

CAPITULO IV

PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Por: Hernán Rojas Palacios¹

Excepto para el riego de alta frecuencia y bajo volumen, la selección del método de riego y la programación del riego, requieren un conocimiento de la velocidad de infiltración y de las propiedades de retención de humedad de los suelos.

Velocidad de infiltración

Cuando el suelo esta seco, el agua se infiltra rápidamente. A medida que los espacios con aire se llenan de agua, la velocidad se reduce. Después de una o dos horas, la infiltración usualmente ocurre a una baja y constante velocidad, o sea a la velocidad de infiltración básica. Velocidades aproximadas promedio se indican en la Tabla 1.

Tabla. 1 Infiltración básica en mm/hora

Tipo de suelo	Infiltración básica (mm/hr.)
Arcilloso	1 - 5
Franco Arcilloso	5 - 10
Franco Limoso	10 - 20
Franco Arenoso	20 - 30
Arenoso	30 o más

El riego superficial no es utilizado en suelos con altas velocidades de infiltración, ya que la distribución uniforme del agua se vuelve difícil o imposible. El riego por aspersion es menos deseable en suelos de baja infiltración, ya que se vuelve común la escorrentía superficial así mismo el humedecimiento de la superficie del suelo durante el tiempo requerido para una adecuada infiltración, restringe la aireación del suelo y reduce la respiración de las plantas. La reducción de la aireación provoca la reducción de los rendimientos en la mayoría de los cultivos.

Al estimar la precipitación efectiva, los valores de infiltración y la capacidad del suelo para almacenar agua en la zona radicular del cultivo, deben compararse con la precipitación y su intensidad. Sin embargo la cobertura vegetal, las practicas agrícolas y de manejo, pueden tener mucha influencia en la cantidad de precipitación efectiva.

Humedad aprovechable

El agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez, se denomina humedad utilizable. La capacidad de campo (CC) es el contenido máximo de humedad que puede retener el suelo, después de la eliminación del agua gravitacional. El punto de marchitez (PM) es el limite inferior de humedad, debajo del cual las plantas no pueden extraer agua para suplir sus necesidades hídricas.

En el laboratorio se usa con frecuencia el plato de presión para estimar la CC y PM. Una tensión de humedad del suelo de 0.33 atmósferas es utilizada para indicar la CC. Para suelos arenosos algunas veces se usa el valor de 0.10 atmósferas. El punto de marchitez corresponde aproximadamente a una tensión de humedad de 15 bares (atmósferas.)

La capacidad de campo no es un valor preciso, puede variar con la profundidad, limitaciones de drenaje o con el laboreo y compactación del suelo. Sin embargo este concepto y su medición o estimación es esencial en el riego. El punto de marchitez permanente es estimado algunas veces dividiendo la CC entre 1.8, lo cual es una aproximación. Valores de 1.7 para las arcillas y 2.0 para arenas están mas cercanos al promedio, así mismo el PM no es una función única del suelo, sino también de la planta, ya que diferentes especies de plantas extraen agua efectivamente a diferentes tensiones.

La densidad de un suelo no alterado, en gramos por cc con base al peso seco, se denomina densidad aparente. La mayoría de los suelos tienen densidades aparentes en un rango de 1.2 a 1.8 gramos por cc. Un valor común es 1.4 g/cc. A medida que las densidades aparentes aumentan, la facilidad para el crecimiento de las raíces y para el movimiento del agua disminuyen.

La CC de un suelo es usualmente expresada como un porcentaje del peso seco del suelo. El contenido de humedad del suelo puede expresarse como un porcentaje del volumen del suelo ocupado por el agua (porcentaje en base al peso seco por la densidad aparente). La CC puede medirse en el campo humedeciendo un área, cubriéndola con plástico u otro material para minimizar la evaporación, y luego midiendo el contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades, hasta que la humedad se estabilice (de dos a cinco días después del riego).

El nivel freático debe estar de uno a tres metros abajo de la muestra analizada, para permitir el drenaje y reflejar así la capacidad de campo. Las capas de suelo menos permeables, así como las capas arenosas o con grava, retardan el drenaje. Si el agua se aplica en exceso, el contenido de agua a profundidades mayores puede aumentar por varios días después del riego. El drenaje de algunos suelos, particularmente aquellos con subsuelos impermeables, puede ser tan lenta que la determinación de la CC se vuelva difícil.

