



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

EL ROL DE LOS SENSORES EN LA AGRICULTURA DE REGADÍO



UNIVERSIDAD
DE
CÓRDOBA



Francisco Casares

Casares@uco.es

Jornada:

Uso de big data,
sensorica y
teledetección
para el cálculo
de la dosis de
riego

Introducción



En España, el 70 por ciento del agua que consumimos se destina a la agricultura, por lo que el papel del sector es clave para conseguir un ahorro de agua

Gracias a la modernización de los regadíos, en nuestro país se ha conseguido reducir el consumo de agua un 15 por ciento por hectárea en la última década.

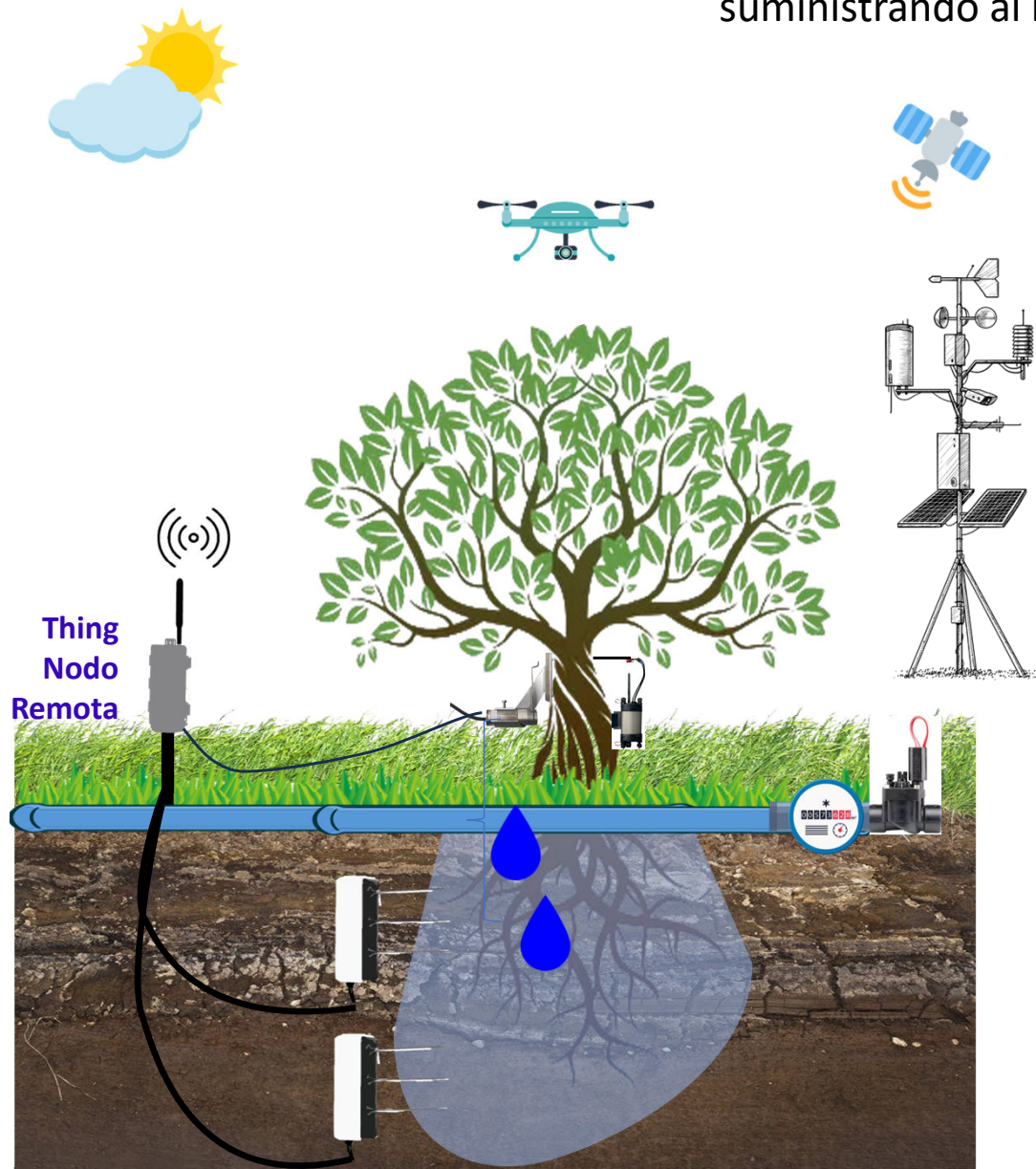
Una de estas mejoras es la apuesta por el **riego de precisión**.

Consiste en el uso de las tecnologías disponibles para realizar un riego óptimo al cultivo, suministrando la cantidad de agua adecuada en el momento adecuado.

¿Cuándo? ¿Cuánto? ¿Dónde?

Introducción

Existen sensores que monitorizan el estado del agua en las plantas, en el suelo, y que informan sobre si el agua que se está suministrando al medio es suficiente en un momento determinado.



Sensores lejanos

Cámaras Visibles, **Térmicas**, multiespectrales

Sensores Cercanos

Sensores suelo-agua-planta

Sensores de Suelo: Estos sensores miden en el suelo la humedad, la Conductividad eléctrica, la temperatura, el potencial matrico, etc.

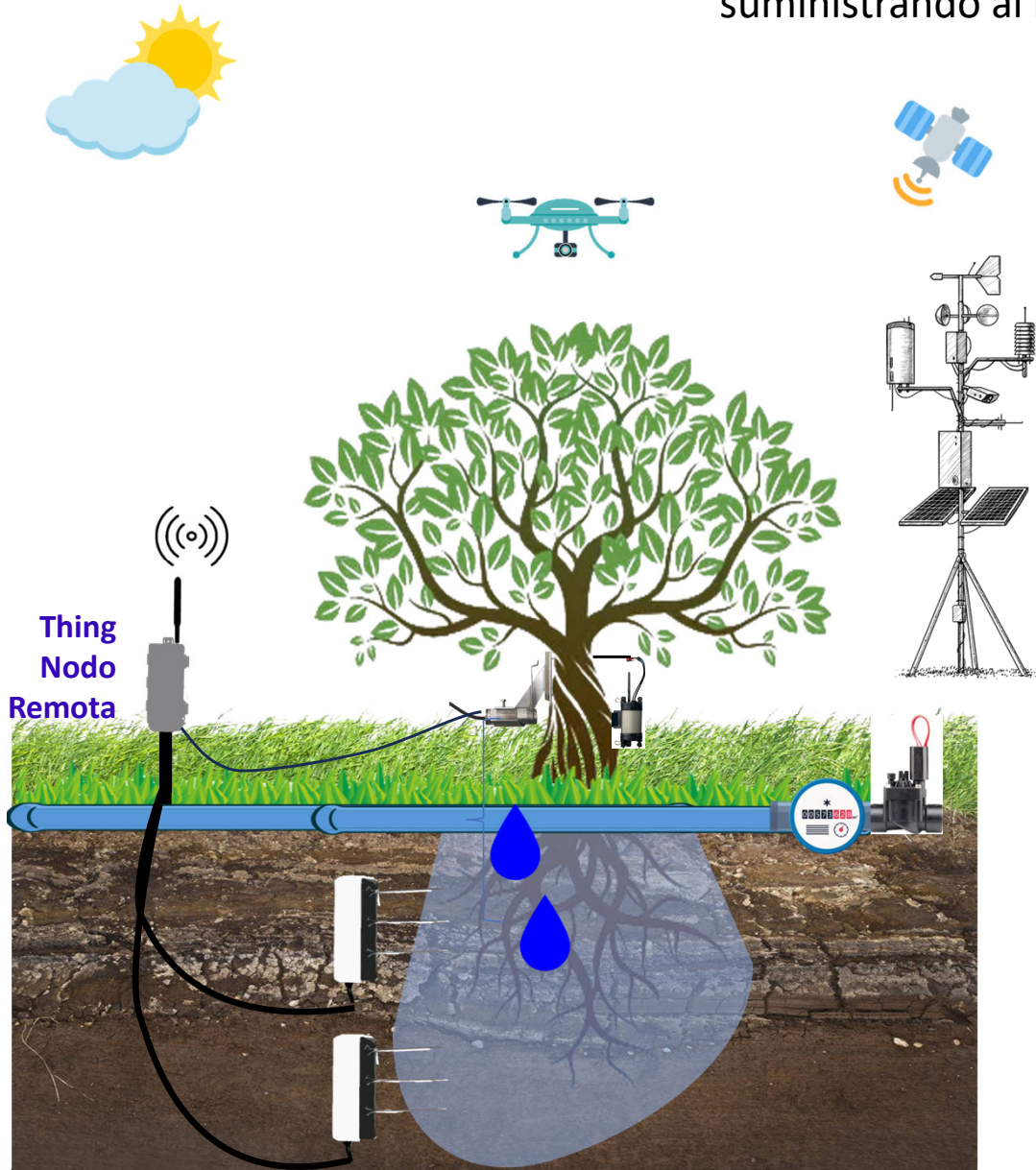
Sensores de Planta: Estos sensores miden en la planta factores relacionados con su fisiología, tales como la transpiración, el potencial hídrico, la fotosíntesis, etc.

Sensores Medioambientales

Sensores de Ambiente: Estos sensores nos ayudan a hacer una programación del riego midiendo variables como la temperatura y humedad ambiente, radiación, Precipitación, velocidad del viento, etc.

Introducción

Existen sensores que monitorizan el estado del agua en las plantas, en el suelo, y que informan sobre si el agua que se está suministrando al medio es suficiente en un momento determinado.

