3rd Edition. Springer (Ed). Alemania. 506 pp.
- Lavender, D.P. 1985. Bud dormancy. *In: Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. M.L. Duryea (ed.). Corvallis, Oregon. pp: 7-15.
- Levitt, J. 1980. Response of plants to environmental stresses. Vol. 1. Chilling. Freezing and High temperatures stresses. 2nd ed. Academic Press. New York. 477 p.
- Lichtenthaler, H.K. 1996. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology* 148: 4-14.
- López U., J., A. Mendoza H. J.J. Vargas H., J. Jasso M. y A. Gómez G. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Madera y Bosques* 6(2): 81-94.
- López U., J., J. Jasso M., J.J. Vargas H., y J.C. Ayala S. 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. *Agrociencia, Serie Recursos Naturales Renovables* 3(1):81-95.
- López U., J., C. Ramírez H., F.O. Plascencia E., y J. Jasso M. 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(4):457-464.
- Lopushinsky, W. 1990. Seedling moisture status. *In: Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. USDA, Forest Service. Fort Collins, CO. U.S.A. pp: 123-128.*

- Lorenzo, P., E. Medrano, y M. García. 1996. Estudio comparativo de la eficiencia hídrica de dos sistemas de control de riego en sustrato. XIV Congreso Nacional de Riegos de: D.G.I.A. Congresos y Jornadas 37: 668-672.
- Martínez B. A., A. Villa, M. Morgado y M.A. Herrera. 1995. Viveros Forestales. INIFAP. México, D.F. 166 p.
- Martínez T.,T., J.J. Vargas H., A. Muñoz O., J. López U. 2002. Respuesta al déficit hídrico de *Pinus leiophylla*: Consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. Agrociencia 36:365-376.
- Marshall, J.D. 1985. Carbohydrate status as measure of seedling quality. *In*: Proceedings: Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests. Duryea, M. L (De.). Forest Research Laboratory. OREGON State University, Corvallis. pp: 49-58.
- Mateo S., J.J. 2005. Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 92 p.
- Mattsson, A. 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13:227-252.
- Mckay, H.M. 1999. Root electrolyte leakage and root growth potential as indicators of spruce and larch establishment. *Silva Fennica* 32 (3): 241-252.
- Mendel, Z. 1984. Provenance as a factor in susceptibility of *Pinus halepensis* to *Matsucoccus josephi* Momoptera. Margarodidae. For. Ecol. Manage. 9: 259-266.

- Mexal, J.G. y T.D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. *In*: Target Seedling Symposium: Proceedings Combined Meeting of the Western Forestry Nursery Associations. R. Rose, S.J. Campbell, and T.D. Landis (editors.). USDA For. Serv. Oregon. pp: 17-35.
- Ness, M.J. 1999. Efecto de un hidrogel humectado aplicado a las raíces de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. durante su transplante. Universidad Austral de Chile. *Agro Sur* 27 (2): 48-58.
- Nicolas, J.P. y Y. Roche-Hamon. 1988. *El Vivero*. A. Rodriguez R. y F. Toribio M. (traductores). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 243 p.
- Nilsen, E.T., and D.M. Orcutt. 1996. *Physiology of Plants Under Stress. Abiotic Factors*. John Wiley & Sons, New York. 97 p.
- Nissen, J. 1995. Hidrogeles, análisis comparativo y costo de aplicación de una alternativa no tradicional de abastecimiento de agua a cultivos y frutales del sur de Chile. *Agroanálisis* 11(131):19-20.
- Oliet, J., R. Planelles, M. López A., y F. Artero. 1997. Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 4: 69-79
- Oliet, J., R. 2000. *La Calidad de la Postura Forestal en Vivero*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Cordoba. España. 93 p.
- Oliet, J., R. Planelles, F. Artero, E. Martínez M., L. Álvarez L., R. Alejano y M. López A. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halapensis* Mill. Influencia de la fertilización. *Invest. Agrar. Sistema de recursos forestales* 12(1): 51-60.

