



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES
FORESTALES**

FONDO SECTORIAL CONAFOR-CONACYT

**MANUAL DE USO DE
COADYUVANTES EN PLANTACIONES DE
RESTAURACIÓN**

**CONSIDERACIONES TÉCNICAS
Y CIENTÍFICAS**

**PROYECTO CONAFOR-2002-C01-5780.
“Estrés hídrico en pinos: estrategias de manejo
cultural y respuestas fisiológicas asociadas”**

TULANCINGO, HIDALGO. ENERO DE 2005

INTEGRANTES DEL EQUIPO DE TRABAJO:

RESPONSABLE:

DR. JOEL MEZA RANGEL

COLABORADORES:

M.C. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

MARCELO ORTIZ ORTEGA

MIGUEL ANGEL FÉLIX YAÑEZ

ARTURO HERNÁNDEZ TAPIA

ÍNDICE:

LISTA DE FIGURAS:	V
LISTA DE CUADROS:	VII
PRÓLOGO	1
1. INTRODUCCIÓN.	3
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Uso de coadyuvantes en agricultura y silvicultura	5
2.1.1. Polímeros hidrofílicos.....	5
2.2. El uso de Micorrizas en la restauración de ecosistemas	13
2.2.1. Características de <i>Pisolithus tinctorius</i>	16
2.2.2. Descripción taxonómica.....	17
2.2.3. Técnicas de inoculación de micorrizas.....	19
2.3. Nutrición mineral de plántulas de especies forestales.....	23
3. TRABAJO EXPERIMENTAL	26
3.1. Descripción del sitio de estudio.	26
3.2. Material vegetal y establecimiento de experimento.	27
3.3. Características de los coadyuvantes usados.....	29
3.4. Resultados obtenidos.....	31
4. APLICACIÓN DE LOS COADYUVANTES EN CAMPO.	38
4.1. Gel hidrofílico.....	38
4.2. Fertilizantes de liberación prolongada.	39
4.3. Ectomicorriza <i>Pisolithus tinctorius</i>	40

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
LITERATURA CITADA	45

LISTA DE FIGURAS:

FIGURA 1. EQUIPO DE TRABAJO QUE COLABORA EN EL EXPERIMENTO	4
FIGURA 2. ESPOROCARP O JOVEN DE <i>PISOLITHUS TINCTORIUS</i>	17
FIGURA 3. ESPOROCARP O MADURO DE <i>PISOLITHUS TINCTORIUS</i>	18
FIGURA 4. PANORÁMICA GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO. SE ILUSTRAN EN EL LADO IZQUIERDO UNA PANORÁMICA DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE Y A LA DERECHA DESPUÉS DE LA TEMPORADA DE LLUVIAS	27
FIGURA 5. MATERIAL VEGETAL USADO EN EL EXPERIMENTO. A LA IZQUIERDA <i>PINUS CEMBROIDES</i> Y A LA DERECHA <i>PINUS GREGII</i>	28
FIGURA 6. GRÁNULOS GRUESOS DE HIDROGEL CONSTITUIDO POR POLIACRILAMIDA	29
FIGURA 7. IMAGEN QUE MUESTRA LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PICOMÓDULOS USADOS EN EL EXPERIMENTO	30
FIGURA 8. SOBRE CON ESPORAS <i>PISOLITHUS TINCTORIUS</i>	31
FIGURA 9. ASPECTO GENERAL DE LA PLANTACIÓN DONDE SE OBSERVA EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE <i>PINUS GREGII</i>	32
FIGURA 10. PLÁNTULA DE <i>PINUS GREGII</i> A LA CUAL SE APLICARON TODOS LOS COADYUVANTES	35
FIGURA 11. RAÍCES DE <i>PINUS CEMBROIDES</i> COLONIZADAS CON <i>PISOLITHUS TINCTORIUS</i> . MÉTODO DE PHILLIPS Y HAYMANN (1970)	36
FIGURA 12. RAÍCES DE <i>PINUS GREGII</i> COLONIZADAS CON <i>PISOLITHUS TINCTORIUS</i> . MÉTODO DE PHILLIPS Y HAYMANN (1970).....	36
FIGURA 13. RAÍCES DE <i>PINUS GREGII</i> SIN COLONIZACIÓN MICORRÍZICA. MÉTODO DE PHILLIPS Y HAYMANN (1970)	37
FIGURA 14. A) ASPECTO DEL POLÍMERO HIDROFÍLICO; B) MEZCLA DE POLÍMERO CON LA TIERRA; C) Y D) RELLENO DE CEPA CON LA MEZCLA TIERRA-POLÍMERO.	38
FIGURA 15. A) PICOMÓDULOS; B) COLOCACIÓN ESPACIAL DE PICOMÓDULOS ALREDEDOR DE <i>PINUS CEMBROIDES</i> Y C) COLOCACIÓN ESPACIAL DE PICOMÓDULOS ALREDEDOR DE <i>PINUS GREGII</i>	39
FIGURA 16. A) ASPECTO QUE PRESENTAN LAS ESPORAS DE <i>PISOLITHUS TINCTORIUS</i> Y B) ACTIVADOR NECESARIO PARA DILUCIÓN DE ESPORAS	40

