



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

## INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

### ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“USO DE COADYUVANTES EN EL ESTABLECIMIENTO  
DE PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN CON *Pinus  
greggii* Englem y *P. cembroides* Zucc”**

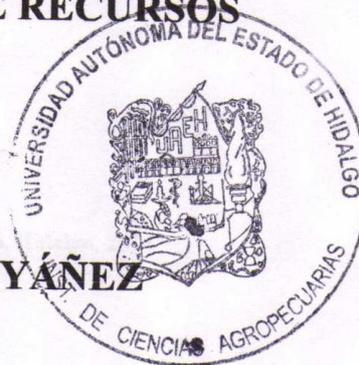
**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TITULO DE:**

**INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS  
FORESTALES**

**PRESENTA:**

**MIGUEL ÁNGEL FÉLIX YÁÑEZ**



**TULANCINGO DE BRAVO, HGO. NOVIEMBRE DE 2014**



**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

Instituto de Ciencias Agropecuarias  
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales  
Coordinación del Programa Educativo de Ingeniería en  
Manejo de Recursos Forestales

Tulancingo de Bravo, Hgo., Noviembre de 2014.

**DR. OTILIO A. ACEVEDO SANDOVAL**  
**DIRECTOR DEL ICAP**  
**P R E S E N T E**

De acuerdo al artículo 134 del Reglamento de Control Escolar de la UAEH, la tesis titulada **“USO DE COADYUVANTES EN EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN CON *Pinus greggii* Englem y *P. cembroides* Zucc”** presentada por el pasante **MIGUEL ÁNGEL FÉLIX YÁÑEZ**, con número de cuenta 130752, egresado del programa educativo de Ingeniería en Manejo de Recursos Forestales, ha sido aprobada por el Jurado Examinador designado, por lo que se procede a su impresión y presentación en examen recepcional como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero en Manejo de Recursos Forestales.

**Comité Revisor**

Dr. Joel Meza Rangel  
Director

Dr. José Justo Mateo Sánchez  
Asesor

Dr. Ramón Razo Zarate  
Asesor

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna  
Asesor

Dra. Juana Juárez Muñoz  
Asesora

**ATENTAMENTE**  
**“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”**  
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Noviembre de 2014

**M.C. Sergio Hernández León**  
Coordinador del Programa Educativo de  
Ingeniería en Manejo de Recursos Forestales

C.c.p. Dr. Oscar Arce Cervantes.- Jefe del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales.



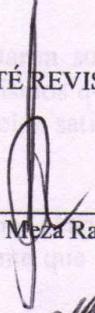
Rancho Universitario. Av. Universidad Km. 1  
Ex-Hda. de Aquetzalpa AP 32 CP 43600  
Tulancingo, Hgo.  
Tel. y fax 01 771 71 72000 Ext. 2431,  
01 775 7533495

La presente tesis titulada "USO DE COADYUVANTES EN EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE RESTAURACIÓN CON *Pinus greggii* Englem y *Pinus cembroides* Zucc", fue realizada por Miguel Ángel Félix Yáñez, bajo la dirección del Comité Revisor, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el título de:

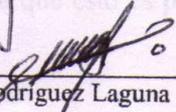
**INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

COMITÉ REVISOR

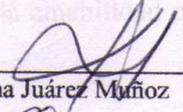
DIRECTOR:

  
Dr. Joel Meza Rangel

ASESOR:

  
Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

ASESOR:

  
Dra. Juana Juárez Muñoz

ASESOR:

  
Dr. Ramón Razo Zarate

ASESOR:

  
Dr. José Justo Mateo Sánchez

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, 2014

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por brindarme la oportunidad de ser parte de esta grande institución educativa, que hoy y siempre me dará orgullo nombrar como el lugar que forjo mi destino y hoy un muy prometedor futuro en el área profesional y personal.

A todos mis profesores que depositaron su confianza en mí, que compartieron sus enseñanzas, experiencias y tiempo mismos que sirvieron de motor e inspiración para la realización de esta Tesis y la culminación satisfactoria de mi Licenciatura.

En especial al Dr. Joel Meza Rangel por el apoyo y la paciencia que brindo a mi persona además que siempre supo lo importante que esto es para mí y sobre todo que me llevo una verdadera y grandiosa amistad.

A la Dra. Juana Juárez Muñoz por la amabilidad que siempre demostró y que genero una valiosa amistad y respeto.

Al Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna por la atención y apoyo para lograr esta meta.

Al Dr. Ramón Razo Zarate por su tiempo y atención para poder concluir el presente trabajo

Al Dr. Justo Mateo por la excelente persona y profesor de este instituto al igual que su aportación.

A mis compañeros que fueron parte de este ciclo tan importante en mi vida ya que juntos recorrimos el camino que hoy nos lleva a escalar un sinfín de oportunidades que sin duda harán cumplir nuestros más grandes sueños y metas trazadas.

## DEDICATORIAS

A mis padres Irene Yáñez Islas y Enrique Félix Balderas; que por siempre serán la mayor inspiración y apoyo incondicional en cada camino que he tomado y tomare, siendo ellos el pilar más importante para mi realización personal y profesional, y siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí, los amo mucho, gracias.

A mis hermanos Angélica Félix Yáñez y Enrique Félix Yáñez, que siempre estuvieron a mi lado motivándome, alentándome y apoyándome a seguir adelante y lograr mis metas, siempre estarán en mi corazón.

A mi tía Reyna Yáñez Islas y a mi querida abuelita Benita Islas Calva, quienes son mis segundas mamás, las cuales me guiaron y me dieron un excelente ejemplo de lucha y perseverancia, las quiero.

A mi esposa por todo lo que hace por esta familia y quien me enseñó a valorar realmente las cosas importantes en la vida. Te amo.

A mi tía Mica y a mis apreciados primos David, Marco y Omar los quiero mucho.

A mis sobrinas Karencita, Fridita y Enriquito quienes forman parte de la nueva generación de esta grandiosa familia.

Al Jerry que es mi más fiel amigo y compañero , quien día a día me enseñó lo que es la verdadera lealtad, quien nunca pedía nada a cambio, más que todo amor, que gracias a el comprendí que las cosas grandes no son precisamente las más importantes, que basta algo pequeñito pero lleno de cariño y amor para dar, mi fiel amigo y acompañante quien cambio mi vida, me dio emociones , saco sonrisas de mi rostro en los momentos más precisos, te quiero Jerry que bendición el que seas parte de mi familia.

Este triunfo es también de todos ustedes.

## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| INDICE DE CUADROS.....  | III |
| INDICE DE FIGURAS.....  | IV  |
| RESUMEN.....  | V   |
| 1. INTRODUCCION.....  | 1   |
| 2. OBJETIVOS.....   | 3   |
| 2.1. Objetivo general.....                                      | 3   |
| 2.2. Objetivos específicos.....                                 | 3   |
| 3. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                  | 4   |
| 3.1. Características de las especies.....                       | 4   |
| 3.1.1. <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....                        | 4   |
| 3.1.2. <i>Pinus greggii</i> Englem.....                         | 6   |
| 3.2. Polímeros hidrofílicos.....                                | 7   |
| 3.3. Micorrizas.....  | 13  |
| 3.3.1. Características de <i>Pisolithus tinctorius</i> .....    | 14  |
| 3.3.2. Taxonomía de <i>Pisolithus tinctorius</i> .....          | 15  |
| 3.3.3. Técnicas de inoculación de micorrizas.....               | 19  |
| 3.4. Nutrición mineral de plántulas de especies forestales..... | 22  |
| 4. MATERIALES Y METODOS.....                                    | 25  |
| 4.1. Descripción del sitio de estudio.....                      | 25  |
| 4.2. Material vegetal y establecimiento de experimento.....     | 25  |
| 4.3. Arreglo experimental.....                                  | 26  |
| 4.4. Características de los coadyuvantes usados.....            | 28  |
| 4.4.1. Gel absorbente de humedad.....                           | 28  |
| 4.4.2. Fertilizantes de liberación prolongada.....              | 28  |

|  |    |
|--|----|
| 4.4.3. Ectomicorriza.....                          | 30 |
| 4.5. Aplicación de los coadyuvantes.....           | 29 |
| 4.5.1. Gel absorbente de humedad.....              | 30 |
| 4.5.2. Fertilizantes de liberación prolongada..... | 31 |
| 4.5.3. Ectomicorriza.....                          | 31 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                     | 33 |
| 5.1. Supervivencia en campo (%).....               | 33 |
| 5.2. Incremento en altura (cm).....                | 36 |
| 5.2.1. Altura promedio (cm).....                   | 39 |
| 5.3. Incremento en diámetro (mm).....              | 41 |
| 5.3.1. Diámetro final (mm).....                    | 43 |
| 6. CONCLUSIONES.....                               | 45 |
| 7. LITERATURA CITADA.....                          | 49 |

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales tipos de polímeros hidrofílicos presentes en el mercado.

Cuadro 2. Composición de picomódulos utilizados para fertilización en campo.

Cuadro 3. Niveles de supervivencia para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.

Cuadro 4. Incremento en altura (cm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.

Cuadro 5. Altura promedio (cm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.

Cuadro 6. Incremento en diámetro (mm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.

Cuadro 7. Valores medios de diámetro (mm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.

## INDICE DE FIGURAS

1. Material vegetal usado en el experimento. A la izquierda *Pinus cembroides* y a la derecha *Pinus greggii*
2. Panorámica general del área de estudio. Se ilustra en el lado izquierdo una panorámica durante la época de estiaje y a la derecha después de la temporada de lluvias
3. Plano donde se ilustra la manera en que se distribuyeron los tratamientos en el sitio experimental.
4. Gránulos gruesos de hidrogel constituido por poliacrilamida
5. Imagen que muestra las características de los picomódulos usados en el experimento
6. Sobre con esporas *Pisolithus tinctorius*
7. a) aspecto del polímero hidrofílico; b) mezcla de polímero con la tierra; c) y d) relleno de cepa con la mezcla tierra-polímero.
8. a) picomódulos; b) colocación espacial de picomódulos alrededor de *Pinus cembroides* y c) colocación espacial de picomódulos alrededor de *Pinus greggii*
9. a) aspecto que presentan las esporas de *Pisolithus tinctorius* y b) activador necesario para dilución de esporas
10. a) una vez preparado el producto, este debe guardarse protegido de la luz y de preferencia en ambiente fresco y c) forma de aplicación de inóculo en cepellón de la planta
11. Aspecto general de la plantación donde se observa el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii*
12. Gráfica de altura para *Pinus cembroides*; crecimiento uniforme en todos los tratamientos.
13. Gráfica de altura para *Pinus greggii*; notoria diferencia de crecimiento de las plantas tratadas con respecto al testigo.
14. Gráfica de diámetro para *Pinus cembroides*; un comportamiento similar en todos los tratamientos.
15. Gráfica de diámetro para *Pinus greggii* comportamiento distante de 3 tratamientos con respecto al testigo.

## RESUMEN

Con el fin de evaluar la efectividad de los coadyuvantes hidrogel-hortasorb<sup>R</sup>, fertilizante de liberación prolongada-picomódulos<sup>R</sup> y ectomicorríza-ectorize<sup>R</sup> en la supervivencia y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* y *Pinus cembroides*, se estableció una plantación en la comunidad de Agua Hedionda, municipio de Meztlán, Hidalgo. Se establecieron un total de 1920 plántulas de las cuales la mitad (960) correspondieron a *Pinus greggii* de 1 año de edad y la otra mitad a *Pinus cembroides* con seis meses, en una superficie total de 16,300 m<sup>2</sup>. En un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo factorial, se evaluaron, hidrogel 6 g/planta, fertilizante de liberación prolongada 1.4 g/planta y la ectomicorríza *Pisolithus tinctorius* 1ml/planta. Los resultados presentados corresponden al periodo enero 2004 a agosto 2005, es decir, dos años después de establecida la plantación. La combinación hidrogel+picomódulos en *P. cembroides* presentaron los mayores valores con un 88% de supervivencia, en tanto que para *P. greggii* fue el Hidrogel con un 92% de supervivencia. En ambas especies, no se encontraron diferencias estadísticas por efecto de los tratamientos aplicados en cuanto al incremento tanto en diámetro como en alturas. En *P. cembroides* el tratamiento de picomódulos+ectomicorríza fue el que presento mayor incremento en cuanto al diámetro, teniendo 1.03 mm más que el testigo seguido del tratamiento que solo fue inoculado con Pt mostrando 0.73 mm. En el caso del *P. greggii* se observa el mismo comportamiento en el incremento en cuanto al tratamiento picomódulos+ectomicorrízas el cual presenta un incremento de 1.9 mm con respecto al testigo, seguido del hidrogel que fue de 1.33 mm mayor al testigo. El diámetro final de las plántulas para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* no fue significativo entre los tratamientos aplicados; en cuanto altura promedio para *Pinus cembroides* tampoco existió alguna diferencia significativa, sin embargo en el caso de *Pinus greggii* si existió esta diferencia estadística de todos los tratamientos con respecto al testigo siendo el tratamiento picomódulos+ectomicorrízas el cual presenta un incremento de 1.9 mm con respecto al testigo, seguido del hidrogel que fue de 1.33 mm mayor al testigo. Los resultados muestran que el efecto más significativo se da en cuanto al aumento de la supervivencia.

