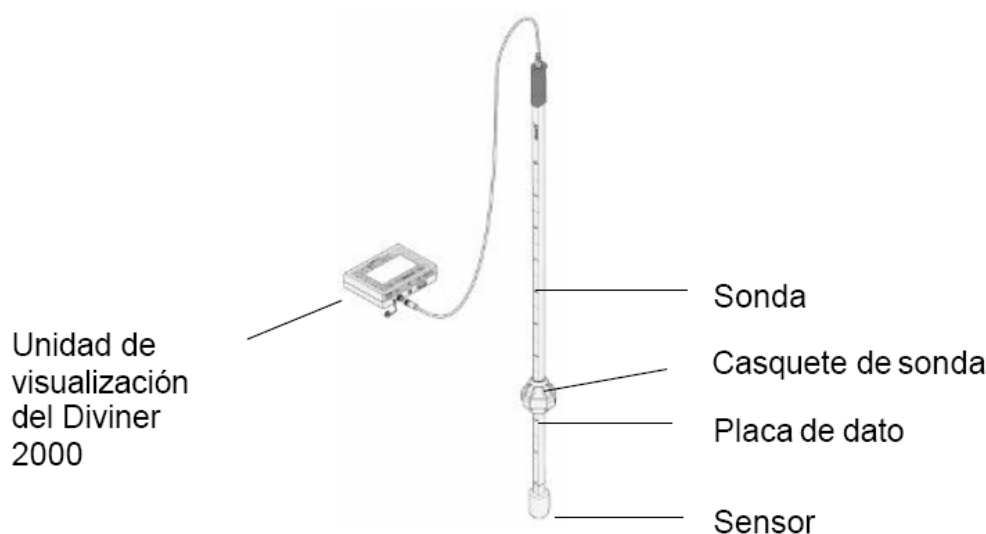


**GUIA PARA EL USO E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN ENTREGADA POR LA  
SONDA HUMEDAD FDR DIVINER 2000**

**1.- Introducción**

La sonda DIVINER 2000 o sonda FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) es un sistema portátil de medición de la humedad del suelo. Consiste de una unidad de visualización de datos y de una sonda portátil, tal cual como se indica en la Figura 1:



**Figura 1—Disposición general de la unidad de visualización del Diviner 2000 y de la sonda**

La sonda mide el contenido de humedad en el suelo a cada intervalo uniforme de 10 cm (4 pulgadas) a través del perfil. Los indicadores se leen a través de la pared de un tubo de acceso con graduaciones, hecho en PVC. Los datos se recogen mediante una red de tubos de acceso instalados en sitios seleccionados.

Al momento de efectuar la medición, debe introducirse la sonda lentamente en el tubo de acceso hasta el fondo y luego extraerla lentamente, sin efectuar detenciones. Es decir se efectúa un **barrido**. Esto permite realizar un registro de humedad en todos los horizontes del perfil del suelo, hasta la profundidad que llegue la sonda: 0,7 metros; 1 metro o 1,6 metros.

Las lecturas efectuadas con la sonda representan el contenido de humedad del suelo en un determinado momento y a una profundidad específica. Mientras más frecuentes son las mediciones más información se tendrá para tomar las decisiones adecuadas. A lo menos debiera medirse 2 a 3 veces a la semana, para lograr un buen conocimiento de la humedad del suelo y efectuar un buen control de los riegos.

En la actualidad es la técnica que ofrece mayores garantías, en cuanto a confiabilidad, rapidez de obtener la información y cantidad de información que se puede obtener en el tiempo; tomando en cuenta que un equipo puede llevar el registro de 99 tubos de acceso.

El equipo es de origen australiano y existe proveedor en Chile. Al comprarlo, el equipo se entrega con Manuales de Instalación; Guía del Usuario y Calibración.

## **2.- Antecedentes generales de instalación y operación del equipo**

A continuación se entregarán algunos antecedentes generales sobre instalación, medición y registro y calibración del DIVINER 2.000; antecedentes que pueden verse más en detalle en material bibliográfico que entrega el distribuidor del equipo en el país.

