

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO SILVICULTURA



**REPELENCIA AL AGUA EN LA SERIE DE SUELO SAN
ESTEBAN VIII REGION, INDUCIDA POR ALTAS
TEMPERATURAS EN LABORATORIO**

POR

SANDRA JACQUELINE VALDEBENITO MORALES

**MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL.**

CONCEPCION – CHILE

1997

REPELENCIA AL AGUA EN LA SERIE DE SUELO SAN ESTEBAN VIII
REGION, INDUCIDA POR ALTAS TEMPERATURAS EN LABORATORIO

Profesor Asesor

Eduardo Peña Fernández
Profesor Asistente.
Ingeniero Forestal, M. Sc.

Profesor Asesor

Pedro Manzanarez Nuñez
Profesor Asociado.
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.

Director Departamento
Silvicultura

Eduardo Peña Fernández
Profesor Asistente.
Ingeniero Forestal, M. Sc.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales

Jaime García Sandoval
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título

Eduardo Peña Fernández : noventa y dos puntos
Pedro Manzanarez Nuñez : noventa y dos puntos

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCION.....	1
II REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1 Descripción general del fenómeno de Repelencia al agua del suelo.....	3
2.2 Factores que afectan la Repelencia al agua del suelo.....	4
2.2.1 Materia orgánica.....	4
2.2.2 Textura.....	5
2.2.3 Humedad del suelo.....	5
2.2.4 Intensidad del fuego.....	6
2.3 Efectos de la Repelencia al agua....	7
2.3.1 Movimiento del agua en el suelo.....	7
2.3.2 Infiltración y Evaporación.....	8
2.3.2.1 Infiltración.....	8
2.3.2.2 Evaporación.....	8
III MATERIALES Y METODO.....	9
3.1 Fundamentos del método.....	9
3.2 Materiales.....	9
3.3 Método de trabajo.....	11
3.3.1 Diseño experimental.....	11
3.3.2 Unidad experimental.....	11
3.3.3 Preparación de la muestra.....	12

3.3.4	Aplicación de tratamientos de quema.....	12
3.3.5	Determinación y clasificación de la intensidad de la Repelencia.....	13
3.3.6	Análisis de resultados.....	14
IV	RESULTADOS Y DISCUSION.....	15
V	CONCLUSIONES.....	20
VI	RESUMEN.....	21
	SUMMARY.....	22
VII	BIBLIOGRAFIA.....	23
VIII	APENDICE.....	24
IX	ANEXO.....	25



INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
<u>En el texto</u>		
1	Tiempos de penetración de gotas de agua a diferentes profundidades en cada uno de los tratamientos aplicados.....	15
2	Temperaturas promedio para cada tratamiento, a diferentes profundidades...	18
<u>En el anexo</u>		
1 B	Clasificación de intensidad de repelencia del suelo al agua.....	26

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Sistema utilizado para la aplicación de los tratamientos de quema.....	10
<u>En el apéndice</u>	
1 A Tiempos de penetración de gotas de agua a diferentes profundidades en cada uno de los tratamientos aplicados.....	24
<u>En el anexo</u>	
1 B Proceso por el cual el fuego altera la repelencia al agua del suelo.....	25

I INTRODUCCIÓN

La repelencia del suelo al agua ocurre cuando moléculas orgánicas hidrofóbicas cubren partículas de suelo. Estas sustancias corresponden básicamente a hidrocarburos alifáticos y se encuentran generalmente cerca de la superficie del suelo. La repelencia al agua (RA) es inducida en forma natural por la materia orgánica a través de varios mecanismos, tales como: el secado irreversible del material orgánico, la segregación de sustancias por la lixiviación y microbios, y por la formación de compuestos organometálicos.

Cuando la materia orgánica es quemada muchos compuestos son vaporizados, algunos de ellos pueden fluir al interior del suelo, a través de gradientes de temperatura generados por la transferencia de energía calórica, hasta que se enfrían y condensan, formando una bien definida capa hidrofóbica. Esto puede provocar que la concentración natural de sustancias hidrofóbicas (SH) presentes en el suelo sea incrementada, produciéndose una RA más extrema.

Este fenómeno que puede interferir en la dinámica del agua y gases dentro del suelo, al reducir la evaporación e infiltración, contribuyendo en gran medida al proceso de escurrimiento superficial y erosión del suelo. Proceso que se facilita en suelos con pendientes pronunciadas, caso en que las pérdidas de suelo pueden superar fácilmente el máximo tolerable de erosión en la actividad forestal,

teniendo severas consecuencias en la productividad del sitio.