Palabras claves: coadyuvantes, supervivencia

## INTRODUCCIÓN

Gran parte de las zonas del Estado de Hidalgo presentan características de zonas de restauración y protección. Dichas zonas exhiben condiciones de sequía durante la mayor parte del año. Lo anterior, es una fuerte limitante para el establecimiento exitoso de plantaciones. Se ha considerado la supervivencia de las plantaciones como la principal prueba de calidad de planta producida; siendo para ello necesario que la planta cuente con los requerimientos nutricionales y disponibilidad de agua suficiente para completar su desarrollo hasta una planta adulta.

Los pinos establecidos en las zonas altas del Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo, consideradas zonas de restauración, crecen bajo condiciones que limitan severamente su crecimiento y desarrollo; por tanto es de primordial importancia para el éxito de las plantaciones. Anualmente se llevan a cabo actividades de reforestación, principalmente de *Pinus greggii*; sin embargo, cercano a la zona de estudio existen poblaciones de *Pinus cembroides*, especie que potencialmente puede dar recurso económico a la población.

Se han utilizado desde hace varios años, diversos coadyuvantes para tal fin, destacando, el uso de ectomicorrizas, fertilizantes de liberación prolongada y gel absorbente de humedad. En mayor o menor medida las experiencias indican que es posible el uso de tales coadyuvantes, ya que favorecen la supervivencia de plántulas que crecen bajo condiciones que limitan su crecimiento.

Tomando el marco de referencia anterior se instaló un experimento en dicha comunidad con el fin de evaluar tres coadyuvantes que están en el mercado y que

potencialmente podrían ayudar al establecimiento de las plántulas bajo las condiciones tan difíciles del lugar que impiden su establecimiento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general.**

- Evaluar la efectividad del uso de coadyuvantes (ectomicorriza, fertilizante de liberación prolongada y gel absorbente de humedad) en la supervivencia y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc, en la comunidad de Agua Hedionda, Municipio de Meztitlán, Hgo.

### **2.2. Objetivo específicos.**

- Determinar el porcentaje de supervivencia en campo de las plántulas bajo el uso de los coadyuvantes.

- Determinar el incremento en altura y diámetro de las plántulas bajo el uso de los coadyuvantes.

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1. Características de las especies.

##### 3.1.1. *Pinus cembroides* Zucc.

Su nombre científico es *Pinus cembroides* Zucc., sus nombres comunes: Bischicuri (lengua tarahumara) – Chihuahua; pino piñón; piñón; piñón prieto; piñonero. Su origen es de México, y se extiende al sur de los Estados Unidos. Es un árbol de 5 a 10 m, y hasta 15 m de altura, con un DN de 30 cm y hasta 70 cm. Es de tronco corto y ramas ascendentes, delgadas y distribuidas irregularmente en el tallo. Es una especie monoica de lento crecimiento. Los árboles tardan varios años en fructificar por primera vez. En términos generales, el tiempo transcurrido entre la polinización, la maduración del cono y las semillas es de unos 30 a 36 meses. Es una de las especies de pino de mayor distribución en México, forma masas puras en la Sierra Madre Oriental al norte del Trópico de Cáncer. Las mayores poblaciones están en: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Nuevo León. Considerando la variación de la temperatura, es posible distinguir dos grandes zonas en la distribución de esta especie, dónde la temperatura varía más de 10°C. La otra al Sur, donde la variación anual de la temperatura es menor de 10°C, en los estados de Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas. Está presente en las altitudes\_(msnm), media: de 2,100 a 3,100, mínima: 1,350; 400, máxima: 2,700; 3,750; el suelo presenta las características físicas de someros a profundos, en lomeríos desde 1 m a < 50 cm; en los valles de 1 a 2 m de profundidad; dentro de sus características químicas presenta un suelo con pH de 4 a 8; de neutro a alcalinos con porcentajes medios de

materia orgánica en el horizonte “A”, y pobres en “B”. Su textura es de areno-arcillosa a migajón-arenosa, en suelos pedregosos. También se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, o al pie de las montañas. En el noreste de Zacatecas crece en terrenos abruptos en las partes más altas de las sierras, en laderas y cañadas. La deficiencia en los suelos de Nitrógeno y Fósforo, limita el crecimiento adecuado de la raíz y de la copa de los árboles. Las temperaturas para la especie oscilan en media: 17.9 mínima: - 7 y Máxima: 42<sup>0</sup> C. La precipitación como mínima 365 mm y como máxima 800 mm. Es una de las especies más resistentes a la sequía. Las condiciones que influyen sobre el crecimiento del piñonero y la producción de conos son: bajas temperaturas, bajas concentraciones de Calcio y Magnesio, exposición SW y una mayor cobertura de la vegetación. Es una especie de alto potencial adaptativo, resistente a heladas, sequías y temperaturas elevadas. En los sitios donde crece la especie la humedad es baja y media en las laderas, y buena en los valles. En cuanto a sus usos su madera tiene poco valor comercial, se emplea como madera aserrada para construcción rural y postes, también es apreciada en la elaboración de muebles rústicos e instrumentos musicales; sin embargo, no tiene utilidad para muebles de alta calidad. También se usa como leña y carbón, y pulpa para papel. La resina se utiliza como materia prima en impermeabilizantes y como pegamento casero, también se extrae aceite de pino y alquitrán. Esta especie tiene importancia económica por su semilla (piñón), y abastece poco más del 90% de los piñones conocidos en el mercado. Es una especie muy adecuada para reforestar zonas áridas, semiáridas y zonas muy erosionadas. (Anónimo 1998, Batis, Alcocer, C. Sánchez y C. Vázquez 1999, Eguiluz 1982, Martínez M. 1994 y 1998).

### 3.1.2. *Pinus greggii* Englem.

Su nombre científico es *Pinus greggii* Englem, sus nombres comunes son Pino greggii, palo prieto; pino prieto - Coahuila; pino ocote – Hidalgo. Es nativo de la Sierra Madre Oriental de México. Es un árbol pequeño de 10 a 25 m de altura, de crecimiento rápido. Se encuentra distribuido sobre la Sierra Madre Oriental en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí e Hidalgo. Está presente en las siguientes altitudes (msnm) Mínima: 1,400; 1,280 Media: Óptima 1,850 Máxima: 3,000; 2,550. Las características físicas del suelo es que son someros, con textura migajón arcilloso y pedregoso; en cuanto a sus características químicas del suelo presentan un pH de ligeramente ácido a neutro, con materia orgánica pobre. Los suelos donde se desarrolla esta especie son de origen volcánico, ubicados en las mesetas altas y pendientes bajas de las montañas, sitios donde se encuentran los mejores ejemplares. También se pueden desarrollar en sitios secos o áridos, aunque bajo estas condiciones el crecimiento es lento y los árboles son de baja estatura y muy ramificados Presenta resistencia a heladas. Las temperatura para esta especie oscilan en (°C) Mínima: -1; - 9 Media: 14; 16.8 Máxima: 29; 45. En cuanto a precipitación es (mm) Media: 900; 1 200 Mínima: 600; 500 Máxima: 1,500; 2,900. Esta especie se desarrolla en sitios con climas templados subhúmedos. Sus usos la especie es maderable de importancia económica; por su gran adaptación en suelos se ha utilizado en plantaciones comerciales en Sudamérica y África; su madera se destina a la industria de la celulosa y el aserrío, para la fabricación de muebles, durmientes, pilones, vigas, postes para cerca y leña para combustible. También se utiliza como especie ornamental. En algunas localidades se utiliza como árbol navideño. Por su rápido crecimiento y su buena adaptación a suelos pobres, se ha utilizado en programas de restauración de suelos degradados en el Valle

de México. (Anónimo 1998, Batis, Alcocer, C. Sánchez y C. Vázquez 1999, Eguiluz 1982, Martínez M. 1994 y 1998).

### **3.2. Polímeros hidrofílicos.**

El uso de hidrogeles como lo informa la literatura científica, tiene un gran número de beneficios, tanto en horticultura como silvicultura.

Los hidrogeles han mostrado ser una ayuda en la disminución de la erosión, en la reducción de nutrientes y pérdida de sedimentos en ambientes poco estables y finalmente favoreciendo la absorción de nutrimentos y su liberación lenta. Sin embargo, el punto más importante es que su respuesta está asociada con variables relacionadas al sitio (como estructura del suelo, concentración de sales y nutrimentos) y variables relacionadas al crecimiento de la planta. Finalmente debe tomarse en consideración su uso cuidadoso dado que se pueden presentar resultados diversos a lo esperado.

Los hidrogeles disponibles en el mercado se cuentan por cientos (Bouranis *et al.* 1995) y tienen la capacidad de absorber de 400 g a 1500 g de agua por gramo de hidrogel (Bowman y Evans 1991, Woodhouse y Jhonson, 1991). El uso de hidrogeles por años abarca recuperación de aceites, clarificación de agua potable, procesamiento de alimentos, higiene personal, etc. (Barvenik, 1994). Su uso como retenedores de humedad ha ganado importancia, sobre todo en localidades con baja disponibilidad de agua.

La efectividad de los polímeros hidrofílicos, que es el nombre técnico más apropiado, depende de la situación en la que es usada y su formulación química (Cuadro 1) (Mikkelsen, 1994).

| <b>Tipo de polímero hidrofílico</b> | <b>Composición química</b>                              | <b>Uso</b>                                |
|-------------------------------------|---|---|
| Naturales                           | Basados en almidón derivado de maíz y trigo             | Industria de los alimentos como espesante |
| Semisintéticos                      | Derivados de celulosa que se combinan con petroquímicos | Diversos                                  |
| Polímeros sintéticos                | Polivinilalcoholes y poliacrilamidas                    | Horticultura                              |

**Cuadro 1. Principales tipos de polímeros hidrofílicos presentes en el mercado**

Los hidrogeles usados en horticultura son usualmente formulaciones hechas de almidón-poliacrilonitrilo (copolímeros, SCP), copolímeros de alcohol-vinil-ácido acrílico (polivinilalcoholes:PVA), y copolímeros de acrilamida-acrilato de sodio (poliacrilamidas por cruzamiento:PAM). Todos los hidrogeles mencionados, cuando son usados correctamente y en situaciones ideales, tienen al menos 95% de su capacidad máxima para almacenar agua disponible para absorción de la planta. Los polímeros naturales SCP son de rápida hidratación en un par de horas; en tanto que los polímeros sintéticos (PVA o PAM) se llevan hasta 6 horas o más para su completa hidratación.

Los PAM se usan más frecuentemente que los polímeros naturales debido a que no se degradan en el suelo, es decir, son menos biodegradables (Woodhouse y Jhonson, 1991; Jhonson y Veltkamp,1985; Wang y Gregg, 1990; Aly y Letey,1989).

Los estudios realizados concernientes a las poliacrilamidas indican que no hay efectos a la salud por exponerse a polímeros hidrofílicos más que ocasionalmente irritación de ojos y piel. Sin embargo se debe tener precaución como usar protector de boca y evitar la inhalación de los polvos que pudieran llegar a generarse y almacenar de

manera adecuada para evitar absorción de humedad. Las evidencias muestran de igual manera que las poliacrilamidas no se rompen en su componente tóxico, acrilamida (Barvenik, 1994).

Respecto a las propiedades de los polímeros hidrofílicos y su capacidad de alterar el suelo, lo hacen debido a que absorben gran cantidad de agua en relación a su peso, especialmente en suelos secos. Lo anterior potencialmente influye en velocidades de infiltración, densidad, estructura del suelo, compactación y textura del suelo (Helalia y Letely, 1988) así como velocidades de evaporación (Teley y El-Hady 1981). Los cambios pueden ser temporales o permanentes dependiendo de la situación en la cual sean usados.

El éxito de usar hidrogeles en el suelo es que mejoran su capacidad de absorción y retención de agua. La adición de hidrogel a un suelo arenoso, cambia su capacidad de absorción de agua comparable a la arcilla o barro (Huttermann, *et al.* 1999).

En suelos con reducida precipitación la formación de costras hidrofóbicas que evitan la infiltración de agua es común y la adición de hidrogeles permite la percolación del agua y estabiliza el suelo (Rubio *et al.* 1989). Se ha observado que hay un decremento de la erosión por la adición de hidrogeles (Zhang y Miller, 1996). Esencialmente los hidrogeles actúan como agentes para crear una gran superficie de agregados en el suelo, lo cual reduce desprendimientos, pudiendo reducir la formación de “costras” en el suelo permitiendo al agua su penetración (Zhang y Miller, 1996; Aly y Letey, 1990).

Adicionalmente al evitar la pérdida de suelo, los polímeros pueden reducir la pérdida de nutrientes del suelo; por ejemplo la adición de PAM al agua de riego, significativamente reduce la pérdida de fósforo en 84 %, nitrógeno en sedimento en 83 % y sedimento total en 57 % (Lentz y Sojka,1994).

La incorporación de hidrogel en los suelos puede ser benéfico, al reducir la densidad de la concentración del suelo y favorecer su expansión (Al-Harbi *et al.* 1999). Azzam, 1980 observó que PAM disminuye la densidad del suelo de arena de 1.616 a 1.585 g cm<sup>-3</sup> y reduce la densidad inicial de la arcilla de 1.331 a 1.203 g cm<sup>3</sup>. Los cambios en la densidad se ha estimado que decrecen de un 10 a un 15 % cada año, lo que corresponde a un decremento en la capacidad de hidratación del hidrogel (Al-Harbi *et al.* 1999).

