

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Silvicultura

EFFECTOS DE LA SOLARIZACION EN EL CONTROL DE HONGOS
PATOGENOS DE SUELO Y MALEZAS, Y SU EFECTO EN EL
CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS, EN UN VIVERO FORESTAL.



CESAR FRANCISCO MOSQUEIRA BENAVIDES

MEMORIA DE TITULO
PRESENTADA A LA FACULTAD
DE CIENCIAS FORESTALES
DE LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO
FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1994

EFFECTOS DE LA SOLARIZACION EN EL CONTROL DE HONGOS
 PATOGENOS DE SUELO Y MALEZAS, Y SU EFECTO EN EL
 CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS, EN UN VIVERO FORESTAL.

Profesor Asesor



Gastón González Vargas
 Gastón González Vargas
 Profesor.
 Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Gastón González Vargas
 Gastón González Vargas
 Profesor.
 Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Director Departamento
 Silvicultura

Jaime Millán Herrera
 Dr. Jaime Millán Herrera
 Profesor.
 Ingeniero Forestal
 Decano Facultad de
 Ciencias Forestales



A MI MADRE CON AMOR

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINA
I	INTRODUCCION.....	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
	2.1 Antecedentes Generales.....	3
	2.2 Aspectos básicos de la solarización de suelo.....	7
	2.3 Mecanismos de control de enfermedad.....	13
	2.3.1 Control físico	14
	2.3.2 Control biológico.....	17
	2.3.3 Control químico.....	20
	2.3.4 Control integrado.....	21
	2.4 Control de malezas.....	22
	2.5 Aumento del crecimiento y rendimiento de las plantas.....	26
	2.6 Ventajas y limitaciones de la solarización.....	29
	2.6.1 Ventajas.....	29
	2.6.2 Limitaciones.....	31
	2.7 Análisis económico.....	32

CAPITULOS**PAGINA**

III	MATERIALES Y METODOS.....	34
3.1	Antecedentes generales.....	34
3.1.1	Ubicación del área de estudio....	34
3.1.2	Características edafoclimáticas..	34
3.2	Descripción del ensayo.....	36
3.2.1	Descripción de las parcelas.....	36
3.2.2	Tratamientos de solarización.....	37
3.2.3	Diseño experimental.....	37
3.2.4	Mediciones de temperatura y humedad.....	38
3.2.5	Características de la siembra y manejo de las plantas.....	38
3.2.6	Fecha del ensayo.....	39
3.3	Evaluación del ensayo.....	40
IV	RESULTADOS.....	42
4.1	Efecto sobre las temperaturas del suelo.....	42
4.2	Efecto sobre la humedad del suelo.....	48
4.3	Efecto sobre la emergencia de las plantas.....	51
4.4	Efecto sobre la mortalidad de las plantas.....	52

CAPITULOS**PAGINA**

4.4.1	Mortalidad total de las plantas..	52
4.4.2	Efecto de <i>Fusarium sp.</i> en la mortalidad de las plantas.....	54
4.4.3	Efecto de <i>Macrophomina phaseolina</i> en la mortalidad de las plantas..	55
4.4.4	Participación de <i>Macrophomina phaseolina</i> y <i>Fusarium sp.</i> en la mortalidad total.....	57
4.5	Efecto sobre el crecimiento de las plantas.....	59
4.5.1	Crecimiento en altura de las plantas.....	59
4.5.2	Crecimiento en diámetro de cuello de las plantas.....	60
4.5.3	Crecimiento en biomasa total de las plantas.....	62
4.6	Efecto sobre el control de malezas.....	66
4.6.1	Evaluación de malezas antes de la siembra.....	66
4.6.2	Evaluación de malezas después de la siembra.....	67

CAPITULOS**PAGINA**

V	DISCUSION.....	69
5.1	Efecto sobre la temperatura y humedad del suelo.....	69
5.2	Efecto sobre la emergencia y mortalidad de las plantas.....	72
5.2.1	Emergencia.....	72
5.2.2	Mortalidad.....	73
5.3	Efecto sobre el crecimiento de las plantas.....	75
5.4	Efecto sobre el control de malezas.....	77
VI	CONCLUSIONES.....	80
VII	RESUMEN.....	81
	SUMMARY.....	82
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	83
IX	APENDICE.....	92
X	ANEXO.....	105

INDICE DE TABLAS

TABLA N°

PAGINA

En el texto

1	Temperatura máxima promedio, registrada en T0, T1, T2 y T3, con sus respectivos incrementos.....	42
2	Temperaturas máximas promedio, registradas en T0, T1, T2 y T3, a los 7.5, 12.5 y 17.5 cm, con sus respectivos incrementos.....	43
3	Horas de calor, registradas durante los 42 días de solarización, a distintas profundidades.....	44
4	Temperatura máxima absoluta en cada tratamiento.....	44
5	Porcentaje de emergencia de las plantas de <i>Pinus radiata</i>	51
6	Porcentaje de emergencia de las plantas de <i>Eucalyptus globulus</i>	52
7	Mortalidad de <i>Pinus radiata</i> , en cada tratamiento.....	53
8	Mortalidad de <i>Eucalyptus globulus</i> , en cada tratamiento.....	53
9	Efecto de <i>Fusarium sp.</i> en la mortalidad de <i>Pinus radiata</i> , en cada tratamiento.....	54

10	Efecto de <i>Fusarium sp.</i> en la mortalidad de <i>Eucalyptus globulus</i> , en cada tratamiento.....	55
11	Efecto de <i>Macrophomina phaseolina</i> en la mortalidad de <i>Pinus radiata</i> , en cada tratamiento.....	56
12	Efecto de <i>Macrophomina phaseolina</i> en la mortalidad de <i>Eucalyptus globulus</i> , en cada tratamiento.....	57
13	Participación de <i>Macrophomina phaseolina</i> y <i>Fusarium sp.</i> en la mortalidad total de <i>Pinus radiata</i>	58
14	Participación de <i>Macrophomina phaseolina</i> y <i>Fusarium sp.</i> en la mortalidad total de <i>Eucalyptus globulus</i>	58
15	Crecimiento promedio en altura de las plantas de <i>Pinus radiata</i> , en cada tratamiento.....	59
16	Crecimiento promedio en altura de las plantas de <i>Eucalyptus globulus</i> , en cada tratamiento.....	60
17	Crecimiento promedio del diámetro de cuello de las plantas de <i>Pinus radiata</i> , en cada tratamiento.....	61

18	Crecimiento promedio del diámetro de cuello de las plantas de Eucalyptus globulus , en cada tratamiento.....	61
19	Crecimiento en biomasa total de las plantas de Pinus radiata , en cada tratamiento.....	62
20	Crecimiento en biomasa total de las plantas de Eucalyptus globulus , en cada tratamiento.....	63
21	Peso seco de malezas en cada tratamiento control.....	66
22	Peso seco promedio de malezas en cada tratamiento, 1ª evaluación 18/01/93.....	67
23	Peso seco promedio de malezas en cada tratamiento, 2ª evaluación 05/02/93.....	68
24	Peso seco promedio de malezas en cada tratamiento, 3ª evaluación 01/03/93.....	68

En el Apéndice

1 A	Temperaturas promedios de los 42 días de solarización.....	96
2 A	Incrementos promedios de temperatura de los 42 días de solarización.....	97

3 A	Temperaturas máximas y mínimas absolutas registradas durante los 42 días de solarización.....	98
4 A	Porcentaje de humedad promedio del suelo, en base peso seco, de los 42 días de solarización.....	99
5 A	Participación de agentes fungosos en la mortalidad de plantas de <i>Pinus radiata</i> (Pi) y <i>Eucalyptus globulus</i> (Eu) en cada tratamiento.....	100
6 A	Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada una de las repeticiones de T0. Evaluación antes de la siembra.....	101
7 A	Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Evaluación del 08/01/93.....	102
8 A	Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Evaluación del 05/02/93.....	103

INDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº

PAGINA

En el texto

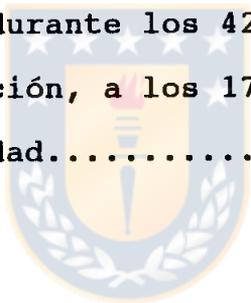
- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Temperatura (°C) promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización registradas a las 9, 12, 15 y 18 horas, a los 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm de profundidad..... | 46 |
| 2 | Temperaturas (°C) promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización registradas a los 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm de profundidad, a las 9, 12, 15 y 18 horas..... | 47 |
| 3 | Porcentaje de humedad promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a las 9, 12, 15 y 18 horas, a los 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm de profundidad... | 49 |

4	Porcentaje de humedad promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a los 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm de profundidad a las 9, 12, 15 y 18 horas.....	50
5	Plantas de Pinus radiata cultivadas en los tratamientos T0, T1, T2 y T3..	64
6	Plantas de Eucalyptus globulus cultivadas en los tratamientos T0 y T1.....	64
7	Plantas de Eucalyptus globulus cultivadas en los tratamientos T0 y T2.....	65
8	Plantas de Eucalyptus globulus cultivadas en los tratamientos T0 y T3.....	65

En el Apéndice

1 A	Diseño experimental.....	93
2 A	Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 2,5 cm de profundidad.....	94

3 A	Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 7,5 cm de profundidad.....	94
4 A	Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 12,5 cm de profundidad.....	95
5 A	Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 17,5 cm de profundidad.....	95



I. INTRODUCCION

En los viveros forestales la eliminación de agentes patógenos del suelo, como los hongos, se realiza normalmente a través de productos químicos, que con un uso intensivo y continuo están provocando una alteración ambiental (Pullman et al., 1989). Por lo tanto, es necesario desarrollar métodos que sean efectivos, baratos y seguros, y además que provoquen un mínimo impacto sobre el medio.

A mediados de la década del 70, surge como alternativa al control químico de patógenos de suelo la solarización, la cual se logra cubriendo el suelo con polietileno transparente, aumentando la temperatura del suelo y superando el punto de muerte termal de los hongos patógenos (Katan, 1981).

En numerosos países se han realizado, o se están llevando a cabo, investigaciones en solarización de suelo, entre los cuales se pueden mencionar: Israel, Estados Unidos, Grecia, Portugal, Jordania, Italia, Australia, Egipto, Irak, Inglaterra, Sudáfrica, Japón, Marruecos y Pakistán; esto indica que existe un gran interés y una necesidad en desarrollar este método para controlar los patógenos del

suelo (Auger, 1987).

En el país, son escasas las investigaciones realizadas, las cuales principalmente se han desarrollado en el área de frutales y hortalizas (Pullman et al., 1989), por lo que resulta muy interesante iniciar el estudio para observar la aplicabilidad de este sistema en la eliminación de agentes dañinos.

Este método puede resultar eficaz en Chillán, porque a fines de primavera hay aumentos considerables de temperatura, lo que permitiría esperar algún tipo de control de enfermedades.

En el presente trabajo se pretende determinar la eficacia de una solarización de primavera en un vivero forestal, en el control de enfermedades asociadas a organismos del suelo, su efecto sobre la población de malezas y sobre el crecimiento de las plantas de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Antecedentes generales .

La desinfestación de suelo consiste en un proceso a través del cual se elimina la población de patógenos de éste, la cual se ha llevado a cabo tradicionalmente, a través de dos formas: el método físico, que consiste en el calentamiento artificial mediante vapor de agua, que según Baker (1974), citado por Katan (1980), aumenta la temperatura del suelo hasta cerca de 100°C, y el método químico, en el cual se utiliza la fumigación con Sulfuro de Carbono, Cloropicrina, o Bromuro de Metilo (Auger, 1987).

Otro método de desinfestación de suelo, utilizado a partir del año 1976, por Jaacov Katan, es el de la "solarización de suelo", técnica que tiene su origen en el proceso de "mulching", empleado durante años en la agricultura, y que consiste en cubrir el suelo y plantas con materiales orgánicos e inorgánicos, para formar una barrera de protección contra las heladas y facilitar el calentamiento del suelo, con el fin de aumentar el crecimiento de las plantas (De Vay, 1991b). También se usaba para evitar la evaporación de la humedad del suelo, controlar malezas y

reducir la erosión (De Vay, 1991a).

Katan (1981), define la solarización de suelo como el uso del calor como agente letal para el control de plagas y enfermedades, mediante la concentración de la energía solar a través de la cubierta de suelo con láminas transparentes delgadas de polietileno.

Varios son los términos que se han empleado para describir esta técnica, como calentamiento solar, solarización de suelo, "mulching" o "tarping" de plástico o polietileno, desinfestación solar y además por incluir repetidos calentamientos diarios hasta temperaturas relativamente cálidas, el término pasteurización solar también es aceptado (Katan, 1980; 1981; 1987). De los anteriores, Katan y sus colaboradores prefieren solarización de suelo, que fué introducido por Pullman et al. en 1981 (Katan, 1987).

En la solarización, se ha observado que las temperaturas del suelo alcanzadas son letales para muchos patógenos de las plantas, y además producen complejos cambios en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, mejorando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Pullman et al., 1989; De Vay, 1991b).

De Vay (1991b), usa el término solarización de suelo para describir el proceso hidrotermal que ocurre en el suelo húmedo, al cubrirlo con polietileno transparente y exponerlo a la luz solar durante los meses cálidos de verano.

Este método utiliza dos recursos naturales benignos e inagotables para eliminar los patógenos: la radiación solar y la humedad. La radiación solar es la fuente de calor que eleva la temperatura del suelo, y la humedad permite potenciar el efecto al transferir el calor hacia las capas inferiores del suelo (De Vay, 1991a).

De Vay (1991a y 1991b), sostiene que el éxito de la solarización de suelo, se basa en el hecho que la mayor parte de las plagas y patógenos de las plantas son mesófilos, y por lo tanto mueren cuando son sometidos a temperaturas de 37°C o más, durante períodos prolongados. Además, los organismos benéficos de suelo generalmente resisten la solarización porque son termotolerantes o termófilos. Además, sostiene que las temperaturas del suelo no necesitan llegar a ser letales para controlar los patógenos de las plantas, sino que sólo basta alcanzar las que detienen el crecimiento y desarrollo de éstos, y si permanecen vivos, no podrán desarrollarse para infectar los tejidos vegetales.

La eficiencia de este método, según Katan (1976, 1980 y 1981), depende de la aplicación de las siguientes recomendaciones enunciadas como "principios" de la solarización:

- a. Utilizar polietileno transparente, debido a que este transmite la mayor parte de la radiación solar.
- b. Utilizar polietileno delgado porque transmite más eficientemente la radiación solar, y además , es más barato.
- c. Realizar la solarización durante la estación del año de más altas temperaturas e intensidad de radiación solar.
- d. Mantener el suelo húmedo durante la solarización, para aumentar la sensibilidad termal de las estructuras fungosas y mejorar la conducción de calor.
- e. El período de cubrimiento debe ser extenso, normalmente 4 semanas o más, para lograr el control de patógenos a la profundidad deseada, debido a que las temperaturas en las capas profundas del suelo son menores que en las superficiales.

2.2 Aspectos básicos de la solarización de suelo .

Al solarizar un terreno determinado se deben considerar algunos factores, los cuales serán importantes para el éxito de su aplicación.

a. **Preparación del suelo.** El área que será solarizada se debe nivelar y dejar libre de malezas, restos de vegetales y terrones, los cuales podrían levantar el plástico (Pullman et al., 1989). Esto tiene una directa relación con la absorción de la radiación solar por parte del suelo, ya que al ubicar la lámina de plástico lo más cercano posible al suelo, con un mínimo de espacio de aire entre éstos, se beneficia el calentamiento del suelo, logrando un aumento de la temperatura hasta las capas profundas (Stapleton y De Vay, 1986). Pullman et al. (1989), sostiene que el suelo debe ser roturado con arado o rastra de disco y cultivador, o ser removido a mano y luego rastrillado, dejándolo parejo, para ayudar a una buena penetración del agua, con el fin de humedecer bien el perfil del suelo.

b. **Características del suelo.** Los suelos oscuros absorben más radiación que los suelos de colores claros; lo que explica las altas temperaturas que alcanzan los suelos oscuros (Stapleton y De Vay, 1986).

Las propiedades físicas del suelo como capacidad calórica, conductividad termal y emisividad son importantes en los resultados del control físico y biológico de patógenos (Gutkowski y Terranova, 1991).

Las propiedades térmicas de los suelos varían, siendo la capacidad calórica de 0.27 - 0.80 Cal/g /°C, y la difusividad térmica de $10^2 - 10^3 \text{ cm}^2/\text{seg}$ (Katan 1981).

La absorción de radiación solar cambia según el color, humedad y textura del suelo. En general, el suelo tiene una capacidad térmica relativamente alta y es un mal conductor de calor, lo cual resulta en una penetración muy lenta en el suelo. Una onda de cambio de temperatura iniciada en la superficie del suelo generalmente viaja a 2 - 3 cm/hr.

La energía se pierde desde el suelo en la forma de radiación de onda larga, a través de conducción, convección y evaporación del agua, siendo esta última forma importante en los suelos húmedos (Katan 1981).

La radiación global, compuesta por radiación de onda corta (0.2 - 0.4 μm) y larga (4 - 80 μm), es la principal fuente de energía para el calentamiento de los suelos. La mayoría de esta energía es transmitida al suelo; la otra parte es absorbida por la cubierta de polietileno o reflejada a la atmósfera. El calentamiento solar incluye a parte de la radiación solar, factores como la temperatura y humedad del

aire, velocidad del viento y las características del suelo (Katan, 1981).

c. Humedad del suelo. Debido a que esta técnica es un proceso hidrotérmico, su éxito o fracaso depende de la humedad del suelo. La transferencia máxima del calor del suelo a los microorganismos está condicionada por la humedad. Es más, la actividad de las células de las semillas de las malezas y de los microorganismos aumenta con la humedad del suelo, lo cual los hace más vulnerables a los efectos letales de las altas temperaturas del suelo. La solarización se realiza mejor cuando la humedad del suelo llega por lo menos al 70% de la Capacidad de Campo (De Vay, 1991a y 1991c).

La irrigación antes o durante la solarización aumenta la sensibilidad termal de la microflora y fauna del suelo, y también la transferencia o conducción de calor en el suelo. En suelos saturados los resultados son óptimos para la solarización (Stapleton y De Vay, 1986; Pullman et al., 1989).

Pullman et al. (1989), sostiene que el riego posterior bajo plástico, generalmente controla los patógenos levemente más rápido que cuando el riego se da antes de instalar el plástico.

