

# VARIACION DEL POTENCIAL MÁTRICO DURANTE EL MOVIMIENTO DE AGUA EN ANDISOLES

## VARIATION OF MATRIC POTENTIAL DURING WATER MOVEMENT IN ANDISOLS.

Juan Nissen M.<sup>1</sup>, Cristian Quiroz S.<sup>1</sup>, Oscar Seguel S.<sup>2</sup>, Roberto Mac Donald H.<sup>1</sup>  
y Achim Ellies Sch.<sup>1</sup> (*In Memoriam*)

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia, Chile.

<sup>2</sup> Depto. de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Casilla 1004, Santiago.

E-mails: [jnissen@uach.cl](mailto:jnissen@uach.cl); [oseguel@uchile.cl](mailto:oseguel@uchile.cl).

### ABSTRACT

**Keywords:** Matric potential, water flow, porosity, Andisol management.

The aim of this research was to evaluate the dynamics of matric potential during wetting and drying phases of three Andisols, located in the VIIth, IXth and Xth Region of Chile, submitted also to two different managements (forest and pasture). The matric potential during 24 hours after a simulated irrigation of 30 mm, was measured and the advance of the water front was registered for non disturbed soil samples with an artificial water level. With the same set of sensors, variations of matric tensions were measured during a period of drying of 24 hours. Furthermore, porosity distribution of all soils was determined. The advance of the water fronts took between 8 and 16 minutes to wet the complete forest soil profiles, time that is related to the size distribution of pores. Due to the more intense management of the pasture, which causes a decrease of total porosity and macropores, the time of water distribution increased and the gradient of potentials was more irregular. After 24 hours, in all soils and in both managements, distribution of potentials reached a balance with the phreatic level, similar to the distribution previous to irrigation. In conclusion, with the increase of gravitational water porosity, the advance of the water front tended to be bigger and constant, specially in forest soils.

## RESUMEN

**Palabras clave:** Tensión hídrica, flujo de agua, porosidad, manejo de Andisoles.

El objetivo principal de la investigación fue evaluar la dinámica del potencial mátrico en fases de mojado y secado en tres suelos Andisoles, provenientes de la VII, IX y X Regiones de Chile, sujetos además a dos tipos de manejo, bosque y pradera. Se monitoreó el avance del frente de agua en muestras de suelos no alteradas con un nivel freático artificial durante 24 h, después de haber simulado un riego de 30 mm. Con el mismo equipo de sensores, se monitoreó la variación de la tensión mátrica durante un periodo de secado de 24 horas. También se determinó la distribución de poros de todos los suelos en estudio. Los frentes de avance tardan entre 8 y 16 minutos en distribuirse dentro del perfil de suelo bajo bosque, tiempo que se relaciona con la distribución del tamaño de poros. Debido al manejo más intenso de la pradera, lo que provoca una disminución de la porosidad total y de los macroporos, el tiempo de distribución de agua aumenta y la gradiente de potenciales es más irregular. Al cabo de 24 h., para todos los suelos y para ambos manejos, la distribución de potenciales alcanza un equilibrio con el nivel freático similar a la distribución previa a la aplicación del riego. En conclusión, con el incremento de la porosidad de drenaje, el avance del frente de agua tendió a ser mayor y constante, especialmente en los suelos bajo bosque.

## INTRODUCCION

Las fuerzas impulsoras que participan en el transporte del agua en el suelo son la gradiente, el potencial hidráulico y la gravedad (Iversen et al., 2001; Wallach et al. 1992.). La velocidad del flujo no saturado depende del tamaño de los poros que están activos y de la tensión con que el agua está retenida (William et al., 1991). En el flujo no saturado existe una fuerte relación entre la conductividad y el contenido de agua o espesor de las películas de agua (Baver y Gardner, 1973; Taylor, 1972). Los suelos de cenizas volcánicas recientes se caracterizan por un secado continuo y uniforme desde la superficie del suelo hasta las estratas inferiores.

La gradiente hidráulica en estos suelos es pequeña y la conductividad hidráulica en fase no saturada es alta (Ellies y Vyhmeister, 1981). También se ha sugerido que la forma de los poros en estos suelos puede favorecer la alta conductividad hidráulica. A su vez, esta característica explicaría el por qué estos suelos pierden tan rápidamente el agua y sufren un secado uniforme en profundidad (Vyhmeister, 1980).