En Estados Unidos el fenómeno ha sido estudiado en bosques, campos quemados, praderas, tierras agrícolas, y sobre canchas de golf. También ha sido reportado en Australia, Canadá, Egipto, Holanda, India, Japón, Rusia, y Nueva Zelanda (DeBano 1981). En Chile se desconocen antecedentes acerca de la RA natural de los suelos y la alteración que el fuego pudiera provocar sobre las condiciones de repelencia originales. Dada la alta ocurrencia de incendios forestales, con un promedio de 5500 incendios anuales en la década del 90, afectando unas 34251.6 ha/año (Soto 1995); y del uso del fuego para eliminación de residuos, es probable que el fenómeno ocurra. Con base en este supuesto el objetivo general del presente experimento fue determinar la repelencia al agua del suelo, inducida por altas temperaturas. Los objetivos específicos: determinar la RA natural del suelo; determinar el rango de temperaturas donde la RA natural del suelo se intensifica; y determinar la temperatura en que la RA es eliminada.

II REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 Descripción general del fenómeno de la Repelencia al Agua en el suelo.

Según DeBano (1969) citado por DeBano (1981) "antes del fuego las sustancias hidrofóbicas (SH) se acumulan en la capa de litera y suelo mineral (ver anexo, fig. 1-a), cuando el fuego ocurre se transfiere energía calórica hacia el suelo mineral (ver anexo, fig. 1-b), pero dentro de las capas superiores del suelo la temperatura disminuye rápidamente porque el suelo seco es un pobre conductor del calor. Por esta razón algunas sustancias, que son vaporizadas en la superficie del suelo pueden fluir al interior a través de los poros generando un gradiente de temperatura, para luego condensarse sobre las partículas más frías de suelo mineral. Esto tiene como resultado la formación de un horizonte de distribución de SH (ver anexo, fig. 1-c), que resulta de un desplazamiento y acumulación de las SH que antes del incendio se localizaban en los primeros centímetros de la superficie".

Las SH consisten de moléculas orgánicas que presentan una alta polaridad, en virtud de la cual estas son fuertemente adsorbidas por las partículas de suelo mineral, impidiendo que las moléculas de agua sean adsorbidas (Savage 1974; citado por DeBano 1981). Esto explicaría por que cuando el agua se aplica a la superficie de un suelo RA, no infiltra y queda formando gotas en la superficie.

Estudios sobre este fenómeno realizados por Savage et al. (1972), revelaron que el origen principal de las sustancias responsables de la RA, es la combustión de la litera. El mismo autor (Savage et al. 1974; citado por DeBano, 1981), indica que las sustancias que inducen RA, consisten básicamente en Hidrocarburos Alifáticos. A pesar de ello DeBano et al. (1976), advierten que no existe una relación entre el contenido de carbono de la materia orgánica y la RA.

2.2 Factores que afectan la Repelencia al Agua del suelo.

DeBano (1981), considera que la severidad de la RA natural del suelo depende de varios factores, y cita entre los más importantes la materia orgánica y la textura del suelo. Contenidos de materia orgánica superiores al 2 % y de textura gruesa son más susceptibles de ser afectados por este fenómeno. En opinión de este autor la intensidad del fuego y el contenido de humedad del suelo, también influyen la RA, especialmente cuando es inducida por el fuego.

2.2.1 Materia Orgánica. La literatura consultada revela que la materia orgánica induce RA en los suelos, por varios mecanismos, principalmente:

- Secado irreversible de la materia orgánica de las capas superficiales del suelo, particularmente se encuentra presente en suelos con turba (Hooghoudt 1950; Van't Woudt 1969; citados por DeBano 1981).
- Segregación de sustancias orgánicas por la litera, especialmente en suelos arenosos y suelos de texturas granulares groseras (Letey et al. 1962b; Roberts y Carbón 1971; Van't Woudt 1959; citados por DeBano 1981).

- Segregación de productos hidrofóbicos por parte de microbios, los que cubren partículas minerales del suelo (Bond 1965, 1969; Bond y Harris 1964; Fehl y Lange 1965; Mathur 1970; Savage et al. 1969b; citados por DeBano 1981).
- Formación de compuestos organometálicos (mezcla de partículas minerales con materia orgánica) (DeBano 1969; Meewing 1969; citados por DeBano 1981).
- Finalmente, Calentamiento y vaporización de sustancias RA que se encuentran cubriendo partículas minerales (Cory y Morris 1969; DeBano y Krammes 1966; citados por DeBano 1981).

2.2.2 Textura. La textura del suelo al afectar la translocación de sustancias orgánicas puede modificar el espesor e intensidad de la capa RA (DeBano et al. 1970; citado por DeBano et al. 1976). Los suelos de textura grosera pueden desarrollar una capa repelente al agua más gruesa e intensa que suelos de textura fina. Esta diferencia se debe en parte a la cantidad de área superficial de las partículas de los suelos mas finos, en los cuales una misma cantidad de material orgánico, cubre una menor superficie de partículas por unidad de volumen, que en suelos de textura gruesa (DeBano et al. 1976).