Los dos métodos comúnmente usados para determinar la densidad aparente son: el método de muestreo de suelo (soil core method) y el método del agujero irregular. Una muestra o un cilindro de suelo de volumen conocido puede ser usado. Después de secar la muestra en el horno a 105°C durante 24 horas, el peso de la muestra seca indica el peso por unidad de volumen. Si se elimina la pérdida por evaporación hasta que la muestra pueda ser pesada antes de secarla, entonces se podrá calcular el contenido de humedad en el suelo. Este procedimiento puede utilizarse para calcular la capacidad de campo como un porcentaje del peso seco o como un porcentaje del volumen, siempre y cuando la muestra se tome después que la humedad en el suelo se haya estabilizado.

El método del agujero irregular, es el mas simple para determinar la densidad aparente del suelo superficial. La superficie del suelo debe estar nivelada. Se excava un agujero, se forra con plástico y se llena con agua hasta la superficie. La cantidad de agua usada para llenar el agujero indica el volumen de suelo excavado. Este método también puede usarse para determinar la CC en porcentaje respecto al peso seco y en porcentaje referido al volumen.

El contenido de humedad en la zona radicular o, hasta una profundidad correspondiente a la de desarrollo de la raíz, no se estabiliza completamente. Por lo tanto la capacidad de campo es una aproximación del límite máximo del contenido de humedad en la zona radicular potencial.

La humedad aprovechable (HA) es (CC - PM). HA puede expresarse como una unidad de profundidad, en mm por metro de suelo. La variación de la humedad aprovechable es considerable para suelos de la misma textura. Sin embargo, el conocimiento del rango general de valores es de mucha utilidad. La Tabla 2 muestra valores típicos de la humedad aprovechable.

Cuando las plantas hacen uso de la fracción superior correspondiente al 50% o 60% de la humedad aprovechable en la parte superior del suelo la tensión es poca. Cuando las plantas extraen humedad del 40% o 50% de la parte inferior del suelo, el crecimiento se reduce gradualmente y se detiene cuando se llega al PM. El agotamiento permisible recomendado

(fracción del agotamiento del agua del suelo "P") puede ser tan bajo como un 20% de la humedad aprovechable para cultivos con raíces poco profundas (profundidad de raíces de 30 a 60 cm.) para climas áridos calientes. Para climas húmedos, templados, el agotamiento permisible (P) para cultivos de raíces profundas (de 1.0 m a 2.0) puede ser tan alto como el 80% de la humedad aprovechable.

Tabla 2. Humedad aprovechable (HA) aproximada, por metro de profundidad del suelo

Textura del Suelo	HA en mm/m
Arenas gruesas	20- 65
Arenas finas 60 - 85	
Arenas margosas	60-110
Franco arenosa	90 -130
Franco arenoso fino	100 -170
Franco limoso	150 -230
Franco arcillo limoso	130-160
Arcillo limosa	125 -170
Arcillas 110-150	
Suelos orgánicos	160 - 240

Programación del riego

Hay varias formas de programar el riego. El conocimiento de los diferentes procedimientos facilita el monitoreo y la evaluación de los principales métodos utilizados.

Monitoreo de la humedad del suelo

Algunos servicios comerciales ofrecidos para programar el riego, han usado el muestrario de la humedad del suelo en el campo para monitorear el contenido de humedad. Este procedimiento ha declinado en popularidad pero aún es valioso para verificar otros métodos más sofisticados. La humedad del suelo puede determinarse tomando muestras en la zona radical del cultivo y colocándolas en recipientes sellados para prevenir la evaporación hasta que puedan pesarse y luego secarse en un horno durante 24 horas a 105°C.

La cantidad de agua que puede agregarse al suelo para lograr la capacidad de campo, también puede determinarse mediante el tacto y apariencia del suelo, según se indica en la Tabla 3.

Medida de la tensión de la humedad en el suelo

Los tensiómetros son muy útiles para programar el riego, especialmente para los cultivos de raíces superficiales, sensibles a la deficiencia de humedad e irrigados frecuentemente. Para el rango en que operan, los tensiómetros son los instrumentos más precisos para evaluar la humedad relativa del suelo. Su uso es limitado cuando se trata de suelos de textura pesada o de cultivos regados con poca frecuencia ya que la tensión de la humedad del suelo puede exceder los límites del tensiómetros.