Según Ellies y Vyhmeister, (1981) al comparar dos suelos, (un Andisol reciente y un Andisol evolucionado) con otros suelos, determinaron una gradiente hidráulica muy pequeña, lo que se puede deber a su alta conductividad hidráulica en fase no saturada y al alto porcentaje de poros medianos que presentan estos suelos. En Andisoles más recientes, las gradientes hidráulicas son algo más pronunciadas que en Andisoles evolucionados; los autores señalan que esto puede deberse a la mayor proporción de poros gruesos y a la extrema hidrofobia del suelo menos evolucionado.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la dinámica del potencial mátrico en fases de mojado y secado en tres suelos Andisoles, provenientes de la VII, IX y X Regiones de Chile y sujetos además a dos tipos de manejo, bosque y pradera. Los objetivos específicos del presente estudio fueron determinar la distribución de poros de todos los suelos y relacionar todos estos resultados con el tipo de uso de suelo.

## MATERIAL Y METODO

El estudio se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile, entre el mes de septiembre de 2003 y el mes de enero de 2004. Se emplearon tres suelos Andisoles (Trumaos) sometidos cada uno a dos distintos manejos: bosque nativo y pradera permanente. Los suelos fueron extraídos como muestras inalteradas en cilindros de 30 cm de diámetro y 75 cm de altura, con una altura mínima de suelo de 60 cm, sin vegetación. Cada cilindro fue enterrado mediante golpes, removiendo simultáneamente el suelo alrededor de éste. La extracción de las muestras no generó asentamiento, por cuanto los niveles superficiales internos y externos de los suelos no tuvieron diferencias. Posteriormente, los cilindros fueron llevados al laboratorio.

La distancia máxima entre puntos de extracción entre distintos manejos de un mismo tipo de suelo fue de 2 km. En el Cuadro 1, se señalan los tipos de suelos utilizados y su procedencia.

**CUADRO 1: Suelos analizados y ubicación del muestreo.**

**TABLE 1 : Analysed soils and their location.**

Serie	Clasificación	Ubicación
Bramadero	Humic Haploxerand	A 25 km al este de San Clemente hacia Laguna del Maule, Talca, VII Región
Osorno	Typic Hapludand	A 10 km al sur de Osorno, sector Casa de Lata, X Región
Pemehue	Pachic Fulvudand	40 km al suroeste de Villarrica, IX Región

**Nota:** Los suelos del Cuadro 1 se presentan ordenados de mayor a menor grado de evolución.

Para cada tipo de suelo se confeccionó su curva de retención de agua, en bosque y en pradera, como también en superficie y en profundidad. Estas curvas y la densidad aparente de los suelos se determinaron en cilindros metálicos de 365 cm<sup>3</sup> (Hartge, 1971) y usando dos repeticiones. La densidad real se midió mediante la metodología del pesaje sumergido (Hartge, 1971; Forsythe, 1974). Con los valores de densidad aparente y real, se calculó la porosidad total por fórmula (Hartge, 1978), resultados que se presentan en el Cuadro 2.

**CUADRO 2: Propiedades físicas de los suelos analizados.**

**TABLE 2 : Physical properties of soils.**

Serie	Uso	Profundidad ( cm )	Densidad real (g*cm <sup>-3</sup> )	Densidad aparente (g*cm <sup>-3</sup> )	Espacio Poroso (%)
Bramadero	Pradera	0-15	2,01	0,87	56,7
		15-40	2,11	0,85	59,7
	Bosque	0-15	2,39	0,83	65,0
		15-40	2,33	0,87	62,4
Osorno	Pradera	0-15	2,28	0,83	63,6
		15-40	2,39	0,81	66,2
	Bosque	0-15	1,92	0,50	73,9
		15-40	2,01	0,55	72,1
Pemehue	Pradera	0-15	2,10	0,69	66,9
		15-40	2,22	0,68	69,2
	Bosque	0-15	2,11	0,56	72,5
		15-40	2,01	0,58	76,4