### **2.1.- Instalación.**

La instalación de los tubos de acceso no es una tarea fácil. El tubo es totalmente hermético en sus paredes y fondo y debe ser instalado tomando la precaución de que las paredes externas del tubo estén en contacto completo con el suelo en todo su perímetro. En su parte superior el tubo está provisto de una tapa para evitar el ingreso de algún material. En la actualidad estos tubos se pueden adquirir en empresas fabricantes de tubos de PVC, pero deben ser fabricados con medidas especiales.

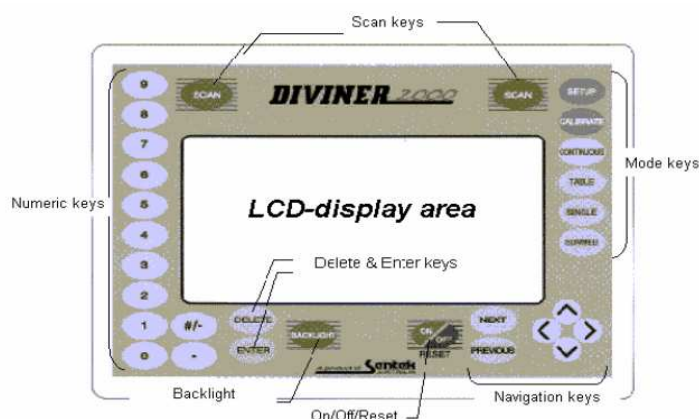


**Figura 2.- Instalación de tubos de acceso**



## 2.2.- Medición y Registro

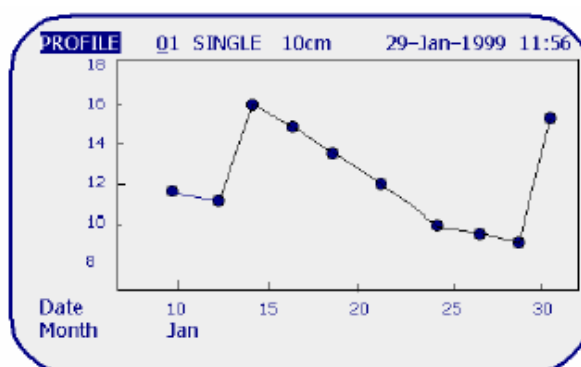
La sonda **DIVINER 2000** mide y registra la humedad que existe en el suelo, cada 10 centímetros de profundidad y abarcando un radio de 5 a 10 cm desde la pared externa del tubo. Los registros de humedad se expresan en mm por 10 cm, que es equivalente a decir **mm por 100 mm**; en otras palabras esto indica % de humedad. Por lo tanto si la lectura es 5mm, ello está indicando que hay en el suelo **5 mm en 10 cm; o 5 mm en 100 mm o 5% de humedad**. El registro se efectúa en la Consola de Visualización del DIVINER 2000, que se muestra en la Figura 2:



**Figura 2—La unidad de visualización Diviner 2000**

LCD Display area = Área de visualización LCD	Delete & enter keys= Tecla de borrar/entrada
Scan keys= Tecla de barrido	Mode keys= Tecla de modo
Numeric keys= Tecla numérica	Navigation Keys= Tecla de navegación
Backlight= Luz de fondo	On/Off/Reset= On/Off/ Re-inicialización

El equipo entrega 2 opciones básicas de visualización de resultados. La primera indica los milímetros de agua que existen en cada estrata de 10 cm de profundidad de suelo (SINGLE), y se visualiza como se muestra en la Figura 3; donde en el eje X aparecen las fechas de medición y en el eje Y se indican los % de Humedad encontrados en esa estrata:



**Figura 3: Pantalla con despliegue de por cada estrata. En este caso de 0 a 10 cm.**

Como segunda opción se pueden mostrar los datos de humedad correspondientes a todo el perfil; es decir sumados (SUMMED), y el valor que aparece en pantalla corresponde a la suma de los contenidos de humedad de todas las estratas, como se indica en la Figura 4:

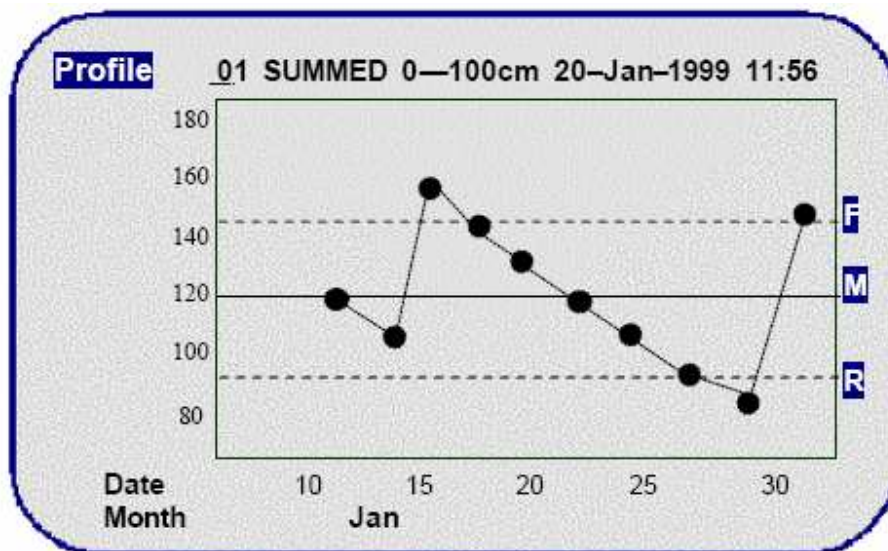


Figura 4: Pantalla con despliegue gráfico de datos de humedad sumados. En este caso de 0 a 100 cm.

Como se puede apreciar, el equipo permite visualizar la información histórica registrada, lo cual es de gran importancia para evaluar el comportamiento de la humedad en el tiempo y el efecto que ha producido el riego en la humedad del suelo.

Toda esta información se puede traspasar a un computador de escritorio, utilizando un software que viene con el equipo, denominado IRRIMAX ©, el cual permite traspasar los datos a una planilla Excel y efectuar otro tipo de gráficos.

### 2.3.- Calibración

La sonda FDR registra la humedad de un suelo mediante la respuesta a cambios en la constante dieléctrica del medio, usando una técnica de reflectometría de dominio de frecuencias conocida como capacitancia. Este tipo de sistemas de medida ofrece grandes ventajas con respecto a otros métodos, como son la posibilidad de obtener un gran número de medidas, de forma continuada, y sin disturbar las propiedades del suelo; sin embargo tiene el inconveniente que las lecturas que entrega están basadas en un modelo o ecuación de calibración obtenida para suelos diferentes a los nuestros.

En tal situación, previo a su uso es conveniente realizar la calibración del equipo, si es que se desea tener valores reales o absolutos o bien, si no se hace, los valores que se registren ofrecerán solamente una medida relativa de las condiciones de humedad del suelo, lo cual también es útil para efectos de monitorear su comportamiento en el tiempo.

En el caso de efectuar la calibración, debe procederse a confrontar la humedad gravimétrica del suelo con las lecturas del DIVINER 2000. Para la obtención de las muestras de suelo se procede como se muestra en la Figura 5:



Figura 5: Localización de anillos para el muestreo de suelo, para determinación de humedad gravimétrica y efectuar la calibración del DIVINER 2000.

Las muestras se obtienen a cada profundidad donde se mide con el DIVINER y luego se llevan a laboratorio para obtener el contenido de humedad volumétrico, que es igual al contenido de humedad gravimétrico ( $\% H = (\text{Peso del agua} / \text{Peso del Suelo Seco}) * 100$ ); multiplicado por la Densidad Aparente del Suelo ( $D_A \text{ (gr/cc)} = \text{Peso del Suelo Seco} / \text{Volumen del Suelo}$ ).