FIGURA 17. 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..... 41

LISTA DE CUADROS:

Cuadro 1. Principales tipos de polímeros hidrofílicos presentes en el mercado	6
Cuadro 3. Composición de picomódulos utilizados para fertilización en campo	30
Cuadro 4. Niveles de sobrevivencia para <i>Pinus cembroides</i> y <i>Pinus gregii</i> en relación a los tratamientos aplicados.	33
Cuadro 5. Incremento en altura (cm) para <i>Pinus cembroides</i> y <i>Pinus gregii</i> en relación a los tratamientos aplicados.....	34
Cuadro 6. Altura promedio (cm) para <i>Pinus cembroides</i> y <i>Pinus gregii</i> en relación a los tratamientos aplicados.....	34
Cuadro 7. Valores medios de diámetro(mm) para <i>Pinus cembroides</i> y <i>Pinus gregii</i> en relación a los tratamientos aplicados.....	36

PRÓLOGO

El objetivo de este manual es el de presentar consideraciones de tipo científico y tecnológico que provean información en relación a la experiencia de un año de trabajo en la comunidad de Agua Hedionda, Municipio de Meztitlán, Hidalgo; con la aplicación de los coadyuvantes polímero hidrofílico(gel), fertilización de liberación prolongada (picomodulos) y el hongo ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius*. La información presentada no es todo lo generado, sino solamente aquello relacionado al nivel de sobrevivencia, altura y diámetro de las plantas, variables que justifican la aplicación de estos coadyuvantes en zonas degradadas y de restauración; situación en la que se encuentra gran parte de la superficie del Estado de Hidalgo. Una información completa sobre las demás variables se presentará en el informe final del proyecto PROYECTO CONAFOR-2002-C01-5780; donde se incluya información de invernadero y de tipo fisiológico, que complementa de manera integral los objetivos y metas del proyecto financiado por el fondo sectorial CONACYT-CONAFOR. La forma en que está integrado el presente manual es la siguiente: una revisión sobre los antecedentes de cada uno de los coadyuvantes utilizados, principalmente de la literatura científica; posteriormente se presenta brevemente la forma en que se condujo el experimento en campo, la forma de aplicación de los productos, las

respuestas obtenidas por la aplicación de los mismos y finalmente conclusiones y recomendaciones.

Esperando que el presente documento sea una pequeña contribución al enorme trabajo en la restauración de ecosistemas forestales del Estado de Hidalgo y de todo México.

1. INTRODUCCIÓN.

Gran parte de las zonas deforestadas 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 en el afán de recuperar las zonas degradadas. 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 suficientes 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, el uso de prácticas culturales para favorecer el establecimiento de pinos es de primordial importancia para el éxito de las plantaciones con las cuales se trata de recuperar dichas zonas; principalmente por organismos como la Comisión Nacional Forestal con apoyo de los ejidatarios interesados.

Se han utilizado desde hace varios años, diversos coadyuvantes para tal fin, destacando, el uso de absorbentes de humedad, fertilizantes de liberación prolongada y el uso de las ectomicorrizas. En mayor o menor medida las experiencias indican que es posible el uso de

tales coadyuvantes, ya que favorecen la sobrevivencia de plántulas que crecen bajo condiciones que limitan su crecimiento.