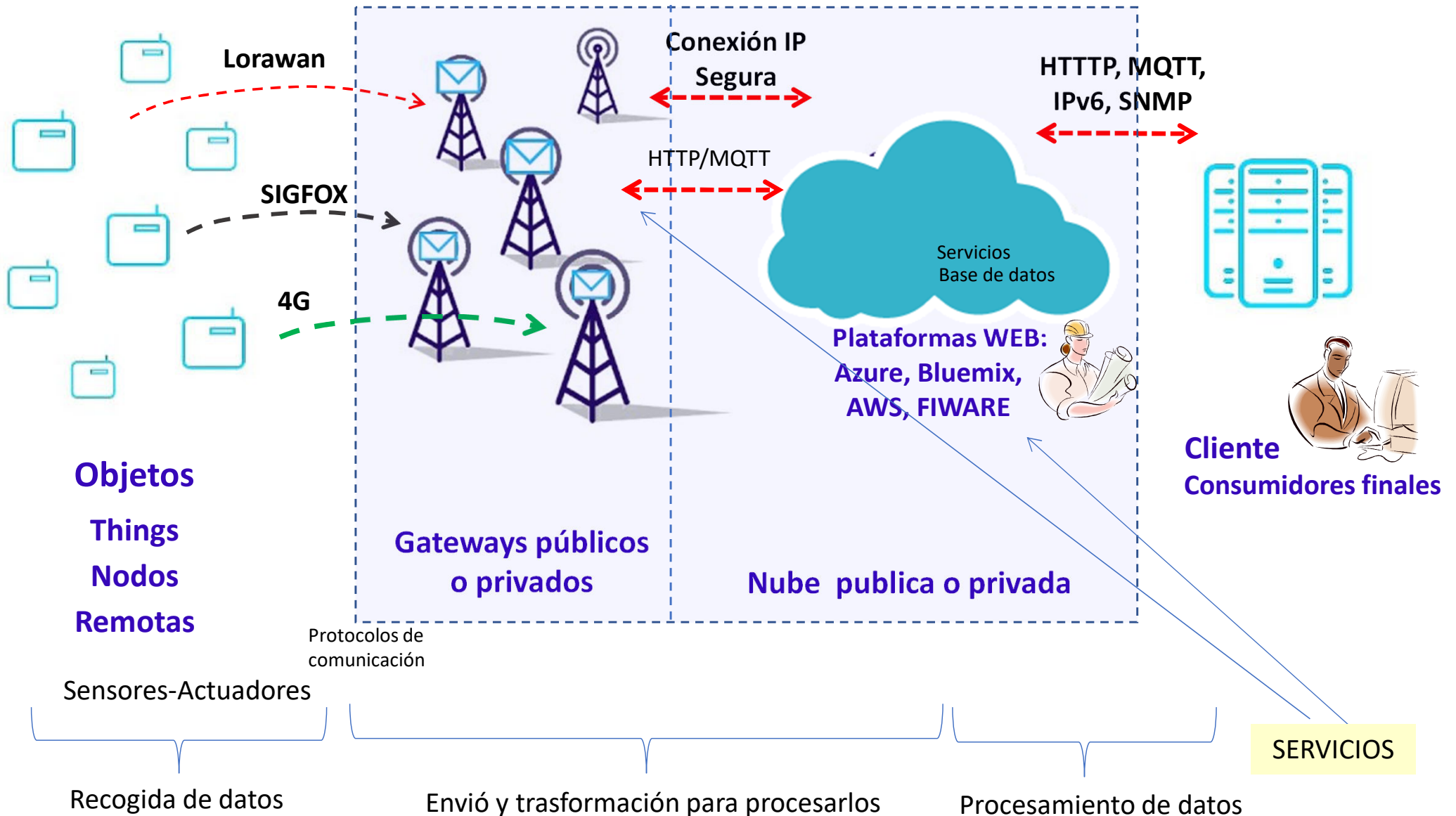


La información recibida y gestionada en una plataforma web, nos dará una visión real y con absoluta fiabilidad de las condiciones hídricas de la planta así como de las condiciones de clima y el suelo que la rodean

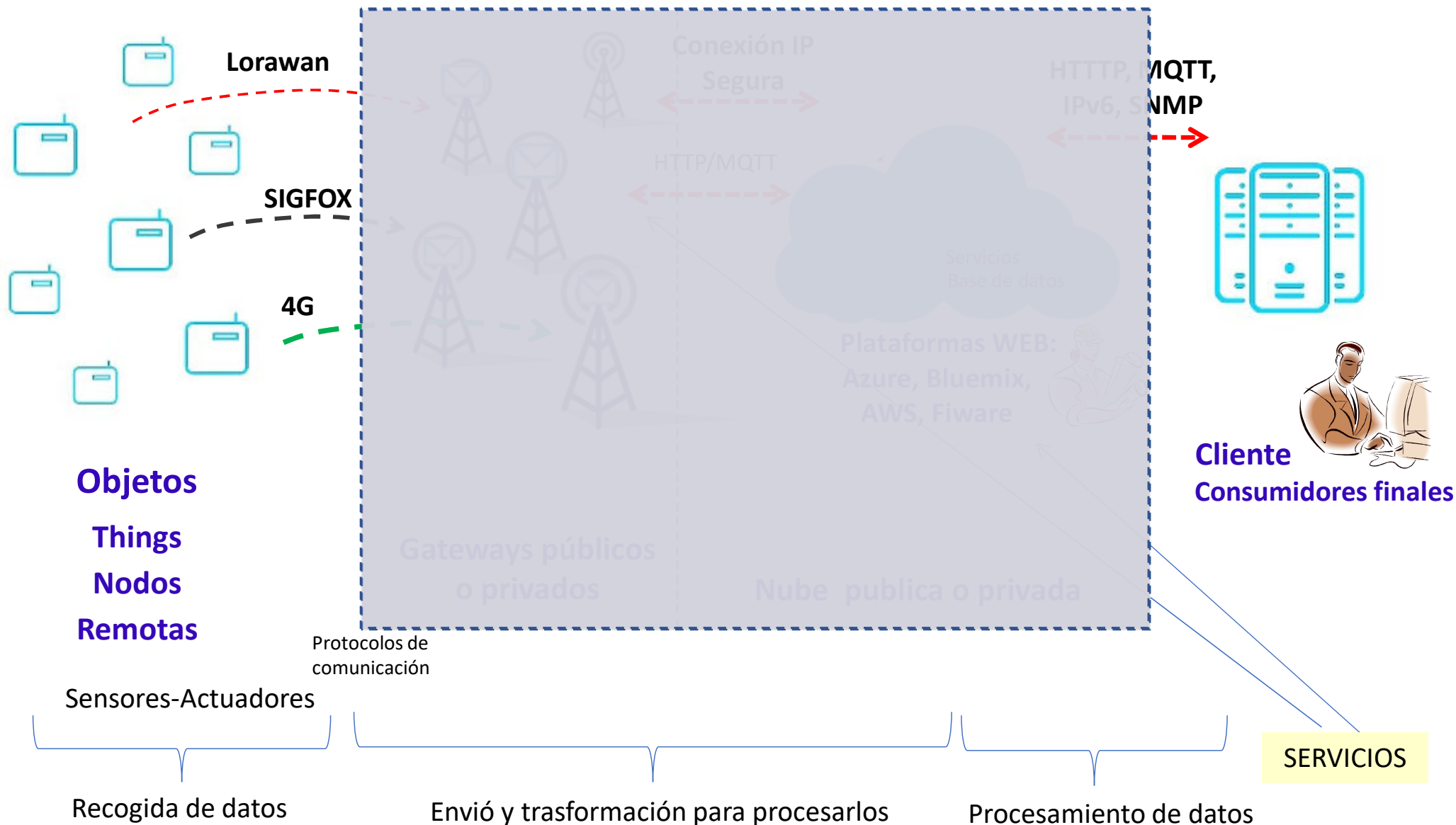
Factores condicionantes:

- El coste de los dispositivos (Precisión, representatividad, Tiempo real)
- Dificultad instalación de los sensores (Formación técnica específica)
- Interpretación de las mediciones para la programación de riegos (Conocimientos técnicos, informático, etc)
- Tomar decisiones agronómicas.