**Nota:** Suelos ordenados de mayor a menor grado de evolución.

Para medir los potenciales mátricos que se generaron en los suelos a medida que cambiaba el contenido de agua, se utilizaron diversos sensores instalados a diferentes niveles de profundidad. Se utilizaron tensiómetros con cabeza cerámica, conectada a un tubo de PVC y un tapón de silicona. Para la medición, el tensiómetro se conectaba a un lector electrónico (sensor de aguja para registrar grado de vacío). El funcionamiento se basa en el uso de una aguja hipodérmica, la que se introduce a través del tapón de silicona y que mide la succión al interior del tubo. Para la preparación de cada tensiómetro, el llenado con agua se hizo de tal forma que quede un espacio libre entre el nivel de agua en el tubo y el punto inferior del tapón de silicona. Este espacio debe ser de cerca de 1 cm, para que la aguja del tensiómetro electrónico tome la información desde el medio gaseoso. La tensión hídrica además fue medida con sensores de tensión Watermark y el medidor electrónico Watermark, que posee lectura digital entre 5 y 200 kPa. Para medir los potenciales de agua en las muestras de perfil de suelo, se procedió a ubicar tensiómetros de tubo a 10, 15, 20, 30 y 40 cm de profundidad, en tanto que los sensores de humedad Watermark fueron ubicados a 10 y 15 cm de

profundidad. Pevio a la investigación, los cilindros con muestras fueron colocados en recipientes con agua, simulando un nivel freático a 60 cm de profundidad, de tal forma que se mantengan lo menos alteradas y conserven su estado inicial.

En el estudio se monitorearon los potenciales mátricos de los suelos con una humedad cercana a saturación, después de un aporte superficial de agua equivalente a 30 mm de riego. El estudio duró en total 24 h y tuvo dos fases: la Fase 1 de humectación, durante el avance del frente de agua hasta llegar al nivel freático (ó a la detención del flujo descendente) y la Fase 2 de secado inicial del suelo, hasta completar 24 h.

Las dos fases del estudio se realizaron en una sola secuencia, después de la aplicación de los 30 mm de agua, usando los intervalos de tiempo de 2, 4, 8, 16 y 32 min, luego 1, 2 y 24 h. Una vez terminada la medición de las 24 h, el suelo se dejó en reposo por 48 h. Pasado este tiempo se volvió a repetir el procedimiento de las Fases 1 y 2 dos veces, generando dos repeticiones. En cada repetición, antes del riego se realizó una medida para conocer la condición inicial de tensión del suelo. Para la Fase 2 también se tomó una medida inicial para conocer su condición de partida.

## PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### Distribución de poros y retención de agua de los suelos estudiados.

En el Cuadro 3 se presenta la distribución del espacio poroso para cada suelo, profundidad y su respectivo manejo.

**CUADRO 3: Distribución del espacio poroso de los suelos analizados.**

**TABLE 3 : Pore distribution of soils.**

Serie	Bramadero		Osorno		Pemehue	
	Pradera	Bosque	Pradera	Bosque	Pradera	Bosque
<b>0-15 cm</b>						
Porosidad >50 $\mu\text{m}$	6,1	13,1	9,3	23,9	7,2	18,0
Porosidad 10-50 $\mu\text{m}$	8,3	12,6	10,2	13,3	12,4	12,6
Porosidad 10-0,2 $\mu\text{m}$	16,3	19,6	19,5	14,6	23,7	19,4
Porosidad <0,2 $\mu\text{m}$	26,0	19,7	24,6	22,1	23,6	22,4
Porosidad total (%)	<b>56,7</b>	<b>65,0</b>	<b>63,6</b>	<b>73,9</b>	<b>66,9</b>	<b>72,5</b>
<b>15-40 cm</b>						
Porosidad >50 $\mu\text{m}$	6,9	12,5	12,5	19,1	12,0	15,3
Porosidad 10-50 $\mu\text{m}$	10,9	11,4	11,2	15,4	14,6	11,7
Porosidad 10-0,2 $\mu\text{m}$	20,6	18,2	18,5	21,2	23,0	27,3
Porosidad <0,2 $\mu\text{m}$	21,3	20,2	24,0	16,4	19,6	22,1
Porosidad total (%)	<b>59,7</b>	<b>62,4</b>	<b>66,2</b>	<b>72,1</b>	<b>69,2</b>	<b>76,4</b>

**Nota:** Los suelos se presentan ordenados de mayor a menor grado de evolución.

Observando la distribución del espacio poroso, es posible constatar una mayor porosidad gruesa (>10 $\mu\text{m}$ ) en los sitios bajo bosque. El pisoteo superficial en la pradera genera una disminución de la porosidad respecto a las muestras sub-superficiales. Tanto bajo uso de pradera como bosque, es posible observar la tendencia a la disminución del espacio poroso en relación con el grado de evolución del suelo. En el Cuadro 3 se puede ver claramente que los suelos bajo manejo de bosque, tanto en superficie como en profundidad, retienen un mayor contenido de agua a bajas tensiones, siendo levemente superior en las muestras de bosque superficial (0-15 cm).