Los polímeros hidrofílicos pueden también reducir la salinidad del suelo, especialmente en suelos sódicos con gran capacidad para expandirse y contraerse (Malik *et al.* 1991). Así mismo se incrementa la conductividad hidráulica y creando canales en los cuales el agua cargada de sales puede lixiviarse a través del perfil del suelo; en tanto que las sales restantes hacen improductivo el sitio. Sin embargo, las concentraciones de sales pueden drásticamente influir la capacidad de los hidrogeles en la matriz del suelo, especialmente cuando los hidrogeles son incorporados en la estructura del suelo, lo cual resulta en disminución de las capacidades de infiltración en el suelo (Helalia y Letey 1988).

En arboricultura, los fertilizantes son siempre aplicados con los hidrogeles. Desafortunadamente, la capacidad de absorción de agua de los hidrogeles es siempre

sustancialmente reducida cuando se adicionan nutrientes al agua (Bowman y Evans 1991). En algunos casos, una formulación del fertilizante puede ser retenida por la matriz hidrogel-suelo en tanto que otra formulación no es retenida.

Organismos como plantas, micorrizas, bacterias y hongos, responden a la adición de hidrogel al suelo. Los polímeros hidrofílicos tienen el potencial de ayudar en la transmisión de químicos a las plantas, incluyendo hormonas y fertilizantes, favoreciendo el crecimiento de la vegetación (Van Cotten 1999). Los hidrogeles pueden servir también como sustrato para inoculaciones micorrizicas.

Los hidrogeles también se han usado en la recuperación de la vegetación en perennes y anuales. Se han usado para establecer plántulas de árboles en las regiones áridas de África y Australia para incrementar supervivencia (Specht y Harvey-Jones 2000, Save *et al.* 1995, Callaghan *et al.* 1988,1989). Specht y Harvey-Jones (2000) encontraron que especies de árboles menos tolerantes a la sequía tienen una mayor respuesta favorable a la adición de polímeros hidrofílicos. El hidrogel también prolonga la disponibilidad de agua para la planta cuando el riego es suspendido. En *Pinus halepensis*, en donde el riego fue suspendido, el hidrogel permite 19 días antes de que las plantas empiecen a morir, en tanto que en el control a los 5 días (Huttermann *et al.* 1999). *Pinus halepensis*, también incrementó el crecimiento de raíces adventicias y un incremento en general de la masa del árbol. En el caso de *Quercus rubra* y *Nyssa sylvatica* tuvieron un incremento en la regeneración de la raíz cuando hormonas enraizadoras se adicionaron a los polímeros al momento del trasplante (Al-Mana y Beattie, 1996).

En cuanto a respuestas fisiológicas, la transpiración puede ser afectada por el uso de hidrogeles, dado que el hidrogel puede modificar la disponibilidad de agua. En *Flindersia brayleana*, *Eucalyptus grandis*, entre otras especies, Specht y Harvey-Jones (2000) observaron un incremento en la disponibilidad de agua y en actividad estomática. Aunado a la transpiración se observó también un incremento en la absorción de CO<sub>2</sub>, aunque no en todas las especies se observa un incremento en la biomasa.

Los hidrogeles se ha observado que reducen los efectos de las sales en la matriz del suelo, aunque esto limita su capacidad de absorber agua. La salinidad en los suelos afecta el crecimiento de las plantas por inhibición osmótica del agua, por un desbalance nutricional causado por sales excesivas, y efectos tóxicos por las altas concentraciones en el suelo (El Sayed *et al.* 1991). Los polímeros hidrofílicos también pueden reducir las fluctuaciones en la temperatura del suelo (Boatright, 1997).

Las evidencias muestran que la asociación de la raíz de las plantas con las micorrizas reduce tasas de transpiración (Davies *et al.* 1997). Estas micorrizas, establecen relaciones simbióticas con las plantas ayudando en la absorción de nutrientes. En otros casos, sin embargo, la adición de hidrogeles disminuyó la colonización micorrízica y se atribuyó al alto pH de los hidrogeles usados. El uso de hidrogeles, puede ser benéfico en el incremento de inoculación de la raíz, siempre y cuando el pH del hidrogel sea ajustado de 5.5 a 6 (Jhonson y Hummel, 1985). Lo anterior en otros casos no fue determinante cuando se usaron hidrogeles de bajo pH.

Las bacterias son de igual manera afectadas por la adición de hidrogeles a la matriz del suelo; siendo en tal caso por ejemplo aquellas del género *Frankia* sp. (Kohls

*et al.* 1999). Plantas actinorrizas (similares a las leguminosas) tales como *Alnus glutinosa* y *Casuarina equisetifolia*, tienen en sus raíces bacterias del género *Frankia* sp.. Cuando ambas especies fueron tratadas con hidrogel conteniendo *Frankia* sp. el peso seco se incrementó de dos a tres veces dentro de los primeros 140 días comparadas con aquellas que se inocularon con *Frankia* sp. y agua (Kohls *et al.* 1999).

Azzam (1985) encontró que los polímeros hidrofílicos incrementan en el suelo las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter*, *Azospirilla*, y *Clostridium*). Por lo anterior, los microorganismos suspendidos o llevados por PAM o PVA pueden ser usados en bioremediación (Degiorgi *et al.* 2002).

Los hidrogeles pueden ayudar en la germinación, establecimiento de plántulas, disponibilidad de agua e inoculación con micorrizas y bacterias. Su uso debe ser correlacionado con las especies de plantas así como con las condiciones ambientales existentes (por ejemplo tipo de suelo, concentraciones de sales, etc.). Por lo anterior puede ser importante y tener gran impacto en reforestación de zonas áridas, donde hay fallas en las precipitaciones puede resultar en pérdida masiva de plantas (Callaghan *et al.* 1989).

### **3.3. Micorrizas.**

Se reconocen cinco tipos de micorrizas: ectomicorrizas (ECM), vescículo-arbusculares (VAM), y otras tres que son especies restringidas (Ericoides, orquideas y endomicorrizas) (Norland 1993). ECM son comunes a las plantas leñosas y se caracterizan por una malla de hifas alrededor de la raíz. VAM penetran las paredes

celulares de las plantas y forman arbuscúlos (usados para transferir nutrientes) y vesículas (usados como sitios de almacenamiento de lípidos) dentro de las raíces. Las VAM es hospedero obligado, en tanto que las ectomicorrizas pueden existir sin una planta hospedera, pero necesita completar su ciclo de vida.

La diseminación puede ocurrir en varios días. Las esporas pueden permanecer sin germinar por un periodo extensivo de tiempo durante condiciones no favorables. Las micorrizas pueden ser transferidas vía el agua, el viento, y redepositados por animales después de su consumo. Las esporas de hongos micorrízicos han mostrado que pueden sobrevivir al proceso digestivo de pequeños animales e insectos y después germinar (Ponder 1980).

### **3.3.1. Características de *Pisolithus tinctorius*.**

Las características que identifican a *P. tinctorius* son las siguientes: se considera uno de los hongos más repugnantes, su esporocarpio es oval a afilado, el esporocarpio se divide en sacos de esporas llamados peridiolos, produce esporas de color amarillo con tintes de café, las hifas son de color amarillo a oro, fácilmente propagable en el laboratorio en una variedad de medios, reportado en 33 países, su óptimo crecimiento está entre los 28-30 C, su temperatura de muerte es alrededor de los 45 C, forma relaciones ectomicorrizicas benéficas con árboles y no es comestible.

### 3.3.2. Taxonomía de *Pisolithus tinctorius*.

*Pisolithus* es un miembro del phylum basidiomicetes, en la clase gasteromicetes. El orden es esclerodermatacales, en tanto que la familia es Sclerodermataceae.

El género de *Pisolithus* tiene únicamente dos de especies, *Pisolithus tinctorius* y *Pisolithus arrhizus*. *Pisolithus* significa piedra de chícharo (esto en referencia a los peridiolos), *tinctorius* viene del uso de este hongo en procesos de teñido, en tanto que *arrhizus*, significa sin raíz.

Los gasteromicetes son una clase de hongos, los cuales son capaces de descargar fuertemente sus esporas. Las esporas permanecen dentro del cuerpo fructífero, el cual está compuesto de numerosos compartimentos del tamaño de un chícharo llamados peridiolos, donde ellos son protegidos por capas externas estériles conocidos como peridium. Los peridiolos se encuentran en capas consecutivas abajo de las capas maduras. Una vez que los peridiolos se abren, las esporas son diseminadas de varias maneras, la más común empieza con el viento, lluvia, insectos y mamíferos.

*Pisolithus* es comúnmente aislado de tejidos de esporocarpos jóvenes y no dañados, pero también puede ser aislado de otras porciones del hongo. *Pisolithus* es ampliamente distribuido, y siempre se encuentra en ambientes adversos. Es común encontrarlo en sitios con altas temperaturas del suelo en verano, extrema acidez, sequía, baja fertilidad, y altos niveles de metales tóxicos. Estas características combinadas con la habilidad para formar extensas relaciones micorrízicas con numerosas especies de árboles lo ha hecho popular en los esfuerzos de restauración. *Pisolithus*, ha probado ser capaz de sobrevivir residuos de lluvia ácida, así como también en desechos de caolín.

Ha mostrado de igual manera que fomenta la habilidad de las plántulas para crecer y prosperar en sitios adversos. Se ha observado que las concentraciones de nutrientes esenciales son mucho más altos en aquellos árboles que forman una asociación ectomicorrizica con *Pisolithus* (Schenck 1982, Marx 1979).

Los hongos micorrízicos actúan como proveedores y protectores para las plantas. Varios estudios muestran que un prerequisite para el crecimiento de muchos árboles forestales, tales como pinos tienen un requerimiento obligado para la ectomicorriza y no pueden crecer normalmente sin ella (Marx 1979). Por ejemplo, en el caso de zonas degradadas de zonas mineras y desechos, el nitrógeno, fósforo, y el potasio son deficientes y pueden incrementarse en la planta por las micorrizas (Norland 1993). Otros elementos esenciales, tales como calcio, magnesio, azufre, fierro, zinc, aluminio, y sodio se pueden incrementar por la presencia de las micorrizas (Daft y HacsKaylo 1976). Así mismo altas concentraciones de metales pesados pueden existir en el suelo y ser filtrados hasta niveles tolerables para las plantas (Norland 1993). El incremento de los niveles hormonales y su acción como barrera contra patógenos es otra acción benéfica de la micorrizas (Funge 1986). El resultado es el mejoramiento de la tasa de crecimiento y de la supervivencia de las plantas, particularmente en hábitats adversos como los expuestos al estrés hídrico (Meyer 1973, Reid 1978, Dudrige et al. 1980). No únicamente las micorrizas pueden favorecer crecimiento, sino también proveer resistencia a la sequía y la salinidad (Duvert *et al.* 1990).

Desde finales de los años setenta, se han venido realizando estudios referentes, principalmente en Estados Unidos, al uso de las micorrizas y sus aplicaciones en viveros forestales, plantaciones, recuperación de minas y producción de árboles de

navidad. El objetivo de estos estudios ha sido la aplicación práctica de un hongo ectomicorrizico, *Pisolithus tinctorius* (Pt) en el manejo de la tierra forestal. Este hongo se seleccionó por su habilidad, fácil manipulación, rango amplio tanto geográfico como de hospederos y con beneficios a una gran variedad de árboles. Pt es especialmente tolerante a condiciones extremas de suelo, incluyendo pH, altas temperaturas, y sequía, que frecuentemente mata o inactiva a otras menos tolerantes ectomicorrizas. En Estados Unidos y otros países como Filipinas, Francia y Canadá se ha utilizado Pt en forma extensiva (Cordell *et al.* 1989, Cordell y Marx 2002).

*Pisolithus tinctorius*, al igual que otras ectomicorrizas, ha provisto beneficios significativos al campo de la silvicultura, producción de árboles de navidad y proyectos de restauración de minas (Cordell y Marx 2002). Su uso ha incluido varias especies de coníferas como pinos, abetos, pinabete, alerce y abeto douglas. Sáenz (1986) en tres especies de pino inoculadas artificialmente con *P. tinctorius* tuvo un 25% mejor supervivencia y crecimiento que las mismas especies no inoculadas. También menciona que este punto tiene significado práctico en los programas de aforestación y reforestación en donde los hongos simbioses formadores de la micorriza forman parte del éxito en la implantación de las diferentes especies de pino usadas en estos programas.

La inoculación de Pt en plántulas de *Pinus taeda* tuvieron un incremento de 17 % en peso fresco y un incremento de 21 % en el desarrollo ectomicorrízico (en plántulas con Pt nativa) y un 27 % de decremento de plántula inservible al final de su estancia en vivero. Las especies inoculadas y plantadas mostraron un incremento significativo en la supervivencia y crecimiento (Marx y Cordell 1988). En otro estudio, después de 4 años

en un bosque con un buen índice de sitio (80), *Pinus taeda* inoculado con Pt tuvo mayor crecimiento durante una falla en las lluvias que árboles con únicamente la ectomicorriza natural *Thelesphora terrestris* (Marx *et al.* 1988). Durante los años con alta humedad relativa, los árboles inoculados con Pt favorecieron en mayor medida un incremento en el diámetro. La aparente efectividad de los pinos inoculados con Pt, en cuanto a resistir ante el estrés hídrico, es altamente significativo tanto económicamente como técnicamente en los programas de manejo de la superficie forestal.