2.2.3 Humedad del suelo. Segun DeBano et al. (1976), durante una quema, la humedad del suelo es el factor más importante que afecta la transferencia de calor al interior del suelo. Cuando el suelo esta húmedo, la temperatura de este generalmente no sobrepasa los 100 °C, mientras el agua presente no haya sido evaporada. Los gradientes de temperatura se alteran, aumentan cuando el suelo está seco;

la capa repelente al agua se torna más gruesa y la RA más severa que cuando los suelos están húmedos.

2.2.4 Intensidad del fuego. La RA es mayor, cuando la temperatura de la quema incrementa. Existe una significativa relación entre la RA y la intensidad de la quema (Reeder et al. 1979). Estas opiniones han sido avaladas por resultados obtenidos en quemas de Chaparrales en California (Krammes y DeBano, 1965; citado por Reeder et al. 1979).

Durante la quema las capas superiores del suelo son expuestas a un calentamiento intenso. Con temperaturas que pueden llegar hasta los 843 °C (Dunn y DeBano 1977; citado por DeBano 1981), disminuyendo rápidamente con la profundidad. A 5 cm bajo la superficie, la temperatura no pareciera exceder los 150 °C (DeBano et al. 1977; citado por DeBano 1981). Sin embargo para el desarrollo de la RA mas importante que la temperatura absoluta a cualquier profundidad, son los gradientes de temperatura desarrollados a través de los primeros 5 cm superiores del suelo (Reeder et al. 1979), ya que estos son importantes para el flujo de SH al interior del suelo durante una quema (DeBano et al. 1966; citado por DeBano et al. 1976).

Los resultados de diversos estudios (Savage 1974; Scholl 1975; DeBano et al. 1976; Dormaar y Lutwick 1977; citados por DeBano 1981), coinciden en que las SH son destruidas por temperaturas superiores a los 288 °C. En general, se informa que las sustancias transcoladas se fijan a temperaturas menores a 250 °C, intensificandose cuando suelos que contienen SH son calentados entre 176 y 204 °C (DeBano 1981).

2.3 Efectos de la Repelencia al Agua.

2.3.1 **Movimiento del agua en el suelo.** El movimiento del agua en el suelo puede ser limitado severamente por los materiales orgánicos hidrofóbicos. Resultados de un análisis de difusión realizado por DeBano (1971), sugieren que cuando el agua pasa a través de un suelo RA, se crea un gran número de interfases líquido-sólido. Si parte o todas las partículas superficiales son cubiertas con SH, entonces las interfases tendrían grandes ángulos humectables que impedirían al agua como un líquido moverse fácilmente. La mayoría de las SH no cubren completamente las partículas de suelo, de modo que numerosos sitios humectables tienen una probabilidad de adsorber agua. Después que el agua es adsorbida, algunas de las interfases pueden unirse y formar una capa continua que permite que el líquido fluya. Por eso, en suelos RA, a medida que el contenido de agua incrementa, el agua fluye de forma similar a como lo hace en suelos humectables.

Estudios sobre movimiento de agua indican que operan diferentes mecanismos de transferencia de agua en suelos humectables y RA. En los suelos RA, el flujo líquido probablemente es obstruido por la escasa atracción entre las partículas y el líquido. En esta situación el flujo de vapor comienza a jugar un mayor rol en el movimiento del agua. La mayoría de los estudios sugieren que el flujo de vapor tal vez no es afectado por la cubierta hidrofóbica (Brandt 1969a; Hanks 1958; Hemwall y Bazer 1964; Miyamoto et al. 1972; citados por DeBano 1981).

2.3.2 Infiltración y Evaporación. La literatura revisada permite apreciar la importancia de la RA en los suelos, respecto de la infiltración, evaporación, y escurrimiento superficial, tal que se puede afirmar que la RA afecta negativamente la disponibilidad de agua para el cultivo (Letey et al. 1962; Osborn et al. 1967; Jamison 1969; DeBano 1969; citados por Reeder et al. 1979).

2.3.2.1 Infiltración. Las capas RA reducen la infiltración al interior del suelo mineral (Kimmis 1987), lo que se refleja en las curvas de infiltración instantánea de suelos RA (Letey et al. 1962b; citado por DeBano 1981). Una capa RA mas cercana a la superficie, restringe mas efectivamente la infiltración que una capa mas profunda (Mansell 1969; citado por DeBano 1981). La capa RA usualmente no es continua, presentando una humectabilidad irregular, la que aumenta en el tiempo (DeBano 1981).

2.3.2.2 Evaporación. Las SH reducen la evaporación porque afectan las fuerzas capilares, como adsorción y cohesión, necesarias para mover el agua hasta la superficie. Patrones de distribución suelo-agua después de la evaporación revelan que el agua es removida de todas las profundidades de las columnas de suelos humectables. En contraste con columnas que contenían solamente suelos RA, los cuales pierden agua primero de las capas superiores, porque el agua presente en las capas mas profundas era incapaz de alcanzar la superficie por flujo capilar (DeBano 1981).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Fundamentos del método.