Naot (1984), citado por Katan (1987), sostiene que las irrigaciones durante la solarización no son generalmente necesarias, excepto para suelos de textura liviana, ya que pueden disminuir la temperatura del suelo, a menos que se realice durante la noche.

d. Características y tipo de plásticos. Las láminas plásticas empleadas en la solarización están fabricadas de materiales macromoleculares sintéticos, específicamente de la adición de polímeros de etileno con aditivos químicos a altas presiones, recibiendo el nombre de polietileno, que en este caso son de baja densidad, presentan buenas propiedades físicas, y disminuyen el costo de aplicación al emplearse menos lámina en peso (kg).

Entre las propiedades físicas más relevantes de los plásticos se pueden mencionar: (Brown et al., 1991)

- Durabilidad y resistencia.
- Impermeabilidad a volátiles y líquidos.
- Transparencia a la luz.
- Efecto invernadero.
- Aumento de las temperaturas del suelo.

La función de la lámina de plástico es reducir las pérdidas de calor del suelo, causada por evaporación del agua y convección del calor (Stapleton y De Vay, 1986; De Vay, 1991a y 1991c).

El polietileno transparente es empleado generalmente, debido principalmente a su bajo costo, alta resistencia a la tensión y permite una mayor transmisión de la radiación solar de 0.4 a 36 um (Waggoner et al., 1960, citado por Stapleton y De Vay, 1986). Su costo está directamente relacionado con su espesor, se recomienda utilizar láminas transparentes de 25 a 50 um de espesor, debido a que son más efectivas en el calentamiento del suelo y más baratas (De Vay, 1991b). Sin embargo, resulta más fácil de romper o perforar, y menos resistente al viento fuerte, en comparación con polietileno más grueso (Pullman et al., 1989). Además, transmite en menor cantidad la radiación terrestre, reduciendo la pérdida de calor desde el suelo (De Vay, 1991c). En comparación con el polietileno negro es más efectivo, ya que los plásticos negros contienen carbón, que absorben la radiación solar, reduciendo el calentamiento del suelo en varios grados (De Vay, 1991b).

Al cubrir el suelo con polietileno transparente se provoca un efecto invernadero, que es estimulado con la formación de gotas de agua en la superficie interna de la lámina plástica, lo cual contribuye a reducir la transmisión de la radiación de onda larga hacia la atmósfera, mejorando el calentamiento del suelo (Katan, 1981). Las láminas plásticas deben ser fijadas al suelo enterrando sus bordes, para evitar pérdidas de calor (Pullman et al., 1989).

e. Temperatura del suelo. En general, los patógenos del suelo son organismos mesófilos, por lo tanto, alcanzando temperaturas de 37°C o más se produce un efecto letal en éstos (De Vay, 1991b). Por lo tanto, el éxito de este método está directamente relacionado con las temperaturas que se alcancen en el suelo; siendo la temperatura la principal variable a considerar (De Vay, 1991a).

Para la muerte termal de los organismos patógenos, existe una relación inversa entre la temperatura alcanzada y el tiempo de exposición (Pullman et al., 1981b). De aquí que la duración de la solarización de suelo dependerá de las condiciones climáticas de la época en que se realice, recomendándose como época ideal los meses de verano, debido a que es cuando hay una mayor intensidad luminosa y los días son más largos (De Vay, 1991a).

El aumento de la temperatura del suelo depende de varios factores, tales como, el contenido de humedad del suelo, grosor del plástico, transmisión del plástico a la radiación solar y terrestre, el color y preparación del suelo (De Vay, 1991c). A través de la solarización, se consiguen aumentos de temperatura de aproximadamente 10°C en la capa arable del suelo (Katan, 1981).

2.3 Mecanismos de control de enfermedad.

La reducción de la incidencia de las enfermedades en suelos solarizados o con otro tipo de tratamiento, es el resultado de la interacción de 3 componentes: "huesped" (su resistencia al patógeno y la capacidad de aumentar el rendimiento), "patógeno" (densidad de inóculo, inóculo potencial y su virulencia) y "micro-organismos del suelo" (su densidad poblacional y las actividades hacia los patógenos y las plantas), como también el ambiente físico y químico en el cual se desarrolla el proceso (Katan, 1981, 1987). La densidad de inóculo sirve como herramienta para analizar la eficacia del calor solar en el control de enfermedades y de los patógenos (Katan, 1987).

A continuación se analizarán los modos de acción de la solarización de suelo, en el control de patógenos.

2.3.1 Control físico. El calor, a temperaturas que exceden las óptimas para el crecimiento, tiene un efecto inhibitorio o letal sobre los organismos. La exposición de los patógenos a elevadas temperaturas es un importante pero no exclusivo mecanismo de control de patógenos de la solarización (Katan, 1987).

El efecto hidrotermal de la solarización es, probablemente, el más importante de la desinfestación del suelo (Stapleton, 1991), ya que siempre que los organismos patógenos se exponen al calor húmedo, a temperaturas que exceden el máximo para el crecimiento, su viabilidad se reduce (Katan, 1981).

La dosis letal de solarización es función de la cantidad de temperatura y tiempo de exposición, variables que están inversamente relacionadas (Katan, 1981; Stapleton, 1991). Temperaturas de 35 a 60 °C, por largos períodos de tiempo, 4 a 8 semanas, a diferentes profundidades del suelo, en numerosos estudios han logrado erradicar o reducir las poblaciones de patógenos (Katan, 1987; Stapleton, 1991; Stapleton y De Vay, 1986). Las grandes relaciones de estas poblaciones durante la solarización y la larga duración del efecto, ocurre cerca de la superficie del suelo. En esta área, la temperatura del suelo es mayor, pero también es más susceptible a las fluctuaciones de temperatura del

día. En cambio, en capas del suelo más profundas la temperatura es más baja, pero constante (Stapleton y De Vay, 1986).

Cuando un suelo infestado con hongos patógenos es solarizado, pueden ocurrir 3 procesos simultáneamente:

- a. La viabilidad del propágulo es reducida.
 - b. La vulnerabilidad del propágulo a potenciales antagonistas aumenta.
 - c. La actividad del antagonista es afectada.
- (Katan, 1987).

Raghavendra (1979) citado por Katan (1981), establece que las poblaciones de hongos patógenos del suelo se reducen fuertemente a temperaturas entre 40 - 50°C, durante un período de tiempo que fluctúa desde minutos hasta horas para las temperaturas altas, y días para las bajas, dependiendo del patógeno y propágulo específico.

A continuación se mencionan algunas experiencias en el uso de la solarización con diferentes resultados.

Kassaby (1985), en un vivero forestal en Australia, cubriendo con polietileno transparente de 50 um alcanzó una

temperatura media máxima 48.5°C (en un rango de 44.5°C a 55.0°C) durante 3 horas a los 5 cm de profundidad, con un aumento sobre el testigo de 8°C y 5°C en la temperatura media máxima y mínima, respectivamente. Con esta temperatura disminuyó significativamente el inóculo de **Phytophthora cinnamomi**, **Fusarium oxysporum** y **Pythium sp.**, aumentando posteriormente el número final de plantas de **Pinus radiata**.

Cooley (1984), en un vivero forestal en Oregon (U.S.A.), alcanzó temperaturas de 53°C, 35°C y 29°C a los 5, 15 y 30 cm de profundidad, respectivamente, logrando un aumento sobre el testigo de 10°C en las 3 profundidades, reduciendo las poblaciones de **Fusarium sp.**

En cultivos de algodón de California, se controló **Rhizoctonia solani**, hasta una profundidad de 30 cm, con tratamientos de solarización durante 4 semanas con polietileno de 25 um (Pullman, 1979 citado por Mihail y Alcorn, 1984).

McCain et al.(1982) no eliminó la población de **Macrophomina phaseolina**, en un suelo forestal, luego de haber obtenido temperaturas de 63°C, 58.8°C, 56.2°C, 39.6°C, 37°C y 36.4°C, a los 0, 2.5, 10, 20, 30 y 40 cm de profundidad, respectivamente. En cambio, **Fusarium oxysporum** fué eliminado

hasta los 10 cm, reducido a los 20 cm y sobrevivió a los 30 y 40 cm.

En experiencias realizadas por Mihail y Alcorn (1984), en Arizona, comprobaron que el control de **Macrophomina phaseolina** fué efectivo sólo en poblaciones altas (artificialmente infestadas), no así en bajas poblaciones naturales.

Dubey (1992), en la India, logró eliminar un considerable número de propágulos de **Macrophomina phaseolina** a 5 cm de profundidad, en un suelo infestado artificialmente, luego de solarizar durante 45 días, obteniendo una temperatura promedio de 55°C. Stapleton y Garza (1988), en México, redujeron la población de este mismo patógeno en un 92 - 100%, luego de alcanzar 49°C a una profundidad de 23 cm.

2.3.2 Control biológico. En adición al efecto físico que produce la solarización, está el efecto biológico, el cual es útil cuando el calentamiento del suelo no es suficiente para el control de la enfermedad, lo cual puede ocurrir en los estratos inferiores del suelo o en estaciones marginales (Katan, 1981). Además, el tratamiento de solarización causa un vacío biológico parcial en el suelo, siendo el sustrato suelo recolonizado por los microorganismos más

competitivos (Stapleton, 1991).

Katan et al.(1976), explica 3 mecanismos mediante los cuales, el control biológico puede actuar:

1. Fungistasis, mantención de los propágulos de los hongos en un estado de reposo vegetativo, parcialmente anulados entre 45 a 50°C; además, un propágulo recién germinado queda expuesto a la acción de microorganismos líticos.
2. Las temperaturas subletales pueden debilitar las estructuras de resistencia, tornándolas vulnerables a microorganismos antagónicos.
3. Cambio de la población microbiana del suelo, en favor de saprófitos termoresistentes, reduciendo la población de patógenos, que en general son más sensibles al calor, y previniendo una reinfestación de suelo por patógenos.

Elad et al.(1980), afirma que la solarización de suelo presenta un efecto benéfico, al permitir el aumento de microorganismos antagonistas, ya que en experiencias realizadas observó que la población del antagonista *Trichoderma sp.* aumentó, y la concentración del inóculo de *Rhizoctonia solani* disminuyó en suelos solarizados; resultados que coinciden con los obtenidos por Hildebrand (1985), quien comprobó que poblaciones de *Aspergillus*

fumigatus, especie termotolerante, y algunas bacterias consideradas antagónicas, aumentaron después del calentamiento solar. El aumento de las poblaciones antagonistas es una consecuencia benéfica en el suelo solarizado, al ser una protección contra una reinfestación de los patógenos (Katan et al., 1976).

A pesar de que no se ha estudiado completamente el efecto de la solarización de suelo sobre las micorrizas, hongos benéficos en los cultivos forestales, Pullman et al. (1981), comprobó que las raíces de los cultivos anuales y perennes fueron colonizados por micorrizas vesículo arbuscular luego de la solarización.

El efecto de la solarización en el control de patógenos de suelo ha sido comprobado por numerosos autores, lo cual se puede apreciar en el siguiente cuadro: (Stapleton y De Vay, 1986)

HONGOS CONTROLADOS**HONGOS PARCIALMENTE O NO CONTROLADOS**

Phytophthora cinnamomi
 Plasmodiophora brassicae
 Pythium ultimum
 Pythium sp.
 Pyrenochaeta lycopersici
 Pyrenochaeta terrestris
 Didymella lycopersici
 Verticillium dahliae
 Verticillium albo-atrum
 Fusarium oxysporum f.sp.vasinfecum
 Fusarium oxysporum f.sp.lycopersici
 Fusarium sp.
 Thielaviopsis basicola
 Sclerotium oryzae
 Sclerotium rolfsii
 Sclerotium cepivorum
 Rhizoctonia solani
 Sclerotium minor
 Bipolaris sorokiniana

Fusarium oxysporum f.sp.pini
 Macrophomina phaseolina
 Plasmodiophora brassicae

2.3.3 Control químico. Katan (1981) y Stapleton (1991), sostienen que es posible, aunque no han sido probados, que ciertos volátiles, acumulados en altas cantidades y calentados bajo la cubierta de plástico, juegan un rol importante en el control de los patógenos. Si es así, entonces el calentamiento solar se podría mejorar agregando materia orgánica apropiada al suelo cubierto, o usando cubiertas que sean menos permeables a los volátiles (Horiuchi, 1991).

Los volátiles que se acumulan bajo la cubierta plástica

corresponden a CO₂, etileno, entre otras sustancias (Katan, 1987).

2.3.4 Control integrado. Actualmente existe una tendencia hacia la integración de varios métodos en el control de enfermedades, esperándose grandes y duraderos beneficios en el tiempo, como una dosis reducida (o corto período de solarización) sin disminuir su eficiencia, y la posibilidad de ser usado en regiones frías (Katan, 1987).

La combinación de pesticidas, agentes biocontroladores o prácticas culturales con solarización de suelo, pueden mejorar el control de las enfermedades en climas marginales (Garibaldi y Gullino, 1991).

Elad et al. (1980), a través del control integrado (métodos físicos, biológicos y químicos) controlaron algunos patógenos en cultivos de papas. Los resultados mostraron que la combinación de solarización y *Trichoderma harzianum* mejoraron la eficiencia en el control de *Sclerotium rolfsii* y *Rhizoctonia solani*. Esta combinación controló entre 90 - 100% *Sclerotium rolfsii* en habas. En cambio, Vapam, Bromuro de Metilo o solarización, aplicados solos, eliminaron entre 76 a 100% los esclerocios de *Sclerotium rolfsii*. Similares resultados obtuvo Chet et al. (1982), citado por Garibaldi

y Gullino (1991), quienes combinando *Trichoderma harzianum* con solarización mejoraron el control de la enfermedad causada por *Rhizoctonia solani* y *Verticillium dahliae* comparado contra el uso de ambos en forma independiente, además lograron retardar la recolonización de los patógenos.

En otras experiencias, Ben-Yephet et al. (1988), citado por Garibaldi y Gullino (1991), controlaron *Verticillium dahliae* y *Fusarium oxysporum*, en algodón, con la combinación de solarización y Metham-Sodium, en mayor proporción que ambos métodos por separado. Resultados que coinciden con los obtenidos en Grecia por Tjamos y Paplomatas (1988), citado por Garibaldi y Gullino (1991), quienes controlaron *Verticillium dahliae* en alcachofas, con la combinación de dosis reducida de Bromuro de Metilo (34 g/m^2) con solarización, durante 3 años.

2.4 Control de malezas.

El control de malezas, es uno de los resultados más visibles de la solarización, en un amplio espectro de éstas. Sin embargo, éste no es el objetivo principal, pero su uso puede disminuir el costo de aplicar herbicidas (Stapleton y De Vay, 1986).

Katan (1981), sostiene que la solarización es un efectivo control de malezas, que en algunos casos llega a durar un año o más.

Elmore (1991a) y Elmore et al (1993), encontró que las malezas anuales de invierno que germinaron durante días cortos y temperaturas frías, fueron efectivamente controladas, debido a que son muy sensibles a pequeños incrementos de temperatura. En cambio, las malezas que germinaron en días largos, durante períodos cálidos del año (verano) no fueron tan sensibles. Por otro lado, las malezas perennes son más difíciles de controlar debido a que sus estructuras vegetativas se encuentran bajo el suelo, como rizomas, tubérculos o bulbos, permitiéndoles sobrevivir a los controles no químicos, incluyendo cortas, araduras y segadoras de pasto.

Los posibles mecanismos de control de malezas son:

- a. Muerte directa de semillas de malezas por el calor.
- b. Muerte microbiana indirecta de semillas debilitadas por el calentamiento sub-letal.
- c. Muerte de semillas estimulada por germinación en suelo húmedo cubierto.

- d. Muerte de semillas en germinación, cuya latencia es interrumpida en el suelo calentado.
 - e. Los volátiles, además, juegan un rol en el control de malezas.
- (Katan, 1981).

Además, en la susceptibilidad de las malezas influye el tipo de suelo, temperatura y contenido de humedad; tamaño y profundidad de las semillas y propágulos vegetativos en el suelo durante el tratamiento (Stapleton y De Vay, 1986).

En Australia, Kassaby (1985), logró controlar numerosas malezas, entre las que se encontraban 6 especies anuales, 2 especies bianuales y 1 perenne. Similares resultados obtuvo Cooley (1984), en Oregon (U.S.A.), quien redujo el número de malezas por tratamiento con respecto al control.

Elmore et al (1993), en California, logró eliminar los rizomas de *Digitaria sanguinalis* y *Sorghum halepense*, al solarizar durante el verano con polietileno de 50um. Sin embargo, luego de la solarización se produjo una recolonización por estas especies a través de rizomas que no quedaron bajo la cubierta de polietileno, pero fué mínima respecto al control. En cambio sólo logró reducir *Convolvulus arvensis*, produciéndose una recolonización en las parcelas

tratadas con polietileno de 50 um pero significativamente menor que en el control.

Abu-Irmaileh (1991), en el Valle de Jordán, luego de solarizar durante 6 semanas con polietileno de 60 um logró controlar completamente numerosas malezas anuales y *Orobanche aegyptiaca*, en cambio *Convolvulus arvensis* y *Senecio vernalis* entre otras, fueron solamente reducidas sus poblaciones.

El efecto de la solarización en el control de malezas también ha sido comprobado por numerosos autores, lo cual se puede apreciar en el siguiente cuadro: (Stapleton y De Vay , 1986).

MALEZAS CONTROLADAS

Poa annua
Echinochloa crus-galli
Oxalis pes-caprae
Cynodon dactylon
Solanum nigrum
Orobanche sp.
Malva parviflora
Stellaria media
Xanthium pensylvanicum
Senecio vulgaris
Portulaca oleracea
Amsinckia douglasiana
Solanum sarachoides
Lamium amplexicaule
Trianthema portulacastrum
Datura stramonium
Sorghum holapense
Chenopodium album

MALEZAS PARCIALMENTE O NO CONTROLADAS

Malva niceaensis
Convolvulus arvensis
Conyza canadensis
Eragrostis sp.
Cyperus rotundus
Melilotus alba
Cyperus esculentum

Digitaria sanguinalis
Montia perfoliata
Tromoea sp.
Chenopodium murale
Amaranthus sp.
Lactuca serriola
Sida spinosa
Calandrina ciliata
Amaranthus retroflexus
Anagallis sp.
Anoda cristata
Arbutilon theophrasti
Avena fatua
Oxalis stricta

2.5 Aumento del crecimiento y rendimiento de las plantas.

Las plantas que crecen en suelos solarizados, frecuentemente se desarrollan más rápido y tienen mejores rendimientos en cuanto a cantidad y calidad, comparadas con las que crecen en suelo no tratado (Katan, 1981; Pullman et al., 1989). Este fenómeno es conocido y ha sido registrado en numerosas experiencias, hace varias décadas (Katan, 1980).