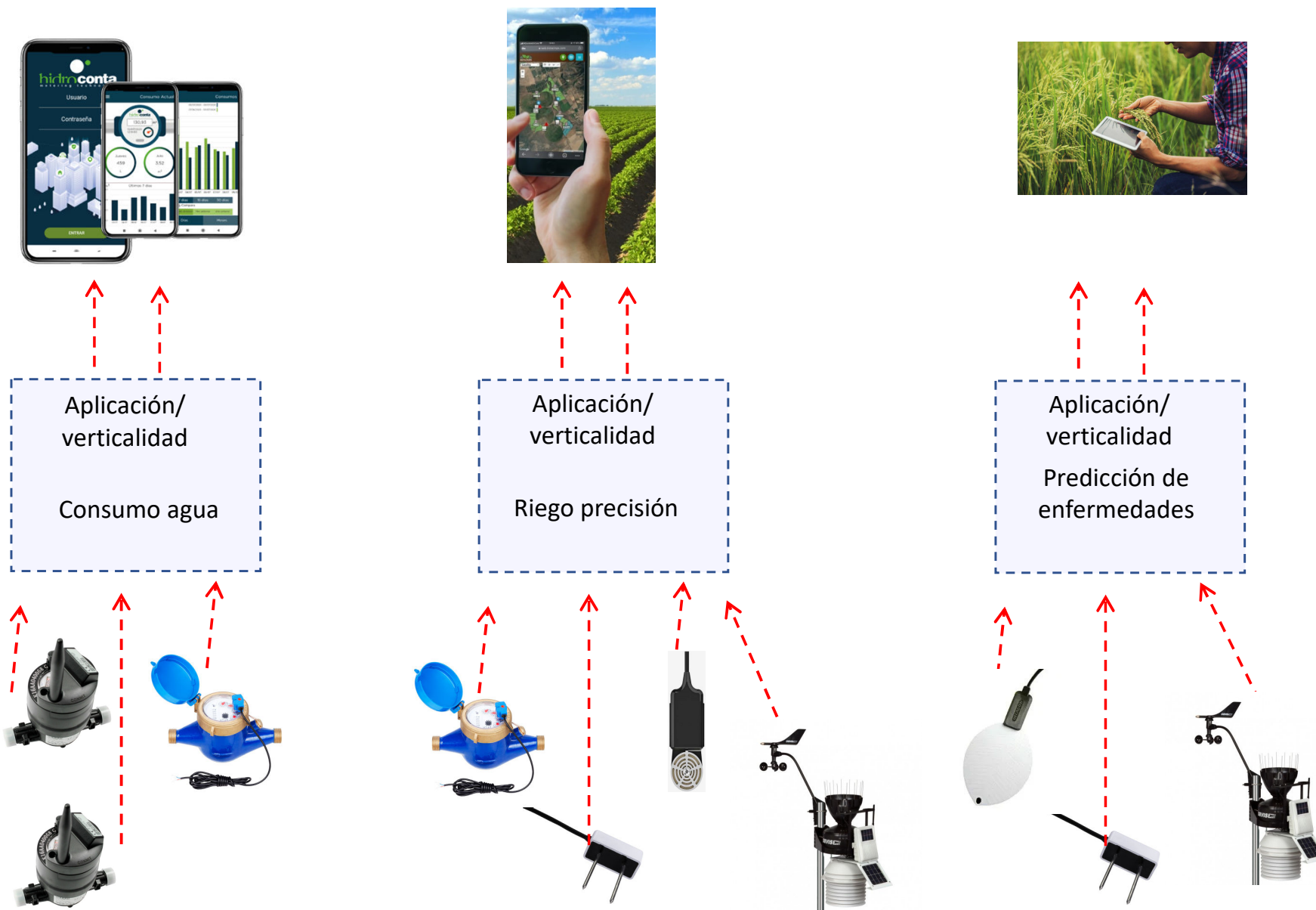
Arquitectura Agricultura 4.0



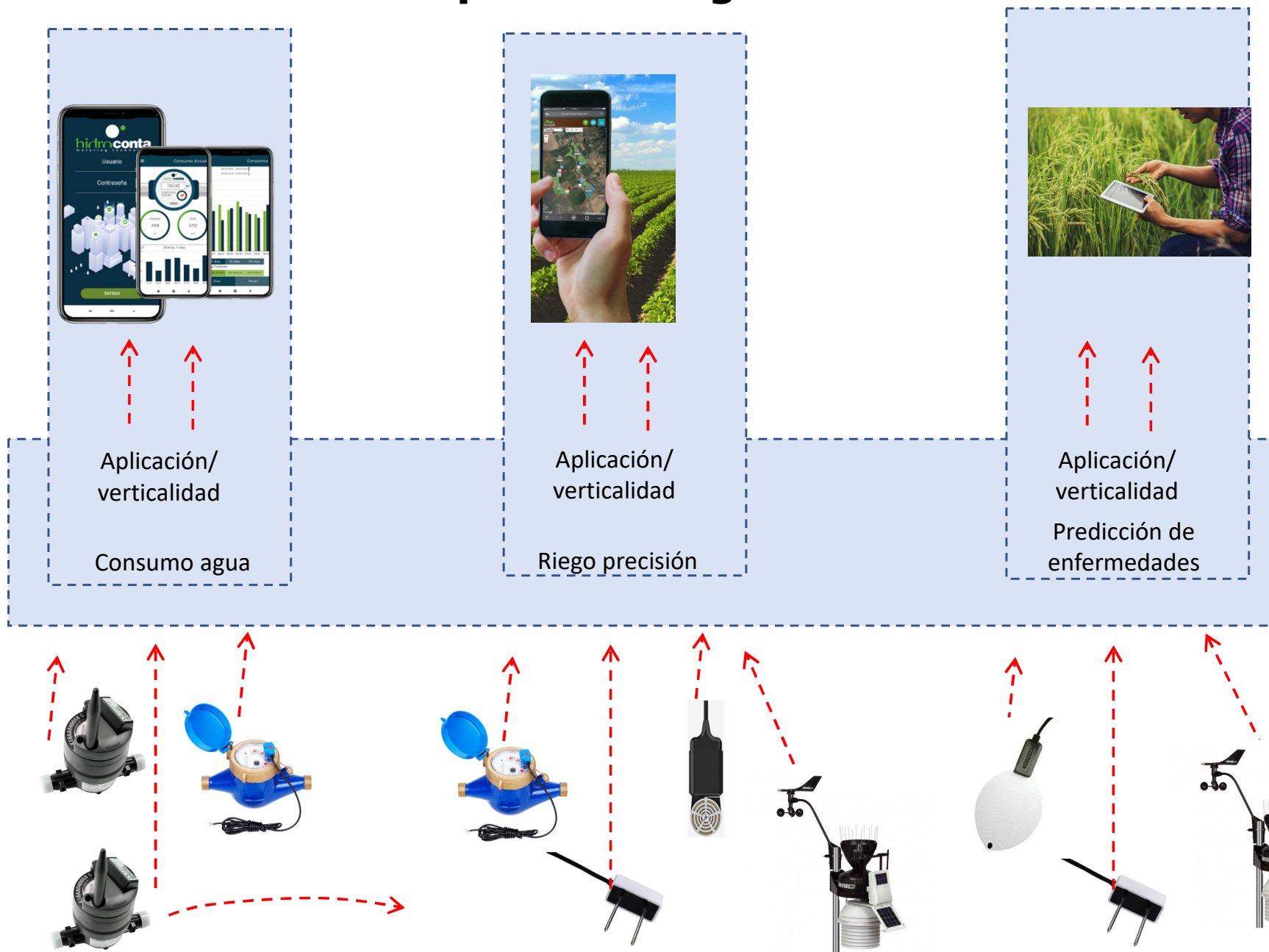
Arquitectura Agricultura 4.0



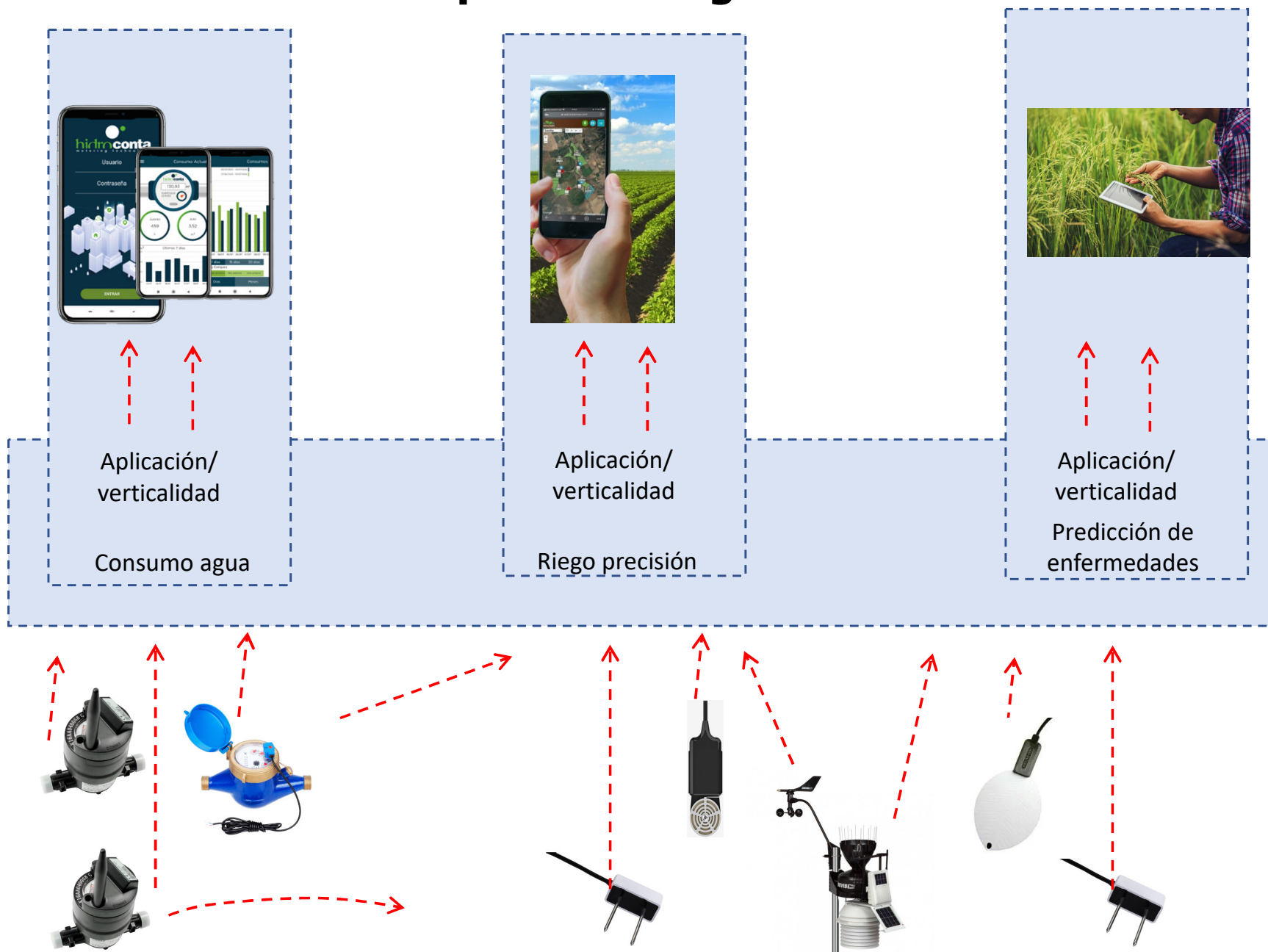
Arquitectura Agricultura 4.0



Arquitectura Agricultura 4.0

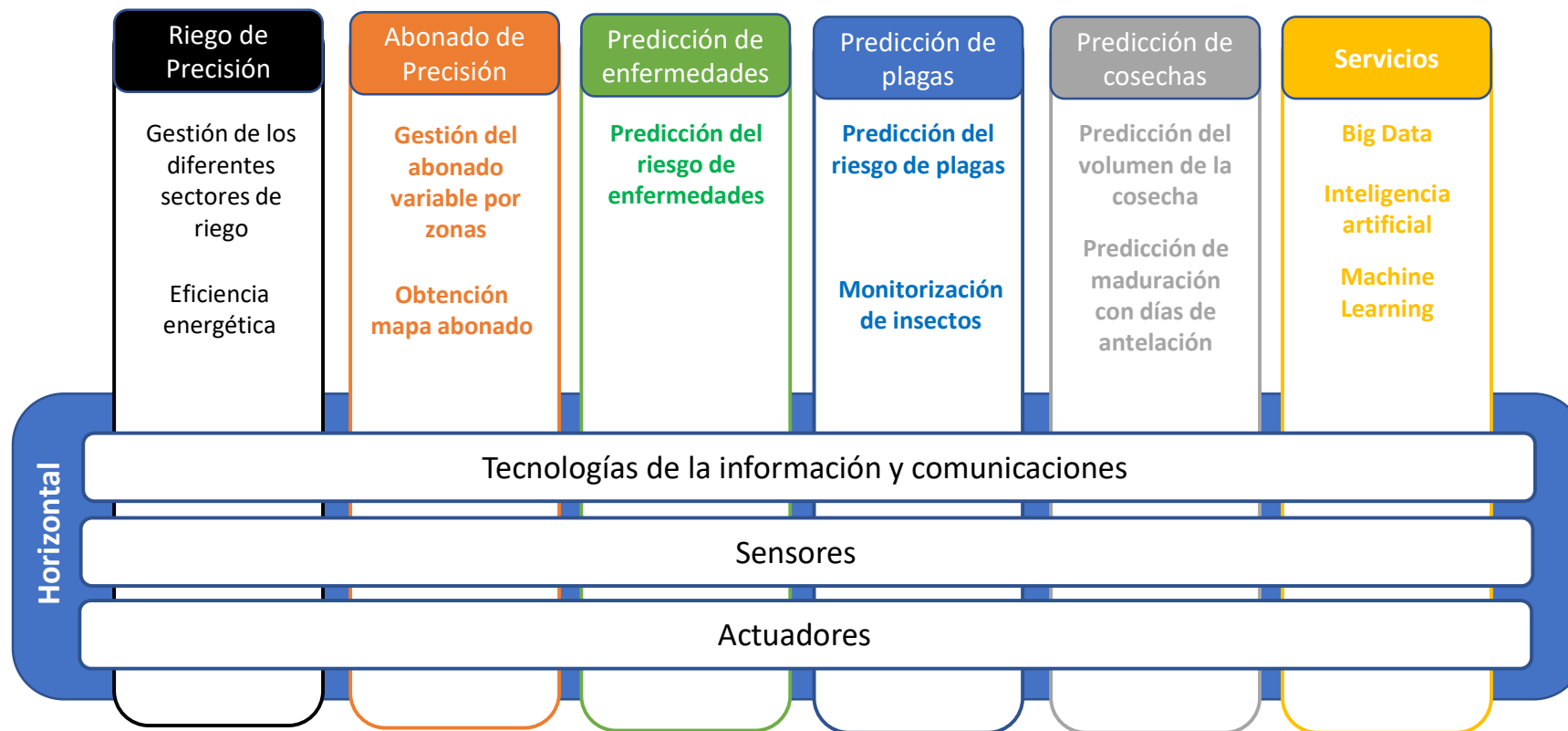


Arquitectura Agricultura 4.0



Arquitectura Agricultura 4.0

¿Qué verticalidades nos podemos encontrar?