Durante los últimos diecinueve años, la división de suelos mineros de Ohio han usado Pt en exitosos programas de investigación en restauración, sobre todo de sitios mineros abandonados en donde se muestra una adaptación ecológica a esos sitios adversos. Sin excepción las plántulas con Pt desarrollan raíces más rápidamente, y esas raíces son rápidamente colonizadas con el hongo. El crecimiento radical fue precedido por una producción prolífica de cuerpos fructíferos en las cercanías de los árboles inoculados; la supervivencia ha alcanzado un promedio de más del 85% en las plantaciones de árboles inoculados con Pt con menos de 5% de fracasos; en comparación con menos del 50% de supervivencia del 75% y más de los fracasos anteriores en las plantaciones con la mismas especies de árboles no inoculados.

Esto representa un aproximado del 94% de reducción de costos en comparación con los métodos de regeneración anteriores (Cordell *et al.* 2002)

### **3.3.3. Técnicas de inoculación de micorrizas.**

Algunos factores deben ser considerados antes de aplicar cualquier tipo de inóculo. Primero, la efectividad de la inoculación es usualmente dependiente de la especie de hongo, clima y ecosistema (Abbott y Robson 1981). También, el inóculo, en general, puede ser más exitoso cuando se aplica en la zona radical de plantas creciendo activamente sin fuerte fertilización (Norland, 1993). En ese sentido, las fuentes del inóculo deben ser de fuerte consideración.

El inóculo puede provenir en cuatro formas para su aplicación- suelo infestado, raíces de plantas infectadas, cultivos puros del hongo, y esporas (Mosse *et al.* 1981). El suelo con inóculo es inóculo natural más usado (Marx y Kenny 1982), siendo de preferencia de un lugar cercano al sitio a rehabilitar. Una ventaja del suelo con inóculo es que puede tener bacterias fijadoras de nitrógeno. También este inóculo consiste de esporas, raíces e hifas que pueden estar disponibles para las plántulas (Helm y Carling 1990) y que su recolección es fácil. Las desventajas que las especies dentro del suelo no pueden ser controladas, no existiendo garantía de que le hongo deseado este contenido en el suelo, y el transporte de grandes cantidades de suelo es difícil y costoso (Marx y Kenny 1982).

El uso de fragmentos de raíces como fuente de inóculo, se remonta a finales de los años cincuenta. Estas raíces tienden a ser más ligeras que recipientes de cultivo combinados, colonizan más rápido que las esporas, y contienen vesículas extra radicales que se ha encontrado que son viables después de dos años de almacenamiento refrigerado en recipientes con el inóculo. Las desventajas de los fragmentos de raíces es

que incrementan el potencial de introducir patógenos y variar la infección. Los patógenos pueden ser reducidos si se realiza una sanitización adecuada y un esterilizante es aplicado para destruir algunos microorganismos. Aunque la aplicación de esterilizantes debe ser de forma no excesiva y matar al hongo (Biermann 1983).

Las esporas no requieren una fase de crecimiento extendida y son ligeras de peso (Norland 1993). También pueden ser colectadas y almacenadas por años (Marx y Kenny 1982). Aunque las esporas pueden ser viables por un periodo de tiempo extenso, no hay un procedimiento estándar para determinar su viabilidad (Norland 1993). Puede tomar de dos a tres semanas más la germinación e inoculación que con inóculo vegetal. Otras desventajas incluyen una posible insuficiencia de esporóforos cada y falta de definición genética de las esporas (Norland 1993).

Lo más biológicamente parecido al inóculo es vegetativo (Marx y Kenny 1982). El hongo debe estar disponible para crecer en cultivo puro y sin manipulación (Norland 1993). A principios de años ochenta se puso en el mercado una formulación de inóculo con micelio llamada MycoRhis (*Pisolithus tinctorius*) (Marx y Kenny 1982).

El mayor éxito de MycoRhis mostró una abundancia de hifas, un pH entre 4.5 y 6.0, bajos niveles de contaminantes de bacterias y hongos, y bajas cantidades de glucosa residual (Marx y Kenny 1982). ECM eran para esa época difíciles de aplicar sin embargo mi conocimiento indica que tecnológicamente esa barrera se ha superado.

Algunas técnicas son disponibles para aplicar el inóculo. Dos comunes son esparcir el inóculo en la superficie del suelo y bandear con inóculo la zona de la raíz

(Riffle y Maronek 1982). El esparcimiento consiste en asperjar una concentración conocida del inóculo sobre una área superficial de suelo y entonces mezclar el inóculo en el suelo a una profundidad de 10 a 20 cm. antes de la siembra (Riffle y Maronek 1982). Se necesitan grandes cantidades de inóculo para cubrir las camas semilleras. La inoculación por bandeo, por otro lado, requiere una tercera parte de la cantidad de inóculo ya que el inóculo es colocado en una banda con área concentrada cerca de la zona de crecimiento radical más activo (Norland 1993). El “baño” lateral del inóculo es también efectivo con plántulas o semillas. Cuando se usan plántulas en contenedores, la inoculación por bandeo es más efectivo que semillas peletizadas (Riffle y Maronek 1982). Muchos tipos de inóculos pueden ser aplicados con la inoculación por bandeo. El bandeo ahorra tiempo y labor comparado con otras técnicas, pero requiere de una máquina aplicadora (Riffle y Maronek 1982).

Adicionalmente se han propuestas técnicas alternas como suspensiones o semillas peletizadas que son exitosas cuando se usan esporas como forma de inóculo (Marx y Kenny 1982).

Las suspensiones son una mezcla de agua, un acarreador y el inóculo son las cuales las raíces son bañadas antes del la plantación (Norland 1993). Las semillas peletizadas consisten de semillas cubiertas con esporas o suelo con inóculo (Norland 1993). También existen gránulos que no semillas para VAM y tienen la ventaja de que pueden ser almacenadas por varios meses, y pueden ser usadas en conjunto con una sembradora mecánica (Norland 1993). Sin embargo, la viabilidad del inóculo puede ser afectada por la granulación.

Otras dos técnicas son inoculación con basidiosporas y plantas micorrizadas (Riffle y Maronek 1982). La inoculación con basidiosporas e inoculación con esporas de VAM puede ser acompañada por el mezclado de esporas en agua y lixiviado dentro del suelo o mezclando esporas secas dentro del suelo (Norland 1993). Las plantas micorrizadas se han usado para infectar otras raíces de plantas. El micelio de esas plantas transplantadas se disemina a las raíces de las plantas deseadas. Las raíces con abundantes micorrizas son entonces incorporadas en forma fresca (Norland 1993).

### **3.4. Nutrición mineral de plántulas de especies forestales.**

La calidad de planta, cuando se define en términos de capacidad de establecimiento y supervivencia, está relacionada en consecuencia con el estatus nutricional de las plántulas. Los nutrientes tales como nitrógeno y fósforo suministran lo necesario para nuevo crecimiento, siendo necesario que sean suministrados a las plántulas hasta que se establecen en el campo.

En reforestación, una planta con alta capacidad de reforestación y crecimiento tiene un alto valor intrínseco; el problema consiste en la identificación de los atributos que determinarán el resultado deseado (Ritchie 1984).

La práctica de la fertilización tiene un efecto definitivo en el estatus nutrimental de las plántulas. La práctica de la fertilización es entonces vital en producción a raíz desnuda y en contenedor. La aplicación de la fertilización es indirectamente relacionada al estatus nutrimental, porque la mera aplicación de los fertilizantes no asegura que los

nutrientes puedan ser tomados por la planta. La evaluación de la capacidad de supervivencia y la fertilización es un tanto difícil, dado que hay interferencia de la cuantiosa fertilización en vivero (Landis 1985).

La manera más obvia para influir el estatus nutrimental de las plántulas, es sin embargo, la fertilización. La aplicación de nutrientes orgánicos o inorgánicos a las camas de siembra o a los contenedores usualmente afecta el estatus nutrimental de las plántulas, siempre que el nutrimento no afecte el crecimiento u ocurra absorción innecesaria. La fertilización con un nutrimento también puede afectar los niveles de otros nutrimentos en los tejidos de las plantas por un efecto de dilución. En un experimento donde se aplicó fertilización nitrogenada en Abeto douglas (*Pseudotsuga menziessii* Mirb. Franco) la concentración de nitrógeno en el follaje se incrementó, pero las concentraciones de P y K disminuyeron (Van den Driessche 1980). Aunque se conoce que diferentes especies pueden comportarse diferencialmente respecto a la fertilización.

Por ejemplo la fertilización nitrogenada a cuatro diferentes plántulas de coníferas, incrementó la concentración de nitrógeno en las hojas en abeto douglas (costero y del interior) y *Picea sitchensis* pero no en *Pinus contorta* (Van den Driessche 1984). Las diferentes partes de la planta de igual manera pueden responder diferencialmente.

El tiempo de aplicación de la fertilización es también importante. Las aplicaciones tardías de nitrógeno favorecieron absorciones de “lujo” en experimento realizado con cinco coníferas, reflejándose en el color de las hojas. Las aplicaciones de

fertilización de potasio no producen, sin embargo, resultados sobresalientes pero si su aumento de concentración en las hojas (Benzian *et al.* 1974).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Descripción del sitio de estudio.

El trabajo experimental se desarrollo en la comunidad de Agua Hedionda, Municipio de Meztitlán, Hgo. Entre las coordenadas geográficas 98°55'10''LN y 20°55'09''LW a una altitud de 2215 msnm y una precipitación media anual menor de 500 mm.

Se presentan suelos franco-arcilloso-arenoso con mayor proporción de arcilla, y bajo nivel de materia orgánica; se caracterizan como suelos pobres, calizos, con pH alcalino y severas deficiencias de P, bajos niveles de  $\text{NO}_3^-$  pero cantidades adecuadas de Fe y Mo.

### 4.2. Material vegetal y establecimiento de experimento.

El material vegetal fue proporcionado por un vivero de la Comisión Nacional Forestal localizado en la comunidad de Fontezuelas, Municipio de Meztitlán, Hgo. La edad de la planta para *Pinus greggii* fue de 1 año y 6 meses, en tanto que para *P. cembroides* fue de 7 meses



**Figura 1. Material vegetal usado en el experimento. A la izquierda *Pinus cembroides* y a la derecha *Pinus greggii***

La siembra se llevó a cabo en el mes de agosto de 2003, al inicio del período de lluvias y cabe mencionar que fue un año de lluvias abundantes para las condiciones del lugar. La superficie total comprendió 16, 300 m<sup>2</sup>.



**Figura 2. Panorámica general del área de estudio. Se ilustra en el lado izquierdo una panorámica durante la época de estiaje y a la derecha después de la temporada de lluvias**

### **4.3. Arreglo experimental.**

Se estableció un experimento factorial en bloques completamente al azar, con tres factores de estudio: gel absorbente de humedad, fertilizantes de liberación prolongada y la ectomicorriza *Pisolithus tinctorius*. Lo anterior generó un total de 8 combinaciones de tratamientos, con y sin la aplicación de cada uno de los coadyuvantes.

Se establecieron cuatro repeticiones, es decir, cuatro bloques con 30 unidades experimentales cada uno. Lo anterior se realizó para las dos especies de estudio, *Pinus greggii* y *Pinus cembroides*; siendo en total 960 árboles por especie.

