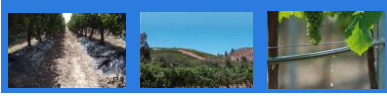




PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE



## Transferencia I+D+i para viñas sustentables e inocuas

Departamento de Fruticultura y Enología  
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal



FACULTAD DE AGRONOMÍA  
E INGENIERÍA FORESTAL  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE



CORE  
CENTRO DE OPERACIONES REGIONALES DE INNOVACIÓN

Estrategia Regional de Innovación,  
sin pausa hacia el futuro.  
Proyecto, financiado a través del Fondo de Innovación para la  
Competitividad del Sistema Regional de Innovación y el Consejo  
Regional, enmarcado en la Estrategia Regional de Innovación

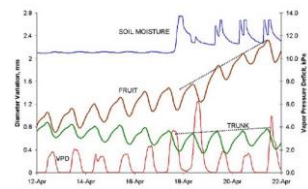
Ejecuta

Financia



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE

## Monitoreo y control del manejo de riego



Pilar Gil Montenegro  
Ing. Agrónomo, Dr.

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

### Importancia de controlar y monitorear

- El hecho de aplicar un programa de riego, en base a los registros de evapotranspiración no asegura el éxito productivo del cultivo.
- Existe una serie de factores que podrían estar subestimando o sobrestimando los requerimientos de la planta (errores en las bandejas o en los coeficiente que se utilizan o en las estimaciones de la retención de agua en el suelo ya sea por problemas físicos de suelo, compactación, etc.), o bien por problemas asociados a la mantención inapropiada de los equipos de riego, que afectan la intensidad de precipitación.

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

- El control de la humedad del suelo permite observar el comportamiento de los bulbos de riego, estimar la distribución de la humedad y determinar si el riego es excesivo o deficitario
- Para que este control sea más efectivo y permita una mejor toma de decisiones es necesario que se tenga un claro conocimiento de la variabilidad espacial de los suelos de cada sector de riego, de tal manera que el monitoreo de humedad se realice en áreas representativas o dominantes del sector de riego, o bien se realicen monitoreos en diferentes partes del sector de riego, asociados a la variabilidad espacial del suelo.
- En este sentido un mapeo es de gran ayuda para determinar dónde realizar calicatas o colocar sensores.

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

**CONSIDERAR LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS SUELOS**

The image shows two soil profiles on the left. The top profile is a shallow one with a rocky surface, and the bottom one is deeper with a ladder for scale. To the right is a soil map with three main zones: a blue zone labeled 'TLH C1', a pink zone labeled 'TLH D1', and a yellow zone labeled 'CNO C1 W1'. Below the map is a graph showing soil moisture retention curves for different soil types, with the y-axis representing water content and the x-axis representing suction.

**Medición de humedad en el perfil de suelo**

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

**Expresión del contenido de humedad.**

\* Humedad gravimétrica ( $\omega$ ) =  $\frac{m \text{ agua}}{m \text{ sólidos}}$

\* Humedad volumétrica ( $\theta$ ) =  $\frac{V \text{ agua}}{V \text{ total}}$

- $\theta = Da \omega$
- Lámina =  $\theta d$  (profundidad en mm, cm o mt)

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

The diagram shows a vertical bar representing soil moisture. From bottom to top, it is divided into: UR (unavailable water), PMP (permanent wilting point), and CC (capillary capacity). A bracket on the right side indicates that the area between PMP and CC is 'Humedad aprovechable' (available moisture). The top of the bar is labeled 'Saturación'.

HA ( $\omega$ ) = CC - PMP  
 HA (mm) = (CC - PMP) x Da x prof

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

Características físico hídricas de diferentes clases texturales.

Textura	Porosidad Total (%)	Densidad Aparente (Da) (g/cc)	Capacidad de campo CC	Punto de Marchites Permanente PMP	HA (Peso seco)	HA (Volumen)	CR (mm de agua/mm suelo)
Arenoso	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	0.08 (0.06-0.10)
Franco Arenoso	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	0.12 (0.09-0.15)
Franco	47 (43-49)	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	0.17 (0.14-0.20)
Franco Arcilloso	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	0.19 (0.16-0.22)
Arcillo Arenoso	51 (49-53)	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (14-16)	16 (13-17)	21 (18-23)	0.21 (0.18-0.23)
Arcilloso	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	0.23 (0.20-0.25)

Nota: los intervalos normales son consignados entre paréntesis. HA, Humedad aprovechable, CR, capacidad de retención de agua del suelo

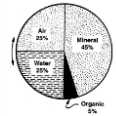
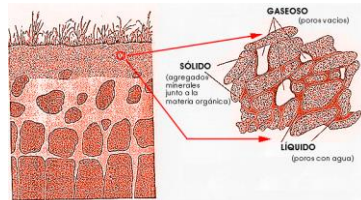
www.uc.cl