Debido a las características estructurales de los Andisoles, también en pradera el contenido de poros de drenaje (>10 $\mu\text{m}$ ) es relativamente alto, principalmente en profundidad. Entre las diferentes Series, Osorno presenta el mayor contenido de porosidad secundaria en bosque superficial, seguido por la Serie Pemehue y Bramadero. En profundidad, se mantiene la misma tendencia por parte de los suelos.

En suelos bajo manejo de pradera ocurre lo contrario, ya que en todos ellos el mayor contenido de poros de drenaje se presenta sub-superficialmente. Al comparar los valores de pradera con los de bosque, tanto en pradera superficial como profunda es posible observar un menor contenido de porosidad secundaria. Las mayores diferencias de poros se presentan en el bosque de 15-40 cm, lo que asegura la mayor presencia de poros secundarios, en el rango de tensiones de este estudio.

El menor contenido de espacio poroso en la pradera está provocado por la frecuencia y el tiempo del uso del suelo, que generalmente es más intenso y/o degradante, y que por lo general afecta principalmente a las estratas superficiales. En el Cuadro 3, también se aprecia que, en las tres Series con manejo de pradera, tanto en superficie como en profundidad, dominan los poros de un diámetro inferior a 10 micrones. Con respecto al contenido de poros menores a 0,2 micrones, para todas las Series y sus respectivos manejos, el contenido de poros en este rango es alto. En general, los suelos

presentaron una distribución homogénea para todos los grupos de poros. Según la distribución de poros, para los suelos que están bajo manejo de bosque, tanto en superficie como en profundidad, se podría esperar una mayor velocidad de infiltración a tensiones bajas (cercana a saturación) por efecto de su macroporosidad, superior a aquellos que están sometidos bajo manejo de pradera.

El manejo agropecuario del suelo modifica en el mediano plazo a la estructura, la cual a su vez depende de la intensidad de uso y del tiempo de utilización de éste. Junto con el cambio estructural, debería cambiar la magnitud y dirección de los flujos de agua y aire (Ellies et al, 1997). Al hacer una comparación entre las praderas, se podría esperar una mayor velocidad de infiltración en aquellas que presentan un mayor contenido de macroporosidad, siguiendo el ordenamiento en Serie Osorno, Pemehue y al final Bramadero, que presenta el menor contenido de porosidad gruesa.

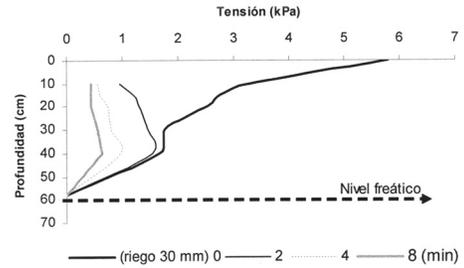
Según lo señalado por Ellies (1975), citado por Vyhmeister (1980) un suelo que posea un mayor porcentaje de poros medios sufrirá un mayor secado en profundidad, debido a una mayor conductividad hidráulica. Por otra parte, la ascensión capilar debería ser mayor en los suelos que poseen una mayor proporción de poros finos. Consecuencia de todo lo anterior, se debería esperar que los suelos bajo manejo de bosque tengan una alta conductividad hidráulica en fase no saturada en todos los rangos de tensiones, mientras que en los suelos bajo pradera la conductividad será alta solamente donde domine determinada fracción de poros.

**Variación de la tensión hídrica del suelo al regar con presencia de nivel freático.**

En las Figuras 1 a la 12 podemos apreciar el desarrollo de las tensiones hídricas en profundidad de las columnas de suelo, después de aplicar un riego. Estos resultados se obtuvieron con la presencia de un nivel freático artificial a 60 cm de profundidad.