Los factores de estudio fueron tres con dos niveles cada uno. El diseño de tratamientos se muestra a continuación:

| FACTOR  | NIVEL DEL FACTOR | CODIFICACIÓN |
|---|------------------|--------------|
| Hidrogel (6 g/planta)                               | 0, 6             | 0,1          |
| Picomodulos (1.4 g/planta)                          | 0,1.4            | 0,1          |
| <i>Pisolithus tinctorius</i> (1 ml/planta en campo) | 0,1              | 0,1          |

Lo cual generó a su vez la siguiente combinación de tratamientos;

| Combinación de Tratamientos | Tratamientos                       |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1.- 000                     | TESTIGO                            |
| 2.- 100                     | HIDROGEL                           |
| 3.- 010                     | PICOMODULOS                        |
| 4.- 001                     | ECTOMICORRIZA                      |
| 5.- 110                     | HIDROGEL+PICOMODULOS               |
| 6.- 101                     | HIDROGEL+ECTOMICORRIZA             |
| 7.- 011                     | PICOMODULO+ECTOMICORRIZA           |
| 8.- 111                     | HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA |

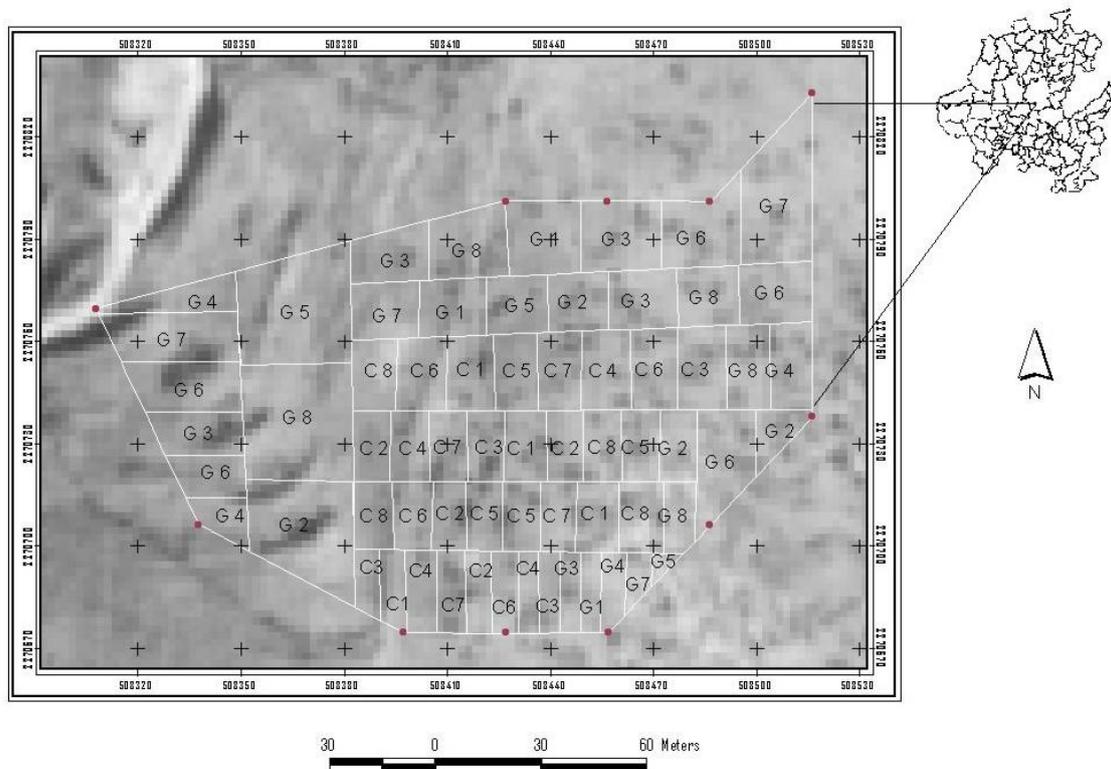


Figura 3. Plano donde se ilustra la manera en que se distribuyeron los tratamientos en el sitio experimental; la letra “G” y la letra “C” seguidas de un número indican *Pinus greggii* y *Pinus cembroides* con su correspondiente tratamiento, respectivamente.

#### 4.4. Características de los coadyuvantes usados.

**4.4.1. Gel absorbente de humedad.**- polímero hidrofílico. El producto utilizado fue el producto comercial hortasorb, el cual está constituido, según datos del fabricante, por 94.13% de poliacrilamida y 5.87 % de humedad. La dosis utilizada fue de 6 gramos por planta (ver sección de aplicación de coadyuvantes en campo). La figura 4 muestra el aspecto de los gránulos de poliacrilamida



**Figura 4. Gránulos gruesos de hidrogel constituido por poliacrilamida**

**4.4.2. Fertilizantes de liberación prolongada (Picomódulos, módulo QF).**- el fertilizante utilizado fue el producto comercial picomódulo. El contenido de cada picomódulo se muestra en el cuadro 2. La dosis usada fue el equivalente por 4 pastillas por planta (ver sección de aplicación de coadyuvantes en campo).

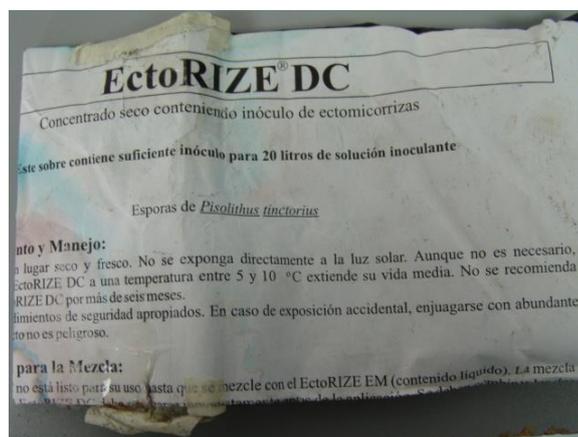


**Figura 5. Imagen que muestra las características de los picomódulos usados en el experimento**

| Elemento mineral                           | Concentración (p/p) |
|--|---------------------|
| Nitrógeno total                            | 25                  |
| Fósforo como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 12                  |
| Potasio como K <sub>2</sub> O              | 7                   |
| Fierro                                     | 0.1                 |
| Zinc                                       | 0.1                 |
| Azufre                                     | 0.013               |
| Calcio                                     | 0.8                 |
| Magnesio                                   | 0.7                 |
| Ácidos fúlvicos                            | 1.5                 |

**Cuadro 2. Composición de picomódulos utilizados para fertilización en campo**

**4.4.3. Ectomicorriza *Pisolithus tinctorius*.** El producto comercial utilizado fue EctoRIZE\*DC (Figura 6), el cual contiene como ingrediente activo *Pisolithus tinctorius* en concentración de 1 kg L<sup>-1</sup>. Este producto está compuesto por una solución inoculante (líquido) y parte sólida (esporas de hongos) que se mezclan antes de la aplicación (ver aplicación de coadyuvantes en campo). Lo más recomendable tanto económicamente como técnicamente es aplicar en vivero y llevar plantas micorrizadas al campo; sin embargo, dada la necesidad para esta etapa de trabajar con planta proveniente de viveros de la CONAFOR, se optó por micorrizar en campo y evaluar la efectividad de la inoculación (ver aplicación de coadyuvantes en campo).



**Figura 6. Sobre con esporas *Pisolithus tinctorius***

## 4.5. Aplicación de los coadyuvantes en campo.

### 4.5.1 Gel hidrofílico.

Al momento del trasplante, se rellenó la cepa y con la tierra de los últimos 20 cm, se mezclaron 6 g de gel y se completo el llenado (Figura 7). Se debe tener precaución de almacenar el hidrogel bajo las condiciones más secas posibles y evitar así dificultad en el manejo por la absorción de agua.



**Figura 7. a) aspecto del polímero hidrofílico; b) mezcla de polímero con la tierra; c) y d) relleno de cepa con la mezcla tierra-polímero.**

#### 4.5.2. Fertilizantes de liberación prolongada.

Al momento del trasplante, rellenar con un poco de tierra, posteriormente las pastillas de fertilizantes son colocadas alrededor del cepellón a 1/3 de la superficie (Figura 8) y posteriormente se completa de rellenar con la tierra restante.

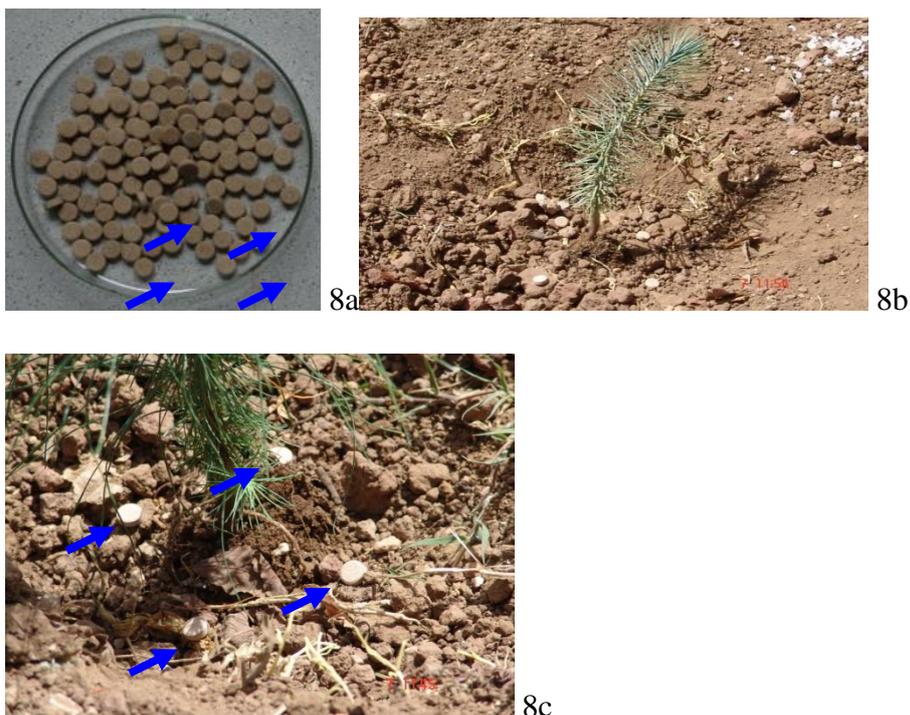


Figura 8. a) Picomódulos; b) colocación espacial de picomódulos alrededor de *Pinus cembroides* y c) colocación espacial de picomódulos alrededor de *Pinus greggii*

#### 4.5.3. Ectomicorriza *Pisolithus tinctorius*.

El producto comercial está compuesto por una solución inoculante (líquido) y parte sólida (esporas de hongos) que deben ser mezcladas antes de su aplicación (Figura 9). La solución inoculante se prepara disolviendo 20 g de esporas en 20 L de solución inoculante o el equivalente que se vaya a utilizar. Esta solución debe ser protegida de la luz y se debe preparar al momento de su aplicación.

Es recomendable inocular en vivero, aunque en este caso se hizo en campo con la aplicación de 1 ml de solución inoculante en el cepellón de la planta con una pipeta graduada, procurando introducir la pipeta y buscar la mayor cobertura de la raíz. Posteriormente, se coloca la plántula en la cepa y se rellena con tierra (Figura 10).



Figura 9. a) Aspecto que presentan las esporas de *Pisolithus tinctorius* y b) activador necesario para dilución de esporas



Figura 10. a) una vez preparado el producto, este debe guardarse protegido de la luz y de preferencia en ambiente fresco y c) forma de aplicación de inóculo en cepellón de la planta

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados mostrados, hacen referencia a la supervivencia en campo (%), incremento en altura (cm) e incremento en diámetro (mm) así como el promedio del conjunto de datos de estas variables recolectados durante las 5 y 7 mediciones en los meses y años de ene- 2004, feb-04, abr-04.may-04 y ago-2005 para la variable altura y ene-04, feb-04, mar-04, abr-04, may-04, jul-04 y ago-05 en la variable diámetro, de las especies estudiadas para determinar la diferencia estadística significativa de los tratamientos aplicados, dado que son dos de las variables que determinarán en primera instancia su uso para el establecimiento de las plántulas.



**Figura 11.** Aspecto general de la plantación donde se observa el crecimiento de plántulas de *Pinus greggii*

### 5.1. Supervivencia en campo (%).

La experiencia con las plántulas estudiadas, pone de manifiesto el efecto benéfico del uso de coadyuvantes, que aumentan porcentajes de supervivencia de las plantaciones forestales en zonas de restauración y degradadas.

La aplicación de coadyuvantes aumentó en todos los casos la supervivencia de las plántulas bajo estudio, siendo en promedio 17 % mayor respecto a las plántulas testigo en el caso de *Pinus cembroides* y un 15% en *Pinus greggii* (Cuadro 3).

|  | <i>P. cembroides</i> | <i>P. greggii</i> |
|--|----------------------|-------------------|
| <b>T1 TESTIGO</b>                            | 65                   | 70                |
| <b>T2 HIDROGEL</b>                           | 86                   | 92                |
| <b>T3 PICOMODULOS</b>                        | 76                   | 84                |
| <b>T4 ECTOMICORRIZA</b>                      | 79                   | 90                |
| <b>T5 HIDROGEL+PICOMODULOS</b>               | 88                   | 81                |
| <b>T6 HIDROGEL+ECTOMICORRIZA</b>             | 81                   | 86                |
| <b>T7 PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b>          | 80                   | 79                |
| <b>T8 HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b> | 84                   | 83                |

**Cuadro 3. Niveles de supervivencia (%) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.**

En caso de *Pinus cembroides* la sola adición de hidrogel (que ocupó el segundo lugar de los porcentajes presentados) muestra excelentes resultados de supervivencia, sin embargo, el mayor porcentaje lo presenta la combinación hidrogel+pícomódulos; los hidrogeles mantienen los nutrientes y no permiten su lixiviación, favorecen la absorción de nutrientes y su liberación lenta; esto coincide con Lentz y Sojka, 1994 quienes observaron que los polímeros pueden reducir la pérdida de nutrientes del suelo; por ejemplo la adición de PAM al agua de riego, significativamente reduce la pérdida de fósforo en 84 %, nitrógeno en sedimento en 83 % y sedimento total en 57 %; combinando con la calidad de plántula cuando se define en términos de capacidad de establecimiento y supervivencia, está relacionada en consecuencia con el estatus nutricional de las plántulas. Los nutrientes tales como nitrógeno y fósforo suministran lo necesario para nuevo crecimiento, (Landis 1985).

Para *Pinus greggii* se vuelve a presentar la excelente capacidad de los hidrogeles para mejorar la supervivencia mostrando un 92%; siendo un incremento del 22% en cuanto a la supervivencia de las plántulas que el testigo; la función principal y por la cual el hidrogel ayuda a mejorar la supervivencia es debido a que absorben gran cantidad de agua en relación a su peso, especialmente en lugares donde el agua es una fuerte limitante; ganándose una amplia aceptación en proyectos de restauración y recuperación, donde el riego después del trasplante es limitado y donde la conservación de la humedad es crítica para prevenir la desecación y la muerte. Esto coincide con Huttermann *et al.* 1999 quien en *Pinus halepensis* suspendió el riego y el hidrogel permitió 19 días antes de que las plantas empezaran a morir, en tanto que en el control a los 5 días.