Existen variados y sofisticados métodos para caracterizar RA, los más comunes son medición del tiempo de penetración de gotas de agua (WDPT), equilibrio de ángulo de contacto líquido-sólido, la determinación del índice de tensión superficial suelo-aire, y la caracterización de los ángulos humectables durante la infiltración.

El test de Tiempo de Penetración de Gotas de Agua, desarrollado por DeBano (1966), consiste en colocar una gota de agua sobre el suelo a estudiar, registrándose el tiempo requerido para que la gota penetre. Existen diferentes escalas para determinar la intensidad de la RA en la muestra de suelo, en este estudio se utilizó la clasificación propuesta por Dekker y Ritsema (1994), (ver anexo tabla 1).

3.2 Materiales.

La determinación del tiempo de penetración se realizó en una muestra inalterada de suelo. Para obtener estas muestras se construyeron cajas de madera con dimensiones de 25 x 25 cm y 20 cm de profundidad. Previo a la quema es necesario conocer el contenido de humedad de las muestras, para lo cual se utilizó un horno de secado (105 °C, por 24 horas), el que permitió determinar el contenido de humedad en una submuestra. Para la aplicación de los tratamientos de quema fue necesario construir un sistema, el cual está formado por:

- Termocuplas tipo K de cromo y aluminio, las cuales miden temperaturas que van desde los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Indicador digital para termocuplas tipo K.
- Tubos de cobre de 5 mm de diametro y 15 cm de largo para introducir las termocuplas al suelo mineral.
- Cubo metálico de volumen similar a la caja de madera, con orificios en los costados a 1,2,3,4,5,7 y 9 cm de profundidad que permiten introducir los tubos de cobre con las termocuplas.

La figura 1 muestra el sistema utilizado para la aplicación de los tratamientos.

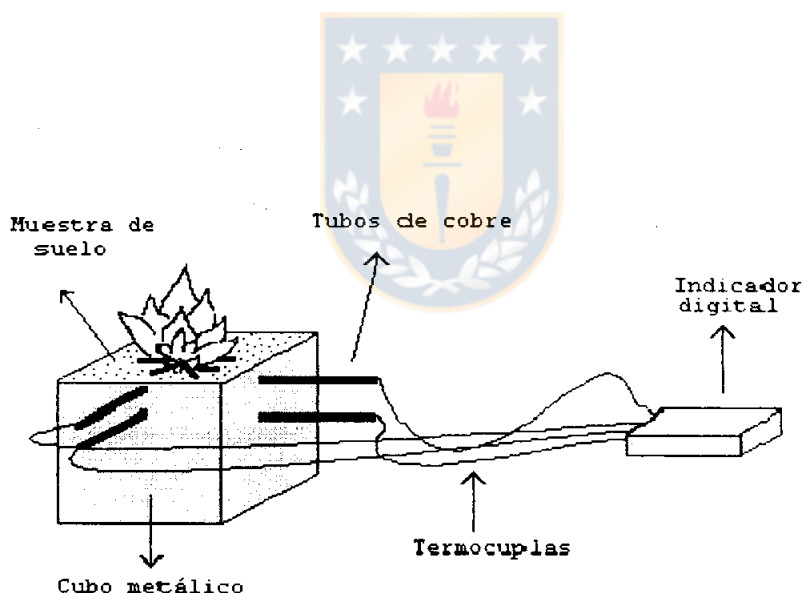


Figura 1. Sistema utilizado para la aplicación de los tratamientos de quema.

En la aplicación del test de tiempo de penetración de gotas de agua se utilizó un gotario con agua destilada, una pinza para extraer el suelo, y un cronómetro.

3.3 Método de trabajo.

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. Las muestras de suelo (Serie de suelo San Esteban) se obtuvieron del Fundo La Cantera y el Guindo de propiedad de la Universidad de Concepción. Todas las muestras de suelo se colectaron desde un mismo sitio con el propósito de homogeneizar las condiciones de pendiente (10%), exposición (Sur-Oeste), y cobertura vegetal (Pinus radiata D.Don).

3.3.1 Diseño experimental. El experimento se desarrolló, utilizando un Diseño Aleatorio Simple, con tres repeticiones para cada tratamiento. El factor considerado es la temperatura, la cual tiene cinco niveles: 100, 150, 200, 250 y 300 °C. Los tratamientos de quema se aplicaron por 20 minutos, iniciándose una vez que la temperatura en la superficie del suelo alcanza el nivel requerido para cada tratamiento. Además se utilizó un tratamiento control a temperatura ambiente y tiempo cero, con el propósito de evaluar las condiciones naturales de RA. En total se tienen seis tratamientos replicados tres veces lo que da un total de 18 muestras de suelo mineral.