¿Cuándo Regar?
 ¿Cuánto regar?
 ¿Dónde es necesario?

¿Que sensores necesitamos?

	Riego Almendro	Riego Olivo	Riego Naranjos	Riego Xxxx	Etc.
Radiación solar					
Temperatura aire	✓	✓	✓	✓	
Humedad Relativa					
Pluviómetro					
Anemómetro					
Veleta					
Humedad Foliar					
Dendrometro	✓	✓	✓		
Flujo de Savia					
Turgencia de Hoja		✓			
Temperatura suelo	✓	✓	✓	✓	
Potencial matrico			✓		
Humedad Suelo	✓	✓	✓	✓	
Etc.					

La aplicación de riego utilizada nos solicitara los sensores necesarios para su funcionamiento correcto

Sensores de Planta:

 Nos dan información en tiempo real sobre el estado hídrico de la planta



Bomba de presión o Cámara de Scholander



Sensor de turgencia en hoja



Dendrómetro



Temperatura en hoja



Flujo de savia



Sensor de humedad en hoja



Potencial hídrico en tronco

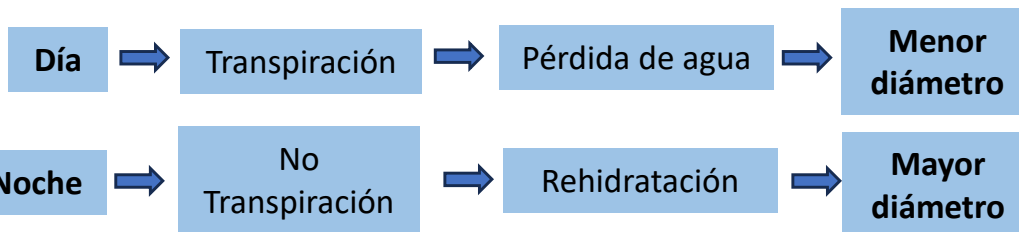


Dendrómetros: Es un sensor que mide el diámetro del tronco o de cualquier otra parte de la planta (tallo, rama, fruto, etc), y comparando varias mediciones a lo largo del tiempo nos mostrará la forma en que esa parte de la planta crece y su tendencia. **Al ser cada vez más precisos son capaces de medir las variaciones de diámetros entre la noche y el día por lo que pueden servir para observar como la planta utiliza el agua del suelo.**



Las principales aplicaciones son:

- Monitorización en continuo del proceso de crecimiento de la planta.
- Monitorización del estado hídrico de la planta.
- Análisis de la influencia de los factores ambientales en el crecimiento.
- Determinación del inicio y final del periodo de crecimiento.
- **Gestión del riego.**



Dendrómetros:

Aplicación: Monitorización en continuo del proceso de crecimiento de la planta.

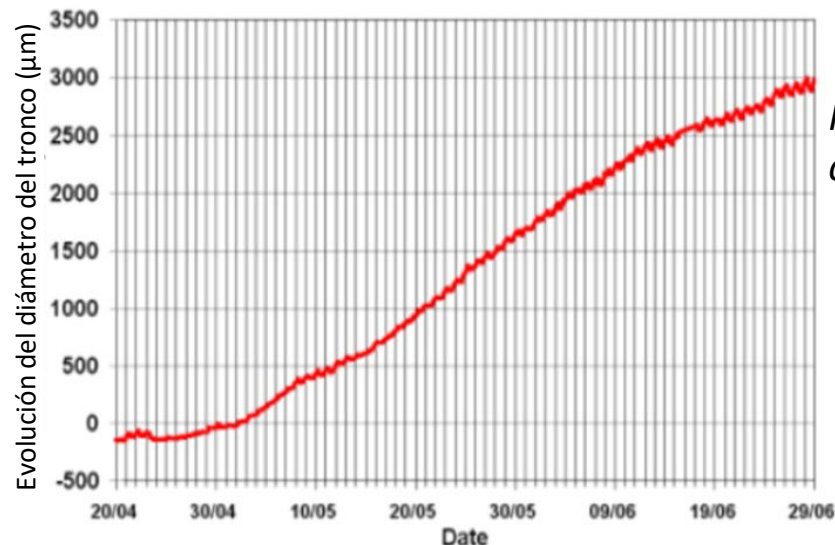


Figura: Tres meses de datos de un dendrómetro colocado en un tronco de un árbol.

Los dendrómetros proporcionan una medición directa y continua del crecimiento de las plantas durante la temporada de crecimiento

Aplicación: Monitorización del estado hídrico de la planta.

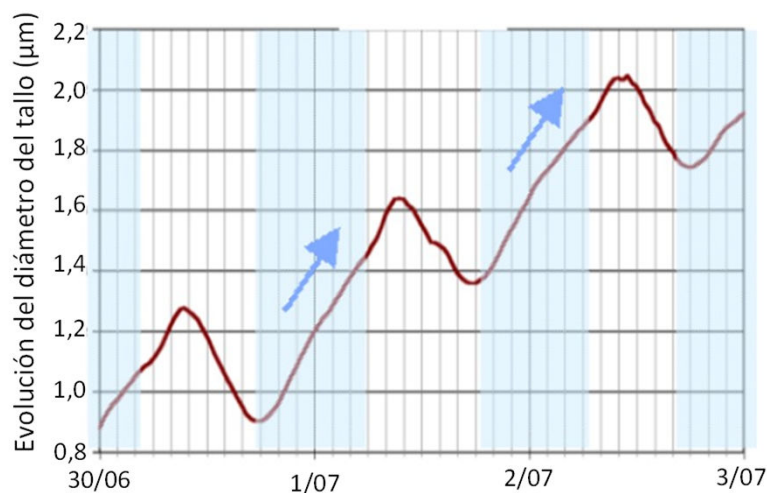
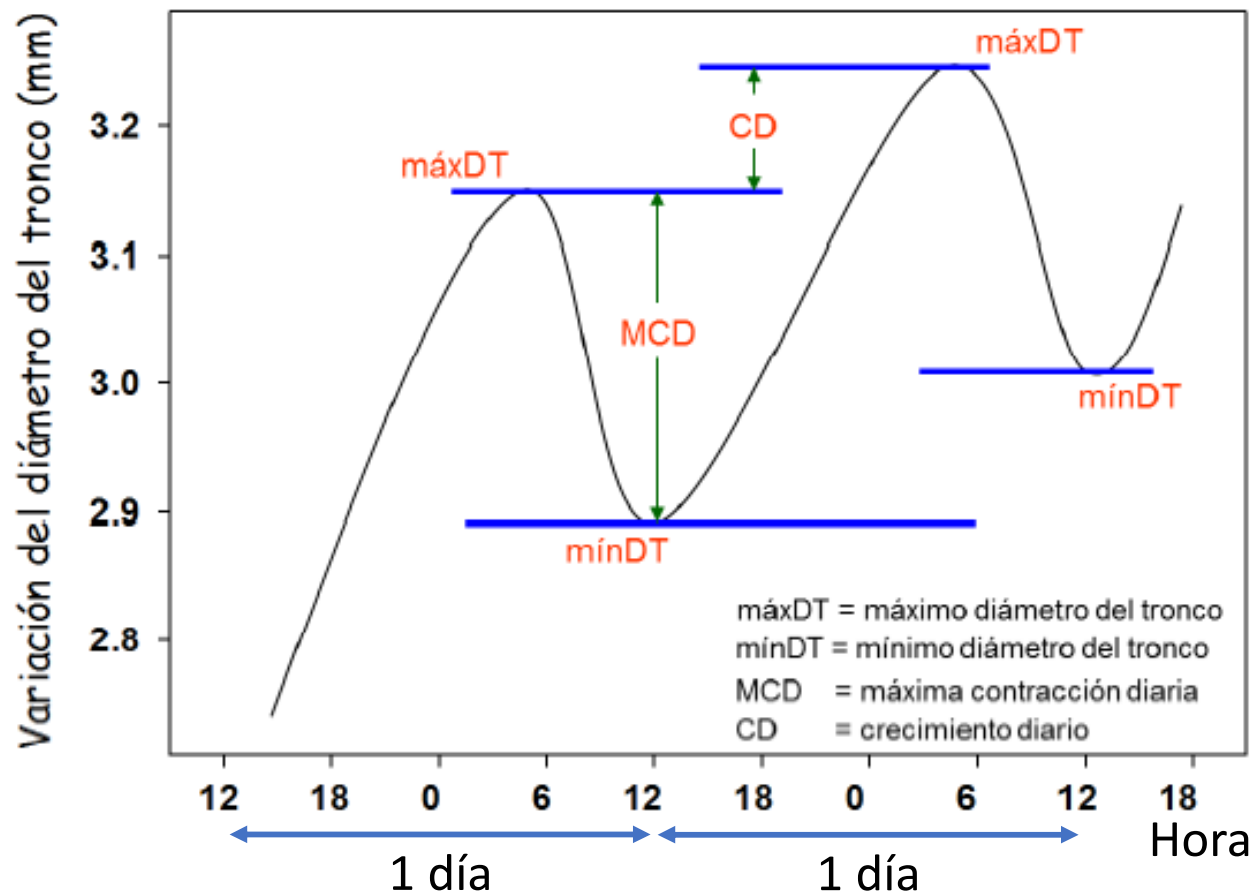


Figura: Representación de los datos de un dendrómetro durante tres días

Los diámetros de los troncos o frutos oscilan diariamente entre un máximo y un mínimo, que se puede correlacionar con la transpiración diaria.
Las variaciones diarias son de tamaño micrométrico.

Dendrómetros: Indicadores de estrés hídrico: MCD: Máxima contracción diaria.



Se han realizado estudios que han demostrado que es posible basar una programación de riego únicamente en lecturas de MCD.