- Ortiz S., C. y H.E. Cuanalo de la C. 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo, para la Cartografía de tierras erosionadas. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp:33-43
- Ouchi, S., A. Nishikawa, and E. Kameda. 1990. Soil improving effect of a super-water-absorbent-polymer. II. Evaporation, leaching of salts and growth of vegetables. *Journal of the Science of Soil and Manure (Tokyo)* 61(6): 606-613.
- Palmer, R.G., y F.R. Troeh. 1989. *Introductory soil science-Labortory Manual*. Ed. AGT. Iowa. Trad. por Fidel Márquez Sánchez. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 158p.
- Paul, J. y C. Lee. 1976. Relations between growth of chysantemuns and aeration of various container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101 (5): 500-503.
- Pardos, M., A. Royo, L. Gil, y J.A. Pardos. 2003. Effect of nursery location and outplanting date on field performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. *Forestry* 76: 67-81.
- Parviainen, J.V. 1981. Qualidade e avaliação de qualidade de mudas florestai. *In: Seminário de sementes e viveiros florestais, 1*. Curitiba: FUPEF. pp: 59-90.
- Pastor N., S. 2000. Utilización de Sustratos en Vivero. Universidad de Lleida. *Terra* 17(3):231-235.
- Pastor N., O. Marfa, y R. Savé. 2003. Influencia del sustrato y del tamaño del contenedor en el transplante del terreno definitivo de plantas ornamentales cultivadas en contenedor. *Actas de horticultura. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas*. Pontevedra. pp: 527-528.

- Patiño V., F. y J. Marín C. 1993. Viveros Forestales: Planeación, Establecimiento y Producción de Planta. SARH. INIFAP. Centro de Investigaciones Regionales del Sureste. Mérida, Yucatán. México. 159 p.
- Peñuelas R., J.L. y B.L. Ocaña. 1996. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. 2da. ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Perry, J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Peyton, W.O. 1990. Target seedling specifications: Are stocktype designation useful? *In*: R. Rose, S.J. Campbell, and T.D. Landis (eds.). Target Seedling Symposium: Proc., Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations, August 13-17. Gen. Tech. Rep. RM-200. Ft. Collins, CO. USDA, Forest Service. R. Roseburg, Oregon, USA. pp: 9-16.
- Prieto R., J.A., G. Vera C. y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico N° 12. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Méx. 23 p.
- Prieto R, J.A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O., J. de J. Návar C., y J. Jiménez P. 2004. Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. Revista Ciencia Forestal en México 27: 79-94.
- Prieto R, J.A., E. H. Cornejo O., P. A. Domínguez C., J. de J. Návar C., J.G. Marmolejo M., y J. Jiménez P. 2004b. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr. producido en vivero. Invest. Agrar: Sist. Recur. For 13(3): 443-451.
- Puustjarvi, V.R., and R.A. Robertson. 1975. Physical and chemical properties. *In*: Peat in Horticulture. Academic Press. London. 170p.

- Ramírez H., C., J.J. Vargas H. y J. López U. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. Acta Botánica Mexicana 72: 1-16.
- Raviv M., R. Wallach, and T. Blom. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance, a review. Acta Horticulturae 644:251–259.
- Reyes R., J. 2005. Prácticas culturales para mejorar la calidad de plántulas de *Pinus patula* y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 95 p.
- Ripoll, M.A. 2004. Aprovechamiento de escorrentías superficiales mediante la construcción de microcuencas: aplicación a la forestación en ambientes mediterráneos. Ecosistemas Mediterráneos: Análisis funcional. Simposio de la Sociedad Española de Ecología Terrestre. Granada. pp: 67-93.
- Ritchie, G.A. 1984. Evaluating seedling quality. *In*: M.L. Duryea and T.D. Landis (eds.). Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. The Hague, The Netherlands. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. pp: 243- 257.
- Ritchie, G.A., and Y. Tanaka. 1990. Root growth potential and the target seedling. *In*: Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. USDA, Forest Service. Roseburg, Oregon Forest Service. GTC RM-200. pp: 37-52.
- Rodríguez T., D.A. y M.L. Duryea. 2003. Indicadores de la calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. Agrociencia 37:299-307.
- Rodríguez T., D.A. 2008. Indicadores de la Calidad de Planta Forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa. México.156 p.

Rojas, G.M. 2003. La resistencia a la sequía. *Ciencia UANL* 6(3): 326-331.