Algunos mecanismos son considerados responsables de tales aumentos de crecimiento, entre los cuales están:

- a. Incremento de micro y macroelementos disponibles para la planta en el suelo.
- b. Eliminación de patógenos y parásitos menores.
- c. Destrucción de sustancias fitotóxicas en el suelo.

- d. Liberación de sustancias parecidas a las reguladoras del crecimiento.
- e. Estimulación de micorrizas u otros organismos benéficos. (Katan, 1981; Stapleton y De Vay, 1986).

En California (U.S.A.), Stapleton et al. (1985), comprobaron el aumento de nutrientes, en 4 suelos distintos, luego de solarizarlos. Un aumento de nitratos equivalente a 12-50 kg/ha, de nitrógeno amoniacal equivalente a 0-127 kg/ha y nitrato más amonio equivalente a 26-177 kg/ha. El incremento de P, Ca y Mg fué de 2-12, 1-2 y 2-7 kg/ha, respectivamente. Además, comprobaron que los suelos abundantes en materia orgánica liberan mayor cantidad de nitrógeno. Con estos incrementos, registraron un mayor peso seco y fresco de plantas de rábanos, pimientos y repollos, con respecto a un control.

Los resultados anteriores coinciden con los obtenidos por Chen y Katan (1980) en Israel, quienes comprobaron un aumento en la concentración de NO_3 , NH_4 , K, Ca, Mg y Cl, luego de la solarización.

Stapleton y De Vay (1984), lograron aumentar en un 61% el peso fresco de plantas de fresas, luego de solarizar el suelo, comparado con un tratamiento control. Similares

resultados logró Grinstein (1979), citado por Katan (1980), al solarizar suelos infestados con *Verticillium dahliae* y *Pythium thornei*, aumentó los rendimientos de papas en un 35%. Paralelamente, verificó que la solarización mejoró la calidad y rendimiento del maní.

Gil et al. (1990), en Zaragoza (España), lograron controlar *Verticillium dahliae*, a través de la solarización de una parcela altamente infestada, obteniendo como resultado, aumentar la producción total y el peso unitario del fruto de pimiento, con respecto a las parcelas no solarizadas. De igual forma, Melero et al. (1989), en Andalucía (España), luego de solarizar el suelo, comprobaron que la incidencia de *Rhizoctonia solani* fué prácticamente nula, aumentando el número de plantas de algodón en un 100%, comparado con un aumento del 21% en las parcelas testigos. Además, luego de solarizar suelo infestado artificialmente con esclerocios de *Sclerotium cepivorum*, que producen la pudrición blanca del ajo, comprobaron que la incidencia final de plantas muertas por el patógeno fué, en promedio, 7.2% en las parcelas solarizadas y 27.5% en las testigos. En promedio, el rendimiento final en las parcelas solarizadas fué de 18.1 kg y 4.2 kg en las parcelas testigos.

2.6 Ventajas y limitaciones de la solarización.

2.6.1 Ventajas. Frente a otros métodos físicos o químicos de erradicación, la solarización presenta la ventaja de ser menos drástica, evitando el vacío biológico del suelo con el riesgo a recolonizaciones por patógenos que ello conlleva (Greenberger et al., 1987). Además, mejora en muchos casos algunas características físicas o químicas del suelo (movilización de nutrientes, reducción de la salinidad), y evita efectos residuales tóxicos, lo que se traduce en manifestaciones de incrementos significativos del crecimiento del cultivo que sigue a la solarización, incluso en los suelos no infestados (Melero et al., 1989).

Katan (1981), sostiene que la solarización de suelo es un método no químico, no es dañino para el usuario, y no involucra sustancias tóxicas para el consumidor, ni para la planta huésped u otros microorganismos. Además, es más barato que otros métodos, fácil de enseñar a los agricultores con menos educación, puede ser aplicado con máquinas en grandes áreas o manualmente en pequeñas parcelas.

Según De Vay (1991a), la solarización no solo funciona, sino que también lo hace mejor que los productos químicos tóxicos. Coincidiendo con Katan (1976), quien considera que la

solarización es superior a la fumigación por ser más barata, segura, no incluye fitotoxicidad ni residuos de pesticidas y no requiere de máquinas sofisticadas.

Bandara (1990), en Sri Lanka, comprobó que la solarización fué más efectiva que los tratamientos con Bromuro de Metilo, siendo comparable a tratamientos con Basamid y Benlate en la reducción de *Fusarium oxysporum* y *Fusarium moniliforme* en *Leucaena leucocephala*, demostrando además, que la solarización fué más barata que el uso de productos químicos (Bandara, 1990).

En relación al control de malezas, Katan (1987) sostiene que la solarización tiene ciertas ventajas sobre los herbicidas:

- a. No tiene un efecto residual.
- b. Ciertas malezas son muertas hasta en capas profundas.
- c. Hay un efecto en el largo plazo, solamente logrado con la aplicación persistente de herbicidas.

El efecto de la solarización en el largo plazo, también ocurre en el control de la enfermedad y aumento del rendimiento, que en algunos casos se ha mantenido por 2 a 3 años, lo cual no ocurre con otros métodos de desinfestación.

2.6.2 Limitaciones. Una de las principales limitaciones de la solarización, es que sólo puede ser utilizada en regiones donde el clima es apto, y donde el terreno esté libre de siembras, al menos por un mes, para poder cubrirlo con láminas de polietileno transparentes (Katan, 1981; Anónimo, 1987).

De Vay (1991), sostiene que la lámina plástica utilizada puede ser un desperdicio sólido, contaminador del ambiente, pero menos que los pesticidas empleados hasta ahora.

Melero et al. (1989), afirma que otra limitación son los suelos pedregosos, el daño causado por animales y los vientos intensos.

A pesar de ser un método utilizado corrientemente para ciertos cultivos comerciales, es caro para otros, por lo que su uso puede restringirse (Katan, 1980).

Baker (1970) citado por Katan (1981), sostiene que es posible que se desarrollen patógenos tolerantes al calor, después de repetidas aplicaciones.

En resumen, todas las ventajas de la solarización no se pueden dar en todos los casos éstas pueden ser contrarestadas

por las desventajas. Por lo tanto, el uso de la solarización debería ser evaluado en cada caso, al igual que con cualquier otro método (Katan, 1981).

2.7 Análisis Económico.

La ganancia económica del control de la enfermedad, depende del beneficio adicional obtenido y del costo de la aplicación, así el aumento de la efectividad del control de una peste, aumentará su conveniencia económica (Katan, 1981).

Sin embargo, aunque el aumento del rendimiento se cuadruplique en un determinado cultivo, si éste no tiene un buen precio de mercado, el costo del tratamiento de solarización puede ser excesivamente caro. Por otro lado, si el beneficio del control de pestes o enfermedades, y el aumento del rendimiento se prolonga por 2 o más años, el costo del tratamiento puede compensarse (Stapleton y De Vay, 1986).

Elmore (1991b), sostiene que los costos de aplicar el tratamiento de solarización son los siguientes:

- a. Costo del polietileno.
- b. Costo de instalación.
- c. Preparación del terreno e irrigación.

- d. Dejar el terreno libre de producción por un período de tiempo.
- e. Contaminación ambiental, si el polietileno no puede ser reciclado.

Para cubrir el suelo se necesitan alrededor de 250-400 kg/ha de polietileno, dependiendo de su grosor (25-40 μm) y del modo de aplicación (Katan, 1981).

Pullman et al. (1984), citado por Stapleton y De Vay (1986), en el año 1983, estimó el costo por acre de la solarización de presiembra, el cual era de US\$200-250/acre al colocar el plástico en hileras, y de US\$350/acre al cubrir toda la superficie.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Antecedentes generales.

3.1.1 Ubicación del área de estudio. El estudio , se llevó a cabo en el Vivero Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, ubicado a 2 Km de la ciudad de Chillán, por camino Chillán- Coihueco, provincia de Ñuble, VIII Región (36°34' Latitud Sur y 72° 06' Longitud Oeste).

3.1.2 Características edafoclimáticas.

a. Características climáticas.¹ El lugar donde se realizó la experiencia, presenta un clima de transición entre templado húmedo y mediterráneo, con una precipitación media anual de 1041.6 mm; presentando períodos secos de 3 a 4 meses, con una temperatura media anual de 13.6°C y con máximos en Diciembre y Enero, y mínimo en Julio.

¹ Fuente: Estación Agrometereológica, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Concepción, Chillán, 1993.

La temperatura del mes de Julio es de 8.1°C y la del mes de Enero de 19.6°C. Los antecedentes climáticos, correspondientes a la temporada en que se realizó el estudio, se presentan en tabla 1B.

b. Características edáficas. El suelo en el cual se estableció el ensayo, presenta una textura arcillosa poco densa correspondiente a la serie Tres Hijuelas. La geomorfología corresponde a un plano aluvial. El material generador corresponde a depósitos cuaternarios fluvioglaciales de material tobífero. Son suelos de topografía plana, moderadamente profundos, de drenaje moderado, pendiente de 1-3.0 %, con erosión ligera y de una permeabilidad moderadamente lenta (Cruzat, 1978 citado Sanchez, 1987).

Según clasificación de suelos dada por el Sistema Internacional de la ciencia del suelo, los primeros 30 cm corresponden a suelos de textura arcillosa poco densa, con un 47.3% de arena, 24.4% de limo y 28.3% de arcilla (Graf, 1990).

Algunas de las propiedades físicas más relevantes de la serie de suelos Tres Hijuelas son una Densidad Aparente de 1.11 g/cc, una Compactación de 48.34 lb/pulg², una Capacidad de Campo de 33.48%, un Punto de Marchitez Permanente de 20.77% y una Humedad Aprovechable de 12.71%. (Graf, 1990).

3.2 Descripción del ensayo.

3.2.1 Descripción de las parcelas.

- Las parcelas de 4 * 1.2m, se establecieron sobre platabandas niveladas y libre de malezas.
- El suelo se regó durante 3 días antes de instalar los plásticos, y al momento de montar el ensayo, se regó hasta punto de saturación.
- El plástico fué cubierto con tierra en los bordes una vez instalado, se tuvo especial cuidado de evitar bolsas de aire y rajaduras.

3.2.2 Tratamientos de solarización.

Se asignaron 4 tratamientos (incluido testigo), los cuales son:

T0 : Sin polietileno.

T1 : Polietileno de 50 um de espesor.

T2 : Polietileno de 100 um de espesor.

T3 : Polietileno de 150 um de espesor.

3.2.3 Diseño experimental.

- En este experimento se empleó un Diseño de Bloques Completamente Aleatorio, con 4 repeticiones.
- La asignación del plástico a las parcelas se realizó en forma aleatoria, al igual que la asignación de la especie a sembrar *Pinus radiata* o *Eucalyptus globulus*.
- La identificación de las diferencias significativas entre las medias se realizó a través del test de Tukey para comparaciones múltiples.
- En figura 1A se presenta la distribución de los tratamientos y de las especies.

3.2.4 Mediciones de temperatura y humedad.

- Se registró temperatura y humedad por un período de 6 semanas a 4 profundidades 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm , éstas se midieron a las 9, 12, 15 y 18 hrs , a través de un tester de suelo (SOILTEST modelo MC-302), además con el apoyo de termómetros para las temperaturas de 2.5 y 7.5cm .
- Las mediciones se efectuaron en una parcela (repetición) por cada tratamiento, confeccionando un registro de temperatura y humedad. La ubicación de los sensores se muestra en la Figura 1A.

3.2.5 Características de la siembra y manejo de las plantas.

a. Siembra.

- Después de 42 días de solarización, se retiraron los plásticos y se sembró cada parcela con semillas de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*, proporcionada por el laboratorio de semillas del Departamento de Ciencias Forestales.

- Se sembraron 200 semillas por metro lineal de platabanda, en 6 hileras separadas a 20 cm.
- Para mantener la humedad y temperatura del suelo durante la germinación y emergencia, se instaló una malla Raschel con 50% de cobertura.

b. Manejo de las plantas.

- Las plantas fueron regadas, y permanecieron en vivero sin manejo de raíces ni tallos. Además, se excluyó el uso de plaguicidas y fertilizantes.

3.2.6 Fecha del ensayo.

- La solarización comenzó el 4 de Noviembre y duró hasta el 15 de Diciembre (6 semanas).
- Posteriormente se sembró, y la toma de datos duró hasta el 29 de Marzo de 1993, fecha de término del ensayo.

3.3 Evaluación del ensayo.

a. Emergencia.

- Se evaluó el porcentaje final de emergencia en cada tratamiento.

b. Mortalidad.

- Después de la emergencia se extrajeron, desde las parcelas diariamente las plantas muertas y se llevaron al laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Concepción para la determinación del (los) agente (s) causal (es).

c. Crecimiento.

- Una vez que finalizó la emergencia, se marcaron 10 plantas por tratamiento (mediante un anillo), para la evaluación del crecimiento en altura, diámetro y biomasa total.

d. Malezas.

- Se realizó una evaluación antes de la siembra, inmediatamente después de retirar los plásticos, y tres evaluaciones posteriores, al mes (18/01/93), al mes y medio (5/02/93), y a los dos meses y medio (01/03/93).

- Las malezas fueron identificadas y secadas a 105° C durante 24 hrs en un horno marca KOTTERMANN modelo 2718, posteriormente pesadas en conjunto en una balanza marca PRECISA modelo 900 C - 300 D con precisión al centígramo, en cada tratamiento.



IV. RESULTADOS

4.1 Efecto sobre las temperaturas del suelo.

La temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima promedio de los 42 días de solarización, en los 4 tratamientos, se registró a las 15 hrs y a los 2.5 cm de profundidad (Tabla 1).

TABLA 1. TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO, REGISTRADA EN T0, T1, T2 Y T3, CON SUS RESPECTIVOS INCREMENTOS.

TRATAMIENTO	HORA	PROFUND. (cm)	TEMP.MAX.PROMEDIO ($^{\circ}\text{C}$)	INCREMENTO ($^{\circ}\text{C}$)
T0	15	2.5	37.61	-
T1	15	2.5	46.52	8.91
T2	15	2.5	46.17	8.56
T3	15	2.5	44.80	7.19

En general, las temperaturas máximas promedio de los 42 días de solarización, en todos los tratamientos, para las profundidades 7.5 cm, 12.5 cm y 17.5 cm se registraron a las 18 hrs (Tabla 2).

TABLA 2. TEMPERATURAS MAXIMAS PROMEDIO, REGISTRADAS EN T0, T1, T2 Y T3, A LOS 7.5, 12.5 Y 17.5 cm, CON SUS RESPECTIVOS INCREMENTOS.

TRATAMIENTO	HORA	PROFUND. (cm)	TEMP. MAX. PROMEDIO (°C)	INCREMENTO (°C)
T0	15	7.5	33.45	-
T1	18	7.5	40.58	8.11
T2	18	7.5	39.20	6.73
T3	18	7.5	37.93	5.46

T0	18	12.5	28.67	-
T1	18	12.5	37.26	8.59
T2	18	12.5	35.47	6.80
T3	18	12.5	34.83	6.16

T0	18	17.5	24.26	-
T1	18	17.5	32.65	8.39
T2	18	17.5	31.10	6.84
T3	18	17.5	30.88	6.62

En el tratamiento T1, polietileno de 50 um, se registraron temperaturas más elevadas que en los tratamientos T2, T3 y T0. Generalmente, para todas las profundidades, las temperaturas registradas en T2 fueron mayores que en T3 y, en T3 mayores que en T0 (Figura 1 y 2).

El tratamiento T1 (50um) acumuló más horas de calor, con temperaturas iguales o superiores a 40, 45, 50 y 55°C, durante los 42 días de solarización, que los demás tratamientos (Tabla 3).

TABLA 3. HORAS DE CALOR, REGISTRADAS DURANTE LOS 42 DIAS DE SOLARIZACION, A DISTINTAS PROFUNDIDADES.

TEMPERATURA (°C)	HORAS EN CADA TRATAMIENTO				PROFUNDIDAD (cm)
	T0	T1	T2	T3	
Mayor o = 40	22	165	156	156	2.5
Mayor o = 45	4	78	66	42	2.5
Mayor o = 50	-	21	20	13	2.5
Mayor o = 55	-	3	4	-	2.5
Mayor o = 40	8	81	66	54	7.5
Mayor o = 45	-	27	3	1	7.5
Mayor o = 40	-	27	13	10	12.5
Mayor o = 40	-	1	-	-	17.5

La temperatura máxima absoluta, registrada en cada tratamiento, durante los 42 días de solarización, se presenta en Tabla 4.

TABLA 4. TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	TEMP.MAXIMA (°C)	INCREMENTO MAXIMO (°C)	HORA	PROFUN. (cm)
T0	46.0	-	15	2.5
T1	55.8	9.8	15	2.5
T2	55.8	9.8	15	2.5
T3	54.0	8.0	15	2.5

Las temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) promedio de T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, y sus respectivos incrementos con respecto a T0, registradas a las 9, 12, 15 y 18 hrs, a los 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm de profundidad, se presentan en las Tablas 1A y 2A.

Las temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) máximas y mínimas absolutas de T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a las 9, 12, 15 y 18 hrs, a los 2.5, 7.5 12.5 y 17.5 cm de profundidad se presentan en la Tabla 3A.