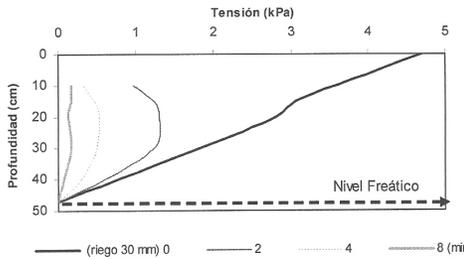
**Suelos bajo manejo de bosque.** En las Figuras 1, 2 y 3 se presenta el desarrollo de

la tensión hídrica, al aplicar un riego de 30 mm sobre los suelos manejados bajo bosque. La curva de los cero minutos corresponde a la medición realizada antes del riego. Una vez aplicado el riego, se aprecia un rápido avance del frente de mojado en profundidad para los tres suelos, siendo este descenso más constante y rápido en la serie Osorno, seguido por Pemehue y Bramadero.



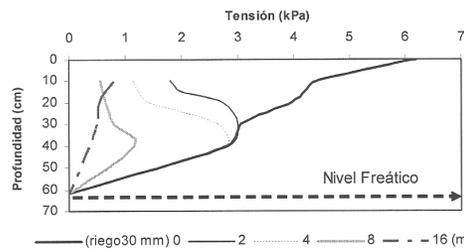
**FIGURA 1:** Desarrollo de la tensión hídrica del suelo Osorno-bosque, después de aplicar riego, con presencia de nivel freático.

**FIGURE 1:** Hydric tensions of Osorno forest soil after irrigation, with a phreatic level.



**FIGURA 2:** Desarrollo de tensiones hídricas del suelo Pemehue-bosque, después de aplicar riego, con presencia de nivel freático.

**FIGURE 2:** Hydric tensions of Pemehue forest soil after irrigation, with a phreatic level.



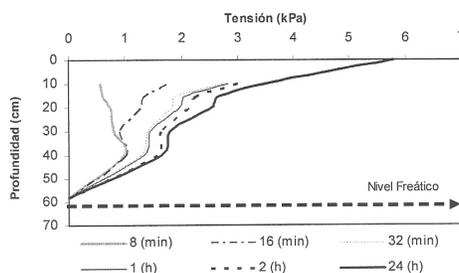
**FIGURA 3:** Desarrollo de la tensión hídrica del suelo Bramadero-bosque después de aplicar riego, con presencia de nivel freático.

**FIGURE 3:** Hydric tensions of Bramadero forest soil after irrigation, with a phreatic level.

A través del frente de mojadura, los suelos llegan a una situación de equilibrio o igualdad de tensiones entre las estratas superiores e inferiores al poco tiempo (8 min para series Osorno y Pemehue, 16 min para serie Bramadero). Observando las Figuras 1, 2 y 3, se aprecia que la velocidad de descenso del agua concuerda con las proporciones de porosidad gruesa encontrada en estos suelos (Cuadro 3), donde bosque Osorno presenta la mayor cantidad de poros mayores a  $10\mu\text{m}$ , tanto en superficie como en profundidad, seguido por Pemehue y Bramadero.

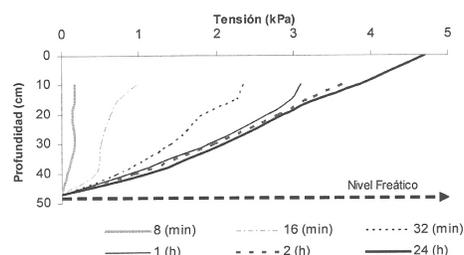
Observando el desarrollo de las curvas, los sitios en los cuales el manejo asegura mantener una alta porosidad secundaria presentan una mayor velocidad de desplazamiento del agua, principalmente en aquellos con escasa intensidad de uso del suelo, como sucede bajo bosque, donde la porosidad gruesa es muy alta. Esta capacidad se reduce en los sitios bajo una pradera, coincidiendo con Ellies et al., 1997.

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan los aumentos de la tensión hídrica para el manejo bajo bosque, como consecuencia de la fase inicial de secado de los suelos y a partir de un estado cercano a saturación. El estudio comenzó inmediatamente después de la secuencia de humectación (Fase 1). Se aprecia que una vez que se ha alcanzado una mínima tensión en todo el perfil después del riego, se comienza a producir un aumento de la tensión en superficie en forma casi inmediata. Esto ocurre a los 16 min del inicio de la Fase 1 para las series Osorno y Pemehue, tardándose un poco más en la serie Bramadero (32 min). A medida que transcurre el tiempo, el agua termina de drenar y por lo tanto el perfil del suelo comienza a recuperar su estado inicial, produciéndose un aumento de las tensiones en todo el perfil, hasta llegar a la condición antes del riego, donde existía un mayor diferencial de gradiente entre las capas superficiales y sub-superficiales.