Rose, R., C. Carlso, and P. Morgan. 1990. The target seedling concept. *In*: R. Rose, S. Campbell, and T.D. Landis (eds.). *Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations*. USDA, Forest Service. Roseburg, Oregon. pp: 1-8.

Ruano J.F. 2008. *Viveros forestales*. Ed. Mundi-Prensa. España. 2da ed. 285 p.

Salisbury F.B. y W. Ross. 1994. Difusión, termodinámica y potencial hídrico. *In*: *Fisiología Vegetal*. F. Salisbury, C. Ross (eds). Grupo Editorial Iberoamericano, México, D.F. pp: 29-46.

Sánchez, S., y O. Murillo. 2004. Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: estudio de caso con Ciprés (*Cupressus lusitancia*). *Agronomía Costarricense* 28(2):95-106.

Sánchez C., T. 2006. Caracterización de sustrato y su influencia en la producción de plántulas de *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 80 p.

Sandoval, A., y A. Stuardo. 2000. Composta: una buena alternativa de sustrato. Notas del centro productor de semillas de árboles forestales. CESAF- Chile No. 13.

www.uchile.ci/facultades/cs_forestales/publicaciones/cesaf/n13/htm/

Save, R., M. Pery, O. Marfa, and L. Serrano. 1995. The effect of a hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. *HortTechnology*. 5: 141–143.

Scheuermann, R., K. Biehler, T. Stuhlfauth y H. Fock. 1991. Simultaneous gas exchange and fluorescence measurements indicate differences in the response of sunflowers, bean, and maize to water stress. *Photosynth. Res.* 27: 189-197.

SEMARNAT y Colegio de Postgraduados. México. 2004. Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República Mexicana, a escala 1: 250,000: Memoria Nacional 2001-2002.

South, D.B. 2000. Increasing pine survival and early growth by planting "morphologically improved" seedlings. *Forestry and Wildlife series No. 1 Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Auburn, Alabama.* 14 p.

Spomer, L.A. 1985. Techniques for measuring plant water. *Hort Science* 20(6): 1021-1028.

Starbuck, C. 1997. Producción y uso de compost de aserrín y estiércol de avena. *In: III Simposium Internacional y IV Reunión Nacional de Agricultura Sostenible. Universidad de Guadalajara, 16-19 de noviembre. Guadalajara, Jal.* 96 p.

Stockhausen 1994. Rentabilizar las reservas de agua con Stockosorb. Folleto técnico. *Chemische Fabrik Stockhausen GmbH. Stockhausen, Alemania.* 6 p.

Tambussi, E.A. 2004. Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Tesis de Doctorado. Universidad de Barcelona. Barcelona, España. 203 p.

Terry, R.E. and S.D. Nelson. 1996. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties. *Soil Science* 141:317-320.

- Thie D.L., and S. Manninen. 2003. Ozone and water deficit reduced growth of Aleppo pine seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 41: 55-63.
- Tohidi M., H.R., A.H. Shirani R., D. Habibi, G., M. Nour and A. B Mashhadi M. 2009. Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in Canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. *Amer. Jour. of Agric. and Biol. Scien.* 4:215- 223.
- Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. *In: Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Test.* M. L. Dureay. For. Res. Labor. Oregon State University. pp: 59-65.
- Timmer, V.R., and G. Armstrong. 1987. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions. *Can. J. For. Res.* 17: 644-647.
- Toral I., M. 1997. Concepto de la calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. SEDER. Fundación Chile. Consejo Agropecuario de Jalisco. México. 26 p.
- Turner, N.C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig Science* 9: 289-308.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado de Cultivo sin Suelo. Editor Mundi-Prensa. 3ra ed. 914p.
- van den Driessche, R. 1988. Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. *Can. J. For. Res.* 18: 172-180.