Los tensiómetros miden la tensión de la humedad en el suelo en centibares (cb) de 0 a 100. Cien cb equivalen a una atmósfera de tensión de humedad en el suelo. La Tabla 4 se sugiere como una guía para evaluar las necesidades de riego.

Pogue (1990) propuso el uso de sensores (WATERMARK) para conocer el contenido de humedad en el suelo con el propósito de combinar las ventajas tanto de los tensiómetros como a los bloques de yeso, a la vez eliminar así algunas de sus desventajas. Este sensor ha reportado medidas aproximadamente iguales a las de los tensiómetros, pero un poco más lentos. Se consideran como aparatos baratos, estables a lo largo del tiempo y no requieren calibración.

Tabla 3 Guía para determinar cuanto humedad en mm/m puede agregarse para que el suelo quede a capacidad de campo

Tacto o aspecto del suelo y deficiencia de humedad				
Humedad Disponible Remanente	Areno francoso de Textura gruesa	Franco arenoso de Textura moderada gruesa	Franco y Franco limoso de Textura media a muy fina	Franco arcilloso o Franco arcillo limoso de Textura fina
0 a 25%	Seco, suelto, granulado, fluye a través de los dedos 67 - 83	Seco, suelto, fluye a través de los dedos 100 -125	Polvoriento seco; a veces se encuentra en pequeñas costras que pueden desintegrarse fácilmente 125 -167	Duro, muy seco, agrietado; a veces partes sueltas en la superficie 158 - 208
25 a 50 %	Seco en apariencia; no forma una bolita al presionarlo 42 - 67	Seco en apariencia; no forma una bolita 67 -100	Algo suelto, pero se mantiene Junto al amasarlo 83 -125 100 -158	Algo moldeable; forma una bolita al amasarlo
50 a 75 %	Seco en apariencia; no forma bolital al amasarlo 17 - 42	Tiende a formar una bola al presionarlo pero raras veces se mantiene Junto 33 -67	Se forma una bola relativamente plastica que resulta pegajosa cuando se presiona con los dedos 42 - 83	Se forma una bola o pequeños cilindros cuando se amasa entre el pulgar y el indice 50 -100
75 % a CC (100%)	Tiende a aglomerarse ligeramente; aveces bajo presión forma una bolita que disgrega facilmente 0 -17	Forma bolitas que se disgregan con facilidad; no es pegajoso. 0 - 33	Forma una bolita, es moldeable y pegajoso; tiene un alto contenido de arcilla 0 - 42	Se forman cilindros facilmente al amasarlo con los dedos; tiene un tacto pegajoso 0 -50
CC (100%)	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano 0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano 0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano 0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano 0

1 La bolita se forma al amasar firmemente una cantidad de suelo.

Fuente: Salazar, Hargreaves and Stutler (1987) and Israselsen and Hansen (1962)

Tabla 4. Rangos del tensiómetro y su significado

Lectura del Tensiómetros (cb)	Significado
0- 5	El suelo está muy húmedo para los cultivos.
10 - 25	Condiciones ideales de agua y aireación. Las lecturas mayores de 25 pueden indicar deficiencias de agua en cultivos sensibles de raíces superficiales y que están creciendo en suelos de textura gruesa.
40 - 50	Adecuada para cultivos con raíces moderadamente profundas, que están creciendo en suelos de textura media.
70 - o menos	Usualmente adecuados para cultivos de raíces profundas.
80	Se requiere riego, aunque las plantas no muestren sintoma de

March (1981) preparó rangos de lecturas recomendables en tensiómetros, para determinar cuando regar mediante el uso de métodos de riego de cobertura total. Estas recomendaciones se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Lecturas de tensiómetros para decidir cuando regar

Cultivo	Lectura de Tensiómetros (cb)
Arboles Frutales Caedizos	70- 80
Cítricos	50 - 70
Aguacates	40 - 50
Tomates	60 - 70
Lechuga	40- 50
Fresas	25 - 35
Apio	20 - 30
Melones y Zanahorias	50 - 60
Pasa, grama (Áreas verdes)	20 - 30

Los tensiómetros miden la tensión en una columna de agua. La lectura aumenta en un cb por cada 10 cm de columna de agua. Si la punta de cerámica se encuentra a una profundidad de un metro, el tensiómetro indica la tensión de succión del suelo en el extremo (punta de cerámica) más 10 cb. Un décimo de la longitud de la columna de agua (en cm) debe restarse de la lectura, para indicar la tensión de succión en la ubicación de la punta. Usualmente, un tensiómetro en cada parcela es adecuado para raíces superficiales, dos para raíces moderadamente profundas y tres a diferentes profundidades para cultivos de raíces profundas.