3.3.2 Unidad experimental. La unidad experimental la constituyó un bloque de suelo mineral inalterado de 25 x 25 cm y 20 cm de profundidad, obtenido de un suelo de la Serie San Esteban, cubierto con una plantación de Pinus radiata D.Don de 14 años. El lugar de obtención de la muestra, se despejaba hasta tener el suelo mineral descubierto, en la superficie se hizo la marcación del área del bloque de suelo a extraer (25 x 25 cm), con la pala se extrajo el

suelo de los costados hasta formar un bloque de 20 cm de profundidad, luego la caja de madera se insertada sobre la muestra y con una rotación aproximada de 90 grados, la base del bloque era desprendida del suelo restante, la caja era cerrada en la parte inferior y superior y luego transportada al laboratorio donde se retiraron de las cajas y ubicadas en un lugar de almacenaje hasta homogeneizar las condiciones de humedad para aplicar los tratamientos.

3.3.3 Preparación de la muestra. Almacenando las muestras a temperatura ambiente bajo techo, se procedió a homogeneizar el contenido de humedad (CH) de ellas, controlando diariamente el contenido de humedad, hasta alcanzar un rango 18-22 % . En estas condiciones las muestras estaban listas para aplicar los tratamientos.

3.3.4 Aplicación de tratamientos de quema. Cada muestra era instalada sobre el cubo metálico, la superficie de ellas fue calentada por combustión de material orgánico presente en el piso forestal del lugar de muestreo (acículas y ramillas principalmente). La cantidad de combustible fue variable, se agregaba material hasta que superficie del suelo mineral alcanzaba la temperatura requerida por el tratamiento. Por la dificultad de mantener la superficie del suelo a una temperatura fija, se optó por un rango de ± 25 °C para cada tratamiento (75-125, 125-175, 175-225, 225-275 y 275-325 °C).

Las temperaturas del suelo eran medidas a 0,1,2,3,4,5,7 y 9 cm de profundidad, utilizando Termocuplas tipo K, el indicador digital permitía observar y registrar las temperaturas logradas. Tubos de cobre paralelos a la

superficie del suelo, condujeron la termocupla hasta el centro de la muestra, luego los tubos eran retirados 3 cm, para exponer el extremo de esta, minimizando la conducción de calor a través de los tubos hacia el suelo mineral y lejos de las termocuplas.

El tiempo de aplicación de los tratamientos era medido desde que la temperatura de la muestra alcanzaba el límite inferior del rango correspondiente, la combustión era controlada para mantener la temperatura del tratamiento por 20 minutos. Luego el combustible era removido y la muestra enfriada a temperatura ambiente.

3.3.5 Determinación y clasificación de la intensidad de la Repelencia. Luego de aplicado el tratamiento y enfriada la muestra, se realizó la medición de la variable respuesta que corresponde al tiempo de penetración de la gotas de agua (TPGA), medido en segundos, para diferentes profundidades en la muestra, a partir de la superficie del suelo mineral, estas son 0,1,2,3,4,5,7 y 9 cm. En cada profundidad fueron aplicadas 4 gotas de agua destilada, a cada una se le midió el tiempo requerido para penetrar al suelo, considerando un tiempo máximo de medición de 3600 s, registrando posteriormente el tiempo promedio de penetración. Para las profundidades 1,2,3,4,5,7 y 9 cm, fue necesario remover las capas de suelo a medida que se avanzaba en profundidad, para ello en cada capa se extraían cuidadosamente las partículas de suelo mineral con una pinza, para no alterar la estructura y porosidad del suelo, y no producir un efecto que pudiera alterar la RA del suelo. Los tiempos de penetración obtenidos se compararon con la tabla entregada por Dekker y Ritsema (1994),

obteniéndose así la clasificación de los tiempos en las distintas categorías de repelencia.

3.3.6 Análisis de resultados. La variable respuesta se analizó estadísticamente de acuerdo al tipo de experimento y diseño utilizado, a través de análisis de varianza con un nivel de confianza del 95 % . Previo al análisis se verificaron los supuestos del análisis de varianza.



IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados del experimento se muestran en la tabla 1. En el tratamiento control (15 °C) se observa un horizonte RA natural que va desde la superficie hasta los 3 cm de profundidad. Si se compara los demás tratamientos (100,150, 200, 250 y 300 °C) con el control se aprecia que el perfil de RA ha sido radicalmente alterado por efecto del fuego.

Tabla 1. Tiempos de penetración de gotas de agua a diferentes profundidades en cada uno de los tratamientos aplicados.