El contenido del agua en el suelo:

Fase sólida: (minerales y materia orgánica)

Fase líquida (espacio poroso)

Fase gaseosa (espacio poroso)



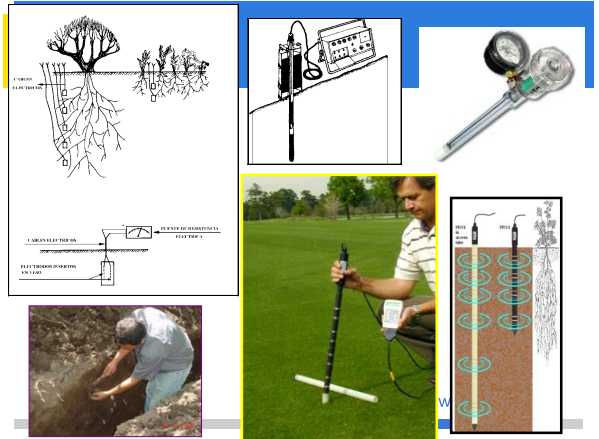
www.uc.cl

Mediciones del contenido de agua en el suelo.

- Medición indirecta: Resistencia del suelo a penetración  
Visión y tacto  
Aspersión de neutrones  
TDR (Time domain reflectometry)  
Atenuación de rayos Gamma  
Bloques de Bouyoucos  
Tensiómetros
- Medición directa: Método gravimétrico

$$\omega = \frac{\text{peso suelo húmedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo seco}}$$

www.uc.cl



Uso de barrenos y calicatas



Método de Campo  
Ejemplo para un suelo franco

25-50% agua disponible, levemente húmedo, forma bola débil, una capa suave de granos de arena suelta y agregados quedan en la mano	50-75% agua disponible, húmedo, forma bola débil, una capa suave de granos de arena suelta y agregados quedan en la mano, color oscuro, mancha moderada de agua en los dedos, no forma lulo	75-100% agua disponible, mojado, forma bola débil, quedan granos de arena suelta y agregados en los dedos, color oscuro, manchas gruesas de agua en los dedos, no forma lulo

Guía para estimar la humedad del suelo (entre 0 y 100% de humedad aprovechable).

Humedad retenente del suelo	Condición del suelo de acuerdo a palpamiento o apariencia			
	Arenoso	Franco Arenoso	Franco Limoso	Franco Arcilloso a Arcilloso
0 a 25 %	Seca, suelta, grano uniforme, fluye entre los dedos.	Seca, suelta, fluye entre los dedos	Seca, polvosa, en ocasiones ligeramente cerosa pero es fácil reducirla a polvo.	Dura, desecada, en ocasiones con migajones sueltos a flor de superficie
25 a 50 %	Parece seca, pero no se forma bola con la presión. <sup>1)</sup>	Parece seca, no se forma bola. <sup>1)</sup>	Tiende a desmenuzarse pero se mantiene compacta con la presión	Algo moldeable, forma la bola bajo presión. <sup>2)</sup>
50 a 75 %	Parece seca, pero no se forma bola con la presión.	Tiende a formar bola con la presión pero rara vez se mantiene compacta.	Forma bola un tanto plástica y en ocasiones puede aliarse ligeramente con la presión	Forma bola; brota entre los dedos al apretar.
75 % hasta capacidad máxima (100 %)	Tiende ligeramente a aglutinarse. En ocasiones forma bajo presión una bola de poca consistencia	Forma bola de poca consistencia, se desmenuza fácilmente y nunca queda lisa.	Forma bola y es muy moldeable; fácilmente se alisa siempre que tenga un porcentaje elevado de arcillo.	Brota fácilmente entre los dedos; parece acitoso al tacto.
A capacidad máxima (100%)	Al comprimir, no afloran gotas de agua en la superficie de la muestra pero si queda en la mano el contenido húmedo de la bola.	Al comprimir, no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra pero si queda en la mano el contenido húmedo de la bola.	Al comprimir, no brotan gotas de agua en la superficie de la muestra pero si queda en la mano el contenido húmedo de la bola.	Al comprimir, no afloran gotas de agua en la superficie de la muestra pero si queda en la mano el contenido húmedo de la bola.

<sup>1)</sup> La bola se forma al comprimir un puñado del suelo con mucha firmeza. Adicionalmente en anexo se presentan imágenes que pueden apoyar la estimación de humedad de muestras de suelo de diferentes texturas.

**Suelo Franco – Arcilloso y Franco Arcillo Limoso.** Contenido de humedad entre 50 a 75 % de humedad Se forma una bola rápidamente, brota entre los dedos índice y pulgar. Algo acitoso al tacto



**Suelo Franco.** Contenido de humedad entre 0 a 25 %. Se desmorona fácilmente pero tiende a compactarse al apretarlo con la mano.