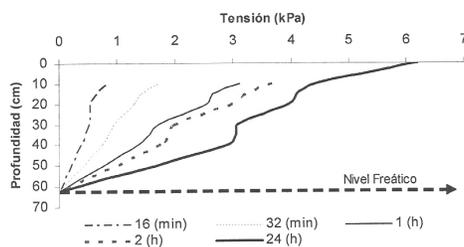
**FIGURA 4:** Desarrollo de la tensión hídrica durante la fase inicial de secado del suelo Osorno-bosque, con presencia de nivel freático.

**FIGURE 4:** Hydric tensions of Osorno forest soil, during initial drying phase (with a phreatic level).



**FIGURA 5:** Desarrollo de la tensión hídrica durante la fase inicial de secado del suelo Pemehue-bosque, con presencia nivel freático.

**FIGURE 5:** Hydric tensions of Pemehue forest soil, during initial drying phase (with a phreatic level).

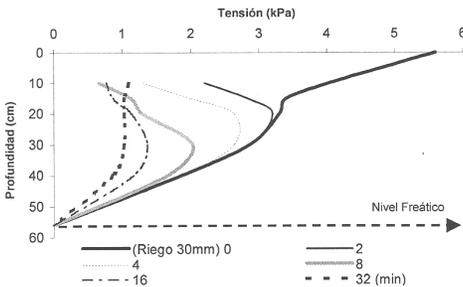


**FIGURA 6:** Desarrollo de la tensión hídrica durante la fase inicial de secado del suelo Bramadero-bosque, con presencia de nivel freático.

**FIGURE 6:** Hydric tensions of Bramadero forest soil, during initial drying phase (with a phreatic level).

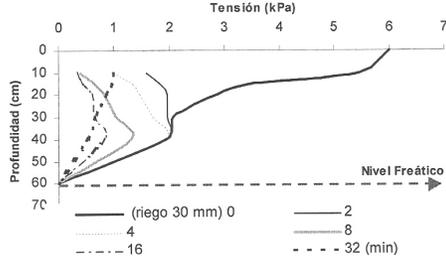
En las Figuras 4 y 5, que corresponden a bosque-Osorno y -Pemehue, respectivamente, la recuperación al estado de partida es más rápido que en bosque-Bramadero (Figura 6). Al parecer, esto es producido porque este suelo presenta una mayor proporción de poros finos que favorecen la retención de agua (Cuadro 3), lo cual dificulta un rápido secado de este suelo. También es importante señalar el posible efecto estructural en las Series Osorno y Bramadero, que presentan quiebres en el desarrollo de tensiones en profundidad (entre 20 y 40 cm), tanto previo al riego como reestablecido el equilibrio al cabo de 24 horas. Por su parte el suelo Pemehue, aparentemente más homogéneo en estructura, desarrolla gradientes de tensión mucho más suaves, sin quiebres en el estado de equilibrio con el nivel freático.

**Suelos bajo manejo de pradera.** En las Figuras 7, 8 y 9 se presentan los desarrollos de las tensiones hídricas, al aplicar un riego de 30 mm sobre los suelos manejados con pradera. La curva de los cero minutos corresponde a la condición inicial del suelo antes de aplicar el riego.



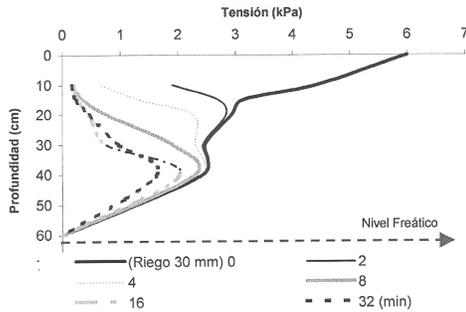
**FIGURA 7:** Desarrollo de la tensión hídrica del suelo Osorno-pradera, después de aplicar riego (con presencia de nivel freático).

**FIGURE 7:** Hydric tensions of Osorno pasture soil after irrigation, (with a phreatic level).



**FIGURA 8:** Desarrollo de la tensión hídrica del suelo Pemehue-pradera, después de aplicar riego (tratamiento con nivel freático).