Profundidad (cm)	Tiempo penetración gotas de agua (s)					
	15 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C
0	S 915	S 2177	S 1506	S 2150	S 1197	H 3
1	L 15	S 1531	F 486	S 1062	S 736	S 970
2	L 6	S 1144	L 31	S 828	F 74	S 1287
3	L 13	S 758	F 111	S 824	F 204	S 750
4	H 3	L 46	S 603	S 914	L 44	F 428
5	H 2	H 1	H 3	S 652	L 10	L 43
7	H 3	H 1	H 2	L 7	L 5	L 6
9	H 1	H 1	H 1	H 2	H 2	H 3

* H, L, F y S corresponden a la clasificación de intensidad de RA hecha por Dekker y Ritsema (1994): H, humectable o no RA (<5 s); L, leve (5-60 s); F, fuerte (60.-600 s); S, severa (600-3600 s); E, extrema (>3600 s).

En todos los tratamientos de quema desde la superficie hasta la profundidad 4 cm, el valor de Tiempo penetración de gota de agua (TPGA) siempre aumenta con respecto al control, excepto el tratamiento 300°C en la superficie, el que es notoriamente inferior al control. A la profundidad 5 cm se observa un aumento de la RA en los tratamientos 200, 250 y 300 °C. Este efecto se debilita a los 7 y 9 cm pero

sigue siendo mayor que el control. Se podría decir que el efecto del fuego sobre la RA se concentra en los 5 cm superiores. Esto concuerda con Reeder et al. (1979), quien indica que la RA ocurre principalmente en los 5 cm superiores del suelo mineral. En general para todos los tratamientos la RA tiende a disminuir en intensidad a medida que se avanza en profundidad (ver apéndice fig. 1).

A pesar de los efectos encontrados, el análisis de varianza no muestra diferencias significativas con respecto a la condición original, debido a la gran variabilidad de los TPGA entre las repeticiones de cada tratamiento, lo que produce una alta variabilidad de la varianza de los tratamientos, posiblemente producto de la distribución irregular de las sustancias hidrofóbicas, ya que se trata del horizonte superficial profundamente alterado por la actividad de la mesofauna y las raíces. Esto se explicaría por el hecho que los horizontes repelentes no son continuos, presentando una humectabilidad irregular (DeBano 1981), debido que las SH no cubren completamente las partículas de suelo, de modo que numerosos sitios humectables tienen una probabilidad de adsorber agua (DeBano 1971).

Para efectos de análisis e interpretación de los resultados se utilizó la clasificación propuesta por Dekker y Ritsema (1994). Considerando sólo la superficie, tenemos que el tratamiento control presenta una RA severa (600-3600 s), con un TPGA de 915 s. Los tratamientos 100, 150, 200 y 250 °C mantienen esta condición de severidad pero con valores de TPGA mayores que el control. El tratamiento 300 °C esta en

una condición de humectabilidad (<5 s), es decir, se destruyó la RA.

Estos resultados coinciden con los reportados en diversos estudios que han revelado que las sustancias hidrofóbicas son destruidas por temperaturas superiores a los 288 °C, y además que la RA se intensifica cuando los suelos que contienen SH son sometidos a temperaturas que oscilan entre 176 y 204 °C (Savage 1974; Scholl 1975; DeBano et al. 1976; Dormaar y Lutwick 1977; citados por DeBano 1981). En las profundidades de 1, 2 y 3 cm se produce un mayor grado de RA con respecto al control para todos los tratamientos de quema, con excepción del tratamiento 150 °C a la profundidad 2 cm. En todos los tratamientos de quema se observa algún grado de repelencia a los 4 cm, situación que no ocurre en el tratamiento control. Para las profundidades 5 y 7 cm, todos los tratamientos de quema a excepción de los tratamientos 100 y 150 °C son repelentes en algún grado. A los 9 cm ningún tratamiento de quema afecta la humectabilidad del suelo.

El incremento en la intensidad de RA en los horizontes inferiores para todos los tratamientos de quema, sugieren un desplazamiento de las sustancias que producen la repelencia, conforme lo ha sugerido DeBano (1969) citado por DeBano (1981) (ver anexo, fig. 1).

Los resultados de las mediciones de la temperatura revelan que los tratamientos de quema aplicados, fueron capaces de alterar la temperatura original del suelo hasta los 9 cm de profundidad, como muestra la tabla 2. Se puede verificar que las temperaturas disminuyen gradualmente en profundidad

generando un gradiente de temperatura el que según la literatura consultada crea un flujo de sustancias Hidrofóbicas.