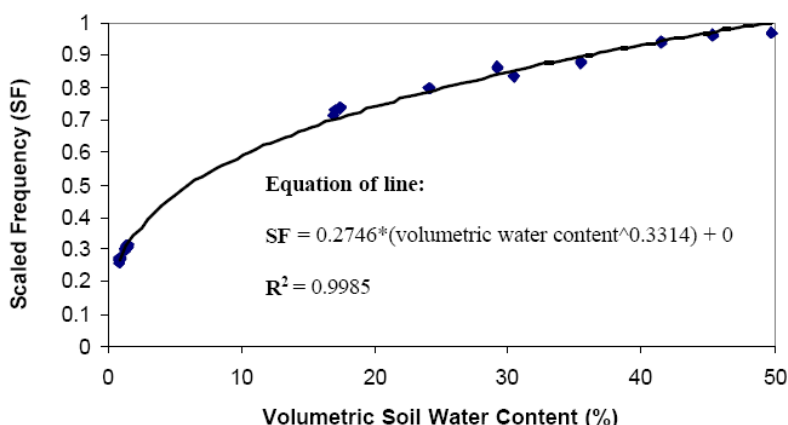
En el caso de las lecturas del DIVINER, se procede a definir la siguiente relación para cada lectura de humedad:

$$SF = (F_A - F_S) / (F_A - F_W) \quad (1)$$

Siendo:

- SF** = Escala de Frecuencias
- F<sub>A</sub>** = Es la lectura de frecuencias en el tubo de acceso mientras se encuentre suspendido en el aire
- F<sub>S</sub>** = Es la lectura en el tubo de acceso en el suelo a un horizonte de profundidad específico
- F<sub>W</sub>** = Es la lectura en el tubo de acceso en un balde de agua

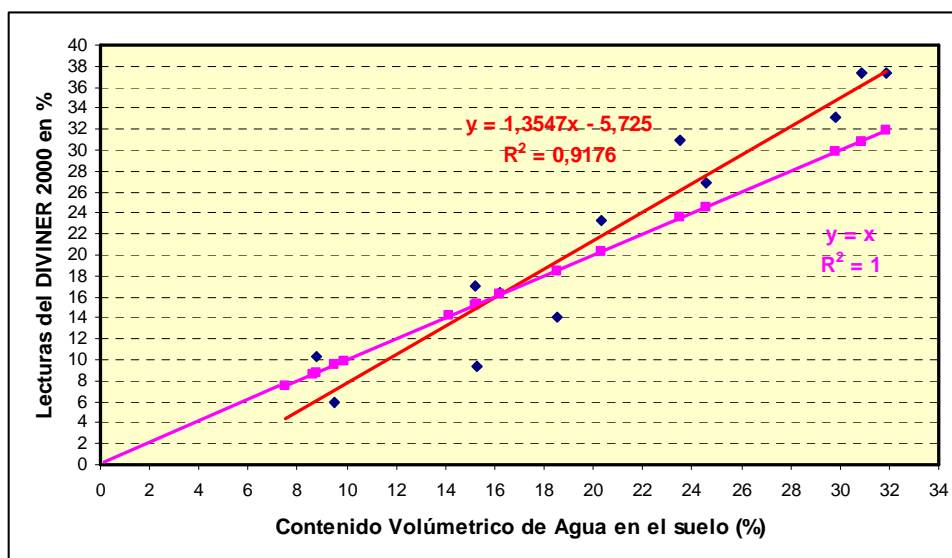
Obtenidos los valores de SF, estos se confrontan con los valores de humedad del suelo. El gráfico que se obtiene es similar al que se muestra en la Figura 6:



**Figura 6—La ecuación de calibración del Diviner 2000 para texturas combinadas de suelo**

Scaled Frequency = Frecuencia a escala Equation of line = Línea de ecuación	Volumetric water content= contenido volumétrico de agua Volumetric Soils Water content (%) = Contenido Volumétrico de Agua en el Suelo(%)
--	--

En el caso del Proyecto SIAR Limarí, como una forma de establecer una calibración más directa, se graficaron los datos de humedad volumétrica obtenidos en laboratorio versus los registros obtenidos con el DIVINER 2000. El resultado que se obtiene se muestra en la Figura 7, para el caso del suelo donde se tiene establecido un ensayo de Mandarinas en la empresa UNIAGRI, en el área del El Palqui.



**Figura 7: Relación entre humedad del suelo y lecturas del DIVINER 2000, Para el caso del suelo UNIAGRI El Palqui**

La línea roja corresponde al ajuste de los puntos de humedad con respecto a lecturas del DIVINER, lográndose una buena correlación ( $r^2=0.92$ ). La línea morada correspondería a un ajuste perfecto ( $x=y$ ), entre ambas variables, que se grafica para ver las desviación de las mediciones.