- van den Driessche, R. 1992. Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium. *Can. J. For. Res.* 22: 740-749.
- van de Sanden, P.A. 1988. The effect of air vapor pressure deficit and electrical conductivity of the nutrient solution on the growth of cucumber seedlings in water culture. *Acta Hort.* 229: 411-413.
- van Reeuwijk, L. P. 1999. Procedimiento para análisis de suelos. Manual Versión 1995. Trad. por Ma. Del Carmen Gutiérrez y C.A. Ortiz Solorio. Especialidad de Edafología. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 145p.
- Vargas H., J.J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía: II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72:197-208.
- Vilagrosa, A., S. Villar P. y J. Puértolas. 2006. El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas. *In*: J. Cortina, J.L. Peñuelas, J. Puértolas, R. Savé, A. Vilagrosa (Eds). *Calidad de Planta Forestal para la Restauración en Ambientes Mediterráneos. Estado actual de Conocimientos*. DGB. Ministerio de Medio Ambiente, Serie Forestal. Madrid. pp :119-140.
- Villar S., P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. Capítulo IV. Asociación Española de Ecología Terrestre. Universidad de Alcalá. Valladolid, España. pp : 66-86.
- Villar S. P., J. Puértolas, and J. Peñuelas L. 2007. Assessing morphological and physiological plant quality for Mediterranean woodland restoration projects. *For. Eco. Manage.* pp: 1-17

Warrington, I.J., and D.A. Rook. 1980. Evaluation of techniques used in determining frost tolerance of forest planting stock: a review. *New Zealand J. For. Sci.* 10: 116-132.

Wenny, D.L., Y. Liu., R. K. Dumroese, and H.L. Osborne. 1998. First year field growth of chemically root pruned containerized seedlings. *New Forests* 2 (2): 111-118.

Wightman, K., y B. Santiago C. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana* 5 (1):45-51.

Willen, P., and R.F Sutton. 1980. Evaluation of stock after planting. *New Zealand J. For. Sci.* 10(1): 297-299.

ANEXO I

DISTRIBUCIÓN DE MEZCLAS Y NIVELES DE HIDROGEL EN VIVERO

RIEGO III

M2D1	M1D1	TESTIGO
M1D2	M3D3	M1D3
M2D2	M1D1	M2D1
TESTIGO	M3D2	M1D3
M3D1	M2D3	M1D2
M3D3	M2D2	TESTIGO
M3D2	M1D2	M3D3
M2D1	M2D3	M3D1
M1D1	M2D2	M2D3
M3D2	M3D1	M1D3

RIEGO IV

M3D3	M1D3	M1D1
M3D2	M2D2	M3D1
M2D1	M1D1	TESTIGO
M2D3	M3D2	M2D2
M2D1	M3D3	M1D1
TESTIGO	M3D1	M3D3
M2D1	M2D2	TESTIGO
M1D3	M2D3	M1D2
M1D2	M3D1	M2D3
M1D3	M1D2	M3D2

RIEGO II

M2D3	M1D3	M2D3
M1D1	TESTIGO	M3D1
M3D1	M2D2	TESTIGO
M3D2	M1D1	M1D2
M2D1	M3D3	M1D3
M3D1	M1D2	M2D1
M2D2	M3D2	TESTIGO
M2D3	M2D1	M1D2
M3D2	M3D3	M1D1
M3D3	M1D3	M2D2

RIEGO I

M1D3	M3D1	M2D2
M3D3	M1D2	M3D1
M1D1	M1D3	TESTIGO
M1D2	M2D1	M1D2
M1D3	M2D3	M1D1
TESTIGO	M2D2	M3D3
M2D1	M3D1	M2D2
M2D3	M2D1	M3D2
M3D3	M3D3	M2D3
M3D2	M1D1	TESTIGO

MEZCLAS

M1= Corteza: Aserrín (60:40)

M2= Corteza: Aserrín (40:60)

M3= Corteza: Aserrín (20:80)

TESTIGO

NIVELES DE HIDROGEL

D1= s/ hidrogel

D2= 2g/L mezcla

D3= 4g/L mezcla

ANEXO 2

Altura (ALT), diámetro(DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR), en respuesta a cuatro niveles de riego en el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. en vivero