Tabla 2. Temperaturas promedio para cada tratamiento, a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Temperatura media (°C)					
	15 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C
0	15	123	157	214.33	259	312.33
1	14	94	135.67	78.67	100	160.67
2	14	70.67	57	67	74.33	89.67
3	14	59.67	53.3	56.33	65	76.33
4	14	52.67	29.33	46.33	56.33	66.33
5	14	42.67	25	33.67	43.33	54
7	13	23.67	19.33	22.33	26.33	32.67
8	13	16.67	16.67	16.33	22.67	25.67

En general para todas las profundidades, las temperaturas alcanzadas con los tratamientos de quema aumentan a medida que las quemaduras fueron más intensas, siendo el tratamiento 300°C el que logra las mayores temperaturas. Esto evidencia una relación directa entre la energía calórica aplicada a la superficie del suelo y la transferencia de ella al interior del perfil de suelo mineral.

Es relevante destacar que a 1 cm de profundidad todos los tratamientos de quema alcanzaron temperaturas menores que 200°C, nivel que corresponde al límite inferior de temperatura para inducir volatilización del nitrógeno, siendo éste el elemento más volátil (Agee 1993). La pérdida directa de nutrientes, de acuerdo a las temperaturas alcanzadas, debería ser mínima.

La capa RA puede afectar el movimiento de agua en el suelo interfiriendo sobre la evaporación e infiltración. La

evaporación disminuiría ya que las SH afectan las fuerzas capilares necesarias para mover el agua hasta la superficie. La infiltración también se reduciría, ya que según Mansell (1969) citado por DeBano (1981), una capa RA más cercana a la superficie restringe más efectivamente la infiltración que una capa más profunda. Lo anterior provocaría una rápida saturación del suelo superficial y posterior escorrentía.

Lo anterior lleva a asumir que los efectos de la RA por efecto del fuego son más perjudiciales para suelos en pendientes, bajo esta condición se facilita el escurrimiento superficial del agua de lluvia (que no infiltra) causando el escurrimiento de material de suelo y los efectos negativos asociados a la erosión, como son las pérdidas de humedad, de nutrientes, etc.

La quema prescrita tiene como objetivo usar el fuego en forma dirigida, como medio de manejo de la vegetación de manera de atenuar el impacto ambiental de las quemas. Bajo este concepto la reducción de la RA inducida por el fuego en el suelo es una consideración importante que se debería tener presente al momento de la prescripción de quemas. Entre los factores importantes que se deberá tener presente para prescribir quemas se mencionan la textura del suelo, cantidad de materia orgánica sobre la superficie del suelo, y el contenido de humedad. Se trata de combinar estos factores, de modo de alcanzar una intensidad de quema que permita la menor transferencia posible de energía calórica al suelo, lo que permitiría minimizar los efectos producidos por el fuego.

V CONCLUSIONES

- La repelencia natural del suelo se presentó desde la superficie hasta el tercer centímetro de profundidad.
- Todos los tratamientos de quema: 100, 150, 200, 250 y 300°C inducen una intensificación de la repelencia natural del suelo al agua.
- El tratamiento de quema 300°C elimina la RA natural, en la superficie del suelo mineral.




VI RESUMEN

Para determinar la Repelencia al agua del suelo inducida por altas temperaturas, producto de la combustión de material orgánico, se realizó un ensayo con un Diseño Aleatorio Simple, donde el factor a considerar correspondió a temperaturas aplicadas por 20 minutos sobre la superficie del suelo mineral, logradas por combustión de la hojarasca (litera y combustible menor). Los tratamientos fueron: 100, 150, 200, 250 y 300 °C, además de un tratamiento control a temperatura ambiente que permitía observar la repelencia natural del suelo. Todos los tratamientos de quema intensificaron la repelencia natural del suelo al agua, que originalmente se presentaba en la superficie hasta el tercer centímetro de profundidad. La repelencia al agua de la superficie es destruida cuando la temperatura del suelo alcanza los 300 °C.

SUMMARY

A laboratory experiment was conducted to study water repellency induced by fire on a Chilean granitic soil covered with 14 year old radiata pine plantation. The explanatory variable was temperature applied on the mineral soil surface during 20 minutes. The experiment included a total of 5 burning treatments (different temperature) plus one unburned control with 3 replications. The results indicate that the soil under study showed a natural water repellency present on the top 3 centimeters of the mineral soil which was increased by fire. Temperatures of 300 °C at the soil surface destroyed the natural hydrophobic properties of the top soil.



VII BIBLIOGRAFIA

1. Agee, J. K. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press. Covello, California. 493 p.
2. DeBano, L. F. 1971. The effect of hydrophobic substances on movement in soil during infiltration. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 340-343.
3. DeBano, L. F., S. M. Savage, y D. A. Hamilton. 1976. The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40: 779-782.
4. DeBano, L. F. 1981. Water repellent soils: a state of the art. USDA Forest service. Gen. Tech. Rep. PSW - 46. Pacific Southwest Forest and Range Experiment station. 21 p.
5. Dekker, L. W., y C. J. Ritsema. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. Water resources research, vol. 30, NO. 9, pages 2507-2517.
6. Kimmins, J. P. 1987. Forest ecology. McMillan. New York. 560 p.
7. Reeder, C. J., y M. F. Jurgensen. 1979. Fire induced water repellency in forest soils of upper Michigan. Can. J. For. Res. 9: 369-373.
8. Savage, S. M., J. Osborn, J. Letey, y C. Heaton. 1972. Substances contributing to fire induced water repellency in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 674-678.
9. Soto, L. 1995. Estadísticas de ocurrencia y daño de incendios forestales temporadas 1994-1995. CONAF, Gerencia Técnica. Departamento de Manejo del Fuego. Informe estadístico N° 44.