El segundo lugar para *P. greggii* lo ocupa las plantas ectomicorrizadas que proporcionaron 90% de supervivencia por ello es importante hacer mención ya que también un 20% en incremento de supervivencia con respecto al testigo contribuye al éxito de la plantación; a la micorriza se le atribuyen diferentes beneficios como: proveer de nutrientes a la planta, mayor superficie de absorción de agua y nutrientes, una mayor penetración del suelo por la presencia de hifas que a su vez actúan como barreras protectoras de patógenos de las raíces; con todo esto las plantas presentan mayor capacidad para mantenerse con vida; resultados como los de Sáenz (1986) muestran que varias especies de pino inoculadas artificialmente con *Pisolithus tinctorius* han tenido un 25% de mejor supervivencia y crecimiento que las mismas especies no inoculadas; en otros estudios de Marx y Cordell las especies inoculadas y plantadas mostraron un

incremento significativo en la supervivencia y crecimiento, además la supervivencia ha alcanzado un promedio de más del 85% en las plantaciones de árboles inoculados con Pt con menos de 5% de fracasos; en comparación con menos del 50% de supervivencia del 75% y más de los fracasos anteriores en las plantaciones con la mismas especies de árboles no inoculados, en las plantaciones con la mismas especies de árboles no inoculados.

## **5.2. Incremento en altura.**

En cuanto a *P. cembroides* los valores más altos los presentan la combinación de coadyuvantes hidrogel+ectomicorriza y la ectomicorriza esto es atribuido a que el hidrogel presenta respuestas favorables ante organismos tales como las ectomicorrizas siendo este un buen material para la expansión del hongo; La siguiente gráfica y el cuadro 4 muestran que todos los tratamientos tienen un comportamiento muy similar; sin embargo estos tratamientos presentaron un incremento de .81 cm y .52 cm respectivamente en comparación al testigo. Cabe resaltar que estos valores no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos.

Una de las características de esta especie es que su crecimiento en cuanto a la altura es más lento. Quizá un mejor resultado de los coadyuvantes sería reflejado si se continuaran la medición a mayor plazo.

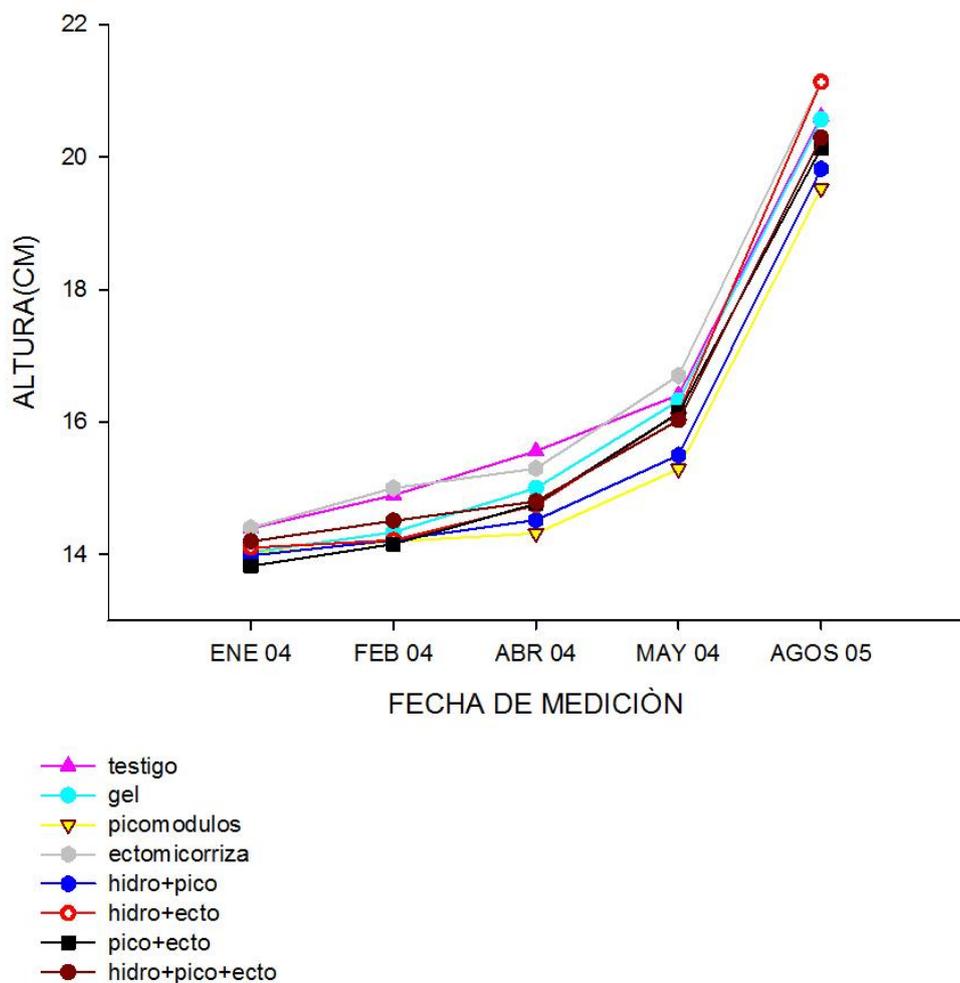


Figura 12. Grafica de altura para *Pinus cembroides*; crecimiento uniforme en todos los tratamientos.

|                                       | <i>P. cembroides</i> | <i>P. greggii</i> |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------|
| T1 TESTIGO                            | 6.22 a               | 17.09 a           |
| T2 HIDROGEL                           | 6.54 a               | 20.36 a           |
| T3 PICOMODULOS                        | 5.52 a               | 24.33 a           |
| T4 ECTOMICORRIZA                      | 6.74 a               | 30.61a            |
| T5 HIDROGEL+PICOMODULOS               | 5.84 a               | 24.92 a           |
| T6 HIDROGEL+ECTOMICORRIZA             | 7.03 a               | 17.92 a           |
| T7 PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA          | 6.31 a               | 28.88 a           |
| T8 HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA | 6.09 a               | 22.80 a           |

Cuadro 4. Incremento en altura (cm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.

Como puede apreciarse en el cuadro anterior *Pinus greggii* denota un distanciamiento de las plántulas a las cuales se les aplicaron los coadyuvantes respecto al testigo lo que nos muestra un claro beneficio de la aplicación de estos, teniendo en promedio 7.23 cm mas que el testigo; los valores mas altos los presentan la ectomicorriza y los picomodulos+ectomicorrizas los cuales tienen una diferencia en cm de 13.52 y de 11.79 con respecto al testigo. Esta particularidad que presentan la micorrización y la fertilización para mejorar las condiciones del suelo y crecimiento de las raíces, así como la mayor superficie de absorción de estas (por conducto de las hifas) es reflejado en el crecimiento de las plantas.

Cabe mencionar que en el lugar del experimento por las mañanas cruza una neblina dejando humedad en la superficie; lo anterior provoca un efecto benéfico a las micorrizas, las cuales ayudan a las plantas establecidas a que almacenen un importante cantidad de agua que les permitirá soportar las altas temperaturas presentadas en las horas mas calurosas del día.

En la siguiente grafica se observa cual es el comportamiento de la especie en cuanto al crecimiento en altura; pudiendo ser observado la diferencia que existe de crecimiento de las plántulas con los coadyuvantes con respecto al testigo, el cual ocupa el último lugar de crecimiento.

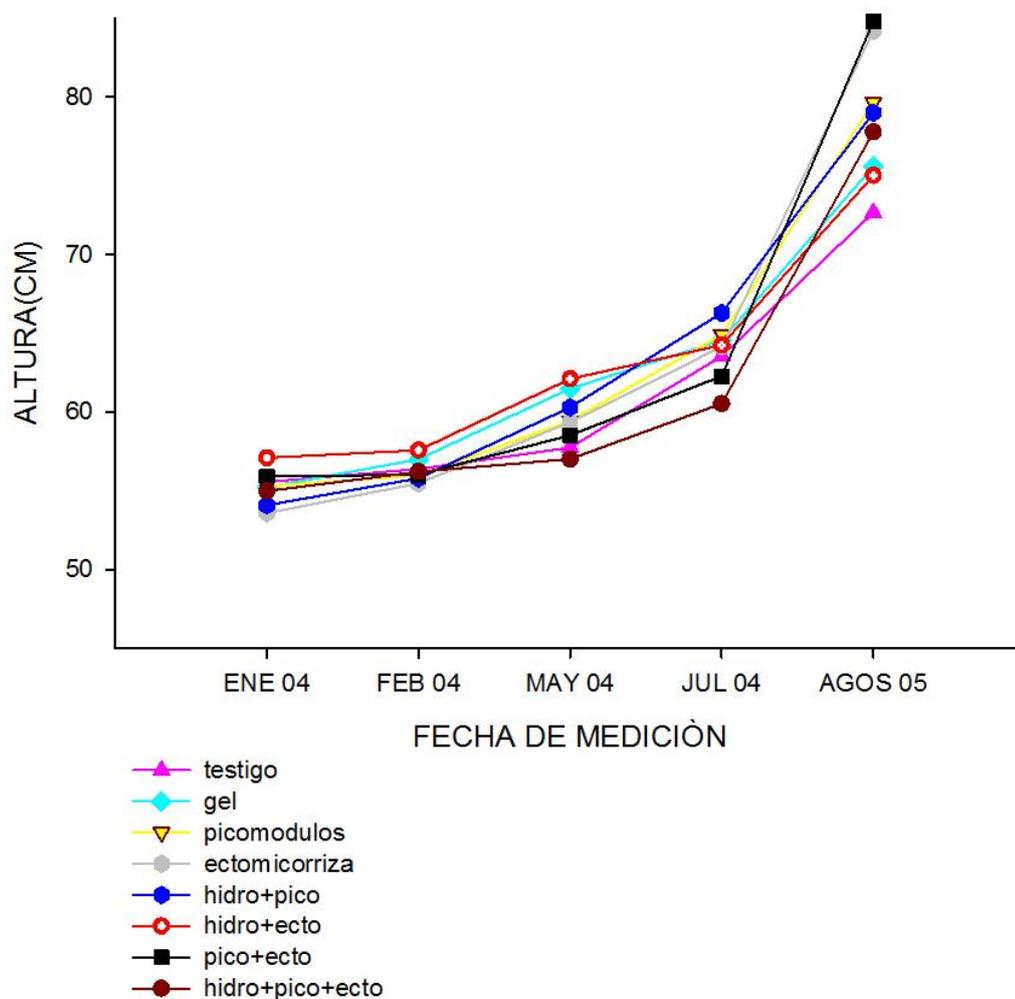


Figura 13. Gráfica de altura para *Pinus greggii*; notoria diferencia de crecimiento de las plantas tratadas con respecto al testigo.

### 5.2.1. Altura promedio (cm).

Los resultados indican un efecto mayor de los tratamientos aplicados en *Pinus greggii*, aunque puede ser atribuidos a una característica de crecimiento respecto a *Pinus cembroides*.

En *Pinus cembroides* no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la variable altura por la aplicación de los coadyuvantes utilizados, pero

tampoco se observó algún efecto negativo de estos tratamientos; todos mostraron una similitud en crecimiento presentado un promedio general de 15.97 cm. Cabe hacer mención como referencia que el tratamiento ectomicorriza fue el que presenta el mayor promedio siendo de 1.6 cm más que el testigo.

|  | <i>P. cembroides</i> | <i>P. greggii</i> |
|--|----------------------|-------------------|
| <b>T1 TESTIGO</b>                            | 15.9 <sup>z</sup> a  | 62.2 c            |
| <b>T2 HIDROGEL</b>                           | 16.0 a               | 72.9 a            |
| <b>T3 PICOMODULOS</b>                        | 15.5 a               | 69.4 ab           |
| <b>T4 ECTOMICORRIZA</b>                      | 16.5 a               | 70.0 ab           |
| <b>T5 HIDROGEL+PICOMODULOS</b>               | 15.6 a               | 69.1 ab           |
| <b>T6 HIDROGEL+ECTOMICORRIZA</b>             | 16.1 a               | 69.8 ab           |
| <b>T7 PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b>          | 15.8 a               | 65.4 ab           |
| <b>T8 HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b> | 16.4 a               | 70.5 a            |

**Cuadro 5. Altura promedio (cm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.**

<sup>z</sup>letras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística. Prueba de tukey p=0.05.

Para *Pinus greggii* se presentó una diferencia estadística significativa de todos los tratamientos en cuanto a altura promedio respecto al testigo dándonos un promedio de 9.46 cm mayor al testigo y demuestra el beneficio de aplicar estos coadyuvantes (cuadro 5); destacando el promedio de altura del hidrogel siendo de 10.7 cm la diferencia con respecto al testigo; al adherirlo Huttermann *et al.* 1999 a *Pinus halepensis*, incrementó el crecimiento de raíces adventicias y un incremento en general de la masa del árbol; esto es debido a los diferentes beneficios que le proporciona el hidrogel a la planta, como evitar la formación de costras clásica en suelos con poca precipitaciones y con esto permitiendo una mayor filtración del agua; una de sus

capacidades mas importantes es la que mostro Azzam, en 1980 quien al agregar PAM disminuyo la densidad del suelo de la arcilla de 1.331 a 1.203 g cm<sup>3</sup>.