RIEGO 1									
COMPARACION DE MEDIAS									
Tratamientos	Sustrato	Hidrogel g/L	ALT	DIAM	PSA	PSR	R PA/R	IE	ICD
1	M1	s/dosis	22.98de	3.09cd	1.54de	0.89cd	1.7486cd	7.47bc	0.26bc
2	M1	dosis media	22.12e	3.11cd	1.66cde	0.91cd	1.95bc	7.14c	0.29abc
3	M1	dosis alta	22.43de	3.03cd	1.61cde	0.81d	2.13ab	7.43c	0.26c
4	M2	s/dosis	25.61bc	3.16bcd	1.92b	1.21a	1.60de	8.15b	0.32a
5	M2	dosis media	26.26b	3.23bc	1.98b	1.04abc	1.97abc	8.14b	0.30abc
6	M2	dosis alta	23.56cde	3.023d	1.75bcd	0.97bcd	1.99abc	7.83bc	0.29abc
7	M3	s/dosis	22.5de	3.10cd	1.41e	1.07abc	1.36e	7.30c	0.29abc
8	M3	dosis media	22.5de	3.11cd	1.56de	0.91cd	1.83bcd	7.3c	0.27abc
9	M3	dosis alta	24.44bcd	3.34b	1.82cb	1.01bc	1.99abc	7.4c	0.31ab
10	Testigo		32.83a	3.70a	2.05a	1.11ab	2.31a	8.92a	0.33a

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%).
Riego 1= riego diario.

RIEGO 2									
COMPARACION DE MEDIAS									
Tratamientos	Sustrato	Hidrogel g/L	ALT	DIAM	PSA	PSR	R PA/R	IE	ICD
1	M1	s/dosis	21.18c	2.72c	1.43d	.84b	1.69f	7.83cd	0.24a
2	M1	dosis media	22.97abc	2.77c	1.55cd	.45d	3.66abc	8.68abc	0.17b
3	M1	dosis alta	23.96ab	2.6c	1.7bc	.47d	4.21a	9.36a	0.16b
4	M2	s/dosis	24.60a	2.68c	1.76bc	1.005a	1.77f	9.3a	0.25a
5	M2	dosis media	23.22ab	2.65c	1.84ab	0.93ab	2.10ef	8.81ab	0.26a
6	M2	dosis alta	23.98ab	2.66c	1.78	0.53d	4.04ab	9.05ab	0.18b
7	M3	s/dosis	23.47ab	2.71c	1.74bc	1.005a	1.73f	8.69abc	0.26a
8	M3	dosis media	22.3bc	2.73c	1.66bc	0.53d	3.4bc	8.18bcd	0.19b
9	M3	dosis alta	24.64a	3.05b	1.9a	0.84b	2.6de	8.14bcd	0.26a
10	Testigo		23.73ab	3.28a	2a	0.68c	2.99cd	7.24d	0.26a

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%).

RIEGO 3
COMPARACION DE MEDIAS

Tratamientos	Sustrato	Hidrogel g/L	ALT	DIAM	PSA	PSR	R PA/R	IE	ICD
1	M1	s/dosis	16.7e	2.54c	1.13e	.66a	1.72f	6.6bcd	.22b
2	M1	dosis media	18.98bc	2.63c	1.31bcde	.37cd	4.0abc	7.25a	.15cde
3	M1	dosis alta	17.33de	2.52c	1.2cde	.29d	4.43ab	6.9abcd	.13e
4	M2	s/dosis	16.72e	2.60c	1.21cde	.6a	2.10ef	6.45d	.21b
5	M2	dosis media	18.7cd	2.60c	1.36bcd	.43bc	3.5cd	7.22a	.17cd
6	M2	dosis alta	18.84c	2.68c	1.4bc	.33d	4.67a	7.07abc	.15de
7	M3	s/dosis	16.5e	2.61c	1.18ed	.63a	1.92f	6.33d	.22b
8	M3	dosis media	17.8cde	2.70bc	1.33bcde	.46b	3.61bcd	6.6bcd	.18cc
9	M3	dosis alta	20.37ab	2.88b	1.51b	.38bcd	4.33abc	7.16ab	.166cd
10	Testigo		21.05a	3.3a	1.79a	.65a	2.81de	6.51cd	.26a

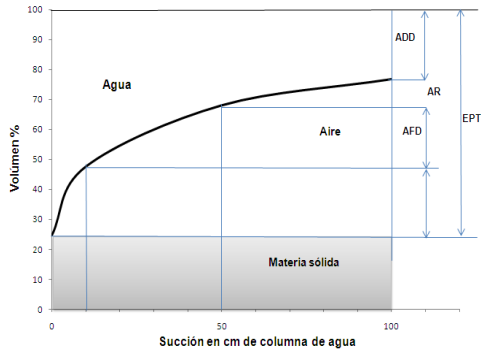
*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%).