Bloques de yeso con propiedades eléctricas, se utilizan para monitorear la tensión de la humedad en el suelo. Estos bloques resultan mas efectivos en suelos con tensiones mayores de 35 cb. Consecuentemente son mas útiles en suelos de textura media a textura pesada. La precisión en suelos de textura gruesa y en suelos afectados por sales es cuestionable. Comercialmente se encuentran sondas para la medición de la humedad. Algunos programas para programar el riego, consideran este método de mucha utilidad cuando las sondas están calibradas

o se comparan con los tensiómetros o con las muestras de suelo, para verificar la precisión o para desarrollar confianza en las lecturas de la sonda. La sonda de neutrones, si se calibra adecuadamente, es un expediente útil para monitorear la humedad del suelo y para programar el riego. Este equipo es caro y por tal razón, su uso se limita a trabajos de investigación.

Tensiómetros

El tensiómetro fue desarrollado en los comienzos de 1900 y hoy en día es todavía el instrumento más preciso para evaluar la humedad del suelo. Consiste principalmente de cápsula porosa de cerámica o porcelana conectada a un tubo que contiene un sensor de vacío o manómetro (Figura 1). Una vez que el tensiómetro es llenado con agua e instalado en la zona de raíces, éste puede medir la tensión de la humedad del suelo, la cual se relaciona directamente con el contenido de la humedad del suelo. A medida que el suelo se seca, el agua dentro del tensiómetro es succionada a través de la cápsula porosa por la matriz del suelo, creándose un vacío parcial que es detectado por el manómetro. Este vacío es aproximadamente igual al potencial mátrico (succión) del suelo al contenido de humedad que en ese momento se encuentre en el suelo. Cuando un suelo es regado, el agua se mueve desde el suelo húmedo hacia el interior del tensiómetro, esto reduce el vacío y el manómetro detecta la nueva tensión o el contenido relativo de humedad del suelo.



Figura 1. Partes principales de un tensiómetro.

Interpretación de las lecturas

Lo que marca el manómetro o cualquier otro tipo de sensor usado en los tensiómetros es la tensión con que el agua es retenida por el suelo, la cual, a su vez está relacionada con el contenido de la humedad del suelo. Los tensiómetros son normalmente calibrados para trabajar en un rango de valores entre 0 y 100 llamados centibares, o kilopascales (kpa). Una lectura de cero indica un suelo saturado, mientras la máxima lectura útil es típicamente 75 centibares. La Figura 2 muestra la relación entre la lectura del manómetro en un tensiómetro comercial y el contenido de la humedad del suelo, esta última relacionada como una fracción del contenido de la humedad a capacidad de campo para un suelo arenoso y uno arcilloso. Una guía práctica en la programación del riego es aplicar el riego cuando el contenido de la humedad del suelo es el 75% del contenido de la humedad a capacidad de campo. Si esta guía es aplicada a un cultivo en un suelo arenoso como el de la Figura 2, el riego se aplicaría cuando el tensiómetro marque 25 ó menos centibares. En contraste, este mismo cultivo en un suelo arcilloso podría ser regado cuando la lectura en el tensiómetro marque alrededor de 80 centibares o menos, sin embargo, 80 centibares está fuera del rango de operación de los tensiómetros, por esta razón no se recomienda su uso en suelos arcillosos.

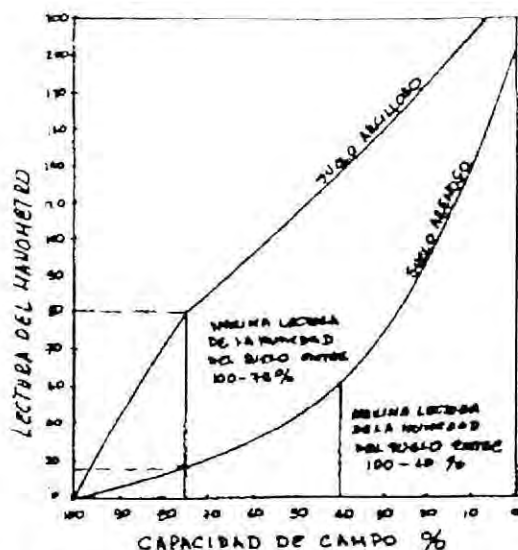


Figura 2. Comparación de la medida de un tensiómetro en suelo arenoso y arcilloso.