Se puede apreciar, que para valores bajos de humedad del suelo, el DIVINER entrega lecturas menores y por el contrario, para porcentajes altos de humedad del suelo el DIVINER entrega valores mayores a los que entrega la recta  $X=Y$ ; sin embargo, las diferencias entre ambas rectas se ajustan al 10% de variación, que normalmente es aceptable en este tipo de mediciones en el campo.

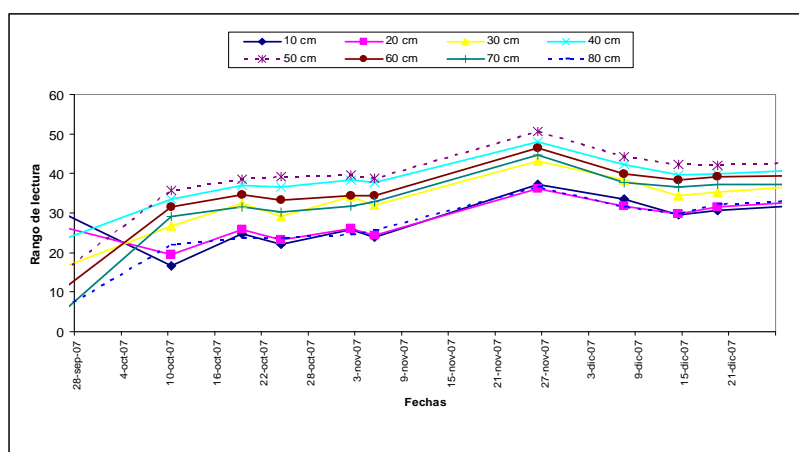
En resumen, de no tenerse los medios para efectuar la calibración del equipo, tal cual lo aconseja el fabricante, el usuario podrá utilizar directamente los datos que entrega el equipo, para efectos de monitorear la humedad del su suelo, entendiéndose que no corresponden a valores absolutos. Una solución intermedia es la sugerida por el Proyecto SIAR Limarí.

### 3.- Interpretación de las lecturas del DIVINER 2000.-

Independientemente de haber realizado la calibración del equipo, interesa conocer de qué forma el usuario puede interpretar los valores o lecturas que entrega el equipo, trátase de lecturas relativas o absolutas.

Una primera interpretación se puede realizar del gráfico desplegado en la Figura 2. Se puede indicar, en ese caso, que a medida que transcurren los días las lecturas del DIVINER 2000 tienden a bajar, lo que estaría indicando que el suelo está perdiendo humedad y se está secando. Al momento de efectuarse un riego el suelo recupera humedad y la lectura del DIVINER sube. Esto sucede también al presentar o desplegar los registros como humedad de todo el perfil (Figura 3).

Al graficar datos de terreno, que se muestran en Figura 8, y correspondientes a suelo regado por goteo, se puede apreciar que los quiebres entre mediciones no son tan pronunciados, sin embargo posterior a la sexta lectura se produce un incremento de las lecturas en todas las profundidades del perfil y registrándose lecturas bastante altas entre los 30 y 70 cm. Ello estaría indicando una zona de acumulación de agua; y por lo tanto de baja aireación.



**Figura 8:** Registro gráfico de lecturas del DIVINER2000, en un período aproximado de 3 meses, en ocho profundidades de suelo.

Ahora bien, **¿Cuál es el patrón de comparación para saber si la humedad del suelo es adecuada, excesiva o deficitaria?** Para responder tal inquietud necesariamente hay que remitirse a las constantes hídricas del suelo, denominadas internacionalmente como **Capacidad de Campo (C. de C.)** y **Porcentaje de Marchitez Permanente (P.M.P.)**; cuyos valores se expresan en porcentaje.

En el caso de Capacidad de Campo corresponde a la humedad del suelo donde el suelo presenta un equilibrio entre parte sólida, aire y agua; siendo un condición muy apropiada para el desarrollo de las plantas. Por el contrario un suelo en condiciones de humedad equivalentes a Porcentaje de Marchitez Permanente, no tendrá la humedad suficiente para abastecer a las plantas y si se mantiene en esta condición por tiempo prolongado se marchitarán en forma irreversible.