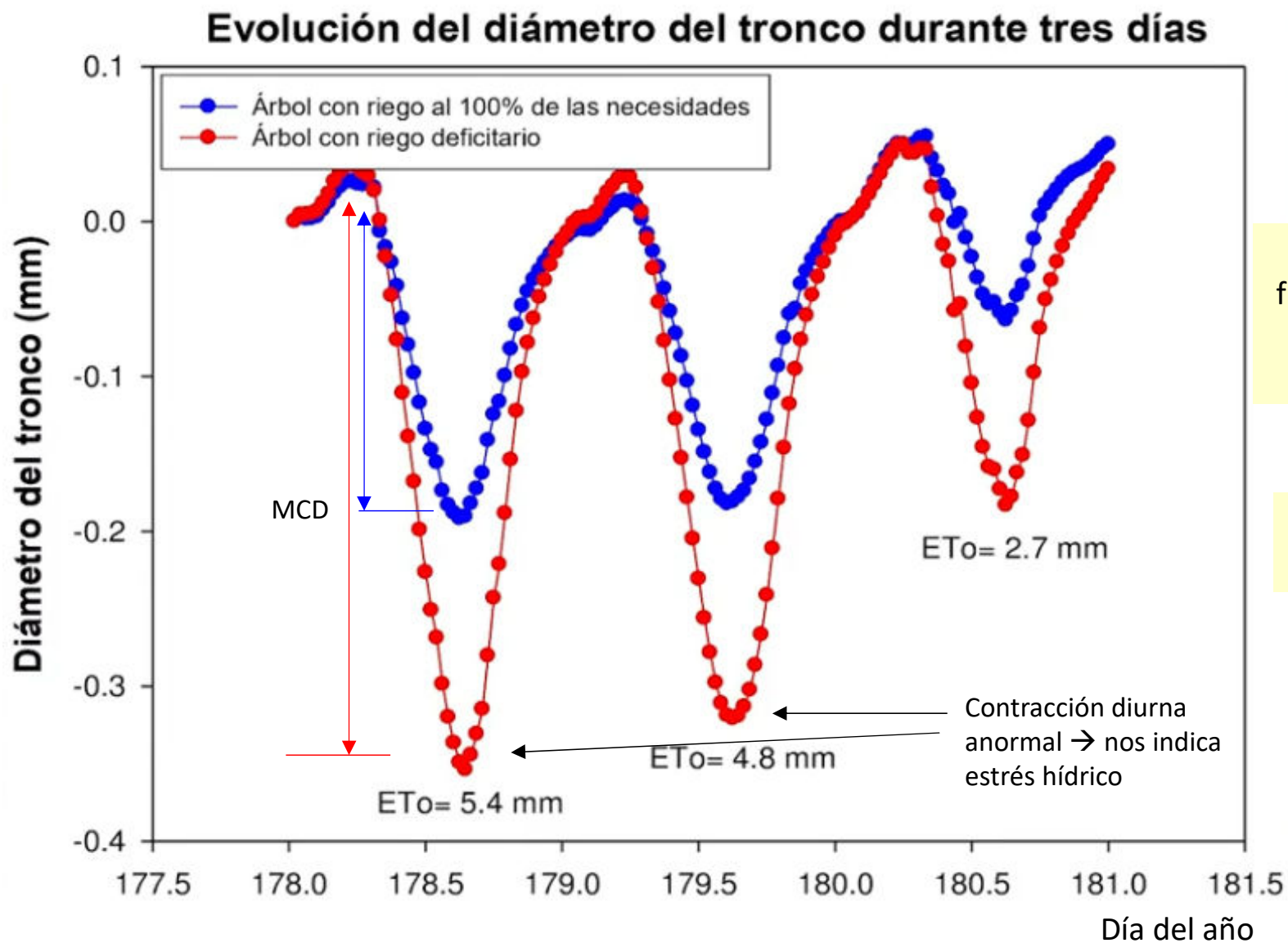
Problema de generalizar: La relación de MCD con el nivel de estrés hídrico no es lineal, de manera que en un árbol poco estresado hídricamente pueden registrarse valores de MCD similares a los registrados en árboles con estrés hídrico severo.

Hay que usarlo con precaución, depende de la especie.

Variaciones de MCD ligadas a otros factores:

- Cultivo (edad, tamaño, periodo fenológico).
- Carga productiva.
- Localización de los sensores en el árbol.

Dendrómetros: Indicadores de estrés hídrico:



Mayor fluctuación del diámetro de tallo

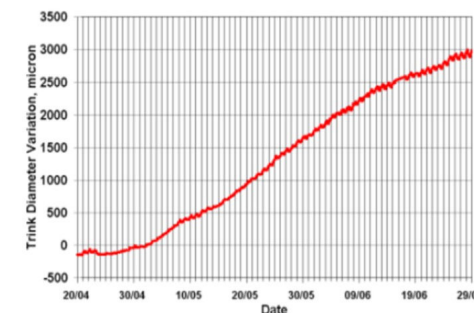
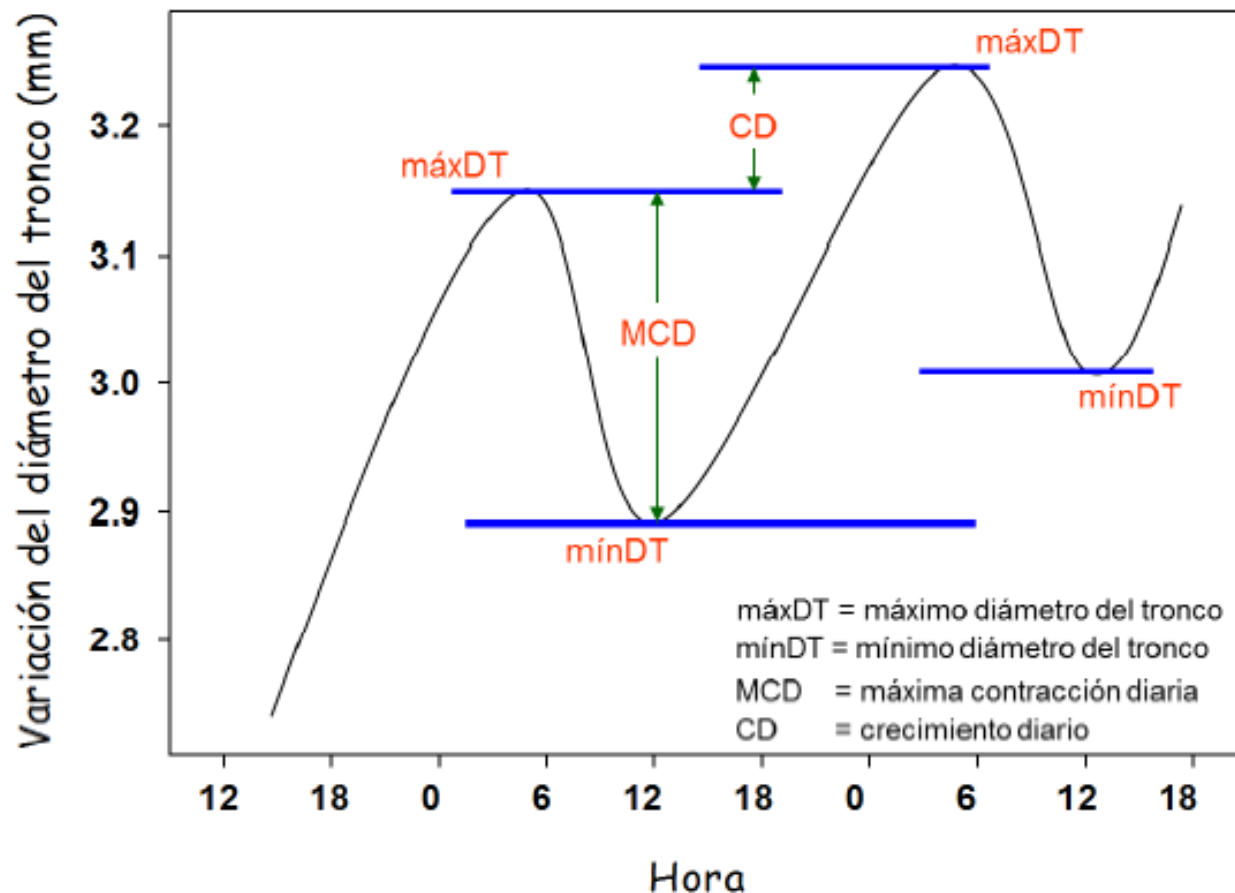
↓

Mayor estrés hídrico

$$\text{Intensidad de la señal-MCD} = \frac{\text{MCD árbol}}{\text{MCD de un árbol sin estrés}}$$

← Para establecer los límites de riego

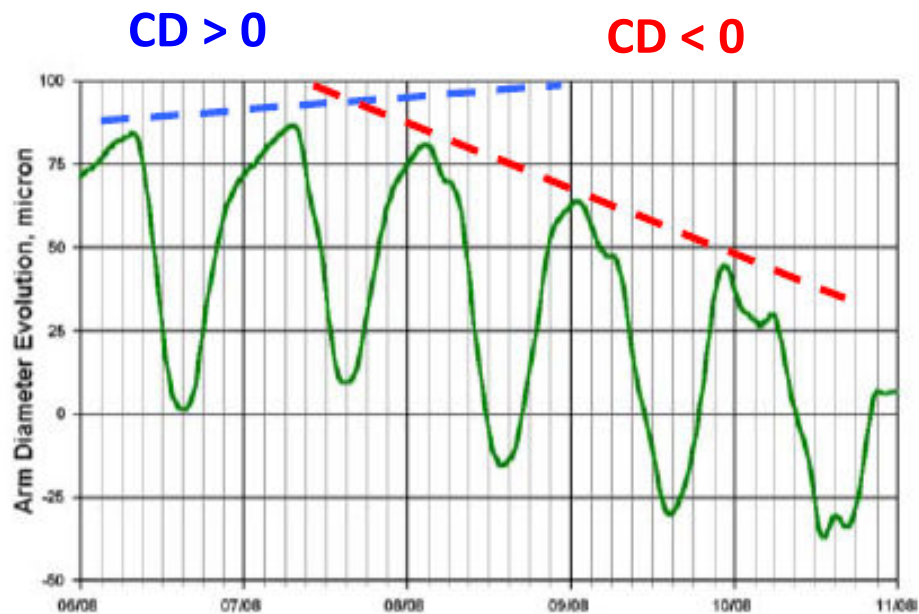
Dendrómetros: Indicadores de crecimiento:



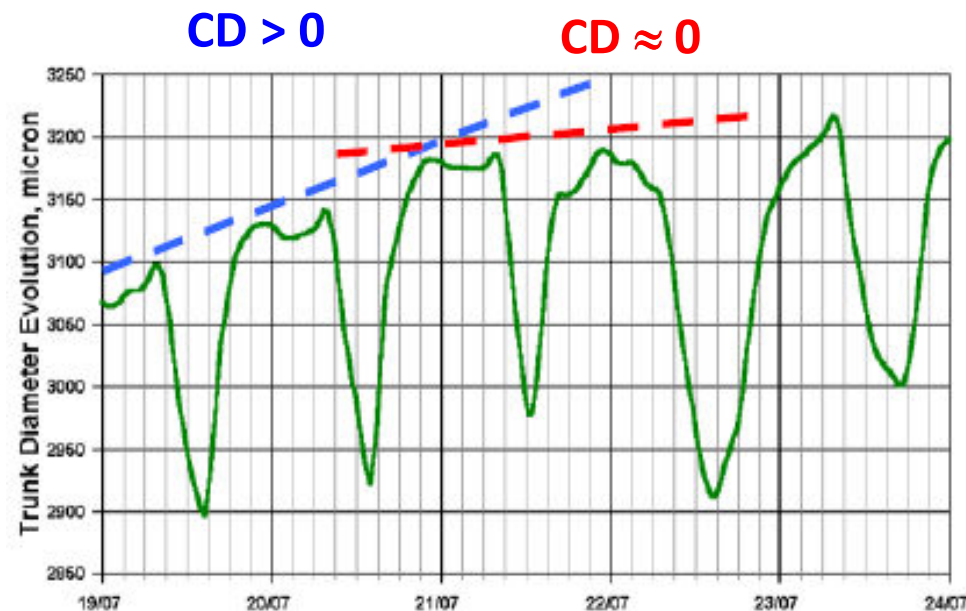
$CD \geq 0$ → No hay estrés
 $CD < 0$ → Existe estrés

La evolución de los valores del máxDT y mínDT nos suministra información de utilidad. Concretamente, la diferencia entre dos valores consecutivos del máxDT informa de la tasa diaria de crecimiento del tronco (CD), y la consideración de los valores del máxDT en un determinado período informa del crecimiento acumulado.