RIEGO 4
COMPARACION DE MEDIAS

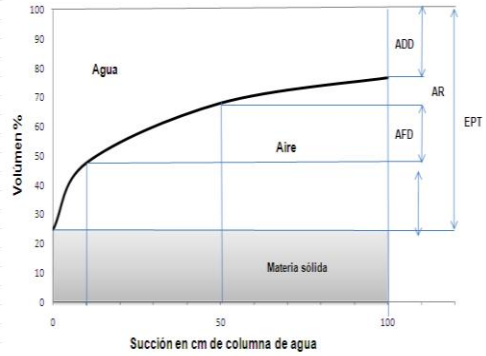
Tratamientos	Sustrato	Hidrogel g/L	ALT	DIAM	PSA	PSR	R PA/R	IE	ICD
1	M1	s/dosis	15.8bc	2.6bc	.97d	.55b	1.80c	6.15abc	.19c
2	M1	dosis media	16.06bc	2.72bc	1.13c	.29c	4.24ab	5.94cb	.14ed
3	M1	dosis alta	15.64c	2.75b	1.2c	.29c	4.53ab	5.74bc	.14ed
4	M2	s/dosis	16.15bc	2.62bc	1.25bc	.61ab	2.07c	6.22ab	.22b
5	M2	dosis media	17.13a	2.6bc	1.25bc	.28c	5.019a	6.66a	.13e
6	M2	dosis alta	18a	2.72bc	1.32ab	.33c	4.5ab	6.63a	.15de
7	M3	s/dosis	17.66a	2.7bc	1.20bc	.63a	1.91c	6.63a	.22b
8	M3	dosis media	17abc	2.56c	1.23bc	.33c	3.89b	6.67a	.15ed
9	M3	dosis alta	18a	2.74bc	1.43a	.33c	4.67ab	6.56a	.16d
10	Testigo		18.02a	3.24a	1.41a	.64a	2.20c	5.59c	.26a

*M1 (corteza 60% y aserrín 40%), M2 (corteza 40% y aserrín 60%), M3 (corteza 20% y aserrín 80%).

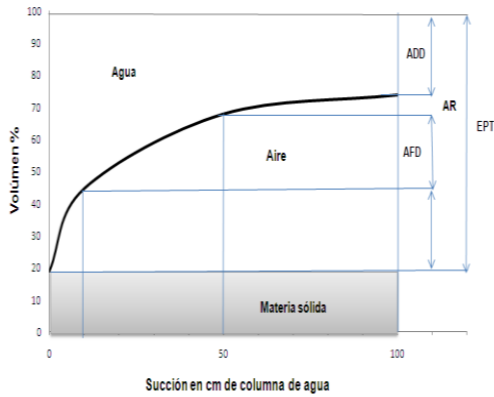
ANEXO 3



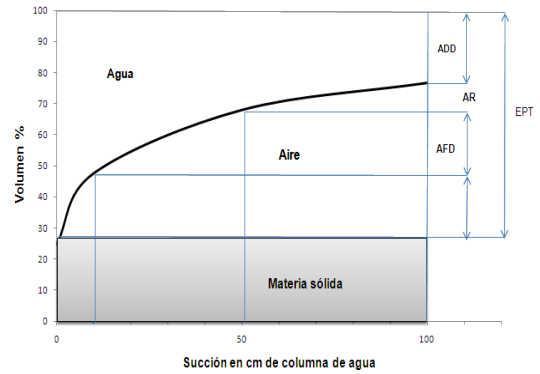
a) 60% corteza+ 40% de aserrín



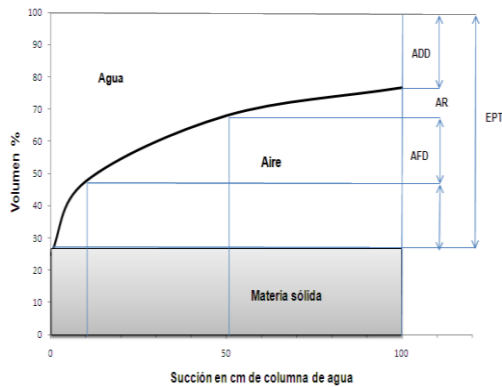
b) 60% corteza+ 40% de aserrín+2 g/L hidrogel