VIII APENDICE

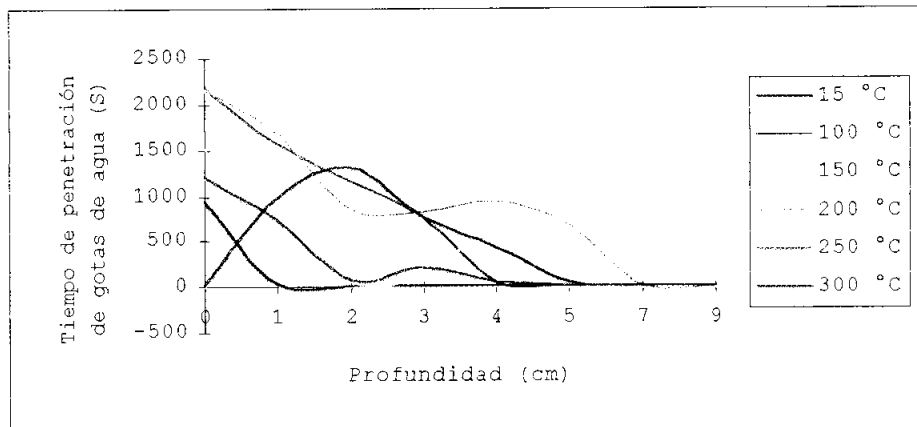


Figura 1 A. Tiempos de penetración de gotas de agua a diferentes profundidades en cada uno de los tratamientos aplicados.

IX ANEXO

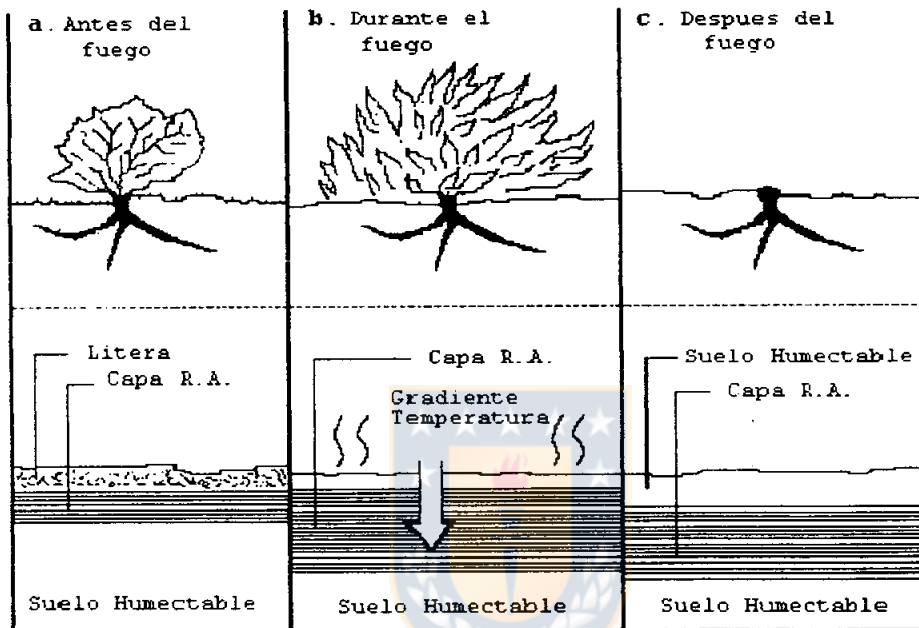


Figura 1 B. Proceso por el cual el fuego altera la repelencia al agua del suelo: (a) antes del fuego, sustancias hidrofóbicas (SH) acumuladas en la capa de litera y suelo mineral; (b) fuego sobre la vegetación y capa de litera, causando que las SH se muevan al interior del suelo a través de los gradientes de temperatura; (c) después del fuego, un horizonte RA está presente bajo y paralelo a la superficie del suelo sobre el área quemada (DeBano 1981).

Tabla 1 B. Clasificación de intensidad de repelencia del suelo al agua.

Niveles	Intensidad de repelencia al agua	Tiempo penetración gotas de agua (s)
H	Humectable	< 5
L	Leve	5-60
F	Fuerte	60-600
S	Severa	600-3600
E	Extrema	> 3600

Fuente : Dekker y Ritsema (1994).