Dendrómetros: Indicadores de crecimiento:



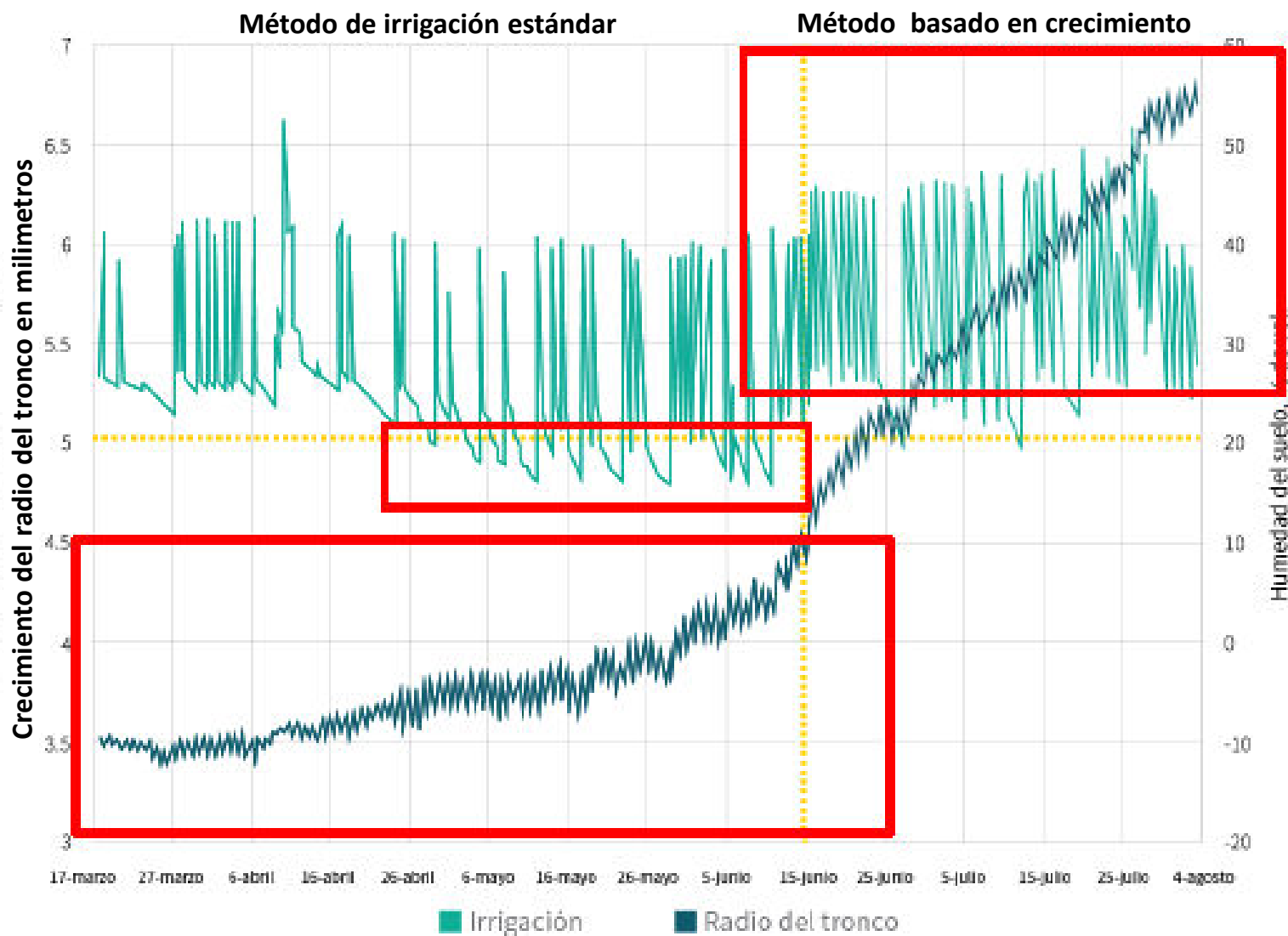
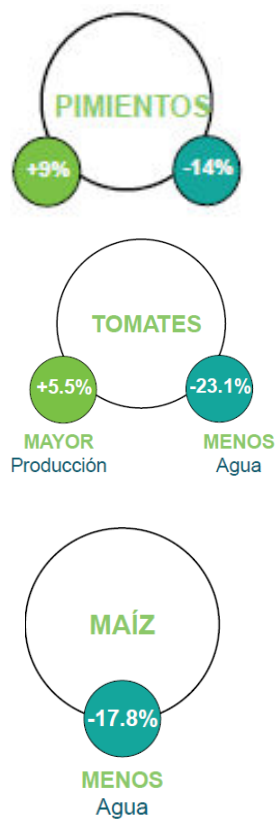
Ejemplo de tendencia negativa
 (un giro desde tendencia
 positiva normal a negativa)



Ejemplo de giro negativo de la
 tendencia (inhibición de la
 tendencia positiva normal)

Dendrómetros: Indicadores de crecimiento:

Aplicación: Riego basado en el crecimiento diario → **CD máximo**



Dendrómetros:

Aplicación: Análisis de la influencia de los factores ambientales en el crecimiento.

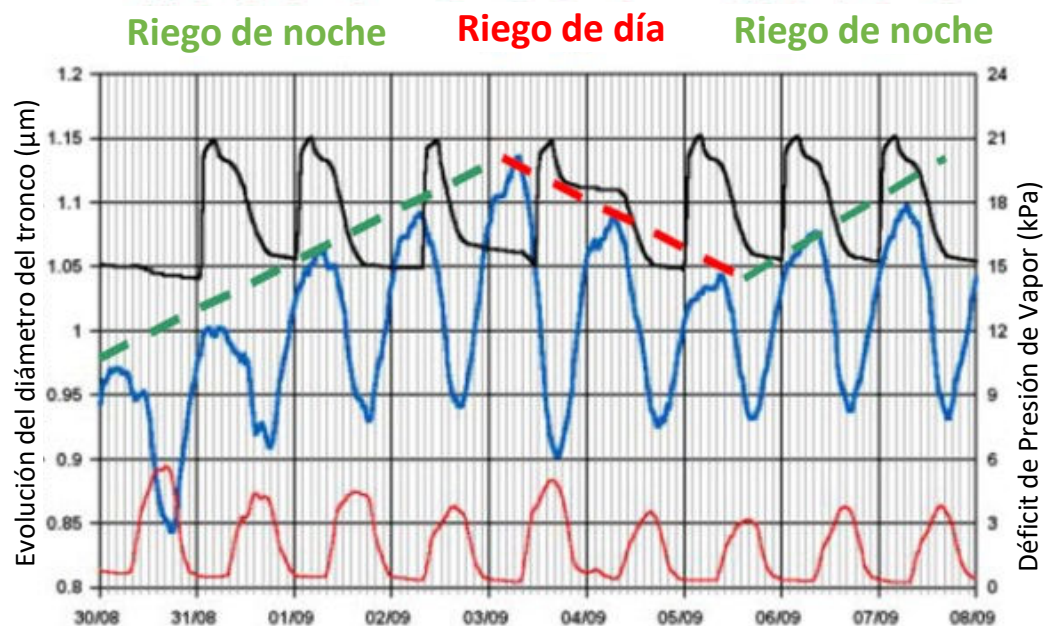


Figura: Datos de humedad del suelo (línea negra), dendrómetro (línea azul) y VPD (línea roja). La línea verde discontinua es el período de riego de medianoche (crecimiento positivo) y la línea roja discontinua es el riego de mediodía. (crecimiento negativo).

Ejemplo: un viticultor estaba regando su cultivo a medianoche (ver Figura) y la vid mostraba un crecimiento positivo. Luego, el productor cambió a un programa de riego de mediodía y la vid mostró una tasa de crecimiento negativa durante este horario de mediodía.

Por lo tanto, se volvió al programa de medianoche y la tasa de crecimiento de la vid volvió a la normalidad.

Al mismo tiempo y en un mismo gráfico se puede observar (en tiempo real) la variación de humedad del suelo, la fluctuación y variación del diámetro del tronco o de la fruta, y la ET (expresada como deficit de presión de vapor).

El fitomonitorio permite conocer la **tendencia en el tiempo del estado hídrico del cultivo** gracias a la interpretación de los valores que nos dan los sensores.

Dendrómetros:

Aplicación: Análisis de la influencia de los factores ambientales en el crecimiento.