### 5.3. Incremento en diámetro (mm).

En *P. cembroides* el incremento fue mayor en todos los tratamientos con respecto al testigo lo que denota una mejora para esta variable con la aplicación de estos coadyuvantes.

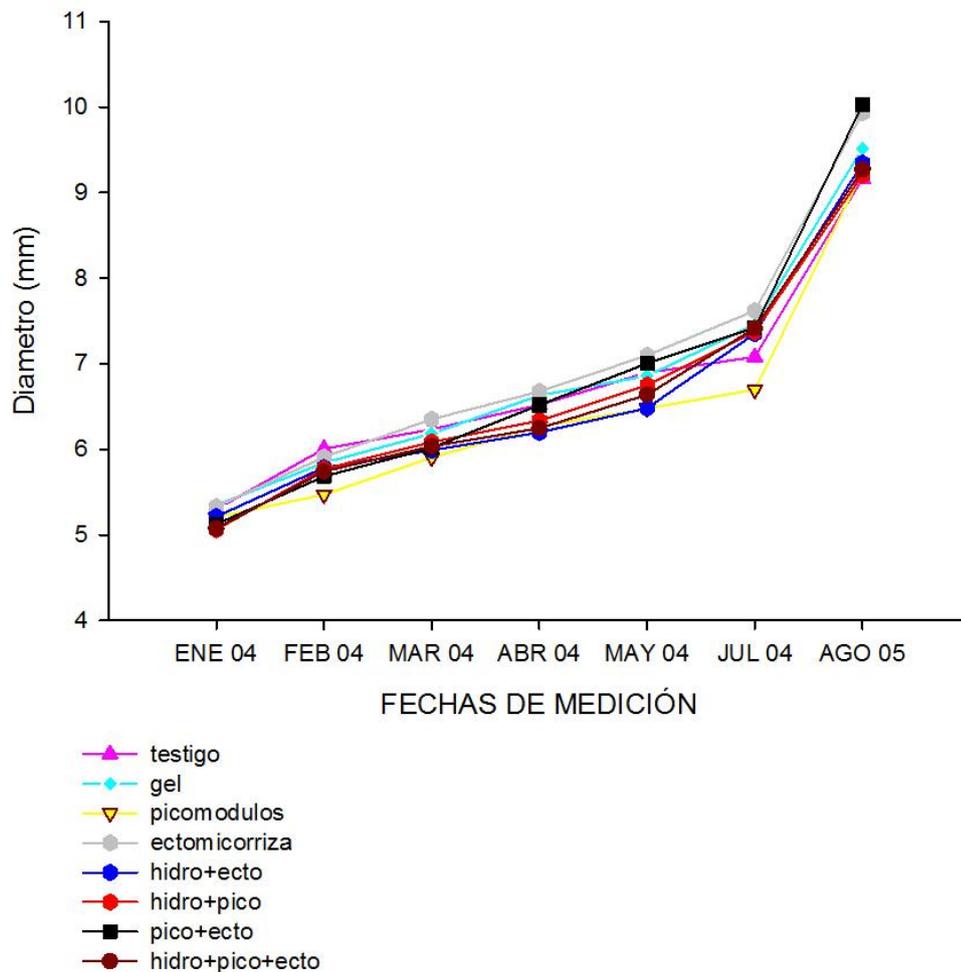


Figura 14. Gráfica de diámetro para *Pinus cembroides*; un comportamiento similar e todos los tratamientos.

En *P. cembroides* el tratamiento de picomodulos+ectomicorrizas fue el que presento mayor incremento en cuanto a diámetro, teniendo 1.03 mm más que el testigo seguido del tratamiento que solo fue inoculado Pt con.73 mm lo que destaca el beneficio que estas le proporcionaron a las plántulas y a su vez la disponibilidad de los nutrientes para generar un crecimiento destacado, como se puede apreciar en el cuadro 6. Obteniendo un promedio de .44 mm más de todos los tratamientos con respecto al testigo.

|  | <i>P. cembroides</i> | <i>P. greggii</i> |
|--|----------------------|-------------------|
| <b>T1 TESTIGO</b>                            | 3.87 a               | 11.55 a           |
| <b>T2 HIDROGEL</b>                           | 4.17 a               | 12.88 a           |
| <b>T3 PICOMODULOS</b>                        | 4.03 a               | 11.13 a           |
| <b>T4 ECTOMICORRIZA</b>                      | 4.60 a               | 10.93 a           |
| <b>T5 HIDROGEL+PICOMODULOS</b>               | 4.13 a               | 12.78 a           |
| <b>T6 HIDROGEL+ECTOMICORRIZA</b>             | 4.15 a               | 9.74 a            |
| <b>T7 PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b>          | 4.90 a               | 13.45 a           |
| <b>T8 HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b> | 4.19 a               | 11.10 a           |

**Cuadro 6. Incremento en diámetro (mm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.**

En el caso del *P. greggii* se observa el mismo comportamiento en el incremento en cuanto al tratamiento picomodulos + ectomicorrizas el cual presenta un incremento de 1.9 mm con respecto al testigo, seguido del hidrogel que fue de 1.33 mm mayor al testigo. Esto es atribuido a que las ectomicorrizas ayudan a las plántulas a expandir su sistema radical, por lo tanto existe una mayor superficie de donde se pueden obtener los nutrientes necesarios para el crecimiento.

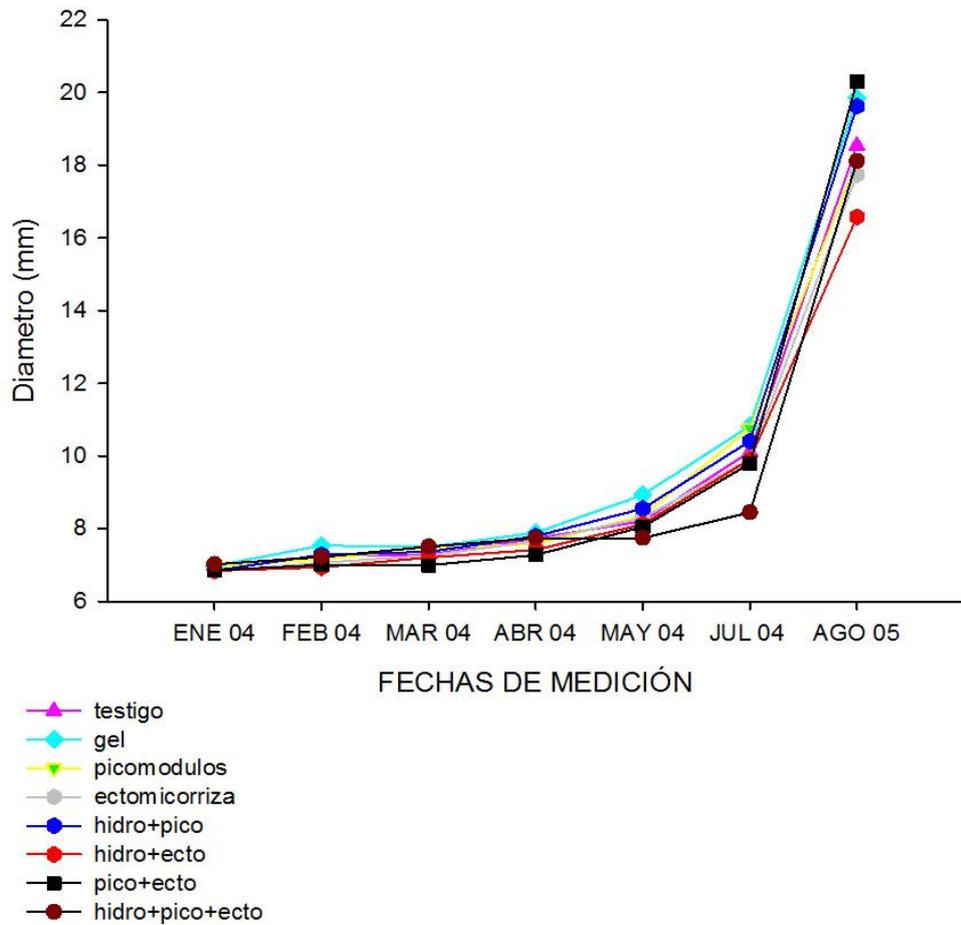


Figura 15. Gráfica de diámetro para *Pinus greggii* comportamiento distante de 3 tratamientos con respecto al testigo.

### 5.3.1. Diámetro final (mm).

El diámetro final de las plántulas para *Pinus cembroides* no fue significativo entre los tratamientos aplicados. Sin embargo las plántulas con ectomicorriza, hidrogel y picomodulos+ectomicorriza presentaron diámetros mayores.

|  | <i>P. cembroides</i> | <i>P. greggii</i> |
|--|----------------------|-------------------|
| <b>T1 TESTIGO</b>                            | 6.74a <sup>z</sup>   | 9.44ab            |
| <b>T2 HIDROGEL</b>                           | 6.83 <sup>a</sup>    | 9.93a             |
| <b>T3 PICOMODULOS</b>                        | 6.47 <sup>a</sup>    | 9.48ab            |
| <b>T4 ECTOMICORRIZA</b>                      | 6.99 <sup>a</sup>    | 9.25ab            |
| <b>T5 HIDROGEL+PICOMODULOS</b>               | 6.62 <sup>a</sup>    | 9.69a             |
| <b>T6 HIDROGEL+ECTOMICORRIZA</b>             | 6.65 <sup>a</sup>    | 9.00ab            |
| <b>T7 PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b>          | 6.82 <sup>a</sup>    | 9.47ab            |
| <b>T8 HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA</b> | 6.63 <sup>a</sup>    | 9.11ab            |

**Cuadro 7. Valores medios de diámetro (mm) para *Pinus cembroides* y *Pinus greggii* en relación a los tratamientos aplicados.**

<sup>z</sup>letras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística. Prueba de tukey p=0.05.

*Pinus greggii* no muestra diferencia significativa para ningún tratamiento con respecto al testigo; Por lo contrario aunque no se haya encontrado una diferencia significativa el tratamiento número 2 que corresponde al hidrogel, presenta el promedio mas alto, manteniendo su posición líder entre los coadyuvantes utilizados, seguido de la ectomicorrizas.

## 6. CONCLUSIONES

- La aplicación de coadyuvantes aumentó en todos los casos la supervivencia de las plántulas bajo estudio, siendo en promedio 17 % mayor respecto a las plántulas testigo en el caso de *Pinus cembroides* y un 15% en *Pinus greggii*; en el caso de *Pinus cembroides* el porcentaje mas alto lo presenta la combinación hidrogel + picomodulos seguido de la sola aplicación de hidrogel; por lo que se debe aplicar estos coadyuvantes en esta especie. Para *P. greggii* en donde el hidrogel seguido de la ectomicorriza presentaron los mejores porcentajes de supervivencia, los cuales fueron 92% y 90% (un promedio entre estos 2 de 21% más que le testigo) respectivamente; estos deben ser aplicados a las plántulas para que mejoren la supervivencia significativamente en plantaciones con fines de restauración.

- El incremento en altura en cuanto a *P. cembroides* los valores más altos los presentan la combinación de coadyuvantes hidrogel + ectomicorriza y la ectomicorriza esto es atribuido a que el hidrogel presenta respuestas favorables ante organismos tales como las ectomicorrizas siendo este un buen material para la expansión del hongo; estos tratamientos presentaron un incremento de .81 cm y .52 cm respectivamente en comparación al testigo.

- *Pinus greggii* denota un distanciamiento en el incremento de la variable altura de las plántulas que se les aplicaron los coadyuvantes respecto al testigo lo que nos muestra un claro beneficio de la aplicación de estos, teniendo en promedio 7.23 cm más

que el testigo; los valores más altos los presentan la ectomicorriza y los picomodulos + ectomicorrizas, los cuales tienen una diferencia en cm de 13.52 y 11.79 con respecto al testigo. Esta particularidad que presentan los hidrogeles y las ectomicorrizas para mejorar las condiciones del suelo y raíces es reflejado en el crecimiento de las plantas; ambas son muy buenas opciones para ayudar a las plántulas en su establecimiento, sin embargo el hidrogel tiene un tiempo de vida limitado (que no lo excluye de ninguna manera para que sea utilizado, al contrario es el que presenta mejores resultados en todas las variables aquí presentadas) que la ectomicorriza la cual permanecerá durante toda la vida del árbol ayudándole a futuro en diferentes actividades de la planta.

- La altura promedio en *Pinus cembroides* no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la variable altura por la aplicación de los coadyuvantes utilizados, pero tampoco se observó algún efecto negativo de estos tratamientos; todos mostraron una similitud en crecimiento presentado un promedio general de 15.97. Cabe hacer mención como referencia que el tratamiento ectomicorriza fue el que presenta el mayor promedio siendo de 1.6 cm más que el testigo.