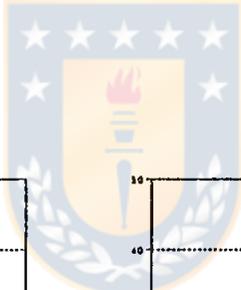
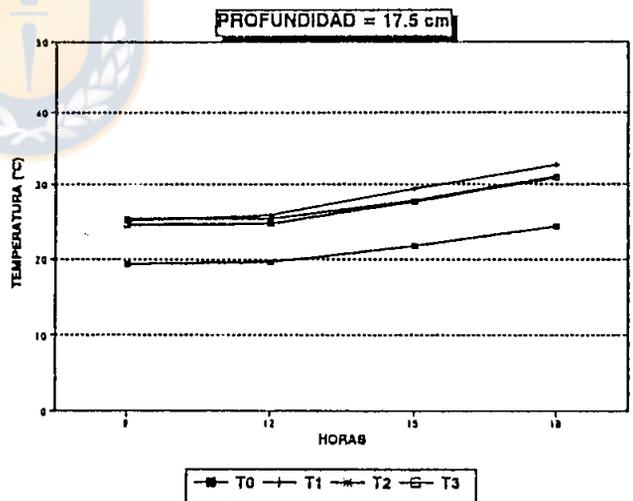
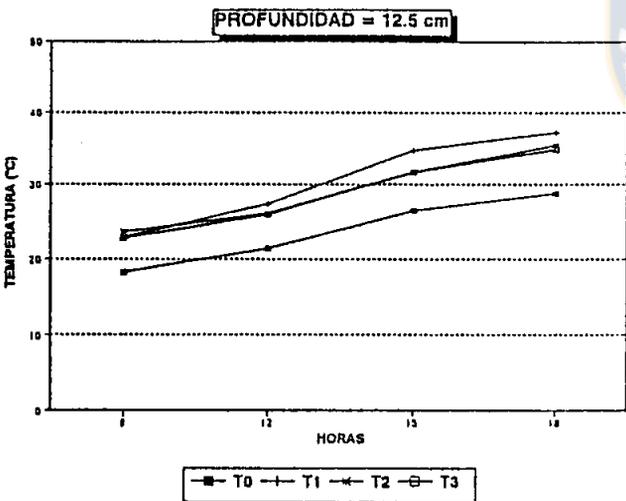
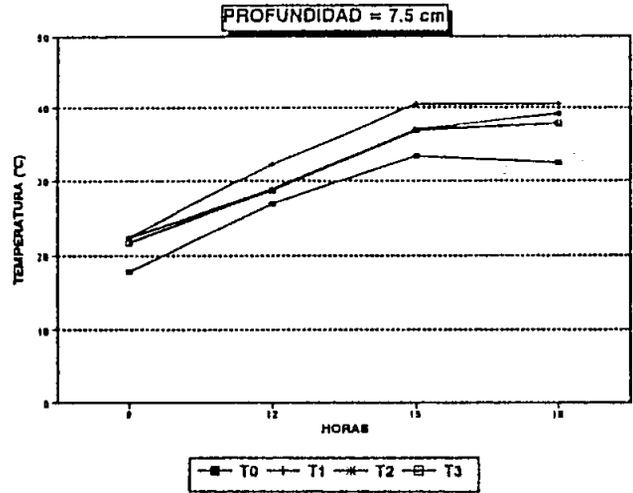
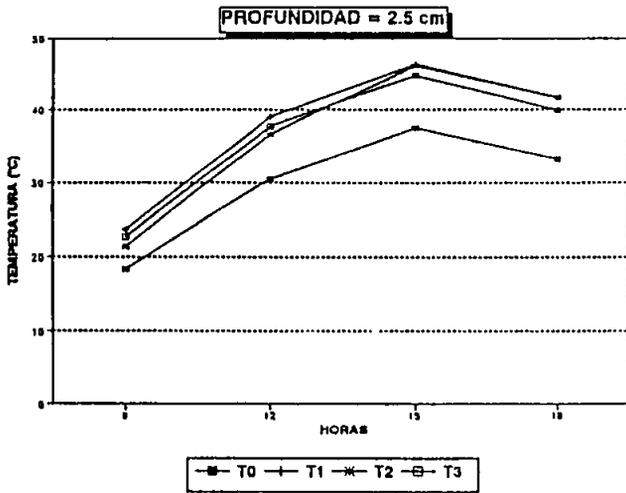
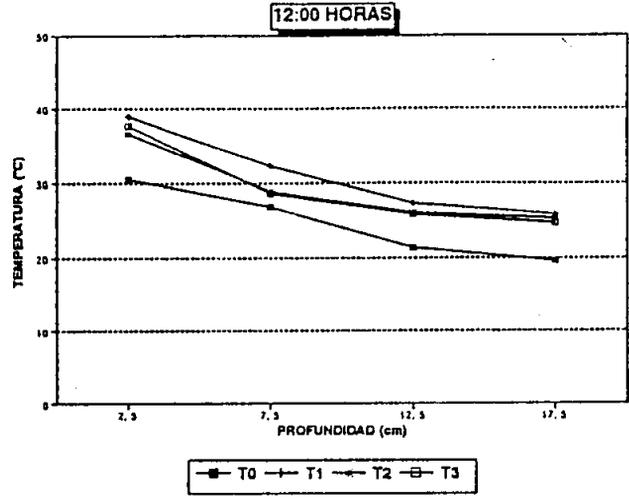
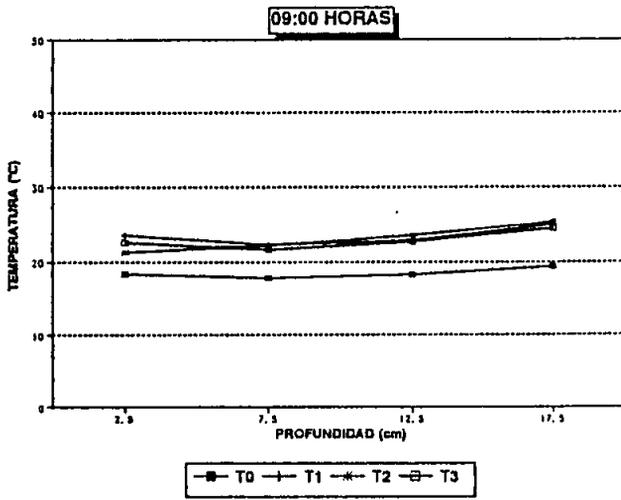
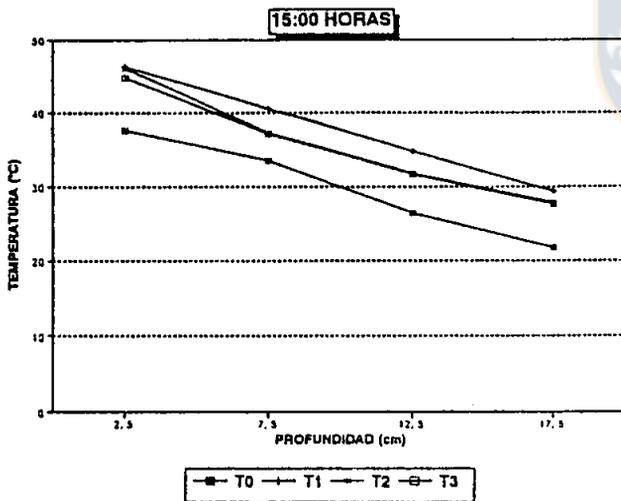


Figura 1.- Temperaturas (°C) promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a las 9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas, a los 2.5 cm (A), 7.5 cm (B), 12.5 cm (C) y 17.5 cm (D) de profundidad.

A



C



D

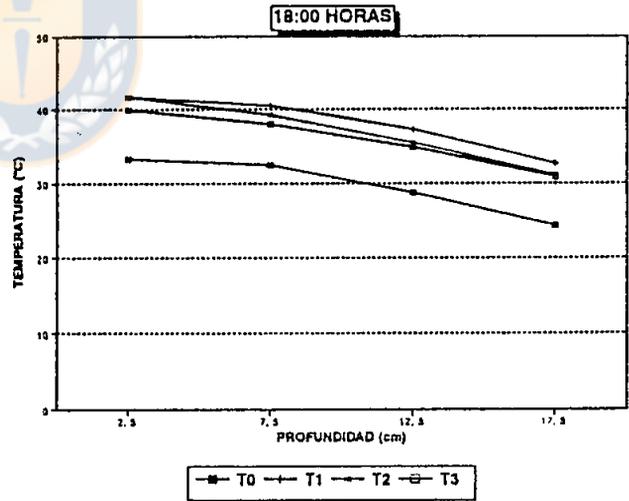


Figura 2.- Temperaturas (°C) promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a los 2.5 cm, 7.5 cm, 12.5 cm y 17.5 cm de profundidad, a las 9:00 horas (A), 12:00 horas (B), 15:00 horas (C) y 18:00 horas (D).

4.2 Efecto sobre la humedad del suelo.

En T0 (control), el contenido de humedad, durante los 42 días de solarización, se mantuvo bajo, cercano al Punto de Marchitez Permanente del suelo (20.77%). En cambio, en T1, T2 y T3 la lámina plástica impidió que se evaporara el agua del suelo, manteniendo el contenido de humedad más cercano a la Capacidad de Campo del suelo (33.48%) (Figura 3 y 4).

En general, el tratamiento T3 (150 μ m), mantuvo el mayor contenido de humedad, en las distintas horas del día y a diferentes profundidades, siendo máxima a los 12.5 cm (Figura 4).

En Tabla 4A, se presenta el porcentaje de humedad promedio, en base peso seco, de los 42 días de solarización, para T0, T1, T2 y T3, registradas a las 9, 12, 15 y 18 hrs, a los 2.5, 7.5, 12.5 y 17.5 cm de profundidad.

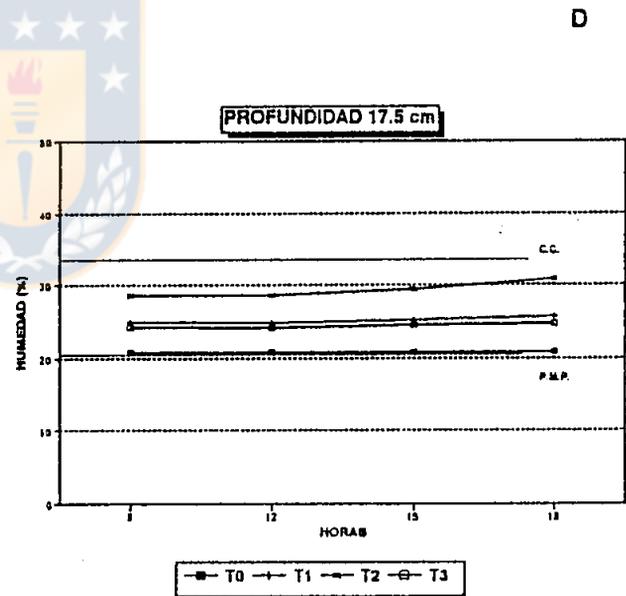
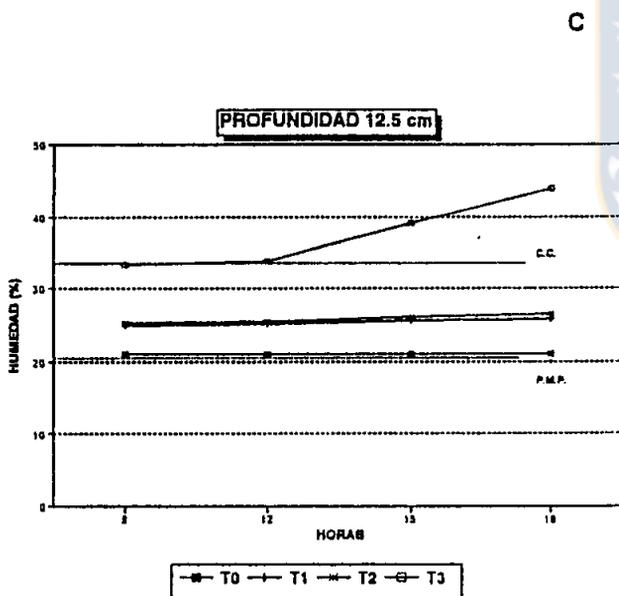
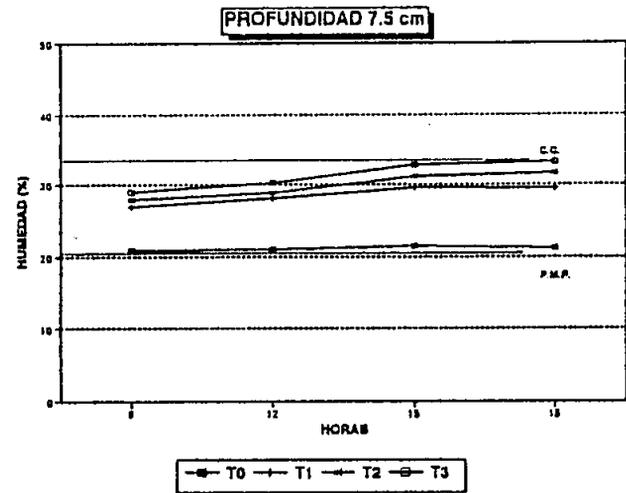
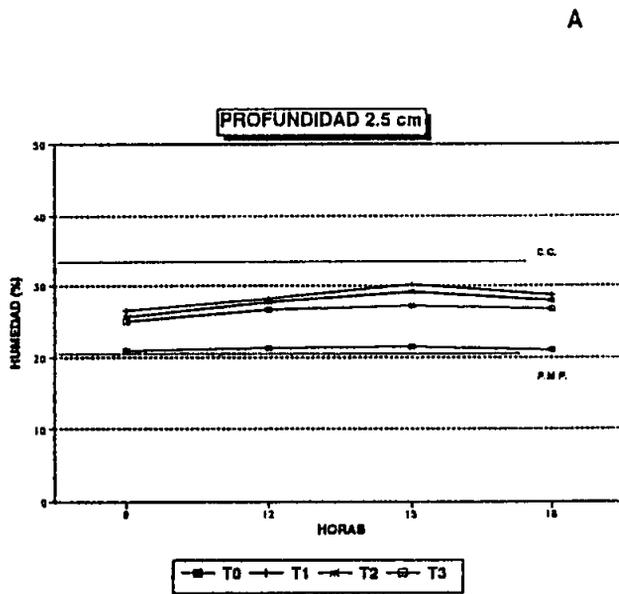


Figura 3.- Porcentaje de humedad promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a las 9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas, a los 2.5 cm (A), 7.5 cm (B), 12.5 cm (C) y 17.5 cm (D) de profundidad.

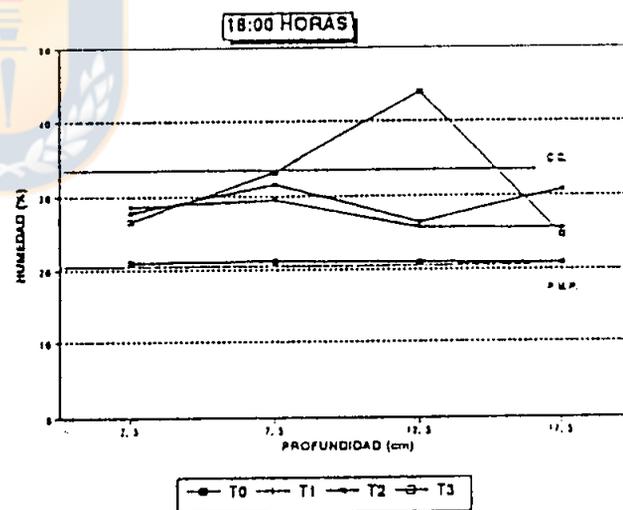
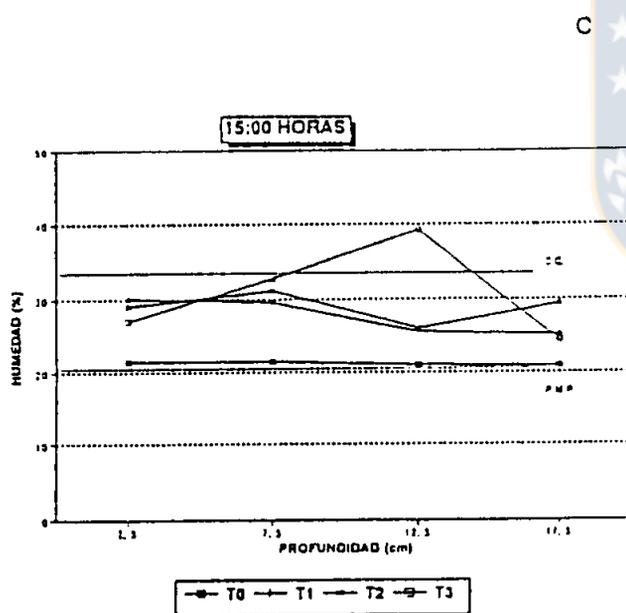
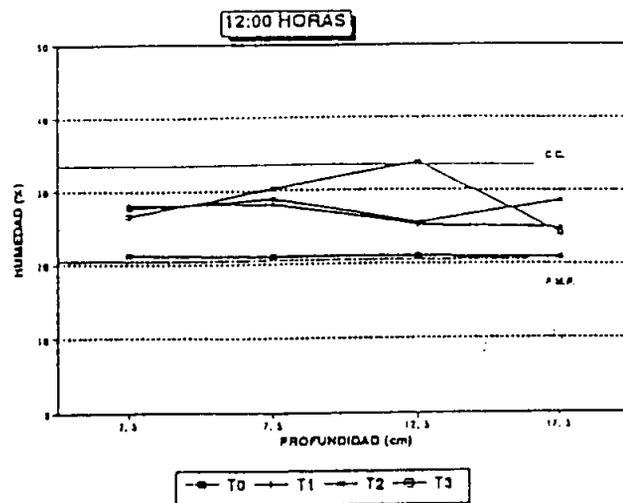
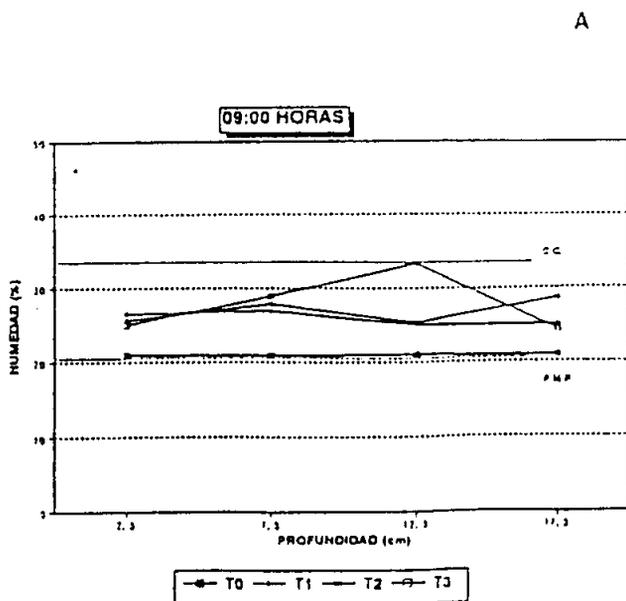


Figura 4.- Porcentaje de humedad promedio de los tratamientos T0, T1, T2 y T3, de los 42 días de solarización, registradas a los 2.5 cm, 7.5 cm, 12.5 cm y 17.5 cm de profundidad, a las 9:00 horas (A), 12:00 horas (B), 15:00 horas (C) y 18:00 horas (D).

4.3 Efecto sobre la emergencia de las plantas.

a. Pinus radiata.

El porcentaje de emergencia de plantas no fué significativamente distinto en T1, T2 y T3 con respecto a T0 (Tabla 5).