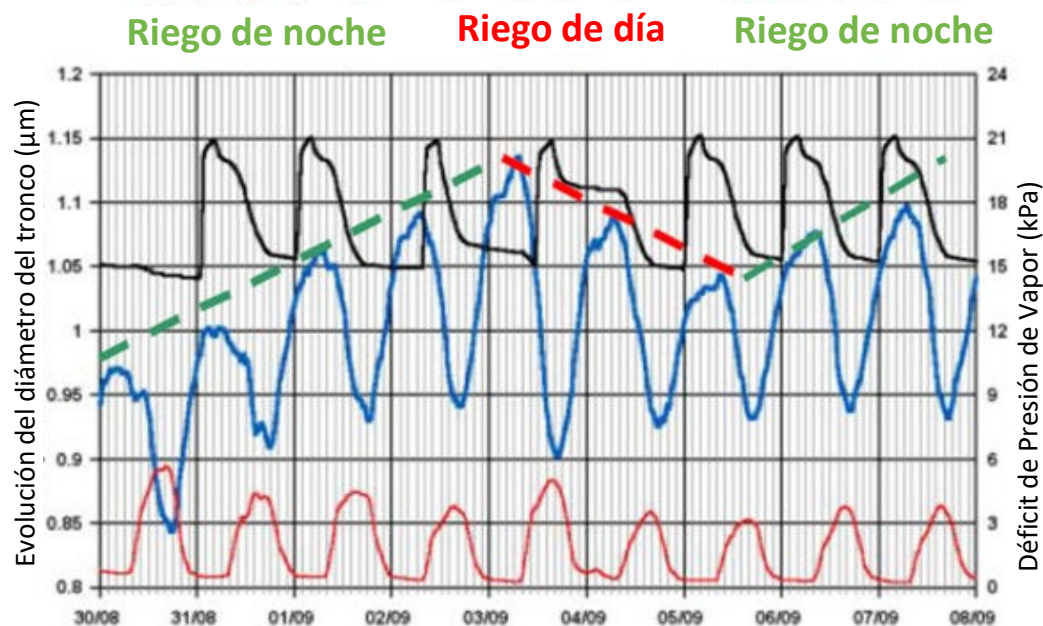


Figura: Datos de humedad del suelo (línea negra), dendrómetro (línea azul) y VPD (línea roja). La línea verde discontinua es el período de riego de medianoche (crecimiento positivo) y la línea roja discontinua es el riego de mediodía. (crecimiento negativo).

Ejemplo: un viticultor estaba regando su cultivo a medianoche (ver Figura) y la vid mostraba un crecimiento positivo. Luego, el productor cambió a un programa de riego de mediodía y la vid mostró una tasa de crecimiento negativa durante este horario de mediodía.

Por lo tanto, se volvió al programa de medianoche y la tasa de crecimiento de la vid volvió a la normalidad.

La utilización de estos sensores han demostrado que se ahorra agua y se consigue cosechas de mayor calidad.

Olivo....: posible ↓ hasta en un 50% de la cantidad de agua ↑ del rendimiento graso y el número de litros de aceite/ha.

Cítricos: posible ↓ entre el 25 y el 30%, pero con mejoras en calibre de los frutos.

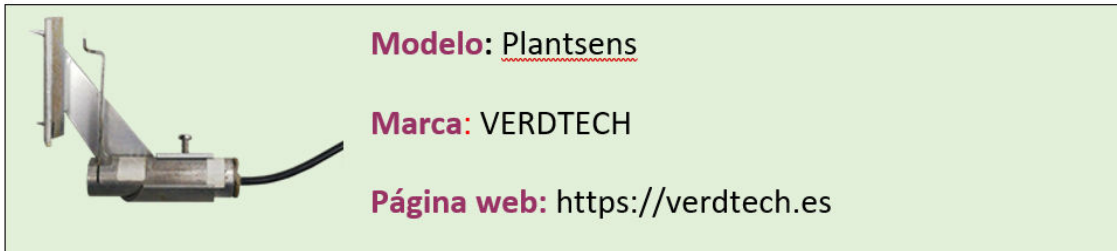
Sensores crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual

Fotografías de diferentes dendrómetros:



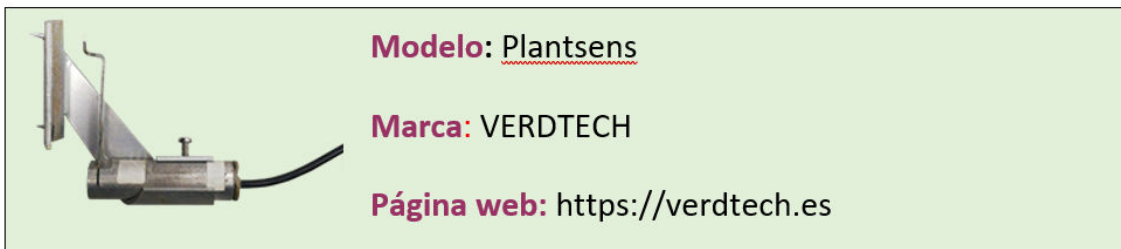
Un dendrómetro de punto mide el crecimiento radial, que a la hora de la comparación del crecimiento entre arboles de diferentes diámetros es más útil. **Deben estar calibrados y ser termoestables.**

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Utilización: El cambio de diámetro es indicativo de la transpiración. Durante la noche el Φ del tallo aumenta y de día disminuye. A lo largo del tiempo, Es un indicador de cómo está funcionando la planta, el Φ del tallo debe aumentar, lo que nos indica que vamos en una línea positiva en cuanto a manejo de riego, control climático, abonados, etc.

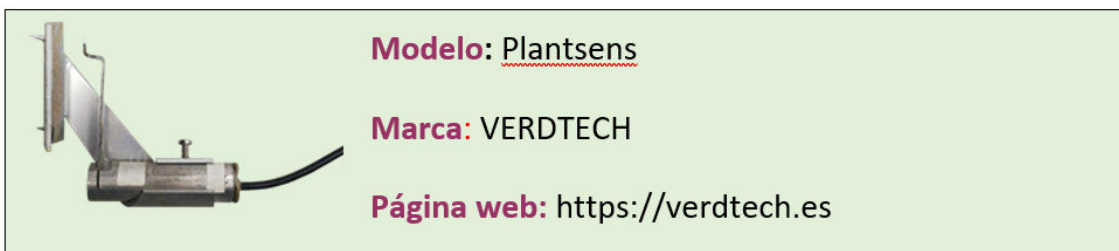
Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Especificaciones generales:

- Sensor de galgas extensiométricas.
- Material: Acero inoxidable
- **Diámetro mínimo: 5 cm**
- Longitud de cable estándar: 15 metros, de cuatro hilos, blindado
- Grado de protección: IP66

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Especificaciones técnicas

- **Rango de 0 a 7 mm**
- Linealidad: 2 % de la escala completa
- Precisión: $\pm 5 \mu\text{m}$
- Tensión de alimentación: de 3 V hasta 15 Vcc
- Consumo: 2,24 mA cte
- Tensión de salida: 0 – 2,45 V
- Sensibilidad modo activo: **$2,85 \mu\text{m} / \text{mV}$**
- Tiempo de respuesta del sensor: 2 s.
- Rango de temp. de trabajo: - 40°C hasta + 85°C

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Modelo: DD-S2

Marca: ECOMATIK

Página web: <https://ecomatik.de/en/products/>



Especificaciones generales:

Área de uso: Medición puntual (radial) para plantas con diámetros pequeños de tronco/ramas.

Tamaño de la planta: **Diámetro 0-5 cm** (> 5 cm a petición).

Condiciones exteriores: -25 a 70 °C , 0 a 100% humedad relativa del aire.

Peso del sensor: 15 g sin cable.

Material: Acero inoxidable y aluminio.

Longitud del cable: 5 m, ampliable hasta 100 m con cable 4x0,25 mm².

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Modelo: DD-S2
Marca: ECOMATIK
Página web: <https://ecomatik.de/en/products/>

Especificaciones técnicas:

Principio de medida: Potenciómetro lineal

Alcance del sensor: 11 mm.

Linealidad: < 1%

Resolución: La resolución del propio sensor se supone que es infinita. La resolución de las lecturas viene determinada por el conversor A/D del nodo IoT conectado:

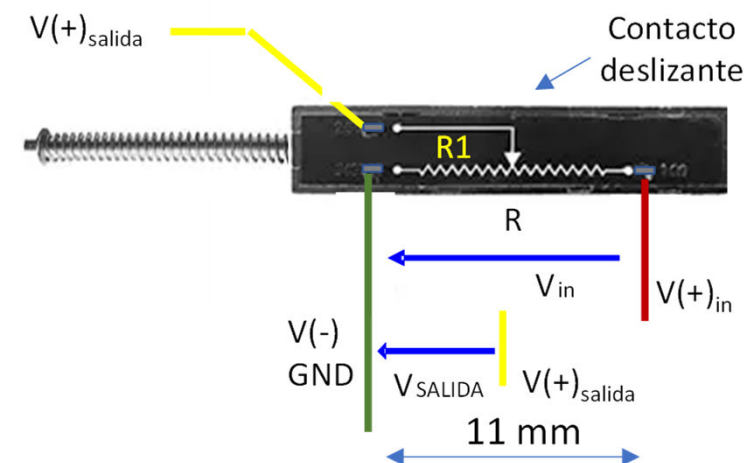
Precisión: Depende del dendrómetro: Máx. $\pm 4,5\%$ de la lectura (con desplazamiento estable).
 Dependiente del nodo IoT: Hay que tener en cuenta la del nodo IoT

Coefficiente de temperatura del sensor: < $0,2 \mu\text{m} / ^\circ\text{C}$ en todo el rango.

Fuente de alimentación: V_{in} estabilizado de $0,5 - 10 V_{DC}$.

Tensión de alimentación: de $0,5$ a $10 V_{cc}$, tiempo de respuesta: 100 ms máx.

Salida eléctrica: de 0 a $2,5 \text{ V}$ cuando se alimenta a $2,5 \text{ V}$.



$$\text{mm} = (V_{\text{salida}} - V_{\text{AJUSTE}}) \times (11/V_{\text{in}}) = (V_{\text{salida}} - V_{\text{ZERO}}) \times 4,4 \quad \text{mm brutos desde la posición de ajuste}$$



Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual

El mismo potenciómetro . Diferente bastidor de sujeción.



Funcionamiento: Resistencia variable. Potenciómetro lineal.

Ejemplo de características:

Diametro máx.: 11 cm

Range: 0- 11 mm

Accuracy: $\pm 2 \mu\text{m}$

Coefficiente de T^a : $< 0,1 \mu\text{m}/\text{K}$

T^a de operación: -30 a 40 °C

Humedad: 0 a 100% RH

Salida: 0 a 20 k Ω lineal

Utilización: El cambio de diámetro es indicativo de la transpiración. Durante la noche el diámetro del tallo aumenta y de día disminuye. A lo largo del tiempo, Es un indicador de cómo está funcionando la planta, el diámetro del tallo debe aumentar, lo que nos indica que vamos en una línea positiva en cuanto a manejo de riego, control climático, abonados, etc.

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Funcionamiento: Resistencia variable. Potenciometro lineal.