Con las consideraciones anteriores el objetivo de la primera etapa del proyecto PROYECTO CONAFOR-2002-C01-5780, "Estrés hídrico en pinos: estrategias de manejo cultural y respuestas fisiológicas asociadas" fue el de evaluar tres coadyuvantes disponibles en el mercado, a saber gel absorbente de agua, picomódulos como fuente de nutrimentos y como factor adicional la ectomicoriza *Pisolithus tinctorius*.

Este manual pretende ser apenas una aproximación a la experiencia obtenida en un año de trabajo en la comunidad de agua hedionda, Municipio de Meztlán, Hidalgo; en relación, a algunas respuestas que presentan las plantas ante el uso de los coadyuvantes mencionados.



Figura 1. Equipo de trabajo que colabora en el experimento

2. ANTECEDENTES

2.1. Uso de coadyuvantes en agricultura y silvicultura

2.1.1. 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. Los hidrogeles han tenido amplia aceptación en proyectos de restauración y recuperación, donde el riego después del transplante es limitado y donde la conservación de la humedad es crítica para prevenir la desecación y la muerte de la planta.

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).

Tipo de polímero hidrofílico	Composición química	Uso
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) y 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⁻³ y

reduce la densidad inicial de la arcilla de 1.331 a 1.203 g cm³. 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.

Otro aspecto de los hidrogeles es que tienen generalmente un pH alcalino y en algunos casos pueden disminuir el crecimiento de ciertas plantas.

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 sobrevivencia (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 CO₂, 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 nutrimentos. En otros casos, sin embargo, la adición de hidrogeles disminuyó la colonización micorrízica y se atribuyo 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 genero *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 fallas en las precipitaciones pueden resultar en pérdida masiva de plantas (Callaghan *et al.* 1989).

2.2. El uso de Micorrizas en la restauración de ecosistemas

Se reconocen cinco tipos de micorrizas: ectomicorrizas (ECM), vescículo-arbusculares(VAM), y otras tres que son especies restringidas(Ericoides, orquideas y ectendomicorrizas) (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 arbusculos (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).

Los hongos micorrizicos actúan como proveedores y protectores para las plantas. 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). 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).

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 sobrevivencia 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.

El uso de Pt en programas de investigación en restauración, sobre todo de sitios mineros abandonados 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 (Cordell *et al.* 2002).

2.2.1. Características de *Pisolithus tinctorius*.

Las características que identifican a *P. tinctorius* (Figura 2) son las siguientes: se considera uno de los hongos más repugnantes, su esporocarpo es oval a afilado, el esporocarpo 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 ectomicorrizas benéficas con árboles y no es comestible.

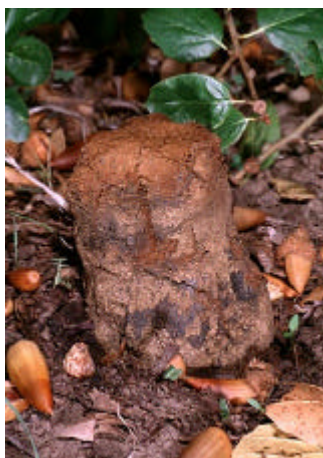


Figura 2. Esporocarpo joven de *Pisolithus tinctorius*

2.2.2. Descripción taxonómica.

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. La Figura 3 muestra un esporocarpio maduro de *Pisolithus tinctorius*.



Figura 3. Esporocarpio maduro de *Pisolithus tinctorius*

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 hulla 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).

2.2.3. 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 el 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 extraradicales 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).

2.3. Nutrición mineral de plántulas de especies forestales

La calidad de planta, cuando se define en términos de capacidad de establecimiento y sobrevivencia, 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 de 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).