En definitiva se debe procurar disponer, para cada suelo, de sus valores de C. de C. y P.M.P. y establecer los límites superior e inferior de humedad aprovechable, lo cual se representa gráficamente en la Figura 9:

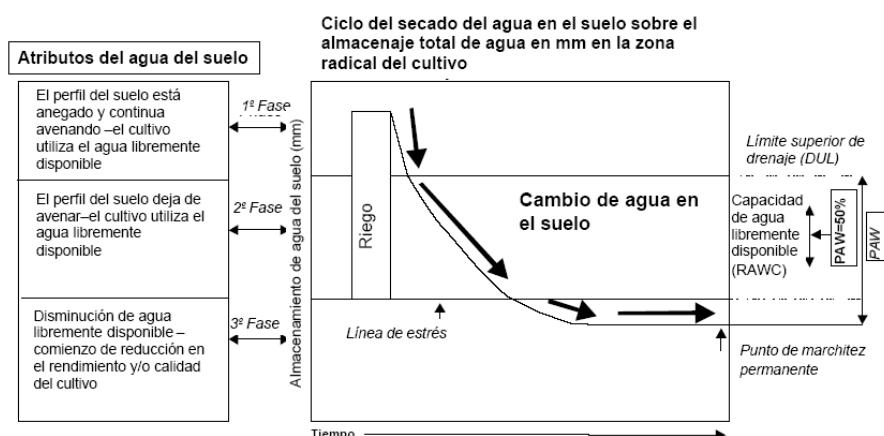


Figura 9: Fases de extracción de agua del suelo

**¿Cómo se relacionan estas constantes con las lecturas del DIVINER 2000?** Ello implica necesariamente tomar muestras de suelo y enviarlas a un laboratorio especializado para su determinación.

Supongamos que el laboratorio nos entrega los siguientes resultados:

Determinación	Capacidad de Campo (%)	Porcentaje de Marchitez Permanente (%)	Densidad Aparente (gr/cc)
Humedad gravimétrica	24,00	12,50	1,30
Humedad volumétrica	31,20	16,25	

Como se vio anteriormente, la humedad volumétrica resulta de multiplicar la humedad gravimétrica por la densidad aparente del suelo; y es equivalente a expresar la cantidad de agua existente como: cc/cc; cm/cm; m/m o en %.

Si estos valores volumétricos de C. de C. y P.M. P. se llevan a la Figura 7, se tiene el resultado que se indica en la Figura 10; donde se relacionan los valores de las constantes hídricas con las lecturas del DIVINER 2000:

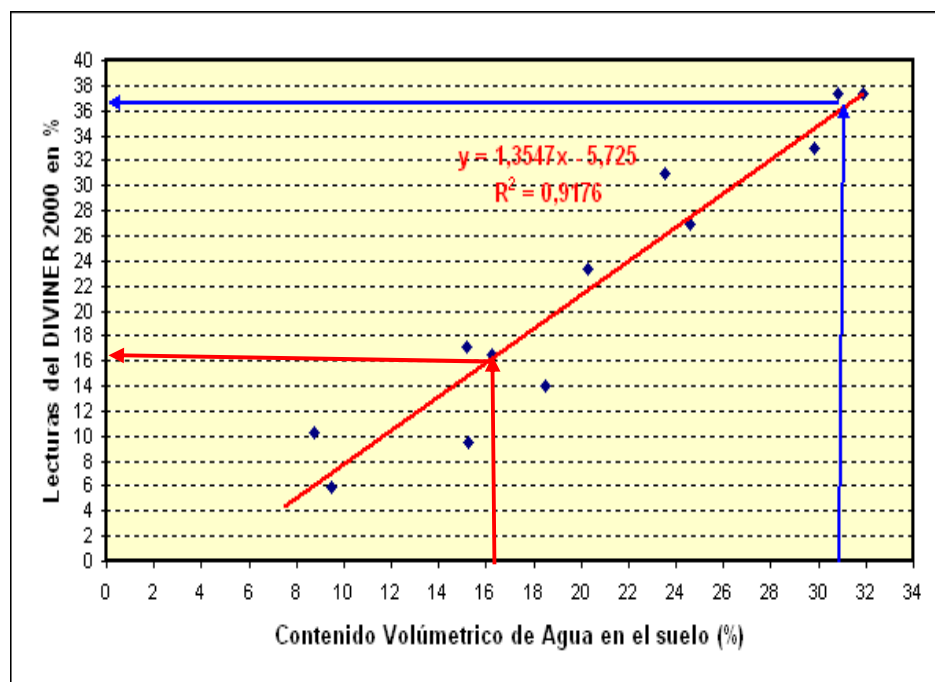


Figura 10: Relación entre valores de las Constantes Hídricas del Suelo y Lecturas del DIVINER 2000.

De la figura se desprende para el caso del ejemplo, un valor de C. de C. igual a 31,20% de humedad le correspondería aproximadamente una lectura de DIVINER igual a **36,54%**. Para un valor de PMP igual a 16,25%, le correspondería una lectura de DIVINER igual a **16,29%**.

Estas lecturas de DIVINER 2000, asociadas a Capacidad de Campo y Porcentaje de Marchitez Permanente, es posible dibujarlas en el gráfico donde se registra el monitoreo histórico de la humedad del suelo, como por ejemplo en la Figura 11; trazando paralelas al eje X; a partir del eje Y, iniciando la recta en 36.54% y 16.29%, para el caso de nuestro ejemplo.

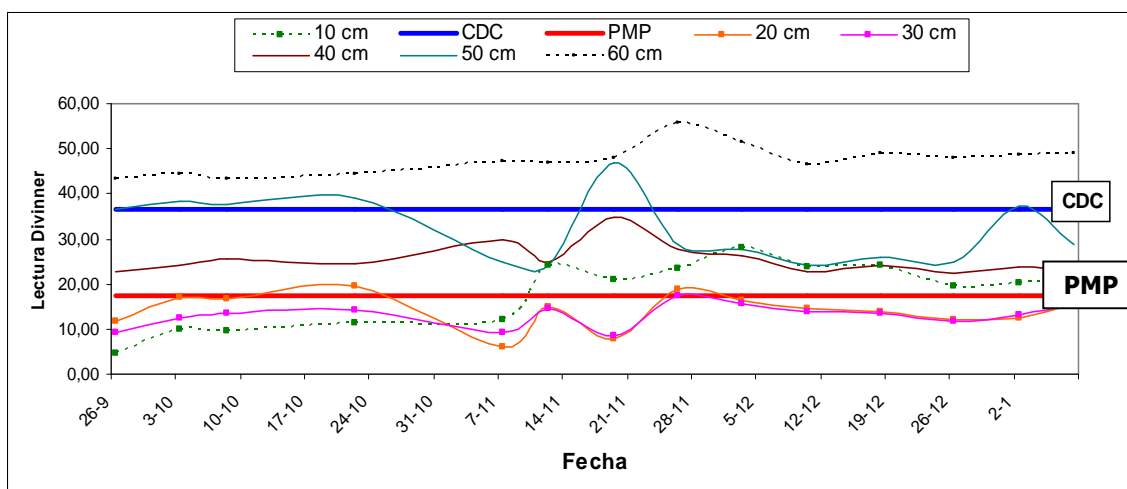


Figura 11. Registro gráfico de lecturas del DIVINER2000, en un período aproximado de 3 meses, en ocho profundidades de suelo.

De esta forma, se puede establecer los límites entre los cuales deberían moverse los valores o lecturas que entrega el DIVINER; y tomar decisiones al respecto.