TABLA 5. PORCENTAJE DE EMERGENCIA DE PLANTAS DE *Pinus radiata*.

TRATAMIENTOS	EMERG.TOTAL PLANTAS	%PROMEDIO DE EMERG. (*)
T0	996	62.25 a
T1	1053	65.81 a
T2	1079	67.44 a
T3	947	59.19 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

b. Eucalyptus globulus.

El porcentaje de plantas emergidas es significativamente mayor en T1 con respecto a T0, y no difiere de T2 y T3 (Tabla 6).

TABLA 6. PORCENTAJE DE EMERGENCIA DE PLANTAS DE *Eucalyptus globulus*.

TRATAMIENTOS	EMERG.TOTAL PLANTAS	%PROMEDIO DE EMERG. (*)
T0	564	35.25 a
T1	865	54.06 b
T2	767	47.94 ab
T3	717	44.81 ab

(*) Test de Tukey (P=0.05)

4.4 Efecto sobre la mortalidad de las plantas.

La mortalidad de las plantas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, se debió principalmente a la participación de los agentes patógenos *Fusarium* sp. y *Macrophomina phaseolina* (Tabla 5A).

4.4.1 Mortalidad total de las plantas.

a. *Pinus radiata*.

El porcentaje de plantas muertas de *Pinus radiata*, sobre el total de la emergencia de plantas, fué significativamente mayor en el tratamiento T0 respecto a los tratamientos T1, T2 y T3 (Tabla 7).

TABLA 7. MORTALIDAD DE *Pinus radiata*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	MORT.TOTAL PLANTAS	% PROMEDIO DE MORT. (*)
T0	134	13.73 a
T1	56	5.44 b
T2	64	5.69 b
T3	51	5.49 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

b. Eucalyptus globulus.

El porcentaje de plantas muertas de *Eucalyptus globulus*, sobre el total de la emergencia de plantas, fué significativamente mayor en el tratamiento T0, respecto a T1, T2 y T3 (Tabla 8).

TABLA 8. MORTALIDAD DE *Eucalyptus globulus*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	MORT.TOTAL PLANTAS	% PROMEDIO DE MORT. (*)
T0	143	25.47 a
T1	59	6.96 b
T2	63	8.52 b
T3	50	6.99 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

4.4.2 Efecto de Fusarium sp. en la mortalidad de las plantas.

Se consideraron todas las plantas muertas en las cuales estaba presente *Fusarium sp.*, es decir, cuando causó mortalidad solo o acompañado de otros agentes fungosos.

a. Pinus radiata.

El porcentaje de plantas muertas de *Pinus radiata*, a causa de la participación de *Fusarium sp.*, sobre el total de plantas emergidas, es significativamente mayor en T0, respecto a T1, T2 y T3 (ver Tabla 9).

TABLA 9. EFECTO DE *Fusarium sp.* EN LA MORTALIDAD DE *Pinus radiata*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	MORT.TOTAL PLANTAS	% PROMEDIO DE MORT. (*)
T0	88	10.73 a
T1	23	2.29 b
T2	27	2.38 b
T3	15	1.62 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

b. Eucalyptus globulus.

El porcentaje de plantas muertas de *Eucalyptus globulus*, a causa de la participación de *Fusarium sp.*, sobre el total de plantas emergidas, es significativamente mayor en T0, respecto a T1, T2 Y T3 (TABLA 10).

TABLA 10. EFECTO DE *Fusarium sp.* EN LA MORTALIDAD DE *Eucalyptus globulus*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	MORT.TOTAL PLANTAS	% PROMEDIO DE MORT. (*)
T0	53	11.41 a
T1	5	0.56 b
T2	12	1.44 b
T3	8	1.12 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

4.4.3 Efecto de *Macrophomina phaseolina* en la mortalidad de las plantas.

Se consideraron todas las plantas muertas en las cuales estaba presente *Macrophomina phaseolina*, es decir, cuando causó mortalidad solo o acompañado de otros agentes fungosos.

a. Pinus radiata.

El porcentaje de plantas muertas de *Pinus radiata*, a causa de la participación de *Macrophomina phaseolina*, sobre el total de plantas emergidas, no es significativamente distinto en T0, T1, T2 y T3 (Tabla 11).

TABLA 11. EFECTO DE *Macrophomina phaseolina* EN LA MORTALIDAD DE *Pinus radiata*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	MORT.TOTAL PLANTAS	% PROMEDIO DE MORT. (*)
T0	58	6.18 a
T1	33	3.15 a
T2	28	1.36 a
T3	19	1.98 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

b. Eucalyptus globulus.

El porcentaje de plantas muertas de *Eucalyptus globulus*, a causa de la participación de *Macrophomina phaseolina*, sobre el total de plantas emergidas es significativamente mayor en T0, respecto a T1, T2 y T3 (Tabla 12).

TABLA 12. EFECTO DE *Macrophomina phaseolina* EN LA MORTALIDAD DE *Eucalyptus globulus*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	MORT.TOTAL PLANTAS	% PROMEDIO DE MORT. (*)
T0	109	19.20 a
T1	44	5.08 b
T2	52	7.04 b
T3	36	5.05 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

4.4.4 Participación de *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium* sp. en la mortalidad total.

a. *Pinus radiata*.

El porcentaje de participación de *Fusarium* sp. en la mortalidad total es mayor en T0 que en T1 y T3, y menor que en T2. En cambio el porcentaje de participación de *Macrophomina phaseolina* es menor en T0 que en T1, T2 y T3. La participación de ambos agentes, en conjunto, es mayor en T0 con respecto a T1, T2 y T3 (Tabla 13).

TABLA 13. PARTICIPACION DE *Macrophomina phaseolina* Y *Fusarium sp.* EN LA MORTALIDAD TOTAL DE *Pinus radiata*.

TRAT.	MORT.TOT. PLANTAS	<i>Fusarium sp.</i>		<i>M.phaseolina</i>		AMBOS AGENTES	
		EN MORT.TOTAL (pl)	(%)	EN MORT.TOTAL (pl)	(%)	(pl)	(%)
T0	134	37	27.61	12	8.96	42	31.34
T1	56	10	17.86	21	37.50	11	19.64
T2	64	19	29.69	20	31.25	6	9.38
T3	51	11	21.57	15	29.41	3	5.88

b. *Eucalyptus globulus*.

El porcentaje de participación de *Fusarium sp.* en la mortalidad total es mayor en T0 que en T1, T2 y T3. En cambio el porcentaje de participación de *Macrophomina phaseolina* es menor en T0 que en T1, T2 y T3. La participación de ambos agentes, en conjunto, es mayor en T0 con respecto a T1, T2 y T3 (Tabla 14).

TABLA 14. PARTICIPACION DE *Macrophomina phaseolina* Y *Fusarium sp.* EN LA MORTALIDAD TOTAL DE *Eucalyptus globulus*.

TRAT.	MORT.TOT. PLANTAS	<i>Fusarium sp.</i>		<i>M.phaseolina</i>		AMBOS AGENTES	
		EN MORT.TOTAL (pl)	(%)	EN MORT.TOTAL (pl)	(%)	(pl)	(%)
T0	143	19	13.59	74	51.75	30	20.98
T1	59	1	1.69	38	64.41	4	6.78
T2	63	1	1.58	41	65.08	11	17.46
T3	50	3	6.00	30	60.00	6	12.00

4.5 Efecto sobre el crecimiento de las plantas.

4.5.1 Crecimiento en altura de las plantas.

a. Pinus radiata.

Las plantas de *Pinus radiata* no presentan diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3, en el crecimiento de altura total promedio (Tabla 15).

TABLA 15. CRECIMIENTO PROMEDIO EN ALTURA DE LAS PLANTAS DE *Pinus radiata*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	ALTURA TOTAL PROMEDIO (cm) (*)
T0	12.45 a
T1	12.88 a
T2	13.33 a
T3	14.53 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

Sin embargo, a pesar de que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en la Figura 5 se observa una pequeña tendencia de aumento de crecimiento en altura total, de las plantas de *Pinus radiata*, en los tratamientos T1, T2 y T3 respecto a T0.

b. Eucalyptus globulus.

Las plantas de *Eucalyptus globulus*, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3, en el crecimiento de altura total promedio (Tabla 16).

TABLA 16. CRECIMIENTO PROMEDIO EN ALTURA DE LAS PLANTAS DE *Eucalyptus globulus*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	ALTURA TOTAL PROMEDIO (cm) (*)
T0	27.75 a
T1	41.93 a
T2	40.90 a
T3	34.28 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

Sin embargo, a pesar de que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en las Figuras 6,7,8 se observa una pequeña tendencia de aumento de crecimiento en altura total de las plantas de *Eucalyptus globulus*, en los tratamientos T1, T2 y T3 con respecto a T0.

4.5.2 Crecimiento en diámetro de cuello de las plantas.

a. Pinus radiata.

Las plantas de *Pinus radiata* no presentan diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3, en el

crecimiento en diámetro de cuello (Tabla 17).

TABLA 17. CRECIMIENTO PROMEDIO DEL DIAMETRO DE CUELLO DE LAS PLANTAS DE *Pinus radiata* , EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	DIAMETRO DE CUELLO PROMEDIO (mm) (*)
T0	1.78 a
T1	1.82 a
T2	1.81 a
T3	1.88 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

b. *Eucalyptus globulus*.

Las plantas de *Eucalyptus globulus* no presentan diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3, en el crecimiento en diámetro de cuello (Tabla 18).

TABLA 18. CRECIMIENTO PROMEDIO DEL DIAMETRO DE CUELLO DE LAS PLANTAS DE *Eucalyptus globulus*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	DIAMETRO DE CUELLO PROMEDIO (mm) (*)
T0	2.77 a
T1	3.54 a
T2	3.75 a
T3	3.44 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

4.5.3 Crecimiento en biomasa total de las plantas.

a. Pinus radiata.

Las plantas de *Pinus radiata* no presentan diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3, en el crecimiento en biomasa total (Tabla 19).

TABLA 19. CRECIMIENTO EN BIOMASA TOTAL DE LAS PLANTAS DE *Pinus radiata*, EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	BIOMASA PROMEDIO (g/planta) (*)
T0	0.37 a
T1	0.41 a
T2	0.39 a
T3	0.44 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

Sin embargo, a pesar de que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en Figura 5, se observa una pequeña tendencia de aumento de crecimiento en biomasa total de las plantas de *Pinus radiata*, en los tratamientos T1, T2 y T3 respecto a T0.

b. Eucalyptus globulus.

Las plantas de *Eucalyptus globulus*, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1, T2 y T3, en

el crecimiento de biomasa total (Tabla 20).

TABLA 20. CRECIMIENTO EN BIOMASA TOTAL DE LAS PLANTAS DE *Eucalyptus globulus* ,EN CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	BIOMASA PROMEDIO (g/planta) (*)
T0	2.20 a
T1	3.99 a
T2	4.44 a
T3	4.04 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

Sin embargo, a pesar de que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en Figuras 6, 7 y 8, se observa una pequeña tendencia de aumento de crecimiento en biomasa total de las plantas de *Eucalyptus globulus*, en los tratamientos T1, T2 y T3, respecto a T0.

El crecimiento de las plantas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* no presentaron diferencias significativas respecto al control, a pesar que las varianzas entre las repeticiones son homogéneas, por lo tanto lo anterior se debe a que el número de repeticiones es bajo y a que algunas parcelas recibieron más agua que otras debido a que los aspersores del vivero las regaron.

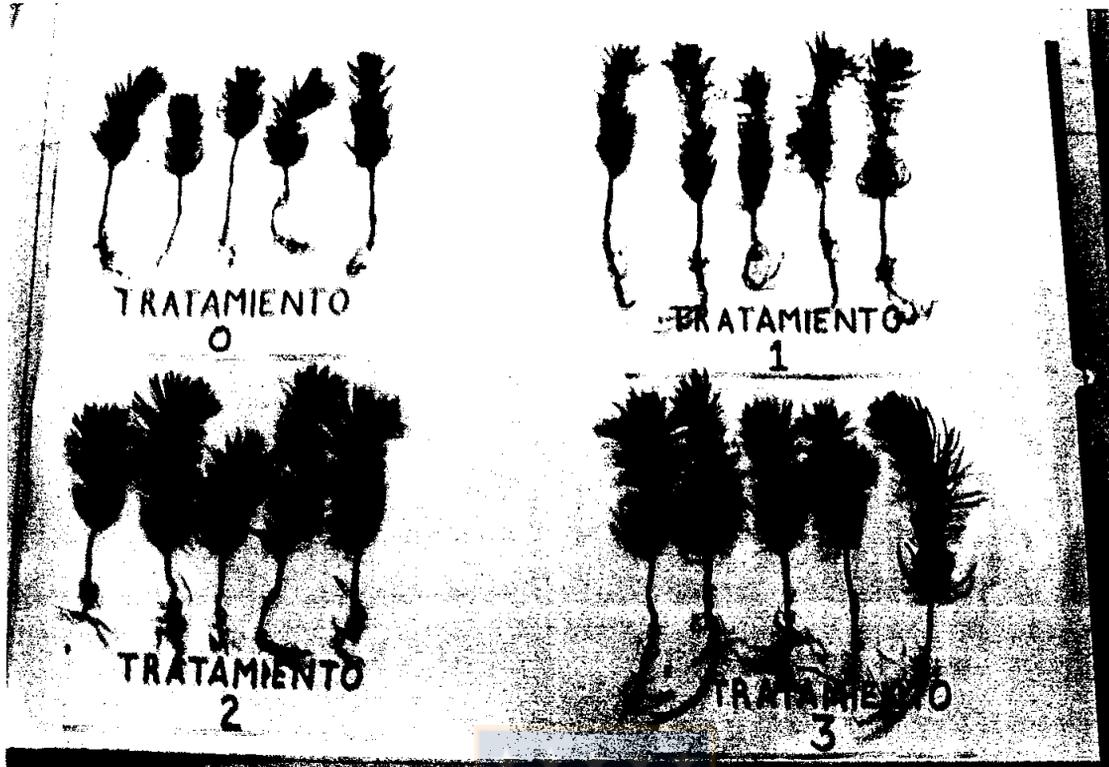


FIGURA 5. PLANTAS DE *Pinus radiata* CULTIVADAS EN LOS TRATAMIENTOS T0, T1, T2 Y T3.

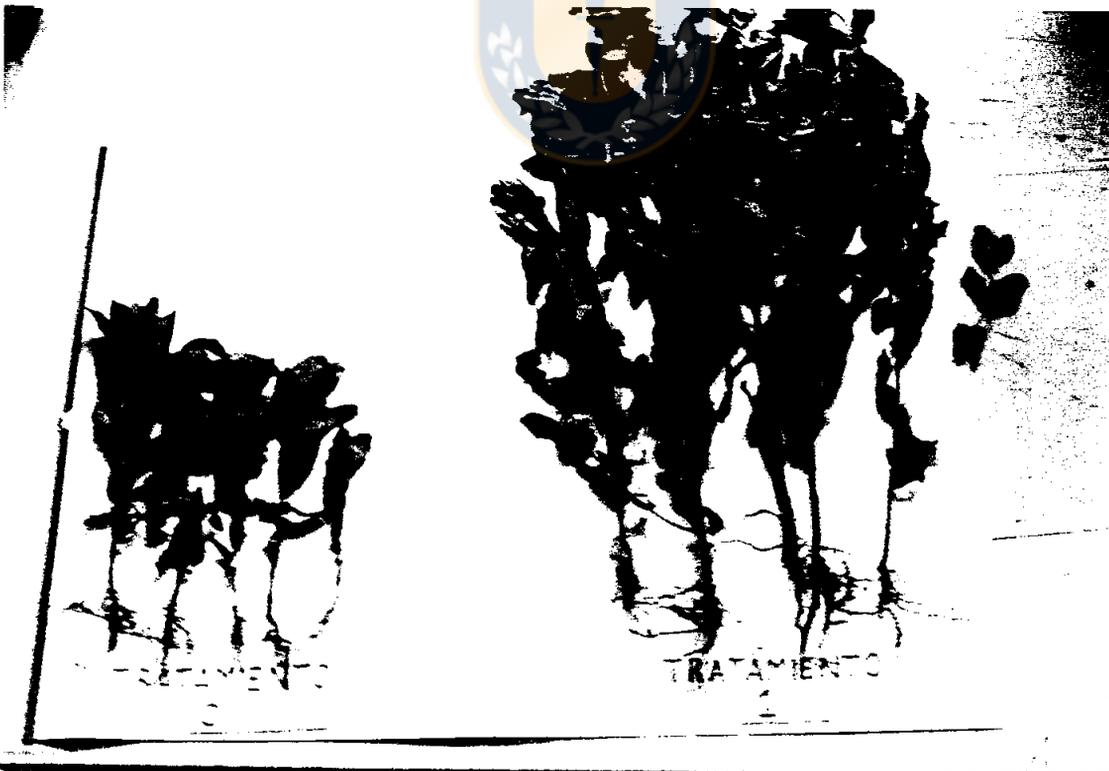


FIGURA 6. PLANTAS DE *Eucalyptus globulus* CULTIVADAS EN LOS TRATAMIENTOS T0 Y T1.