3. Trabajo experimental

El trabajo experimental se desarrollo en la comunidad de agua hedionda, Municipio de Meztlán, Hidalgo. En esta comunidad los ejidatarios del lugar, anualmente llevan a cabo actividades de reforestación, principalmente de *Pinus gregii*. Cercano a la zona de estudio existen poblaciones de *Pinus cembroides*, especie que potencialmente puede dar recurso económico a la población; sin embargo, los ejidatarios no plantan por baja sobrevivencia de las, según lo expresan ellos mismos. En ambas especies, los niveles de sobrevivencia de las plántulas son bajas y la explicación según la experiencia propia, estriba en el hecho de que la planta en muchas ocasiones no es de calidad, se planta a destiempo y falta cuidado en el manejo de la planta; a lo que se suman las condiciones tan limitantes en todo sentido. Tomando el marco de referencia anterior se instaló un experimento en dicha comunidad con el fin de evaluar tres coadyuvantes que están el mercado y que potencialmente podrían ayudar al establecimiento de las plántulas bajo las condiciones tan difíciles del lugar que impiden su establecimiento.

3.1. Descripción del sitio de estudio.

Comunidad de agua Hedionda, Municipio de Meztlán (Figura 4).

Ubicación:

?Altitud: 98°55´10´´, Latitud 20° 55´09´´ y 2215 msnm.

?Baja precipitación (< 500 mm)

?Suelos pobres, calizos.

?Suelo franco-arcilloso-arenoso con mayor proporción de arcilla con bajo nivel de materia orgánica.

?pH alcalino con severas deficiencias de P y bajos niveles de NO_3^- y cantidades adecuadas de Fe, y Mo.



Figura 4. 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

3.2. Material vegetal y establecimiento de experimento.

El material vegetal fue proporcionado por un vivero de la Comisión Nacional Forestal localizado en el municipio de Fontezuelas, Municipio de Meztitlán.

La edad de la planta para *P. gregii* fue de 1 año y 6 meses, en tanto que para *P. cembroides* fue de 7 meses (Figura 5).

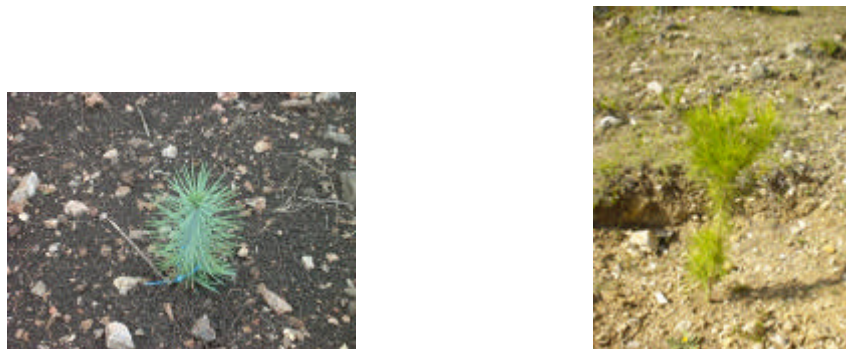


Figura 5. Material vegetal usado en el experimento. A la izquierda *Pinus cembroides* y a la derecha *Pinus gregii*

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 gregii* y *Pinus cembroides*; siendo en total 960 árboles por especie. La superficie total comprendió 16 300 m².

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:

Combinacion de Tratamientos	Tratamientos
1.- 0 0 0	TESTIGO
2.- 1 0 0	HIDROGEL
3.- 0 1 0	PICOMODULOS
4.- 0 0 1	ECTOMICORRIZA
5.- 1 1 0	HIDROGEL+PICOMODULOS
6.- 1 0 1	HIDROGEL+ECTOMICORRIZA
7.- 0 1 1	PICOMODULO+ECTOMICORRIZA
8.- 1 1 1	HIDROGEL+PICOMODULOS+ECTOMICORRIZA

La siembra se llevó a cabo en el mes de agosto de 2003, al inicio del periodo de lluvias. Cabe mencionar fue un año de lluvias abundantes para las condiciones del lugar.

3.3. Características de los coadyuvantes usados.

3.3.1. Gel absorbente de humedad.- polímero hidrofílico. El producto utilizado fue el producto comercial fue hortasorb, el cual está constituido, según datos del fabricante, por 94.13 % de poliacrilamida y 5.87 % de humedad. La dosis utilizada fue de 5 gramos por planta (ver sección de aplicación de coadyuvantes en campo). La figura 6, muestra el aspecto de los gránulos de poliacrilamida.