La anterior guía práctica es para un promedio de cultivos, sin embargo, para cultivos con raíces poco profundas como fresas o papas, estos podrían ser regados a contenidos de humedad sobre el 75% de la humedad a capacidad de campo. Por ejemplo, durante la formación del tubérculo, el cultivo de la papa en los Estados Unidos es normalmente regado cuando el contenido de la humedad del suelo es 80% de la humedad a capacidad del campo. Contrariamente, cultivos con raíces profundas, tolerantes a la sequía, como algodón, alfalfa y sorgo, podrían ser regados cuando el contenido de la humedad del suelo este entre el 50% y el 60% de la humedad a capacidad del campo. Regar con intervalos de tiempo grandes es deseable principalmente en riego por superficie, ya que se incrementa la eficiencia de riego y la uniformidad. Por lo tanto, los tensiómetros son más comúnmente usados para la programación del riego en cultivos de raíces poco profundas creciendo en suelos arenosos o francos. Contrariamente, en cultivos de raíces profundas (como algodón) creciendo en suelos arcillosos los tensiómetros no son útiles, ya que no pueden medir la máxima tensión tolerada por la planta.

Instalación de los Tensiómetros

Un tensiómetro da una indicación relativa del contenido de la humedad del suelo, y uno puede darse cuenta que la distribución de la humedad no es uniforme en la zona de raíces. Así que los agricultores podrían instalar tensiómetros a una profundidad que represente el contenido de la humedad del suelo dentro de la zona activa de raíces. Para cultivos de raíces poco profundas (menor a 50 cm como lechugas y papa), un tensiómetro es adecuado. En este caso la punta del tensiómetro es normalmente instalada en la mitad del bulbo de raíces (Figura 3). En cultivos de raíces profundas como árboles, dos o tres tensiómetros son necesarios para medir la condición de la humedad del suelo dentro de la zona de raíces. La Tabla 6 da la profundidad de instalación recomendada por la empresa Irrrometer Company.

Antes de la instalación de los tensiómetros el agricultor debe tomar en consideración el sistema de riego a emplear. En riego por surcos la instalación se efectúa en el surco del cultivo, en riego por aspersión, se colocan de tal manera que el agua proveniente del aspersor no sea interceptada y alcance el tensiómetro, y en riego por goteo, la instalación se hace entre 0.3 y 0.6 metros del emisor o gotero.

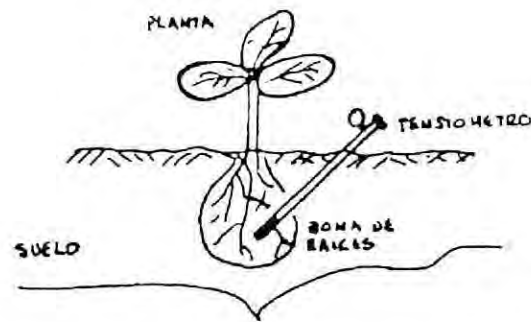


Figura 3. Colocación inclinada del tensiómetro en el bulbo de raíces.

Cuando se instala un tensiómetro es necesario asegurarse que la cápsula de cerámica esté en contacto directo con el suelo. Para instalar un tensiómetro, debe prepararse un agujero en la zona de raíces con un barreno o tubo de 0.5 pulgadas de diámetro (o del mismo diámetro del tubo del tensiómetro), la punta del tensiómetro es empujada hasta el fondo del agujero para crear un buen contacto, un poco de agua puede ser agregada en el agujero antes que se instale el tensiómetro. Para asegurar un estado de equilibrio, las lecturas deben tomarse 24 horas después de su instalación.

La mejor hora para leer un tensiómetro es temprano en la mañana. Durante la instalación de un tensiómetro, su columna debe llenarse con agua libre de aire, y dejarse con aire una distancia desde la parte superior de 1.3 cm (0.5 pulgadas). A medida que se incrementa la tensión, burbujas de aire penetran desde la parte superior del instrumento y simultáneamente el agua escapa de la cápsula porosa. Este proceso reduce la precisión del instrumento haciéndose necesario adicionar agua tan pronto el nivel decae.