En el **Manual del Usuario**, se encontrará mayor información respecto a los cambios de humedad que se producen en el perfil, a través de la visualización de la pendiente de las curvas que se van generando; sin embargo, es interesante destacar el gráfico de la Figura 12, en el cual se representa una condición de humedad del suelo que se acerca "peligrosamente" al límite denominado P.M.P.; que refleja una situación de estrés para la planta:

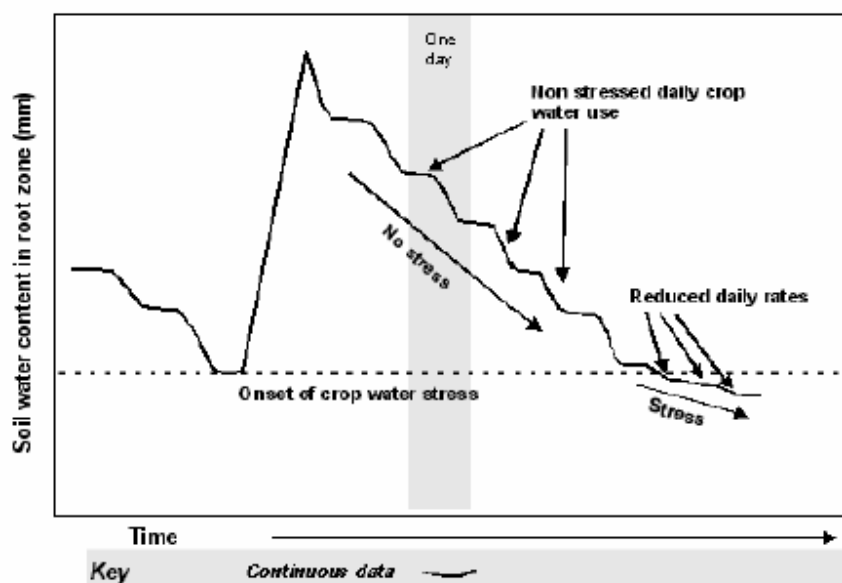


Figura 12: Humedad del suelo en la línea de P.M.P. o de estrés.

Soil water content in root zone = contenido de humedad en la zona radical  
 Key -continuous data = Clave -datos continuos  
 Onset of crop water stress = La Línea de estrés  
 One day = un día  
 No stress = sin estrés  
 Non stressed daily crop water use = consumo de agua diario por el cultivo sin estrés  
 Reduced daily rates = régimen diario reducido  
 Stress = estrés

Al traspasar las lecturas del DIVINER a una planilla Excel, es posible realizar otro tipo de gráficos como el que se indica en la Figura 13; en la cual se indica la variación de humedad en profundidad, para diferentes medidas en el tiempo.

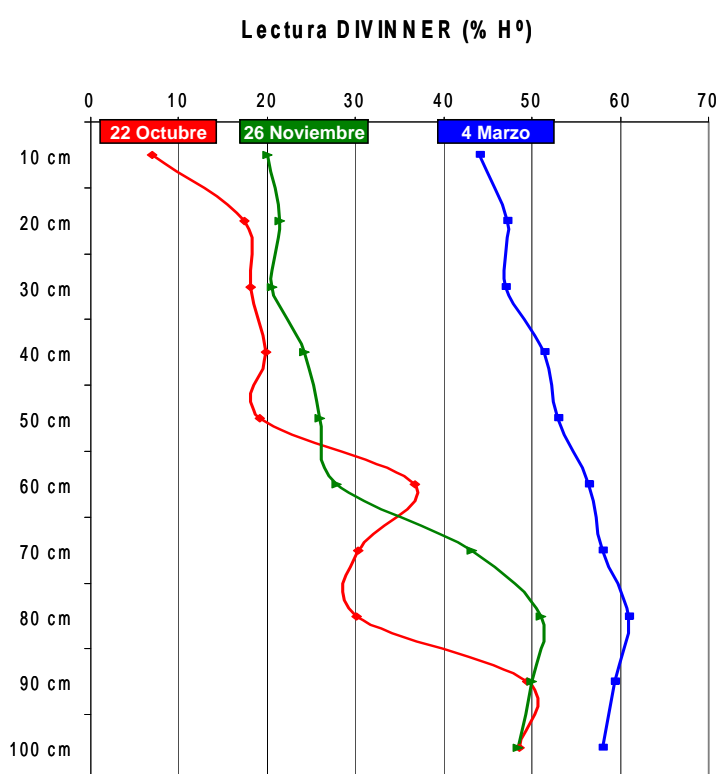


Figura 13. Variación de la humedad en profundidad para tres fechas, en un huerto de mandarinos. Zona Carretones, Cuenca del Limarí. Chile.