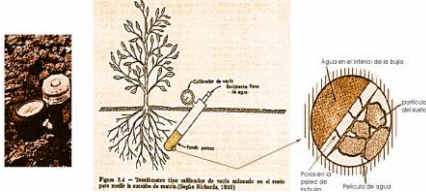


www.uc.cl

Método de Campo  
Ejemplo para un suelo franco

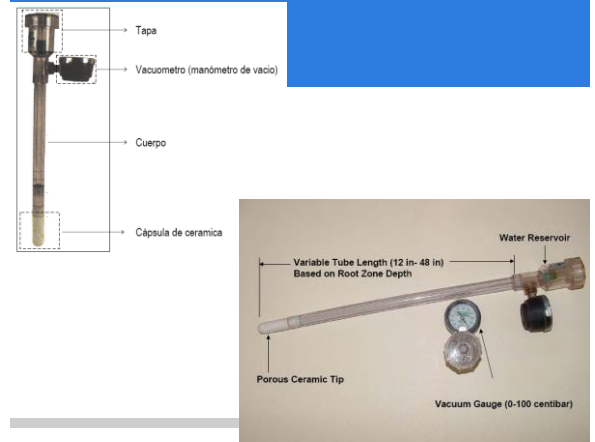
25-50% agua disponible, levemente húmedo, forma bola débil, una capa suave de granos de arena suelta y agregados quedan en la mano	50-75% agua disponible, húmedo, forma bola débil, una capa suave de granos de arena suelta y agregados quedan en la mano, color oscuro, mancha moderada de agua en los dedos, no forma lulo	75-100% agua disponible, mojado, forma bola débil, quedan granos de arena suelta y agregados en los dedos, color oscuro, manchas gruesas de agua en los dedos, no forma lulo

Tensiómetros



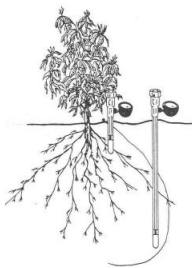
- Mide potencial mátrico.
- Funcionan en el rango de 0 a -0.07 MPa (-70 cbar), que corresponde al 50% de la HA app.
- Menos sujeto a variabilidad espacial que muestreo gravimétrico.

[www.uc.cl](http://www.uc.cl)



Cuadro 2.2. Lectura de tensiómetros y su significado agronómico

Lectura en KPa o cbar	Estado del suelo
0-10	Suelo saturado
10-35	Suelo adecuadamente mojado en riego localizado
35-60	Rango usual en riego superficial
60-100	Rango seco
100-200	Rango muy seco



Tensiómetros

Lectura	Condición del suelo
0 - 10 cb	Saturado por riego reciente
10 - 25 cb	Capacidad de campo
25 - 50 cb	Zona intermedia, buena disponibilidad de agua
50 - 80 cb	Debería aplicarse riego

Ya establecido el sistema de monitoreo de humedad de suelo, Ud. le da la instrucción al encargado de riego de anotarle en cada caso el valor diario de tensión en cada batería de tensiómetros. El encargado le trae algunos datos los cuales se muestran en este registro:

Día	Tensiómetro corto Sector palto	Tensiómetro largo Sector palto	Tensiómetro corto Sector naranjo	Tensiómetro largo Sector naranjo
5 febrero	15 cb	15 cb	10 cb	8 cb
6 febrero	20 cb	15 cb	15 cb	10 cb
7 febrero	20 cb	15 cb	15 cb	15 cb
8 febrero	25 cb	15 cb	20 cb	25 cb
9 febrero	30 cb	15 cb	25 cb	30 cb

El encargado se acuerda de que en la visita el asesor dijo que se debía regar llegando a los 25 cb, pero está perdido con respecto a si el riego debe ser largo o corto.

De acuerdo a estos datos y a la función de cada tensiómetro en la batería decida:

- Cuándo debe o tendría que haber regado de acuerdo a los datos y la instrucción del asesor.
- Ajuste el tiempo de riego de acuerdo a lo que le dice cada batería de tensiómetros.