Figura 6. Gránulos gruesos de hidro gel constituido por poliacrilamida

3.3.2. 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 3. La dosis usada fue el equivalente por 4 pastillas por planta (ver sección de aplicación de coadyuvantes en campo).



Figura 7. Imagen que muestra las características de los picomódulos usados en el experimento

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

Cuadro 3. Composición de picomódulos utilizados para fertilización en campo

3.3.3. Ectomicoriza *Pisolithus tinctorius*. El producto comercial utilizado fue EctoRIZE (Figura 8), el cual contiene como ingrediente activo *Pisolithus tinctorius* en concentración de 1 kg L⁻¹. Este producto está compuesto por una solución inoculante (líquido) y parte sólida (esporas de hongos) que se mezclan antes de la aplicación (ver sección de 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 8. Sobre con esporas *Pisolithus tinctorius*

3.4. Resultados obtenidos

Los resultados mostrados, únicamente hacen referencia a la sobrevivencia (%), diámetro y la altura promedio de las especies estudiadas, dado que son dos de las variables que determinarán en

primera instancia su uso para el establecimiento de las plántulas (Figura 9). Las demás variables propuestas serán presentadas en la versión final del trabajo de investigación. De igual manera se presentan datos de colonización micorrízica (%) para dos tratamientos que fueron micorrizados.



Figura 9. Aspecto general de la plantación donde se observa el crecimiento de plántulas de *Pinus gregii*

3.4.1. Niveles de sobrevivencia (%)

T1 TESTIGO	65	0
T2 GEL	86	2
T3 FERTILIZANTE	76	4
T4 MICORRIZA	79	0
T5 GEL+FERTILIZANTE	88	1

T6 GEL+MICORRIZA	81
	6
T7	80
FERTILIZANTE+MICORRIZA	9
T8	84
GEL+FERTILIZANTE+MICORRIZA	3

Cuadro 4. Niveles de sobrevivencia para *Pinus cembroides* y *Pinus gregii* en relación a los tratamientos aplicados.
3.4.2. Incremento en altura (cm)

T1 TESTIGO	0.03	2.92
T2 GEL	0.32	8.56
T3 FERTILIZANTE	0.22	8.94
T4 MICORRIZA	0.33	4.50
T5 GEL+FERTILIZANTE	0.2	1.6
T6 GEL+MICORRIZA	0.62	9.02
T7	0.92	8.3
FERTILIZANTE+MICORRIZA		
T8	0.52	
GEL+FERTILIZANTE+MICORRIZA		

9.89

Cuadro 5. Incremento en altura (cm) para *Pinus cembroides* y *Pinus gregii* en relación a los tratamientos aplicados.

T1 TESTIGO	14.6 ^z a	6
		2.2 c
T2 GEL	14.7 a	7
		2.9 a
T3 FERTILIZANTE	13.7 a	6
		9.4 ab
T4 MICORRIZA	14.9 a	7
		0.0 ab
T5 GEL+FERTILIZANTE	13.9 a	6
		9.1 ab
T6 GEL+MICORRIZA	14.8 a	6
		9.8 ab
T7 FERTILIZANTE+MICORRIZA	14.5 a	6
		5.4 ab
T8 GEL+FERTILIZANTE+MICORRIZA	14.8 a	7
		0.5 a

Cuadro 6. Altura promedio (cm) para *Pinus cembroides* y *Pinus gregii* en relación a los tratamientos aplicados.

^zletras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística. Prueba de tukey p=0.05.



Figura 10. Plántula de Pinus gregii a la cual se aplicaron todos los coadyuvantes
3.4.3. Diámetro final (mm)

T1 TESTIGO	7.1 ab	1
		0.7 ab
T2 GEL	7.5 a	1
		1.8 a
T3 FERTILIZANTE	6.7 b	1
		1.2 ab
T4 MICORRIZA	7.6 a	1
		0.5 ab
T5 GEL+FERTILIZANTE	7.4 ab	1
		0.7 ab
T6 GEL+MICORRIZA	7.5 a	1
		0.4 ab
T7 FERTILIZANTE+MICORRIZA	7.4 ab	9
		.8 b
T8	7.4 ab	1

GEL+FERTILIZANTE+MICORRIZA

1.6 a

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

^Zletras iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística. Prueba de tukey $p=0.05$.