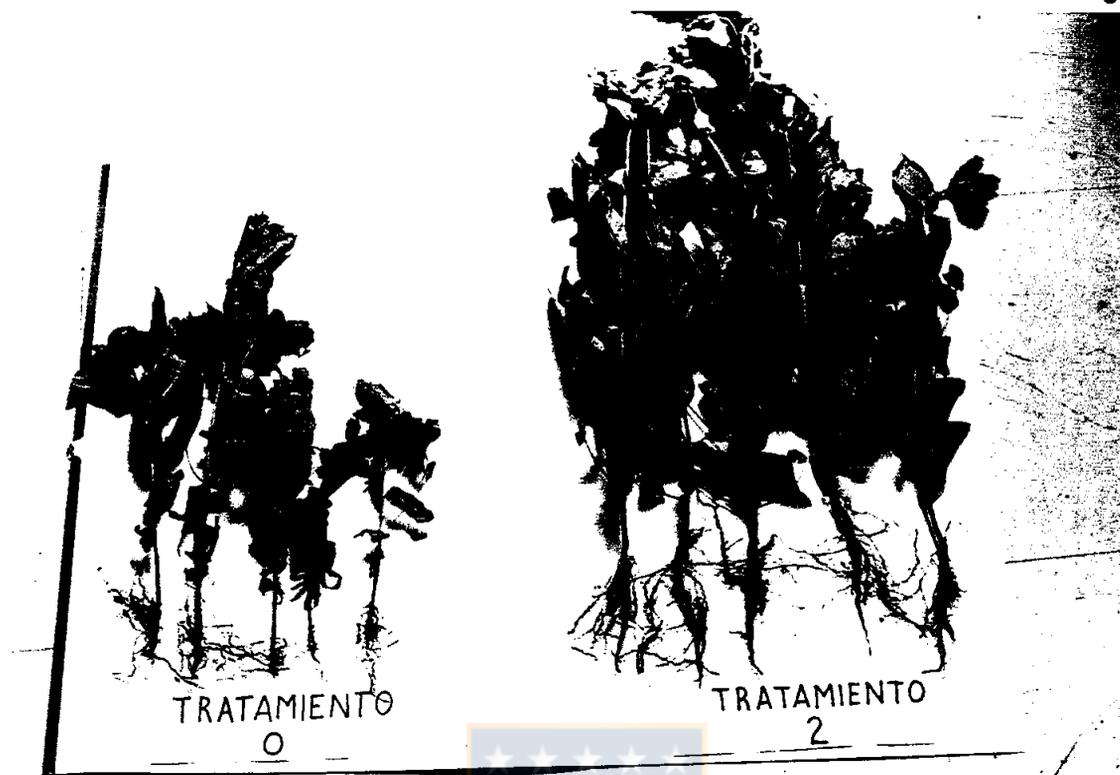


FIGURA 7. PLANTAS DE *Eucalyptus globulus* CULTIVADAS EN LOS TRATAMIENTOS T0 Y T2.

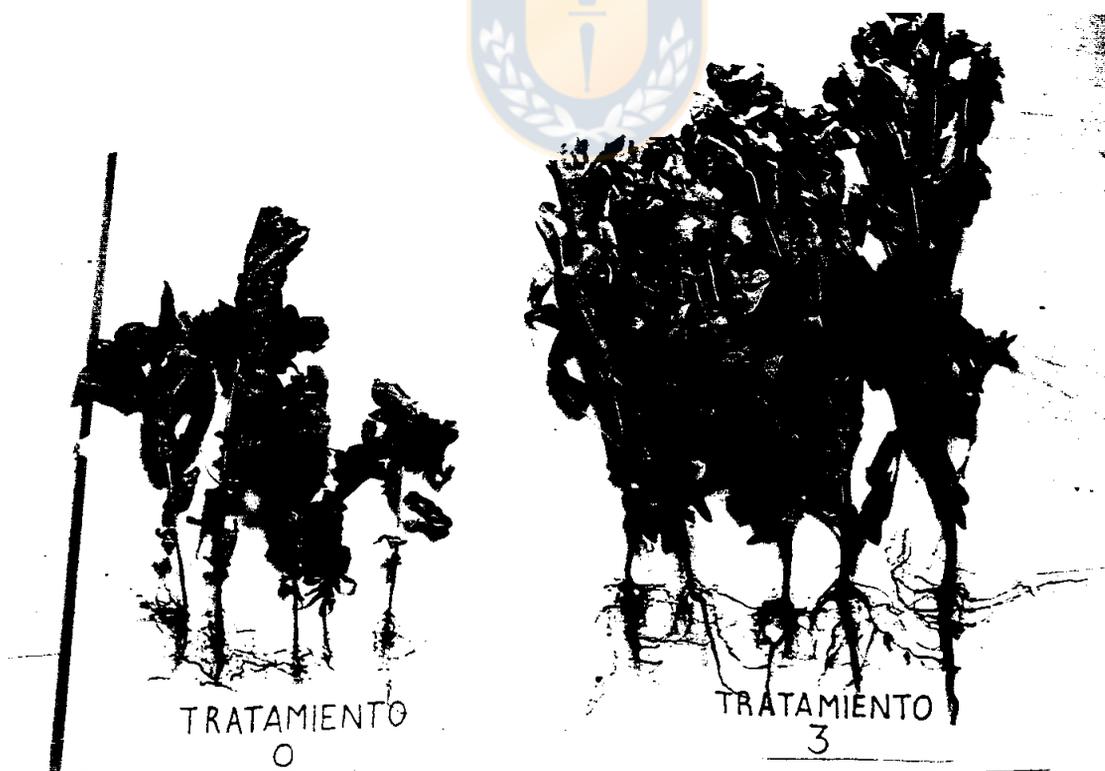


FIGURA 8. PLANTAS DE *Eucalyptus globulus* CULTIVADAS EN LOS TRATAMIENTOS T0 Y T3.

4.6 Efecto sobre el control de malezas.

4.6.1 Evaluación de malezas antes de la siembra. La primera evaluación cuantitativa de malezas, presentes en los tratamientos, se realizó inmediatamente después de retirar los plásticos, antes de la siembra.

Durante los 42 días de solarización, solamente en los tratamientos T0 crecieron malezas (Tabla 21). En los tratamientos T1, T2 y T3, sólo en las orillas con exposición Este se presentaron malezas del tipo *Portulaca oleracea* y *Holcus lanatus*, etioladas, siendo insignificante el número.

TABLA 21. PESO SECO DE MALEZAS EN CADA TRATAMIENTO CONTROL.

TRATAMIENTO	PESO SECO DE MALEZAS (g)
T0R1	173.22
T0R2	301.02
T0R3	105.65
T0R4	293.25

Las distintas especies de malezas que se presentaron en cada uno de los tratamientos controles, y su peso seco (g), se muestran en Tabla 6A.

4.6.2 Evaluación de malezas después de la siembra.

a. Evaluación 4 semanas después de la solarización (18/01/93).

La cantidad de malezas en el tratamiento T0 es significativamente mayor que en T1, T2 y T3 (Tabla 22).

TABLA 22. PESO SECO PROMEDIO DE MALEZAS EN CADA TRATAMIENTO, 1ª EVALUACION 18/01/93.

TRATAMIENTO	PESO SECO PROMEDIO (g) (*)
T0	43.72 a
T1	7.15 b
T2	1.96 b
T3	5.02 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

El peso seco (g) y especies de malezas por tratamiento se especifica en tabla 7A.

b. Evaluación 6 semanas después de la solarización (05/02/93).

La cantidad de malezas en el tratamiento T0 es significativamente mayor que en T1, T2 y T3 (Tabla 23).

TABLA 23. PESO SECO PROMEDIO DE MALEZAS EN CADA TRATAMIENTO, 2ª EVALUACION 05/02/93.

TRATAMIENTO	PESO SECO PROMEDIO (g) (*)
T0	44.52 a
T1	3.03 b
T2	1.42 b
T3	2.55 b

(*) Test de Tukey (P=0.05)

El peso seco (g) y especies de malezas por tratamiento se especifica en Tabla 8A.

c. Evaluación 10 semanas después de la solarización (01/03/93).

La cantidad de malezas en el tratamiento T0 no es significativamente distinto de T1, T2 y T3 (Tabla 24).

TABLA 24. PESO SECO PROMEDIO DE MALEZAS EN CADA TRATAMIENTO, 3ª EVALUACION 01/03/93.

TRATAMIENTO	PESO SECO PROMEDIO (g) (*)
T0	124.00 a
T1	43.57 a
T2	44.16 a
T3	42.43 a

(*) Test de Tukey (P=0.05)

El peso seco (g) y especies de malezas por tratamiento se especifica en tabla 9A.

V. DISCUSION

5.1 Efecto sobre la temperatura y humedad del suelo.

Desde el punto de vista del calentamiento del suelo, el polietileno de 50 μm (T1) resultó ser más eficiente que el polietileno de 100 μm (T2) y 150 μm (T3), debido a que el aumento de la temperatura máxima promedio del suelo, respecto al control (T0) fué mayor. Siendo de 8.91°C a 2.5 cm, 8.11°C a 7.5 cm, 8.59°C a 12.5 cm y 8.39°C a los 17.5 cm de profundidad. Con temperaturas máximas promedio de 46.52, 40.58, 37.26 y 32.65°C, respectivamente (Tabla 1 y 2). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Kassaby (1985), quien con polietileno transparente de 50 μm , logró aumentar la temperatura media máxima del suelo en 8°C a los 5 cm de profundidad, respecto a un control, en un rango de 44.5 - 52°C de temperatura.

La temperatura máxima absoluta alcanzada con T1 fué de 55.8°C a los 2.5 cm, de 48°C a los 7.5 cm, de 44°C a los 12.5 cm y de 40°C a los 17.5 cm de profundidad (Tabla 3A), similar a las temperaturas máximas absolutas obtenidas por Mihail y Alcorn (1984) en Arizona (U.S.A.), de 53 y 54°C a 1cm de profundidad y, 42 y 45°C a los 15 cm de profundidad, también

con polietileno de 50 μm . Cooley (1984) en Oregon (U.S.A.) y Elad et al. (1980) en Israel, a los 5 cm de profundidad, con polietileno de 50 μm , alcanzaron temperaturas parecidas.

El polietileno de 100 μm (T2) y 150 μm (T3) aumentó en menos grados las temperaturas máximas promedios del suelo con respecto al control, comparado con el polietileno de 50 μm (T1) (Tabla 2A). Este resultado coincide aproximadamente con los obtenidos por Pullman et al (1981a), quienes obtuvieron temperaturas máximas, con polietileno de 100 μm , inferiores en 3°C a las obtenidas con polietileno de 25 μm . Lo anterior, corrobora la recomendación de Katan (1981), de utilizar láminas delgadas de polietileno transparente. Sin embargo, para todos los tratamientos con plásticos las temperaturas máximas absolutas, en todas las profundidades, y las temperaturas máximas promedio a los 2.5 y 7.5 cm de profundidad, superaron los 37°C (Tabla 1A y 3A), temperatura que según De Vay (1991b) es crítica para el desarrollo de muchos hongos patógenos.

Las horas de calor acumuladas durante los 42 días de solarización, mayores o iguales a 40, 45, 50 y 55° , en T1, fueron superiores a T2, T3 y T0 (Tabla 3). Probablemente, con estas temperaturas se ha excedido el punto de muerte termal de muchos hongos patógenos, definido como la temperatura

mínima a la cual los microorganismos son muertos en un tiempo determinado (Baker y Cook, 1974 citado por Kassaby, 1985); aunque muchos organismos termofílicos pueden haber permanecido intactos. Katan (1981) y Pullman et al. (1981 a y b), sostienen que las poblaciones de hongos patógenos son reducidas a temperaturas de 40 - 50°C, en un tiempo de exposición que va de minutos a horas para las temperaturas altas, hasta 3 - 4 semanas para las temperaturas bajas.

En T1, T2 y T3 se mantuvo una humedad superior al 70% de la Capacidad de Campo del suelo, para todas las profundidades (Tabla 4A), humedad necesaria para potenciar el efecto de la solarización hasta las capas inferiores del suelo (De Vay, 1991a y c). En cambio en T0 la humedad se mantuvo cercana al Punto de Marchitez Permanente en todas las profundidades (Tabla 4A).

En Figuras 2A, 3A, 4A y 5A se puede apreciar que el contenido de humedad del suelo en T0, fué en promedio mucho menor que en T1, T2 y T3, debido a que no tuvo la lámina de polietileno, que impide la evaporación del agua del suelo (Stapleton y De Vay, 1986; De Vay, 1991 a y c). Coincidiendo con la experiencia realizada por Cooley (1984) en Oregon (U.S.A.), donde la pérdida de humedad en el control en los primeros centímetros del suelo fué alta, y a medida que

pasaron los días se intensificó.

En general, el tratamiento T3 (150 um) mantuvo el mayor contenido de humedad, en las distintas horas del día y a diferentes profundidades (Figura 4), debido a que es el plástico de mayor espesor, lo cual disminuye el paso de la radiación solar hacia el suelo, permitiendo que la pérdida de humedad por evaporación sea mínima (Garnaud, 1974 citado por Brown et al., 1991).

5.2 Efecto sobre la emergencia y mortalidad de las plantas.

5.2.1 Emergencia. El porcentaje de emergencia de las plantas de *Pinus radiata* fué mayor en T1, T2 y T3, pero no presentó diferencias significativas respecto al control (Tabla 5). Lo mismo sucedió con el porcentaje de emergencia de las plantas de *Eucalyptus globulus*, que sólo presentó diferencias significativas en T1 con respecto a T0 (Tabla 6). Resultados que coinciden con los obtenidos por Kassaby (1985).

En general, en ambas especies los porcentajes de emergencia son similares en todos los tratamientos, lo cual podría deberse a que en todos se alcanzaron temperaturas máximas superiores a 37°C (Tabla 3A), a los 2.5 y 7.5 cm de profundidad, que según De Vay (1991 b) son críticas para los

hongos que causan Damping - off de preemergencia.

En general, el bajo porcentaje de emergencia obtenido en las dos especies, se debió a que la siembra se realizó al comienzo de la estación de verano, haciéndose difícil mantener la humedad y la temperatura del suelo, durante el período inicial de emergencia.

5.2.2 Mortalidad. La mortalidad de las plantas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, se debió principalmente a la participación de *Fusarium sp.* y *Macrophomina phaseolina* (Tabla 5A), hongos patógenos que requieren de temperaturas altas para su erradicación o reducción (Mc Cain et al., 1982; Mihail y Alcorn, 1984; Old, 1981 citado por Stapleton y De Vay, 1986). El número promedio de plantas muertas en T1, T2 y T3, fué significativamente menor que en T0, tanto en *Pinus radiata* como en *Eucalyptus globulus* (Tabla 7 y 8); coincidiendo con la experiencia realizada por Kassaby (1985) en Australia.

El porcentaje promedio de plantas muertas a causa de la participación de *Fusarium sp.*, fué significativamente menor en T1, T2 y T3 con respecto a T0, tanto en *Pinus radiata* como en *Eucalyptus globulus* (Tabla 9 y 10). Probablemente debido a que se logró una cierta reducción de la incidencia de

Fusarium sp., debido a que en T1, T2 y T3 en los primeros 12.5 cm de suelo se alcanzaron temperaturas superiores a 40°C, y a los 2.5 cm temperaturas superiores a 50°C, durante algunas horas (Tabla 3), suficiente para reducir y eliminar, respectivamente, los propágulos de este hongo (Katan et al., 1976; Mc Cain et al., 1982). Similares resultados obtuvo Cooley (1984), al reducir significativamente los propágulos de **Fusarium sp.**, por gramo de suelo, con respecto a un tratamiento control, a los 15 y 30 cm de profundidad, luego de solarizar con polietileno de 50 μ m, durante un mes y medio. En cambio, Kassaby (1985) logró eliminar completamente los propágulos de **Fusarium oxysporum**, a los 10 y 20 cm de profundidad, luego de solarizar con polietileno de 50 μ m, durante 2 meses.

El porcentaje promedio de plantas muertas de **Pinus radiata** (Tabla 11), a causa de la participación de **Macrophomina phaseolina**, fué menor en los tratamientos T1, T2 y T3 con respecto a T0, y significativamente menor en las plantas de **Eucalyptus globulus** (Tabla 12). Coincidiendo con los resultados obtenidos en numerosos estudios, donde sólo se ha logrado reducir la población de **Macrophomina phaseolina** mediante la solarización de suelo, debido a que su estructura de reproducción, esclerocios, le permite soportar más calor que la mayoría de los propágulos de los hongos patógenos, y

por lo tanto, ser más resistente a los efectos de la solarización (Dubey, 1992; Stapleton y De Vay, 1986). Resultados que se pueden deber a que el rango de muerte termal determinado para *Macrophomina phaseolina* es de 48 hrs a 50°C o 24 hrs a 55°C (Mihail y Alcorn, 1984), lo cual no se logró en este trabajo.

Probablemente la escasa participación de *Pythium sp.*, *Rhizoctonia sp.* y *Phytophthora sp.* (Tabla 5A), se debió a que durante la emergencia y primera etapa de crecimiento de las plantas el nivel de humedad se mantuvo bajo en el suelo. Sin embargo, son hongos sensibles al calor húmedo, especialmente cuando son expuestos a temperaturas superiores a 37°C - 39°C en el caso de *Pythium sp.* y *Rhizoctonia sp.* (Pullman et al., 1981b), y superiores a 36°C por algunas horas en el caso de *Phytophthora sp.* (Pinkas et al., 1984), temperaturas que fueron alcanzadas en T1, T2 y T3 en las 4 profundidades.

5.3 Efecto sobre el crecimiento de las plantas.

Las plantas que crecen en suelos solarizados, frecuentemente, se desarrollan más rápido y tienen mejores rendimientos en cuanto a calidad y cantidad, comparadas con las que crecen en suelo no tratado (Pullman et al., 1989).

Lo anterior, se mantiene como tendencia en el presente ensayo, ya que las plantas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* producidas en los tratamientos T1, T2 y T3, en valores absolutos, crecieron más en altura, diámetro y biomasa que las del tratamiento T0 (Tabla 15, 16, 17, 18, 19, 20). A pesar de que este mayor crecimiento no fué significativo estadísticamente, en las Figuras 5, 6, 7 y 8 se aprecia una diferencia en altura y biomasa promedio de las plantas de T1, T2 y T3 con respecto a T0. Resultados que coinciden con los obtenidos por Stapleton y De Vay (1982), quienes lograron un aumento de altura y peso fresco de plantas de duraznos y nogales, respecto a un control, pero no significativo estadísticamente. Iguales resultados obtuvo Katan et al. (1983), en el crecimiento en altura de plantas de algodón.

El aumento del crecimiento de las plantas se atribuye a que durante el proceso de solarización ocurre un aumento de las concentraciones de nutrientes del suelo, principalmente de N, P, K, Ca y Mg, y algunos microelementos como Fe, Mn, Cu, Zn y Cl (Chen y Katan, 1980; Stapleton et al., 1985). Otros autores, lo atribuyen a una disminución de los hongos patógenos y aumento de los organismos benéficos como *Trichoderma* sp., actinomicetes, bacterias y micorrizas (Stapleton y De Vay, 1984; Pullman et al., 1989), que en este

estudio no se determinaron.

Probablemente, alguno de los mecanismos anteriores debe haber causado el aumento de crecimiento de las plantas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, debido a que la solarización se realizó en condiciones similares.

5.4 Efecto sobre el control de malezas.

Uno de los resultados más visible de la solarización, es el control de malezas en un amplio espectro, tanto perennes como anuales (Stapleton y De Vay, 1986), siendo las malezas perennes más difíciles de controlar que las anuales, debido a que sus estructuras vegetativas como rizomas, tubérculos o bulbos, les permiten sobrevivir (Elmore et al, 1993).