Uso de los datos del tensiómetro para la programación del riego

Los tensiómetros son usados de dos maneras, para determinar el momento y la cantidad de riego.

1. En cultivos con raíces poco profundas, una curva de calibración puede ser desarrollada para relacionar la lectura del tensiómetro con el contenido de humedad. Esta relación es única para cada suelo. Por ejemplo, para usar un tensiómetro para regar un cultivo de lechugas, si el agricultor decide regar cuando la humedad alcance un 75% de capacidad de campo, entonces la cantidad de agua que debe suministrarse puede ser calculada como:

Profundidad de agua requerida = Tasa de agotamiento x capacidad de campo x profundidad de raíces

En este caso, si la capacidad de campo del suelo es 20%, y si la lechuga tiene una profundidad efectiva de raíces de 0.4 metros, la cantidad de agua requerida en cada riego será de 20 mm:

$$0.25 \times 0.20 \times 0.4 = 0.02 \text{ m ó } 20\text{mm.}$$

Los 20 mm es la lámina neta requerida, si el riego es por surcos con una eficiencia del 60%, entonces la lámina bruta requerida es de: $20/0.6 = 33 \text{ mm}$.

2. En ausencia de la curva de calibración, o en cultivos de raíces profundas donde es difícil determinar con precisión la humedad del suelo en la zona de raíces, una vez que el tiempo del riego es determinando, la cantidad de riego puede ser calculada usando datos climatológicos. Si

la ET calculada durante el periodo del cultivo resulta ser de 4.0 mm/día, y el tiempo desde el último riego es de 5 días, la lámina de riego será de: $4 (5) = 20 \text{ mm}$.

Número de tensiómetros a usar

El número de tensiómetros que se deben usar depende del tipo de cultivo. Un tensiómetro por localidad puede ser suficiente para cultivos con raíces poco profundas (0.50 m o menos), mientras el uso de dos o tres tensiómetros por localidad es aconsejable para cultivos con raíces profundas. El número de sitios o localidades en cada campo depende de la heterogeneidad del suelo. Si toda el área es regada simultáneamente, se puede escoger la parte más arenosa para instalar los tensiómetros. En promedio, un sitio por cada hectárea es normalmente suficiente.

Tabla 6. Profundidad recomendable para la instalación de tensiómetros y sensores Watermark(Tm) (Tomando de Irometer)

Cultivo	Instrumento Superficial (cm)	Instrumento Profundo (cm)	Para extra Profundidad Colocar a(cm)
Alfalfa	30-45	90-120	150-180
Espárragos	45-60	90-120	
Aguacates	30	60	90
Bananos	30	60	
Cebada	45	90	
Frijoles	45	90	
Brócoli	30	50	
Repollo	30	50	
Zanahorias	30	60	
Clavel	30		
Coliflor	30	60	
Apio	25	50	
Cítricos	45	90	
Café	45-60	90-120	
Maíz	45	90	
Algodón	45	90	
Uvas	60	120	150
Lechugas	30		
Melones	45	90	
Cebollas	30		
Papaya	30	60	
Pastos permanentes	20-38	60-75	
Maní	30	60	
Piña	38	75	
Papa	45	90	
Sorgo	45	90	
Soya	45	90	
Caña de Azúcar	45	90	
Tomate	45	90	
Sandía	45	90	120

Control de la cantidad de agua aplicada

La cantidad de agua que se necesita aplicar a los cultivos puede ser controlada usando tensiómetros. Esto se hace instalando uno o dos tensiómetros en la parte superior de la zona de raíces para indicar el momento del riego, un tercer tensiómetro es instalado en la parte inferior de la zona de raíces el cual controlará y determinará la cantidad de agua de riego a aplicar. Si la cantidad de agua es menor de la requerida, la tensión de la humedad del suelo en el más profundo tensiómetro no disminuirá. Ahora, si la tensión en este tensiómetro disminuye en dos sucesivos riegos, la aplicación de riego puede ser reducida ya que esta reducción en tensión muestra que el riego a alcanzado la parte más profunda de la zona de raíces. Utilizando un proceso de ensayo y error el agricultor puede seguir la huella de la humedad en el suelo y por consiguiente determinar lo requerimientos de agua para el cultivo.