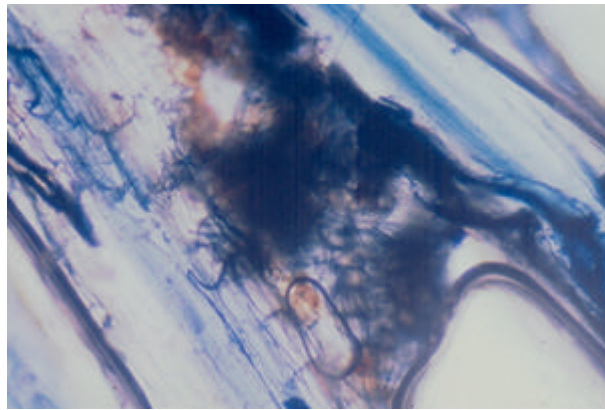


Figura 11. Raíces de *Pinus cembroides* colonizadas con *Pisolithus tinctorius*. Método de Phillips y Haymann (1970)



Figura 12. Raíces de *Pinus gregii* colonizadas con *Pisolithus tinctorius*. Método de Phillips y Haymann (1970)



Figura 13. Raíces de *Pinus gregii* sin colonización micorrízica. Método de Phillips y Haymann (1970)

4. Aplicación de los coadyuvantes en campo.

4.1. 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 (Figuras 14a, 14b, 14c y 14d). 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.