**FIGURE 8:** Hydric tensions of Pemehue pasture soil, after irrigation, (with a phreatic level).



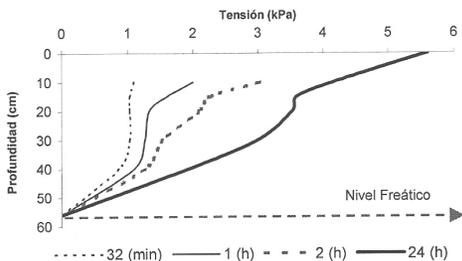
**FIGURA 9:** Desarrollo de la tensión hídrica del suelo Bramadero-pradera, después de aplicar riego (con presencia de nivel freático).

**FIGURE 9:** Hydric tensions of Bramadero pasture soil, after irrigation, (with a phreatic level).

Existe un descenso rápido de las tensiones hasta los primeros 30 cm para los suelos pradera-Osorno y -Pemehue, siendo más lenta la Serie Bramadero. Si bien parte del agua descende, la mayor cantidad está acumulada en la superficie y avanza lentamente hacia las estratas inferiores. Para los suelos Osorno y Pemehue hay un descenso del agua más marcado, debido a que se llega antes a una situación de equilibrio (curva de los 32 min), no mostrando gran diferencia entre los gradientes.

Por su parte, Bramadero presentó una mayor diferencia entre los gradientes en el perfil. Una de las causas de que el avance del frente sea más lento en pradera-Bramadero, es por la menor porosidad total y la escasa proporción de poros de drenaje

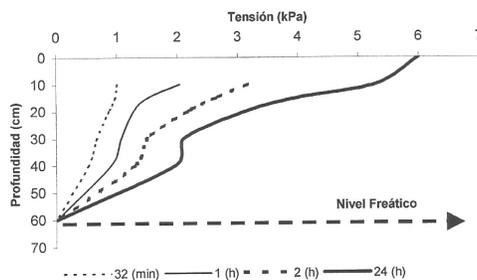
bajo este manejo. El suelo bajo pradera tarda más tiempo para llegar a una situación de igualdad de tensión entre las estratas superiores e inferiores, comparado con el manejo bajo bosque. Esto se debe a la menor porosidad de drenaje que presentan los suelos que están sometidos bajo manejo de pradera, como consecuencia de la intensidad de uso, lo que debiera disminuir su conductividad hidráulica. La Serie Bramadero, incluso, no llega nunca a una distribución homogénea de tensiones en profundidad. El cambio de porosidad gruesa a fina, como consecuencia del manejo, provoca flujos más lentos, ya que dominan proporcionalmente poros menores a  $10\mu\text{m}$ .



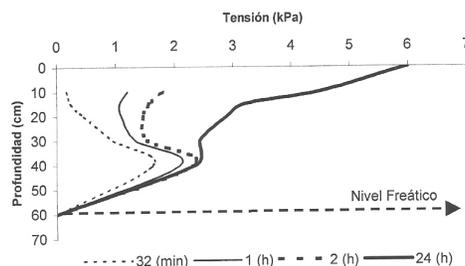
**FIGURA 10:** Desarrollo de la tensión hídrica durante la fase inicial de secado del suelo serie Osorno-pradera, con presencia de nivel freático.  
**FIGURE 10:** Hydric tensions of Osorno pasture soil, during initial drying phase (with a phreatic level).

Al término de la Fase 1 las muestras de suelo terminaron casi saturadas, dando comienzo inmediatamente a la Fase 2, que corresponde a la etapa inicial de secado de los suelos, para alcanzar el estado que presentaban estos suelos antes de la aplicación de los 30 mm. El desarrollo de la Fase 2 en suelos bajo pradera, se aprecia en las Figuras 10, 11 y 12.

En los suelos pradera-Osorno y -Pemehue, a partir de los 40 cm de profundidad, se establece una gradiente homogénea a los 32 minutos de iniciada la Fase 1, aumentando la tensión hacia la superficie. Dada su mayor densidad aparente, el riego de 30 mm no fue suficiente para lograr un mojado homogéneo en la Serie Bramadero (Figura 9). Es así como el inicio del restable-



**FIGURA 11:** Desarrollo de la tensión hídrica durante la fase inicial de secado del suelo serie Pemehue, pradera (con presencia de nivel freático).  
**FIGURE 11:** Hydric tensions of Pemehue pasture soil, during initial drying phase (with a phreatic level).