En la evaluación de malezas, realizada inmediatamente después de retirar los plásticos de las parcelas, se comprobó que el control de malezas en los tratamientos T1, T2 y T3 fué 100% efectivo, con respecto al control (T0), donde se desarrollaron numerosas especies de malezas (Tabla 6A). La lámina de polietileno, impidió el crecimiento de las malezas sobre las platabandas, excepto en los bordes con exposición Este, donde se presentaron pequeñas plantas etioladas y moribundas del tipo *Portulaca oleracea* y *Holcus lanatus*, con

un número despreciable en cada parcela. Similares resultados obtuvieron Porter y Merriman (1983).

El peso seco de malezas (g), tanto en la evaluación del 18/01/93 y 05/02/93, 1 mes y casi 2 meses después de retirar los plásticos, respectivamente, fué significativamente menor en T1, T2 y T3 con respecto a T0, al igual que el número de especies presentes (Tabla 20, 23, 7A y 8A). Resultados que coinciden con los obtenidos por Cooley (1984); Kassaby (1985); Gil et al. (1990) y Katan et al. (1993).

Lo anterior, permite afirmar que la solarización tiene un efecto en el control de malezas durante 4 a 6 semanas después de realizada la solarización (Rubin y Benjamin, 1984 citado por Elmore, 1991a).

Las especies presentes en T1, T2 y T3, en las 2 evaluaciones anteriores, corresponden principalmente a **Convolvulus arvensis** y **Portulaca oleracea**, consideradas moderadamente resistentes a la solarización (Pullman et al., 1984, citado por Stapleton y De Vay, 1986; Pullman et al., 1989).

En la evaluación del 01/03/93, 2.5 meses después de retirar los plásticos, no hubo diferencias significativas en la

cantidad de malezas de T1, T2 y T3 con respecto a T0 (Tabla 24), pero sí disminuyó el número de especies presentes.

Nuevamente en todos los tratamientos apareció **Convolvulus arvensis**, producto del sistema de reproducción, el cual le permite volver a crecer desde estratos profundos del suelo, pero en menor cantidad que en T0. Coincidiendo con los resultados obtenidos por Elmore (1991a) y Elmore et al. (1993).

En esta última evaluación aparecieron numerosas plantas de **Medicago** sp. en algunos tratamientos (Tabla 9A), malezas que según Elmore (1991a) es a veces resistente a la solarización.

En resumen, la susceptibilidad de las malezas, depende de la temperatura, contenido de humedad y del tipo de suelo, además del tamaño y profundidad de las semillas o propágulos vegetativos en el suelo durante la solarización (Stapleton y De Vay, 1986; Elmore, 1991a).

VI. CONCLUSIONES

1. Con polietileno de 50 μm de espesor se logró mayor incremento de temperatura de suelo que con el de 100 y 150 μm , con respecto al control.
2. Las temperaturas alcanzadas en el suelo solarizado permitieron disminuir la mortalidad de plantas de *Eucaliptus globulus* y *Pinus radiata*, con respecto al control.
3. En las parcelas solarizadas se logró un efectivo control de malezas, el cual se mantuvo en el tiempo.



VII. RESUMEN

En un vivero forestal, durante la estación de primavera, se estableció un ensayo de solarización de 42 días de duración, para determinar su eficacia en el control de enfermedades de pudrición negra de raíces (*Macrophomina phaseolina*) y Damping-off (*Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* y otros), su efecto en el control de malezas y en el crecimiento de las plantas de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*. Para tal efecto, se utilizaron 3 grosores de plástico (50, 100 y 150 μm) comparados con un tratamiento control. Con los 3 tipos de plásticos se logró un aumento de la temperatura de los primeros centímetros del suelo de 7 a 9°C sobre el tratamiento control. Con temperaturas máximas absolutas superiores a 50°C en los primeros 2.5 cm, siendo más eficiente desde este punto de vista el plástico de 50 μm . Lo anterior permitió en las parcelas solarizadas reducir significativamente la mortalidad de las plantas, aumentar aunque no significativamente el crecimiento en altura, diámetro de cuello y biomasa total de ambas especies, y reducir significativamente la cantidad de malezas presentes, comparado con el tratamiento control.

SUMMARY.

In a forestry tree nursery, during the Spring season, a 42 day solarization experiment was conducted to determine its efficiency in controlling black root rot (*Macrophomina phaseolina*) and Damping-off (*Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* and others), its effect on weed control and growth of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata*. For this purpose, plastics of 3 different thicknesses (50, 100, and 150 μm) were used and compared to a control treatment. With the 3 types of plastic a temperature increase in the first centimetres off the ground of 7 to 9°C above the control treatment were obtained. With maximum absolute temperatures of over 50°C in the first 2.5 cm, the 50 μm plastic resulted more efficient. The above allowed the solarized nurseries to significantly reduce plant mortality, increase, although not significantly the height growth, crown diameter and total biomass of both species, and significantly reduce the presence of weeds, compared to the control treatment.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Anónimo. 1987. En Israel: Solarización del suelo para controlar pestes. *Próxima Década* (54):2-3.
2. Auger, J. 1987. La solarización, un método no químico de control de enfermedades y plagas del suelo. *Rev. Antumapu* 1 :35-38.
3. Abu-Irmaileh, B.1991. Weed control in vegetables by Soil solarization. *FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:155-165.*
4. Bandara, J.M.R.S. 1990. Solarisation of infested soil in plantations to control wilt and root rot in foder *Leucaena*. *For. Abstr.* 51:5905.
5. Brown, J., Stevens, C., Khan, V., Hochmuth, G., Splittstoesser, W., Granberry, D., and Early, B. 1991. Improvement of plastic technology for soil solarization. *FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:277-296.*

6. Cooley, S.J. 1985. Solarization in two pacific northwest forest nurseries. En: Proceeding: Western Forest Nursery Council-Intermountain Nurseryman's Association. August 14-16 Idaho, USDA. Forest Service. General Technical Report INT 185. VISA.
7. Chen, Y.,J. Katan. 1980. Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. Soil Sci. 130:271-77.
8. De Vay, J.E. 1991a. Nuestro aliado el Sol. Ceres 132:39-42.
9. De Vay, J.E. 1991b. Historical review and principles of soil solarization. FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:1-15.
10. De Vay, J.E. 1991c. Use of soil solarization for control of fungal and bacterial plant pathogens including biocontrol. FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:79-93.

11. Dubey, R.C. 1992. Effects of soil solarization on the survival of *Macrophomina phaseolina* in fungicide: amended and unamended soils. *Tropical Sci.* 32: 275-279.
12. Elad, Y., J. Katan, I. Chet. 1980. Physical, biological and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. *Phytopathol.* 70:418-22.
13. Elmore, C. L. 1991a. Use of solarization for weed control. *FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:129-138.*
14. Elmore, C. L. 1991b. Cost of soil solarization. *FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:351-360.*
15. Elmore, C. L., J.A. Roncoroni, D.D. Giraud. 1993. Perennial weeds respond to control by soil solarization. *Calif. Agric.* 47:19-22.
16. Garibaldi, A. and M. L. Gullino. 1991. Use of solarization in marginally suitable climates. *FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:253-265.*

17. Gil, R., J. Barruiso V., C. Palazón E. y C. Zaragoza, L. 1990. Efecto de la solarización del suelo sobre el cultivo del pimiento al aire libre. España. ITEA. 86:142-154.
18. Graf, A.M.I.G. 1990. Efecto del manejo cultural del suelo y sus alteraciones en las propiedades físicas y químicas de un vivero forestal. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Fac. Cienc. For. Dpto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.
19. Greenberger, A., A. Yogev, and J. Katan . 1987. Induced suppressiveness in solarized soils. Phytopathol. 77:1663-1667.
20. Gutkowski, D. and S. Terranova. 1991. Physical aspects of soil solarization. FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:48-68.
21. Hildebrand, D.M.N. 1989. Effects of solar heating of soil on plant pathogens and thermotolerant microorganisms antagonistic to pathogenic *Fusarium* species in Colorado and Nebraska tree nurseries. Forestry Abstracts 50: 145.

22. Horiuchi, S. 1991. Solarization for green house crops in Japan. FAO Plant Production and Protection. Soil solarization. Paper 109:16-27.
23. Kassaby, F.Y. 1985. Solar heating soil for control of damping-off disease. Soil Biol. Biochem. 17:429-434.
24. Katan, J. 1980. Solar pasteurization of soils for disease control: Status and prospects. Plant Disease 64:450-454.
25. Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. Ann. Rev. Phytopathol. 19:211-236.
26. Katan, J. 1987. Soil Solarization. pp 77 - 105. En: Innovative Approaches to Plant Disease Control. I. Chet., John Wiley & Sons. New York, USA.
27. Katan, J., G. Fishler, and A. Grinstein. 1983. Short- and long- term effects of soil solarization and crop sequence on *Fusarium* wilt and yield of cotton in Israel. Phytopathol. 73:1215-1219.

28. Katan, J., A. Greenberger, H. Alon, and A. Grinstein. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66:683-688.
29. Little, M.T. y J.F. Hills. 1978. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Trillas. México.
30. Melero, J., R. Gonzáles, J. Gómez, J. Bejarano y M. Basallote. 1989. La solarización de suelos mediante acolchado en Andalucía. *Plasticure* 82:73-82.
31. McCain, A.H., R.V. Bega and J.L. Jenkinson. 1982. Solar heating fails to control *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathol.* 72: 985 (Abstract).
32. Mihail, J.D., and S.M. Alcorn. 1984. Effects of soil solarization on *Macrophomina phaseolina* and *Sclerotium rolfsii*. *Plant Disease* 68:156-159.
33. Pinkas, Y., A. Kariv, and J. Katan. 1984. Soil solarization for the control of *Phytophthora cinnamomi*: thermal and biological effects. *Phytopatol.*, 74:796 (Abstract).

34. Porter, I.J. and P.R. Merriman. 1983. Effects of solarization of soil on nematode and fungal pathogens at two sites in Victoria. Soil Biol. Biochem., 15:39-44.
35. Pullman, G.S., J.E. De Vay, R.H. Garber and A.R. Weinhold. 1981a. Soil Solarization: Effects on *Verticillium* wilt of cotton and soilborne populations of *Verticillium dahliae*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* and *Thielaviopsis basicola*. Phytopathology 71:954-959.
36. Pullman, G.S., J.E. De Vay and R.H. Garber. 1981b. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soilborne plant pathogens. Phytopathology 71:959-964.
37. Pullman, G.S., J.E. De Vay, C.I. Elmore, y W.H. Hart. 1989. Solarización del suelo. IPA La Platina 52:48-52.
38. Ramírez, A. 1989. Malezas de Chile. Bol. Técnico N°15 INIA, Estación Exp. La Platina. Santiago, Chile.

39. Sanchez, P.V.L. 1987. Esquemas de acondicionamiento de plantas de *Eucalyptus globulus* Labill ssp. *globulus* l/0 producidas a raíz desnuda. Tesis de Grado. Universidad de Concepción Fac. de Cs. Forestales. Dpto. Cs. For. Chillán, Chile.
40. Stapleton, J.J. 1991. Thermal inactivation of crop pests and pathogens and other soil changes caused by solarization. FAO Plant Production and Protection. Soil Solarization. Paper 109:37-47.
41. Stapleton, J.J., and J.E. De Vay. 1982. Effect of soil solarization on populations of selected soilborne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology* 72: 323-326.
42. Stapleton, J.J., and J.E. De Vay. 1984. Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. *Phytopathology* 74:255-259.
43. Stapleton, J.J., J. Quick and J.E. De Vay. 1985. Soil solarization: effects on soil properties, crop fertilization and plant growth. *Soil Biol. Biochem.* 17:369-373.

44. Stapleton, J.J. and J.E. De Vay. 1986. Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection* 5:190-198.
45. Stapleton, J.J. and J.G. Garza-Lopez. 1988. Mulching of soils with transparent (solarization) and black polyethylene films to increase growth of annual and perennial crops in southwestern México. *Trop. Agric. (Trinidad)* 65:29-33.



IX. APENDICE



FIGURA 1 A: Diseño Experimental

BLOQUE I

P
T ₂
* E

P
T ₃
E

P
T ₀
* E

P
T ₁
E

BLOQUE II

E
T ₁
P

E
T ₂
P

E
T ₃
P

E
T ₀
P

BLOQUE III

E
T ₀
P

P
T ₁
* E

P
T ₃
E

E
T ₂
P

BLOQUE IV

P
T ₂
E

E
T ₀
P

P
T ₃
* E

P
T ₁
E

T=Trat. 0, 1, 2, 3
 *=Sensores
 P=P. radiata
 E=E. globulus

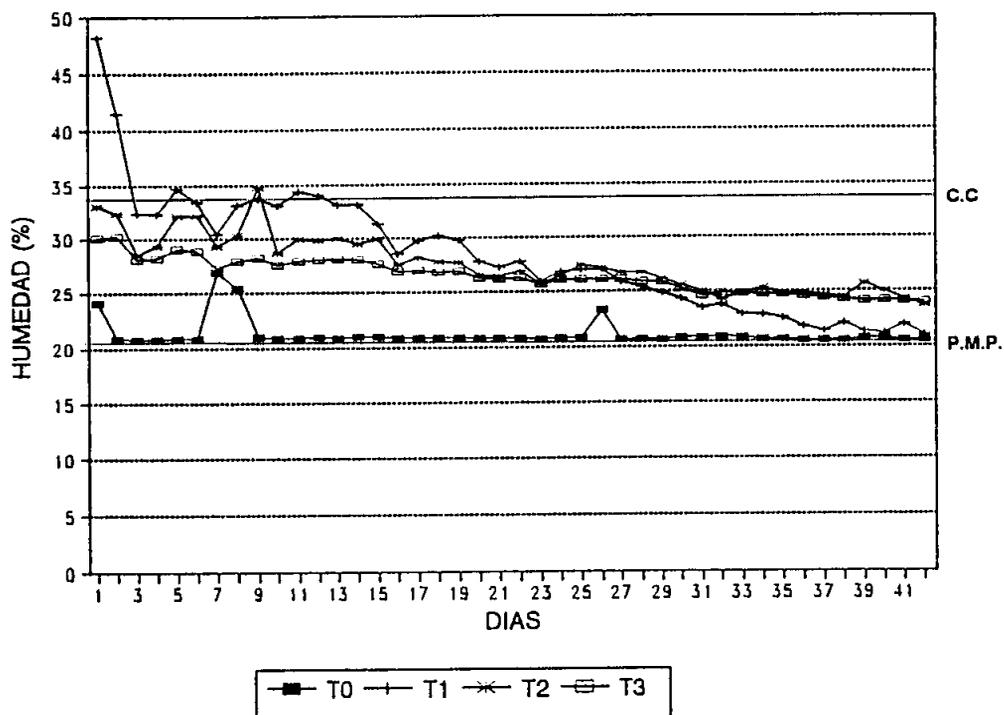


FIGURA 2A.- Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 2.5 cm de profundidad.

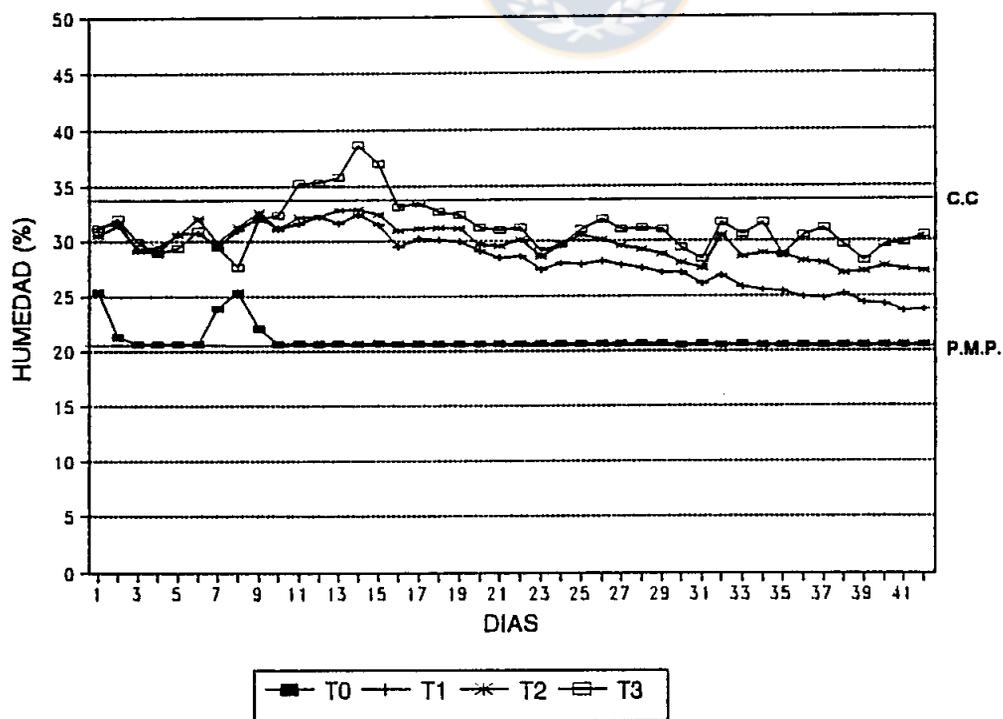


FIGURA 3A.- Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 7.5 cm de profundidad.

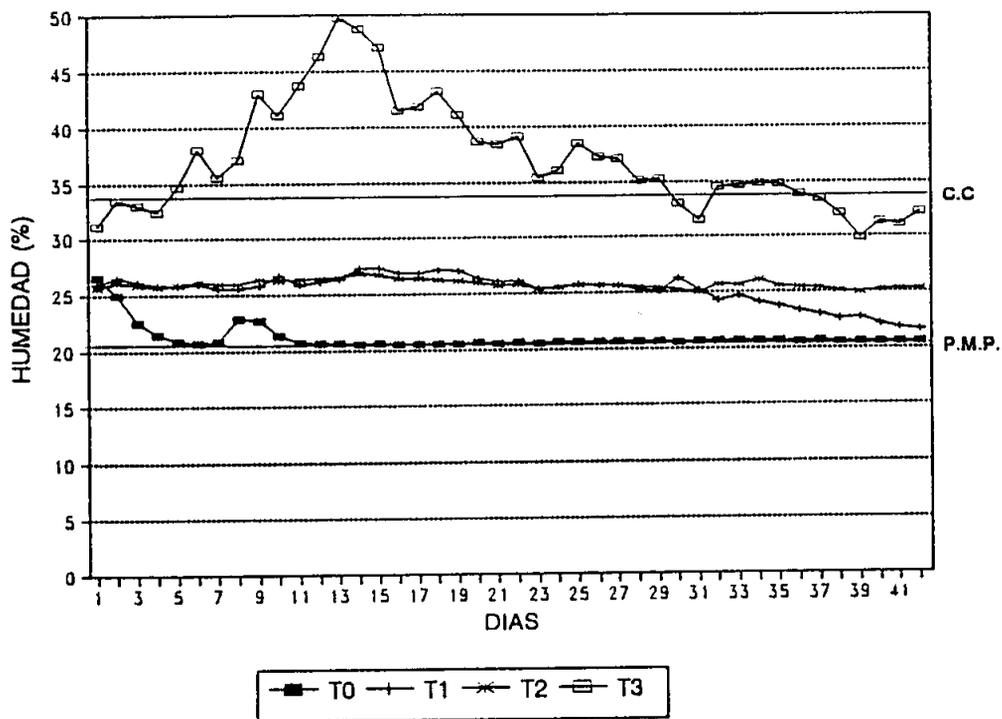


FIGURA 4A.- Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 12.5 cm de profundidad.