Uso de sensores de humedad: sondas de capacitancia



Sondas de capacitancia:

Time domain reflectometry (TDR) y Frecuency domain reflectometry (FDR)

- La medición con sondas de capacitancia se basa en la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica.
- La magnitud de la carga que se puede almacenar entre los conductores se conoce como capacitancia (propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica), y ésta depende de la constante dieléctrica del material existente entre los conductores, el tamaño, así como de la forma y la separación de los mismos.
- Mide la polaridad de un conjunto de moléculas que se afectan mutuamente unas a otras; a esto se lo denomina como constante dieléctrica de los líquidos. Cuanto más alta es la constante dieléctrica más polar es el líquido, y mayor capacitancia tiene. El agua presenta una de las constantes dieléctricas más altas.
- El agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta que la del suelo, por lo que la constante dieléctrica del suelo húmedo dependerá principalmente de su contenido de humedad. [www.uc.cl](http://www.uc.cl)

- La constante dieléctrica del suelo se mide aplicando al suelo una onda electromagnética de alta frecuencia y midiendo la velocidad de propagación.
- A mayor humedad, menor será la velocidad de la onda.
- Convierte el tiempo de viaje de un pulso electromagnético de alta frecuencia a través del suelo en su contenido de humedad volumétrico.
- Usando un microprocesador se calcula  $\theta$  de acuerdo a la cte. dieléctrica del suelo.

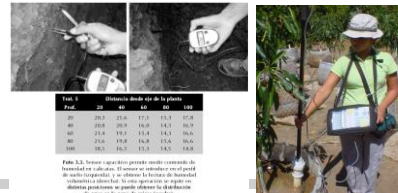
[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

FDR

Fijos



Móviles

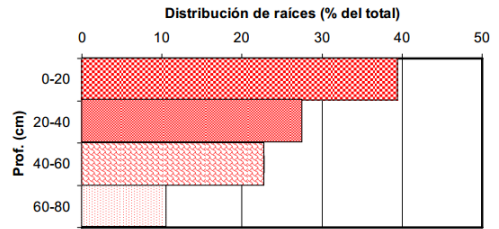


Frec. f	Distancia desde eje de la sonda			
cm	20	40	60	80
20	28.4	23.6	17.7	13.1
40	28.4	20.0	14.0	10.0
60	23.4	19.3	14.4	10.6
80	23.4	16.8	14.8	10.6
100	18.3	16.7	13.3	10.8

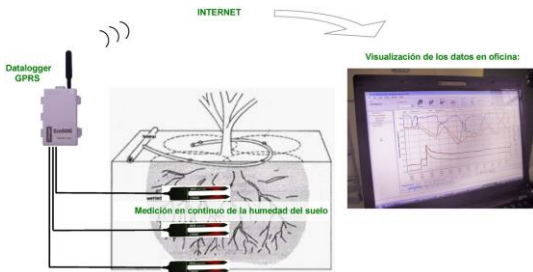
Fig. 3.3. Se usan los aparatos portátiles cuando se requiere de flexibilidad en la ubicación. Si se desea un monitoreo en el tiempo de mayor frecuencia, se utilizan los sensores de humedad volumétrica fijos. Los sensores portátiles se usan para monitorear el agua en áreas que cambian con frecuencia, como en la zona de raíces de un árbol.



### Distribución de raíces en profundidad

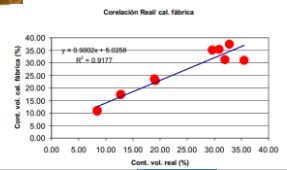
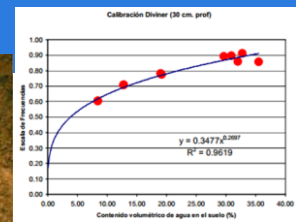


[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

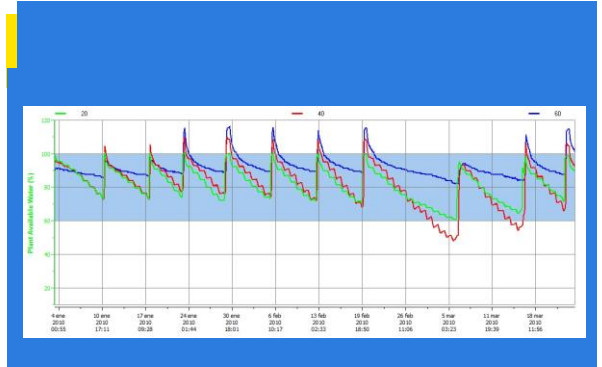
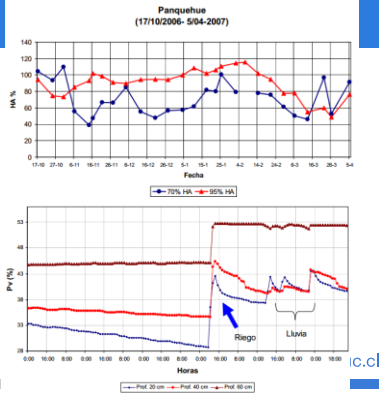


[www.uc.cl](http://www.uc.cl)

### Calibración del equipo



Uso e interpretación de las lecturas



www.uc.cl

Riego no Frecuente, con situaciones de déficit hídrico leve en un riego (principio de mayo) y monitorio de salinidad (CE), Melipilla