**FIGURA 12:** Desarrollo de la tensión hídrica durante la fase inicial de secado del suelo Bramadero-pradera (con presencia de nivel freático).  
**FIGURE 12:** Hydric tensions of Bramadero pasture soil, during initial drying phase (with a phreatic level).

cimiento de los gradientes comienza recién al cabo de 1 hora (Figura 12). La velocidad de secado es muy parecida en las Series Osorno y Pemehue, en cambio en Bramadero es muy lento. Este orden de secado es razonable, debido a que tanto Osorno como Pemehue presentan menor proporción de poros finos al compararlos con Bramadero, lo que provoca que el avance del agua sea más lento y al mismo tiempo retiene mayor cantidad de agua. El secado se produce lentamente en profundidad y un poco más rápido en superficie, dada la cercanía con el nivel freático.

En la misma Figura 12 podemos apreciar que en las curvas existen quiebres de las gradientes entre los 20 y 40 cm. Estos cambios son originados por posibles cambios

estructurales en el suelo, lo cual implica que se podría presentar una variación o discontinuidad de ciertos tamaños de poros. Esta situación, a diferencia de lo que ocurrió en el sitio bajo bosque, también afectó a la Serie Pemehue, ya que el tránsito animal provoca transmisión de tensiones mecánicas en profundidad con cambios en la distribución de poros.

Para todos los suelos estudiados y para ambos manejos, al cabo de 24 horas posterior al riego se restablece una distribución de tensiones mátricas similares a la condición previa al riego.

## CONCLUSIONES

De los resultados del presente estudio se concluye lo siguiente:

-Como era de esperar, bajo una vegetación arbórea, el espacio poroso del suelo es mayor que en una pradera y dominan las fracciones de poros gruesos.

-La velocidad de desplazamiento del frente de agua evaluada a través de los cambios del potencial mátrico, es mayor en los suelos con cubierta bajo bosque, debido a la mayor presencia de poros de drenaje en éstos.

-En suelos donde el manejo permite la conservación de la estructura y por lo tanto de su sistema poroso (bosque), presentan un desplazamiento del flujo de agua más constante.

-Al manejar el suelo como pradera, el pisoteo provoca una disminución de la porosidad de drenaje en el suelo superficial, en relación a muestras sub-superficiales.

-En presencia de un nivel freático, en los suelos existe un continuo ascenso de agua a la superficie.

-En presencia de un nivel freático y por un menor contenido de poros de drenaje, el secado inicial es más lento en suelos que se encuentran bajo un manejo de pradera.

## BIBLIOGRAFIA

- BAVER, L. y GARDNER, W. R., 1973. Física de suelos. 1<sup>a</sup> Ed. en español, Ediciones UTEHA. México. 525 p.
- ELLIES, A. y VYHMEISTER, E., 1981. Algunos aspectos hídricos del horizonte superficial de tres tipos de suelos del sur de Chile. *Agro Sur*. 9(2): 94-100.
- ELLIES, A., GREZ, R., y RAMIREZ, C., 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. *Agro Sur*. 25(1): 51-56.
- FORSYTHE, W. 1974. Manual de laboratorio de física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 212 p.
- HARTGE, K. H. 1971. Die physikalische Untersuchung von Böden. Eine Labor und Praktikumsanweisung. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. 168 p.
- HARTGE, K. H. 1978. Einführung in die Bodenphysik. Enke Verlag. Stuttgart. 364 p.
- IVERSEN, B., MOLDRUP, P., SCHJONNING, P. y LOLL, P. 2001. Air and water permeability in differently textured soil at two measurement scales. *Soil Science*. Vol. 166, N° 10. 643 - 659.
- TAYLOR, S.A. . 1972. Physical Edaphology. The Physics of Irrigation and Non irrigated Soil. W.H. Freeman & Co. San Francisco. U.S.A. 349 p.
- VYHMEISTER. E. 1980. Algunos aspectos hídricos del horizonte superficial de tres tipos de suelos del sur de Chile. Tesis Ing. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 43 p.
- WALLACH, R., DASILVA, F. y CHEN, Y. 1992. Unsaturated hydraulic characteristics of composted agricultural wastes, tuff, and their mixtures. *Soil Science*. Vol. 153. No 6. 434 - 441.
- WILLIAM, A., GARDNER, W. J. y GARDNER, W. H. 1991. Soil Physics. John Wiley and Sons. 5ta ed. New York. 250 p.