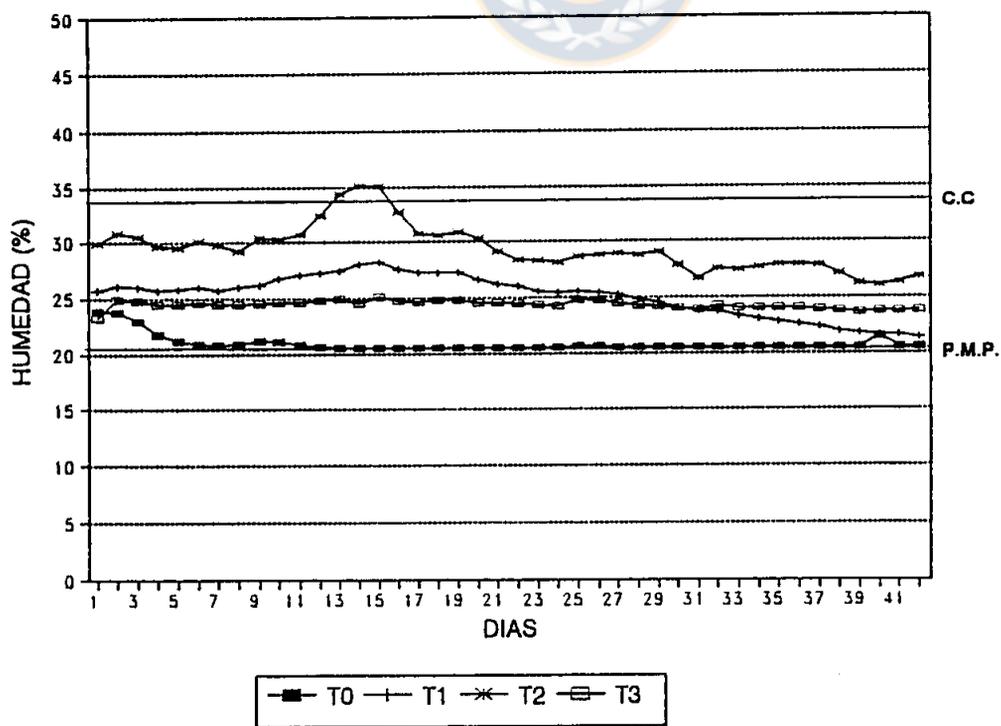


FIGURA 5A.- Porcentaje de humedad (promedio diario) durante los 42 días de solarización, a los 17.5 cm de profundidad.

TABLA 1 A: TEMPERATURAS PROHEDIOS DE LOS 42 DIAS DE SOLARIZACION.

TRAT.	09:00 hrs										12:00 HRS									
	2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm		2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm					
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S				
T0	18.28	2.94	17.83	2.64	18.19	2.66	19.32	2.91	38.47	6.57	26.88	5.34	21.38	3.42	19.58	2.96				
T1	23.57	3.75	22.32	3.43	22.89	3.59	25.88	4.14	39.82	7.83	32.31	6.18	27.32	4.64	25.88	4.38				
T2	21.31	3.31	22.24	3.58	23.65	4.82	28.48	4.12	36.78	7.77	28.85	5.12	26.87	4.44	23.37	4.18				
T3	23.64	3.31	21.78	3.28	22.74	3.54	24.45	3.99	37.78	7.73	28.61	4.75	25.92	4.31	24.58	3.91				

TRAT.	15:00 hrs										18:00 hrs									
	2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm		2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm					
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S				
T0	37.61	7.58	33.45	6.72	26.48	4.67	21.75	3.23	33.29	6.24	32.47	6.87	28.67	4.77	24.25	3.88				
T1	45.52	8.16	43.87	6.66	34.67	6.16	29.32	4.98	41.75	8.81	48.58	8.97	37.26	6.28	32.65	5.47				
T2	45.17	8.44	37.26	6.97	31.75	5.58	27.88	4.67	41.78	6.61	39.28	6.59	35.47	6.25	31.18	5.28				
T3	44.88	7.98	37.78	6.96	31.78	5.21	27.68	4.44	39.89	6.58	37.53	6.43	34.88	5.87	30.68	4.91				

X = MEDIA

S = DESVIACION ESTANDAR

TABLE 2 A: INCREMENTOS PROMEDIOS DE TEMPERATURA DE LOS 42 DIAS DE SOLARIZACION.

TRATAM.	09100 hrs						12100 hrs					
	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm
T1	5.39	4.49	4.70	5.76	8.55	5.51	5.94	6.38				
T2	3.03	4.41	5.46	6.08	6.23	2.05	4.69	5.79				
T3	3.96	3.87	4.55	5.13	7.31	1.81	4.54	5.10				

TRATAM.	13100 hrs						18100 hrs					
	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm
T1	8.91	7.12	8.27	7.57	8.46	8.11	8.59	8.39				
T2	8.56	3.81	5.35	6.13	8.41	6.73	6.80	6.84				
T3	7.19	3.62	5.30	5.85	6.60	5.45	6.16	6.62				

TABLA 3 A: TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS ABSOLUTAS REGISTRADAS DURANTE LOS 42 DIAS DE SOLARIZACION

		09:00 hrs				12:00 hrs			
		7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	
TRAT.	TMAX. TMIN.								
T0	24.0 10.0	21.0 9.0	21.0 10.0	22.5 10.5	20.0 15.5	23.0 15.0	29.0 12.0	22.5 11.0	
T1	29.0 15.0	26.0 12.0	27.0 12.0	28.0 13.0	46.0 17.0	35.0 19.0	32.0 16.0	36.0 14.0	
T2	25.0 12.0	26.0 11.0	26.0 12.0	30.0 13.5	45.0 16.5	34.0 18.0	31.0 15.0	30.0 14.0	
T3	27.0 15.0	25.0 11.0	26.0 11.0	26.5 12.0	46.0 19.0	34.0 19.0	36.0 14.5	29.0 13.0	

		15:00 hrs				19:00 hrs			
		7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	2.5 cm	7.5 cm	12.5 cm	17.5 cm	
TRAT.	TMAX. TMIN.								
T0	45.0 18.0	41.0 17.0	32.0 16.0	26.0 14.0	41.0 19.0	40.0 19.0	34.0 18.0	29.0 16.0	
T1	55.0 20.5	48.0 21.0	42.5 20.0	35.5 16.0	48.5 25.5	45.5 25.0	44.0 22.0	40.0 20.0	
T2	53.0 22.0	45.0 20.0	35.0 15.5	33.5 19.0	49.0 25.0	46.0 23.0	43.0 20.5	39.0 20.0	
T3	54.0 23.0	46.5 20.0	36.5 19.5	33.0 16.0	47.0 24.5	45.0 21.0	41.5 18.5	36.5 20.0	

TABLA 4 A: PORCENTAJE DE HUMEDAD PROMEDIO DEL SUELO, EN BASE PESO SECO, DE LOS 42 DIAS DE SOLARIZACION

TRAT.	09:00 hrs										12:00 hrs									
	2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm		2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm					
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S				
T0	20.94	1.17	22.51	1.10	21.01	1.16	22.96	0.80	21.26	1.53	21.02	1.32	21.03	1.23	20.64	0.79				
T1	26.41	2.62	26.77	1.67	24.51	1.39	24.66	1.75	29.25	5.85	27.59	2.36	25.85	1.40	24.84	1.80				
T2	28.60	1.96	27.67	1.30	25.66	0.47	26.45	1.56	27.66	2.33	25.82	1.72	25.51	0.44	26.54	1.92				
T3	24.53	4.12	20.60	1.56	23.22	3.04	22.21	0.59	26.02	1.77	20.33	1.55	23.75	3.46	24.15	3.54				

TRAT.	15:00 hrs										18:00 hrs									
	2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm		2.5 cm		7.5 cm		12.5 cm		17.5 cm					
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S				
T0	21.50	2.55	21.46	2.44	21.04	1.23	23.84	0.79	21.06	1.53	21.16	1.64	21.04	1.25	20.25	0.51				
T1	30.21	6.71	29.59	3.24	25.59	1.73	25.19	2.02	28.64	5.59	25.49	3.23	25.72	1.97	25.66	2.29				
T2	29.12	3.53	31.19	2.27	26.14	0.60	25.39	2.00	27.00	3.02	31.61	2.44	26.56	0.65	30.75	5.28				
T3	27.10	2.15	32.92	3.66	29.12	7.22	22.41	0.43	26.65	1.56	30.29	3.10	24.01	12.22	24.60	0.09				

X = MEDIA
S = DESVIACION ESTANDAR

TABLA 5 A : PARTICIPACION DE AGENTES FUNGOSOS EN LA MORTALIDAD DE PLANTAS DE PINUS radiata (PI)
 y Eucalliptus globulus (Eu) EN CADA TRATAMIENTO.

TRAT.	Pythium		Rhizocto.		Phytopht.		Fusarium		Macrophoma		Cyl Indrocarpon		Cyl Indrocladium		Phoma		Indater.		S/causa	
	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu	PI	Eu
T0R1			3	4			13	17	13	31									6	5
T0R2	1						9	10	10	20			3						2	1
T0R3							43	2	25	17			2						2	3
T0R4	5						22	24	3	23										
TOTAL 5			3	4			88	53	56	139			5						10	9
T1R1							5	2	14	13									2	
T1R2			1				7		6	5	1		3						5	1
T1R3							9	2	6	23			3		1	4			4	3
T1R4							1	1	5	5										
TOTAL			1				22	5	33	46	1		12		1	12			12	4
T2R1							15	1	6	15			3	2					1	3
T2R2								3	4	15			1							1
T2R3					4		1	1	4	4									1	
T2R4							11	7	14	12			1	2		3			4	
TOTAL					4		27	12	28	32			4	5		3			6	4
T3R1							13	1	13	6	2								6	3
T3R2								6	5	23			1						3	1
T3R3																				
T3R4							2	1	4	5			4						5	1
TOTAL							13	8	19	35	2		7						19	6

TABLA 6 A:

Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada una de las repeticiones de T. Evaluación antes de la siembra.

T R = 173,22 g
O 1

Senecio vulgaris
Portulaca oleracea
Polygonum aviculare L.
Holcus lanatus L.
Convolvulus arvensis L.
Amaranthus hybridus L.
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik

T R = 301.02 g
O 2

Portulaca oleracea L.
Hypochoeris radicata L.
Convolvulus arvensis L.
Polygonum aviculare L.
Holcus lanatus L.
Chenopodium album L.
Capsella bursa-pastoris
(L.)Medik
Euphorbia platyphyllos L.
Digitaria sanguinalis (L.)
Scop
Solanum nigrum L.
Amaranthus hybridus L.
Otras

T R = 105,65 g
O 3

Portulaca oleracea L.
Polygonum aviculare L.
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik
Convolvulus arvensis L.
Amaranthus hybridus L.
Holcus lanatus L.

Euphorbia platyphyllos L.
Hypochoeris radicata L.
Digitaria sanguinalis (L.) Scop



T R = 293,25 g
O 4

Portulaca oleracea L.
Polygonum aviculare L.
Hypochoeris radicata L.
Chenopodium album L.
Convolvulus arvensis L.
Capsella bursa-pastoris
(L.)Medik
Euphorbia platyphyllos L.
Holcus lanatus L.
Amaranthus hybridus L.
Senecio vulgaris L.
Otras.

TABLA 7 A:

Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada uno de los tratamientos y sus repeticiones.

Evaluación del 08/01/93

T R = 21.83 g 0 1	T R =6.28g 1 1	T R =0g 2 1	T R=0g 3 1
Convolvulus arvensis Holcus lanatus Otros	Convolvulus arvensis		
T R =41.79 g 0 2	T R =2.88g 1 2	T R =1.79g 2 2	T R =10.18g 3 2
Euphorbia platyphyllos Amaranthus hybridus Convolvulus arvensis	Convolvulus arvensis Portulaca oleracea	Convolvulus arvensis	Convolvulus arvensis
T R =41.67g 0 3	T R =3.59g 1 3	T R =3.1 g 2 3	T R =1.35g 3 3
Convolvulus arvensis Portulaca oleracea Amaranthus hybridus	Convolvulus arvensis	Convolvulus arvensis	Convolvulus arvensis
T R =69.51g 0 4	T R =13.84g 1 4	T R =2.96g 2 4	T R =8.56g 3 4
Convolvulus arvensis Euphorbia platyphyllos	Convolvulus arvensis	Convolvulus arvensis	Convolvulus arvensis

TABLA 8 A: Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Evaluación del 05/02/93.

T R = 68.82 g 0 1 Holcus lanatus Senecio vulgaris Euphorbia platyphyllos Medicago sp. Amaranthus hybridus Convolvulus arvensis Digitaria sanguinalis Raphanus raphanistrum Portulaca oleracea	T R = 5.41 g 1 1 Portulaca oleracea Convolvulus arvensis Amaranthus hybridus	T R = 0.37 g 2 1 Convolvulus arvensis Portulaca oleracea	T R = 0.00 g 3 1
T R = 54.01 g 0 2 Amaranthus hybridus Portulaca oleracea Digitaria sanguinalis Senecio vulgaris Convolvulus arvensis Holcus lanatus	T R = 1.45 g 1 2 Convolvulus arvensis Portulaca oleracea	T R = 1.63 g 2 2 Convolvulus arvensis Medicago sp.	T R = 4.86 g 3 2 Convolvulus arvensis Portulaca oleracea
T R = 43.23 g 0 3 Amaranthus hybridus Convolvulus arvensis Holcus lanatus Portulaca oleracea Digitaria sanguinalis	T R = 1.30 g 1 3 Convolvulus arvensis	T R = 1.57 g 2 3 Medicago sp. Convolvulus arvensis Digitaria sanguinalis	T R = 0.27 g 3 3 Convolvulus arvensis
T R = 12.01g 0 4 Medicago sp. Convolvulus arvensis Chenopodium album Portulaca oleracea Amaranthus hybridus Senecio vulgaris	T R = 3.97 g 1 4 Medicago sp. Convolvulus arvensis Senecio vulgaris Portulaca oleracea Holcus lanatus	T R = 2.12 g 2 4 Portulaca oleracea Convolvulus arvensis	T R = 5.07 g 3 4 Senecio vulgaris Convolvulus arvensis Medicago sp. Portulaca oleracea

TABLA 9 A: Peso seco total (g) de malezas y detalle de las distintas especies presentes en cada uno de los tratamientos y sus repeticiones. Evaluación del 01/03/93.

T R = 103.13 g 0 1 Holcus lanatus Senecio vulgaris Euphorbia platyphyllos Medicago sp. Amaranthus hybridus Convolvulus arvensis Digitaria sanguinalis	T R = 51.21 g 1 1 Holcus lanatus Senecio vulgaris Medicago sp. Amaranthus hybridus Convolvulus arvensis	T R = 8.87 g 2 1 Convolvulus arvensis Senecio vulgaris Euphorbia platyphyllos	T R = 10.38 g 3 1 Convolvulus arvensis Medicago sp. Amaranthus hybridus Senecio vulgaris
T R = 116.05 g 0 2 Amaranthus hybridus Medicago sp. Euphorbia platyphyllos Senecio vulgaris Convolvulus arvensis Capsella bursapastoris	T R = 24.55 g 1 2 Amaranthus hybridus Medicago sp. Convolvulus arvensis	T R = 8.06 g 2 2 Convolvulus arvensis Medicago sp. Senecio vulgaris	T R = 60.02 g 3 2 Convolvulus arvensis Medicago sp. Senecio vulgaris
Holcus lanatus			
T R = 135.57g 0 3 Amaranthus hybridus Convolvulus arvensis Holcus lanatus Senecio vulgaris Euphorbia platyphyllos	T R = 17.96 g 1 3 Convolvulus arvensis Senecio vulgaris Medicago sp.	T R = 135.52 g 2 3 Medicago sp. Convolvulus arvensis Digitaria sanguinalis Senecio vulgaris	T R = 45.45 g 3 3 Senecio vulgaris Medicago sp. Convolvulus arvensis
T R = 141.27g 0 4 Polygonum avicular Convolvulus arvensis Chenopodium album Capsella bursapastoris	T R = 80.56 g 1 4 Medicago sp. Convolvulus arvensis Senecio vulgaris	T R = 24.17 g 2 4 Senecio vulgaris Convolvulus arvensis Medicago sp.	T R = 190.22 g 3 4 Senecio vulgaris Convolvulus arvensis Medicago sp.
Amaranthus hybridus Senecio vulgaris Medicago sp.			



TABLA 1 B. ANTECEDENTES CLIMATICOS, CORRESPONDIENTE A LOS MESES DE NOVIEMBRE Y DICIEMBRE DE 1992.

		NOVIEMBRE	DICIEMBRE
T _o del aire	°C		
(media mensual)		16,3	17,7
Máx. absoluta		31.5	29.8
Mín. absoluta		1.4	7.4
T _o del suelo	°C		
Máx. absoluta (2cm prof.)		42.8	45.2
Mín. absoluta (2cm prof.)		1.2	9.0
Media mensual (2cm prof.)		23.5	27.3
Media mensual (10cm prof.)		22.8	25.7
Media mensual (20cm prof.)		20.1	22.8
Humedad relativa	%		
(media mensual)		62.7	58.2
Pluvionetría	mm		
(total mes)		12.7	21.4
Evaporación	mm		
(total mes)		137.42	171.50
Horas de sol	hr	255.25	314.0
Radiación solar	gr cal/cm ² min	0.48	0.48
Velocidad viento	km/hr	4.8	4.8
(media mensual)			