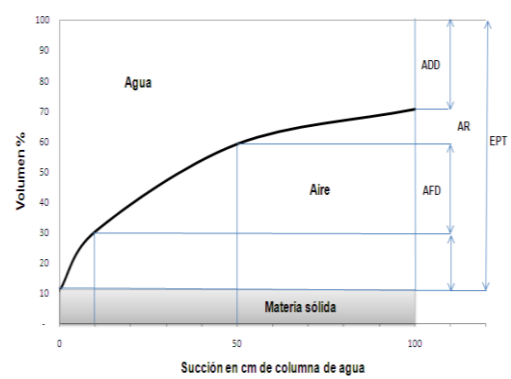
c) 60% corteza+ 40% de aserrín+4 g/L hidrogel



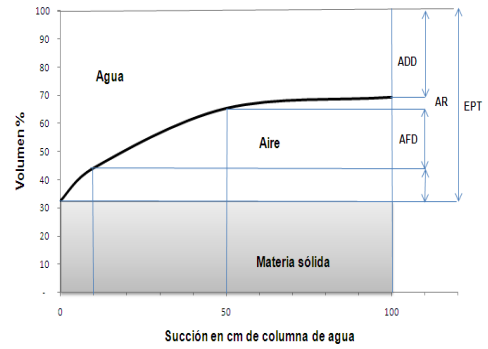
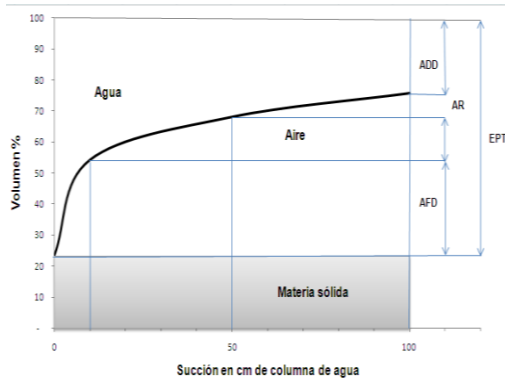
d) 40% corteza+ 60% de aserrín



e) 40% corteza+ 60% de aserrín
+ 2 g/L hidrogel

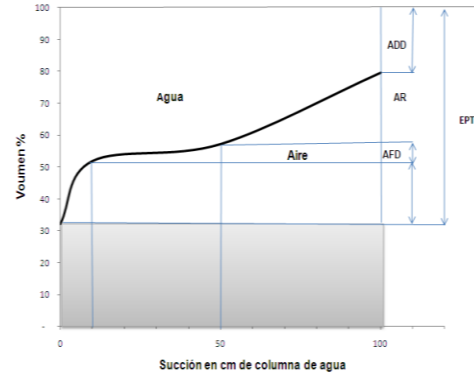
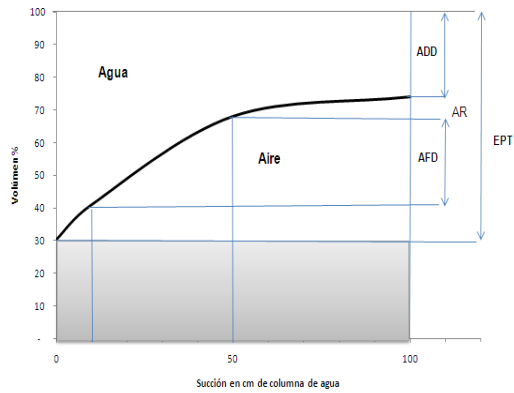


f) 40% corteza+ 60% de aserrín
+ 4 g/L hidrogel



g) 20% corteza+ 80% de aserrín

h) 20% corteza+ 80% de aserrín+2 g/L hidrogel



i) 20% corteza+ 80% de aserrín+4 g/L hidrogel

j) Testigo