- Para *Pinus greggii* se presentó una diferencia estadística significativa de todos los tratamientos en cuanto a altura promedio respecto al testigo dándonos un promedio de 9.46 cm mayor al testigo y demuestra el beneficio de aplicar estos coadyuvantes; destacando el promedio de altura del hidrogel siendo de 10.7 cm la diferencia con respecto al testigo;

- En *P. cembroides* el incremento fue mayor en todos los tratamientos con respecto al testigo lo que denota una mejora para esta variable con la aplicación de estos coadyuvantes. El tratamiento de picomodulos + ectomicorrizas fue el que presento mayor incremento en cuanto a diámetro, teniendo 1.03 mm más que el testigo seguido del tratamiento que solo fue inoculado Pt con.73 mm lo que destaca el beneficio que estas le proporcionaron a las plántulas y a su vez la disponibilidad de los nutrientes para generar un crecimiento destacado, obteniendo un promedio de .44 mm más de todos los tratamientos con respecto al testigo.

- En el caso del *P. greggii* se observa el mismo comportamiento en el incremento del diámetro en cuanto al tratamiento picomodulos + ectomicorrizas el cual presenta un incremento de 1.9 mm con respecto al testigo, seguido del hidrogel que fue de 1.33 mm mayor al testigo. Esto es atribuido a que las ectomicorrizas ayudan a las plántulas a expandir su sistema radical, por lo tanto existe una mayor superficie de donde se pueden obtener los nutrientes necesarios para el crecimiento.

- El diámetro final de las plántulas para *Pinus cembroides* no fue significativo entre los tratamientos aplicados. Sin embargo las plántulas con ectomicorriza, hidrogel y picomodulos+ectomicorriza presentaron diámetros mayores.

- *Pinus greggii* no muestra diferencia significativa para ningún tratamiento con respecto al testigo; Por lo contrario aunque no se haya encontrado una diferencia significativa el tratamiento número 2 que corresponde al hidrogel, presenta el promedio más alto, manteniendo su posición líder entre los coadyuvantes utilizados, seguido de la ectomicorrizas.

- Queda de manifiesto el claro beneficio que podemos obtener con la aplicación de los coadyuvantes ya mencionados anteriormente y que justificara el costo de su aplicación a las plantaciones. Con este estudio se ayudara a el establecimiento de las plántulas en condiciones de baja precipitación ayudando a las comunidades a que obtengan múltiples beneficios, una de las mas importantes será la recolección de piñón contribuyendo al desarrollo de nuestro país.

## LITERATURA CITADA

Abbot, L. and A. Robson. 1981. Infectivity and effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi: effect of inoculum type. *Australian Journal of Agricultural Research*. 32: 631 – 639.

Al-Harbi, A.R., A.M. Al-Omran, A.A. Shalalay, and M.I. Choudhary. 1999. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. *HortScience* 34(2): 223-224.

Al-Mana, F.A. and D.J. Beattie. 1996. Effects of hormone-charged hydrophilic polymer on root regeneration in red oak and black gum transplants. *Acta Horticulturae* 429: 459-466.

Aly, S.M. and J. Letey. 1989. The effects of two polymers and water qualities on dry cohesive strength of three soils. *Soil Science Society of America Journal* 53: 255-259.

Aly, S.M. and J. Letey. 1990. Physical properties of sodium-treated soil as affected by two polymers. *Soil Science Society of America Journal* 54: 501-504.

Angeles, E. 1984. Producción de Semillas en un Piñonar del Estado de Hidalgo, Méx. Tesis profesional, FESZaragoza, UNAM. México.

Anónimo (1998) Ficha técnica N° 2 de especies forestales estratégicas. *Gaceta de la Red mexicana de germoplasma forestal*, 1: 58-62.

Azzam, R.A.I. 1980. Agricultural polymers. Polyacrylamide preparation, application, and prospects in soil conditioning. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 11(8): 767-834.

Azzam, R.A.I. 1985. Tailoring polymeric gels for soil reclamation and hydroponics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 16(10): 1123-1138.

Barvenik, F.W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Science* 158(4): 235-243.

Batis M., M.I. Alcocer, M. Gual, C. Sánchez y C. Vázquez-Yanes. 1999. Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y la Reforestación. Instituto de Ecología, UNAM – CONABIO, México, D.F.

Biermann, B. and R. Linderman. 1983. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist*. 95: 97 –105.

Boatright, J.L., D.E. Balint, W.A. Mackay, and J.M. Zajicek. 1997. Incorporation of a hydrophilic polymer into annual landscape beds. *Journal of Environmental Horticulture* 15(1): 37-40.

Bouranis, D.L., A.G. Theodoropoulos, and J.B. Drossopoulos. 1995. Designing synthetic polymers as soil conditioners. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26(9&10): 1455-1480.

Bowman, D.C. and R.Y. Evans. 1991. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. *HortScience* 26(8): 1063-1065.

Bowman, D.C., R.Y. Evans, and J.L. Paul. 1990. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. *American Society of Horticultural Sciences Journal* 115:382-386.

Callaghan, T.V., D.K. Lindley, O.M. Ali, H. Abd El Nour, and P.J. Bacon. 1989. The effect of water-absorbing synthetic polymers on the stomatal conductance, growth and survival of transplanted *Eucalyptus microtheca* seedlings in the Sudan. *Journal of Applied Ecology* 26: 663-672.

Callaghan, T.V., H. Abdelnour, and D.K. Lindley. 1988. The environmental crisis in the Sudan: the effect of water-absorbing synthetic polymers on tree germination and early survival. *Journal of Arid Environments* 14: 301-317.

Cordell, C.E., L.F. Mans and D.H. Marx. Mycorrhizal fungi and trees a successful reforestation alternative for mineland reclamation. *In: Mumroese, R.K.; Riley, L.E.; Landis, T.D., technical coordinators. National proceedings forest and conservation nursery association-1999, 2000, and 2001. Proceedings RMRS-P-24. Ogden, U.T.:USDA Forest service, Rocky Mountain Research Station: 206-212.*

Daft, M. and E. Hacskeylo. 1976. Arbuscular mycorrhizas in the anthracite and bituminous coal wastes of Pennsylvania. *Journal of Applied Ecology*. 13: 523 – 531.

Davies, F.T., Jr., Y.Castro-Jimenez, and S.A. Duray. 1987. Mycorrhizae, soil amendments, water relations and growth of *Rosa multiflora* under reduced irrigation regimes. *Scientia Horticulturae* 33: 261-267.

Degiorgi, C.F., R.A. Pizarro, E.E. Smolko, S. Lora, and M. Carenza. 2002. Hydrogels for immobilization of bacteria used in the treatment of metal-contaminated wastes. *Radiation Physics and Chemistry* 63: 109-113.

De la Rosa, A. 1995. Evaluación de dos Fuentes Nitrogenadas en Embriones de Pino Piñonero (*Pinus cembroides*) in vitro. Tesis profesional, FES-Cuatitlán, UNAM. México.

Duddridge J.A., A. Malibari, D.J. Read. 1980. Structure and function of mycorrhizal rhizomorphs with special reference to their role in water transport. *Nature* 287: 834-836.

Duvert, P., R. Perrin, and C. Plenchette. 1990. Soil receptiveness to VA mycorrhizal association: concept and method. *Plant and soil*. 124: 1 – 6.

Eguiluz, T. 1982. Clima y distribucion del genero *Pinus* en México. *Rev. Ciencia Forestal*. 38 (7): 31-44.

El Sayed, H., R.C. Kirkwood, and N.B. Graham. 1991. The effects of hydrogel polymer on the growth of certain horticultural crops under saline conditions. *Journal of Experimental Botany* 42(240): 891-899.

EPA Chemical Profile. 1987. EPA chemical profile – acrylamide material safety data sheet. On line at <http://www.epa.gov/swercepp/ehs/profile/79061.pdf>

Helalia, A. and J. Letey. 1988. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator. *Soil Science Society of America Journal* 52: 247-250.

Helm, D. and D. Carling. 1990. Use of on-site mycorrhizal inoculum for plant establishment on abandoned mined lands. Bureau of Mines contract report. Palmer, Alaska.

Huttermann, A., M. Zommodi, and K. Reise. 1990. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil and Tillage Research* 50: 295-304.

Johnson, C.R. and R.L. Hummel. 1985. Hydrophilic polymers as a carrier for VA mycorrhizal inoculum. *Journal of Environmental Horticulture* 3(4): 166-168.

Johnson, M.S. 1984. The effects of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35: 1196-1200.

Johnson, M.S. and C.J. Veltkamp. 1985. Structure and functioning of water-storage agricultural polyacrylamides. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 789-793.

Johnson, M.S. and R.T. Leah. 1990. Effects of superabsorbent polyacrylamides on efficiency of water use by crop seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 52: 431-434.

Kohls, S.J., D.D. Baker, D.A. Kremer, and J.O. Dawson. 1999. Water-retentive polymers increase nodulation of actinorhizal plants inoculated with *Frankia*. *Plant and Soil* 214: 105-115.

Lentz, R.D. and R.E. Sojka. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Science* 158(4): 274-282.

Letey, J. 1994. Adsorption and desorption of polymers in soil. *Soil Science* 158(4): 244-248.

Malik, M. and J. Letey. 1991. Adsorption of polyacrylamide and polysaccharide polymers in soil materials. *Soil Science Society of America Journal* 55: 380-383.

Malik, M., C. Amrhein, and J. Letey. 1991. Polyacrylamide to improve water flow and salt removal in a high shrink-swell soil. *Soil Science Society of America Journal* 55: 1664-1667.

Martínez, M. 1948. *Los Pinos Mexicanos*. 2ª. Ed. Botas. México, D.F.

Martínez, M. 1994. *Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de las Plantas Mexicanas*. Fondo de Cultura económica, México, D.F.

Marx, D. and D. Kenny. 1982. Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. Ch. in *methods and principles of mycorrhizal research*. The American phytopathological society. pp. 131--146.

Marx, Donald H. 1979. *Pisolithus Tinctorius*, Ectomycorrhizae Improve Survival and Growth of Pine Seedlings on Acid Coal Spoils in Kentucky and Virginia. *The Reclamation Review* vol. 2 pp. 23-31 U.S.A.

Meyer F.H. 1973. *Distribution of ectomycorrhiza in native and Ectomycorrhizal, their ecology and physiology*. Nueva York, Estados unidos. Academic Press. p. 87-105.

Mikkelsen, R.L. 1994. Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Fertilizer Research* 38: 53-59.

Mosse, B. *et al.* 1981. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Advances in microbial ecology*. 5: 137 – 210.

Norland, M. 1993. Soil factors affecting mycorrhizal use in surface mine reclamation. Bureau of mines information circular. United States Department of the Interior.

Passini, M.-F.. 1982. *Les Forêts de Pinus cembroides au Mexique. Recherche sur les civilisations*. Paris.

Perry, J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press, Portland. 231pp.

Phillips, J.M. and D.S. Hayman.1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Brit. Mycol. Soc. 55:158-160.

Ponder, F. Jr. 1980. Rabbits and grasshoppers: vectors of endomycorrhizal fungi on new coal mine spoil. Research note NC-250. North central forest experiment station. U.S.D.A.

Reid C.P.P. 1978. Mycorrhizae and water stress. In Riedacker A. M.J. Gagnaire-Michard eds. Proceedings of the IUFRO Symposium on Root Physiology and Symbiosis, Nancy, Francia. p. 392-408.

Riffle, J. and D. Maronek. 1982. Ectomycorrhizal inoculation procedures for greenhouse and nursery studies. Ch. in methods and principles of mycorrhizal research. The American phytopathological society. pp. 147 – 156.

Rubio, H.O., M.K. Wood, M. Cardenas, and B.A. Buchanan. 1989. Effect of polyacrylamide on seedling emergence of three grass species. Soil Science 148(5): 355-360.

Rubio, H.O., M.K. Wood, M. Cardenas, and B.A. Buchanan. 1989. Effect of polyacrylamide on seedling emergence of three grass species. Soil Science 148(5): 355-360.

Sáenz, G.J. 1986. Efecto de diferentes niveles de inoculación de *Pisolithus tinctorius* en el desarrollo de *Pinus cembroides*, *Pinus greggii* y *Pinus maximartinezii*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México

Save, R., M. Pery, O. Marfa, and L. Serrano. 1995. The effect of hydrophilic polymer on plant and water status and survival of pine seedlings. HortTechnology 5(2): 141-143.

Schenck, N.C. 1982. Methods and Principles of Mycorrhizal Research. The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota.

Specht, A. and J. Harvey-Jones. 2000. Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: the use of hydrogels to reduce leaf loss and hasten root establishment. Forest Research 1: 117-123. On line at [http://www.forests.gld.gov.au/resadv/magott2/pdf/vol\\_1\\_00a\\_forest\\_research.pdf](http://www.forests.gld.gov.au/resadv/magott2/pdf/vol_1_00a_forest_research.pdf)

Teyel, M.Y., O.A. El-Hady. 1981. Super gel as a soil conditioner. Acta Horticulturae 119: 247-256.

Van Cotthem, W. 1999. Addressing desertification: combination of traditional methods and new technologies for sustainable development. UNESCO International

Hydrological Programme. CSIR Conference Centre – Pretoria, South Africa. On line at <http://www.wrc.org.za/wrcpublications/wrcdrought/pdfpapers/VANCothem.pdf>

Wang, Y. and L.L. Gregg. 1990. Hydrophilic polymers – their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115(6): 943-948.

Woodhouse, J.M. and M.S. Johnson. 1991. The effect of gel-forming polymers on seed germination and establishment. *Journal of Arid Environments* 20: 375-380.

Zhang, X.C. and W.P. Miller. 1996. Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows. *Soil Science Society of America Journal* 60: 866-872.