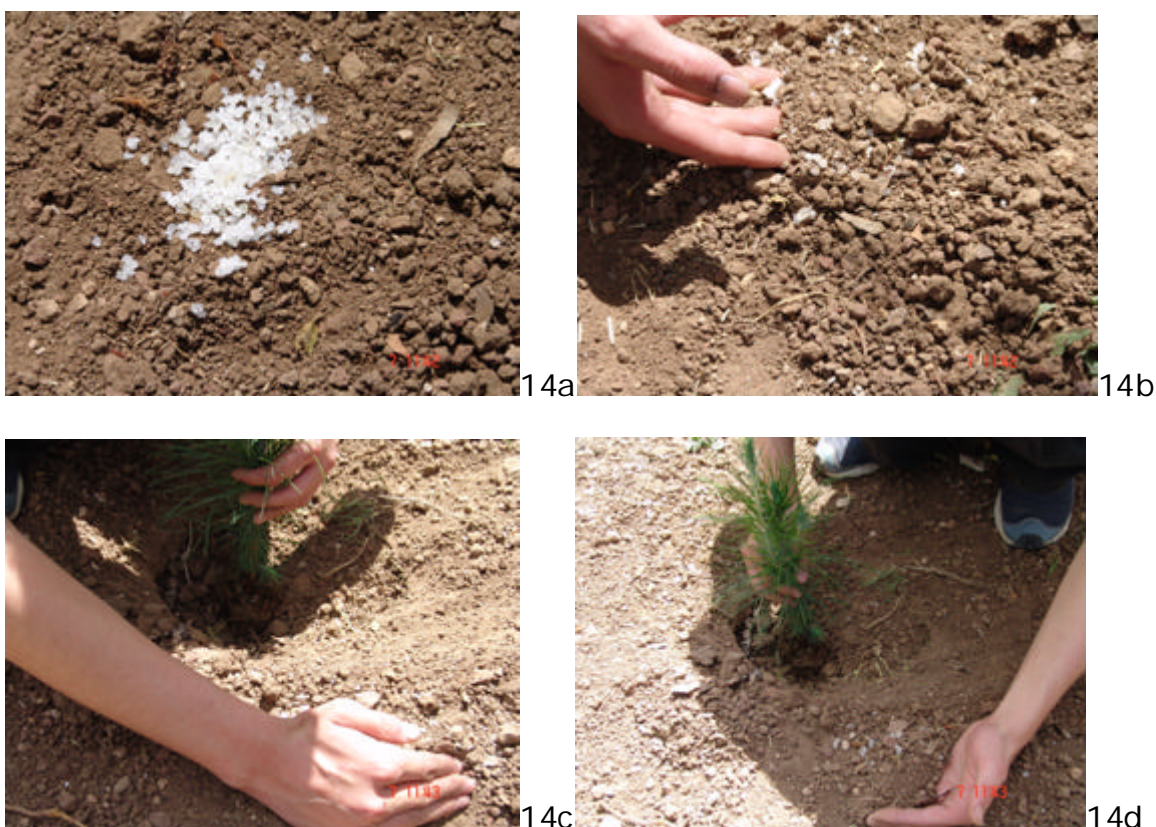


Figura 14. a) aspecto del polímero hidrofílico; b) mezcla de polímero con la tierra; c) y d) relleno de cepa con la mezcla tierra-polímero.

4.2. 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 15a, 15b y 15c) y posteriormente se completa de rellenar con la tierra restante.



15a



15b

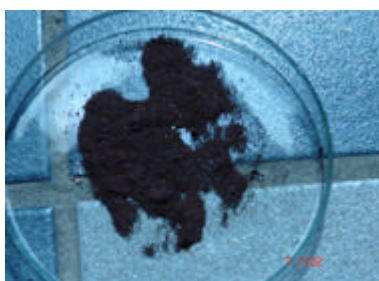


15c

Figura 15. a) picomódulos; b) colocación espacial de picomódulos alrededor de *Pinus cembroides* y c) colocación espacial de picomódulos alrededor de *Pinus gregii*

4.3. 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. 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 16a y 16b).



16a



16b

Figura 16. a) aspecto que presentan las esporas de *Pisolithus tinctorius* y b) activador necesario para dilución de esporas



17a



17b



17c

Figura 17. 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

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La aplicación de coadyuvantes aumentó en todos los casos la sobrevivencia de las plántulas bajo estudio, siendo en promedio 15 % mayor respecto a las plántulas testigo.

2. Se presentó una diferencia estadística significativa en cuanto a altura promedio para *Pinus gregii* respecto al tratamiento testigo con un promedio de altura de 69.6 cm.

3. Para *Pinus cembroides* no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas para incremento en altura por la aplicación de coadyuvantes utilizados.

4. El diámetro final de las plántulas para *Pinus cembroides* no fue significativo entre los tratamientos aplicados, siendo los valores similares. Sin embargo las plántulas con gel, micorriza y gel + micorrizas presentaron diámetros mayores.

5. Para *Pinus gregii* los valores mayores de diámetro los presentaron las plántulas con gel y la combinación gel+fertilizante+micorriza.

6. Se pudo observar un efecto diferencial para las especies estudiadas, *Pinus gregii* y *Pinus cembroides*. Los resultados indican un efecto mayor de los tratamientos aplicados en *Pinus gregii*, aunque

puede ser atribuidos a una característica de crecimiento respecto a *Pinus cembroides*.

7. El éxito de una plantación ante condiciones adversas se establece por los niveles de sobrevivencia de las plántulas establecidas y la experiencia de un año con las plántulas estudiadas, pone de manifiesto el efecto benéfico del uso de coadyuvantes, que aumenten porcentajes de sobrevivencia de las plantaciones forestales en zonas de restauración y degradadas.

8. El trabajar con plántulas de mejor calidad permitiría en determinado momento aumentar los niveles de sobrevivencia.

9. Con fines de llevar planta micorrizada al campo se recomienda llevar la planta micorrizada en invernadero y asegurar un alto por ciento de colonización micorrízica.

10. Finalmente las experiencias de un año permiten sugerir el uso de coadyuvantes, que cualquiera de ellos incrementa significativamente los niveles de sobrevivencia.

11. Aunque no se presenta un análisis costo-beneficio, sin embargo, el aumento de sobrevivencia de plantaciones permitiría pagar el costo extra de coadyuvantes.

12. Un análisis completo de la respuesta de las plántulas ante falta de agua, se tendrá al finalizar el proyecto de investigación, donde se producirá planta con características deseables para zonas degradadas y

de restauración y se tendrán todos los indicadores bioquímicos y fisiológicos.

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.

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.

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 succesful 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. HacsKaylo. 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.

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

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. Zommorodi, 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.

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.

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.

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.

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.

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

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/VANCothtem.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.