Ejemplo de características:

Diametro máx.: 11 cm

Range: 0- 11 mm

Accuracy: $\pm 2 \mu\text{m}$

Coefficiente de T^a : $< 0,1 \mu\text{m}/\text{K}$

T^a de operación: -30 a 40 °C

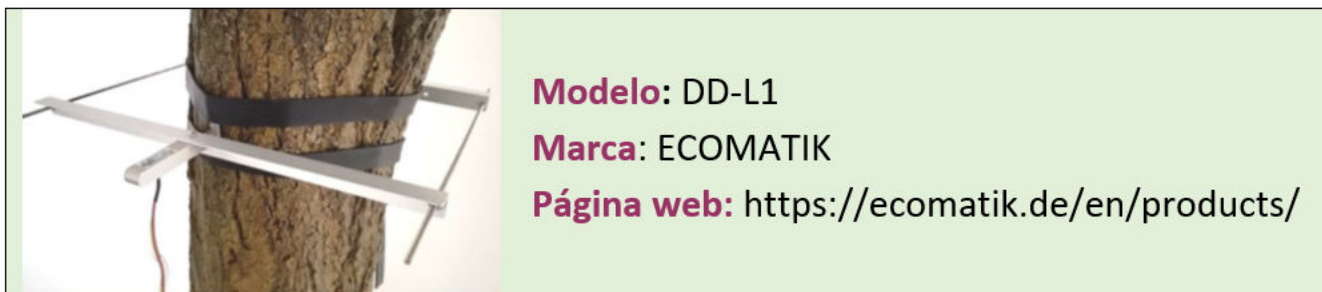
Humedad: 0 a 100% RH

Salida: 0 a 20 k Ω lineal

Potenciometro: Debe estar calibrado y ser termoestable

Bastidor: Debe tener un coeficiente de dilatacion despreciable

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Banda de goma resistente a los rayos UV para sujetar la cabeza del sensor potenciométrico



Bastidor para fijar el sensor al tronco/rama

Sensor potenciométrico de 11 mm de recorrido

Cable

Especificaciones generales:

Área de uso: Medición puntual (radial) para especies con tasas de crecimiento lentas y medias.

Tamaño de la planta: Diámetro 3-30 cm.

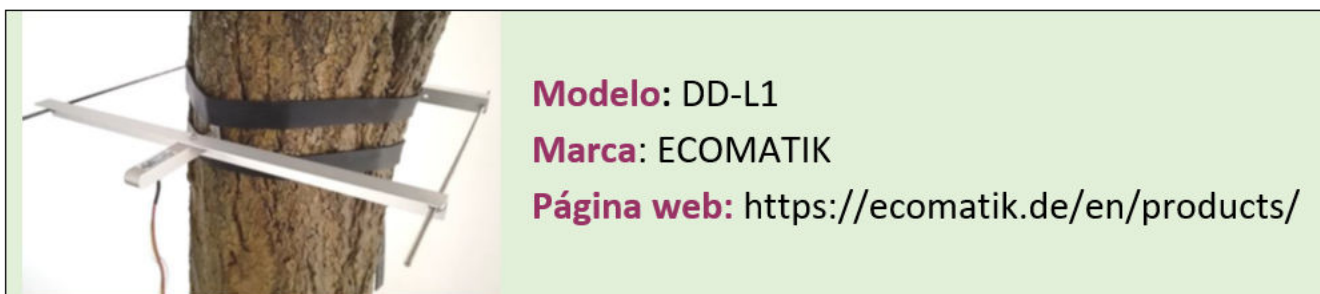
Condiciones exteriores: -25 a 70 °C , 0 a 100% humedad relativa del aire.

Peso del sensor: 13 g sin cable.

Material: Acero inoxidable y aluminio.

Longitud del cable: 5 m, ampliable hasta 100 m con cable 4x0,25 mm².

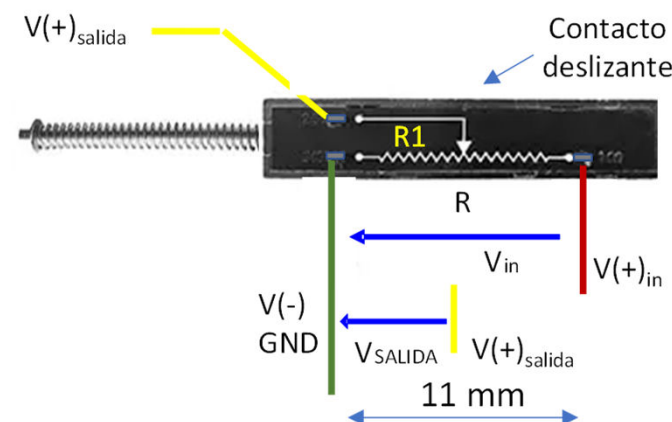
Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual



Modelo: DD-L1

Marca: ECOMATIK

Página web: <https://ecomatik.de/en/products/>



Especificaciones técnicas:

Principio de medida: Potenciómetro lineal

Alcance del sensor: 11 mm.

Linealidad: < 1%

Resolución: La resolución del propio sensor se supone que es infinita. La resolución de las lecturas viene determinada por el convertor A/D del nodo IoT conectado:

Precisión: Depende del dendrómetro: Máx. $\pm 4,5\%$ de la lectura (con desplazamiento estable).
Dependiente del nodo IoT: Hay que tener en cuenta la del nodo IoT

Coefficiente de temperatura del sensor: < $0,2 \mu\text{m} / ^\circ\text{C}$ en todo el rango.

Fuente de alimentación: V_{in} estabilizado de 0,5 - 10 V_{CC} , consumo de energía prácticamente nulo.

Salida eléctrica: de 0 a 2,5 V cuando se alimenta a 2,5 V.

$$\text{mm} = (V_{\text{salida}} - V_{\text{AJUSTE}}) \times (11/V_{\text{in}}) = (V_{\text{salida}} - V_{\text{ZERO}}) \times 4,4 \quad \text{mm brutos desde la posición de ajuste}$$

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual

El mismo potenciómetro . Diferente bastidor de sujeción.



Para troncos de árboles o tallos grandes, los dendrómetros de punta constan de dos varillas: una que se perfora en el tallo para brindar estabilidad y la segunda que se coloca firmemente contra el xilema del tallo.

La segunda varilla es donde está el sensor que registra la expansión y contracción de un vástago que toca la superficie del tronco y lo convierte en una señal eléctrica.

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro radial o puntual

El mismo potenciómetro . Diferente bastidor de sujeción.



Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro de banda o perimetral



Modelo: DR26

Marca: EMS Brno (Environmental Measuring Systems)

Página web: <http://www.emsbrno.cz>

Su diseño hace que se fije al tronco sólo por la fuerza de la cinta (no se utilizan clavos o elementos de fijación). El sensor no tiene ningún efecto sobre el crecimiento de los árboles, y su medida integra todo el perfil radial a la altura medida.



Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro de banda o perimetral



Modelo: DR26

Marca: EMS Brno (Environmental Measuring Systems)

Página web: <http://www.emsbrno.cz>

Su diseño hace que se fije al tronco sólo por la fuerza de la cinta (no se utilizan clavos o elementos de fijación). El sensor no tiene ningún efecto sobre el crecimiento de los árboles, y su medida integra todo el perfil radial a la altura medida.



Especificaciones generales:

- Sensor de incremento tipo: Rotatorio
- Sin límite máximo de diámetro de tronco
- Diámetro mínimo: 8 cm
- Longitud de cable estándar: 15 metros, de 4 hilos, blindado
- Tamaño sensor: 100 x 70 x 100 mm
- Peso (sin cable): 250 g
- Fuerza de cinta: 15 a 20 N en toda la gama
- Rango de operación:
 - Temperatura: 30 a 60 °C
 - Humedad: 0 a 100%
- Grado de protección: IP68

Sensores de Crecimiento Tallo: Dendrómetro de banda o perimetral



Modelo: DR26

Marca: EMS Brno (Environmental Measuring Systems)

Página web: <http://www.emsbrno.cz>

Su diseño hace que se fije al tronco sólo por la fuerza de la cinta (no se utilizan clavos o elementos de fijación). El sensor no tiene ningún efecto sobre el crecimiento de los árboles, y su medida integra todo el perfil radial a la altura medida.



Especificaciones técnicas

- Resistencia del potenciómetro: 5 kOhm
- **Rango de medida: 0 – 60 mm**
- Precisión: 2% de la escala completa
- Resolución: 0,001 mm
- Tensión de alimentación: de 5 a 16 V
- Modo activo:
 - Señal de salida: 0 a 2500 mV
 - Sensibilidad: 0,0256 mm / mV.
 - Tiempo de respuesta: < 0,5 s.
 - Consumo: 1 mA (máx. 5 mA)
- Conexión: Clavija M8 macho de 4 pines
- Cable suministrado: Longitud: 10 m, 4 hilos, clavija M8

$$\text{mm} = [\text{mV}] \times 0,0256 \quad \text{mm brutos}$$

Sensores de Crecimiento Fruta: Dendrómetro Fruta

Son útiles para monitorizar el crecimiento y determinar si las diferentes estrategias de riego, fertilización, manejo, etc. están afectando al fruto.

- Monitorización no invasiva del estado hídrico de las plantas, así como del control de riego.
- Examen de la influencia de factores ambientales en el crecimiento de los frutos.



Diseño especial:
no deben
deformar la fruta
(deben abrazarla)



Sensores de Crecimiento Fruta: Dendrómetro Fruta



Diseño especial:
no deben
deformar la fruta
(deben abrazarla)

Sensores de Crecimiento Fruta: Dendrómetro Fruta



Funcionamiento: Resistencia variable. Potenciometro lineal.

Ejemplo de características:

Diametro máx. fruta: 11 cm

Range: 0 - 11 mm

Accuracy: $\pm 2 \mu\text{m}$

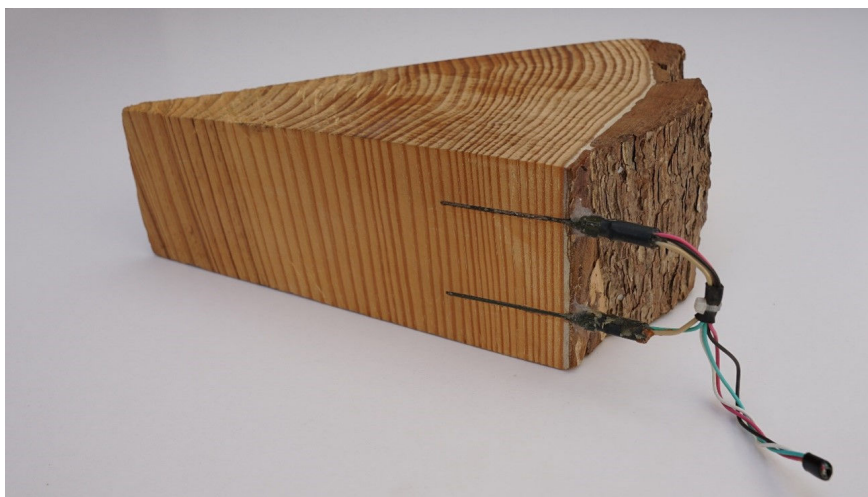
Coefficiente de T^a : $< 0,1 \mu\text{m}/\text{K}$

T^a de operación: -30 a 40 °C

Humedad: 0 a 100% RH

Salida: 0 a 20 k Ω lineal

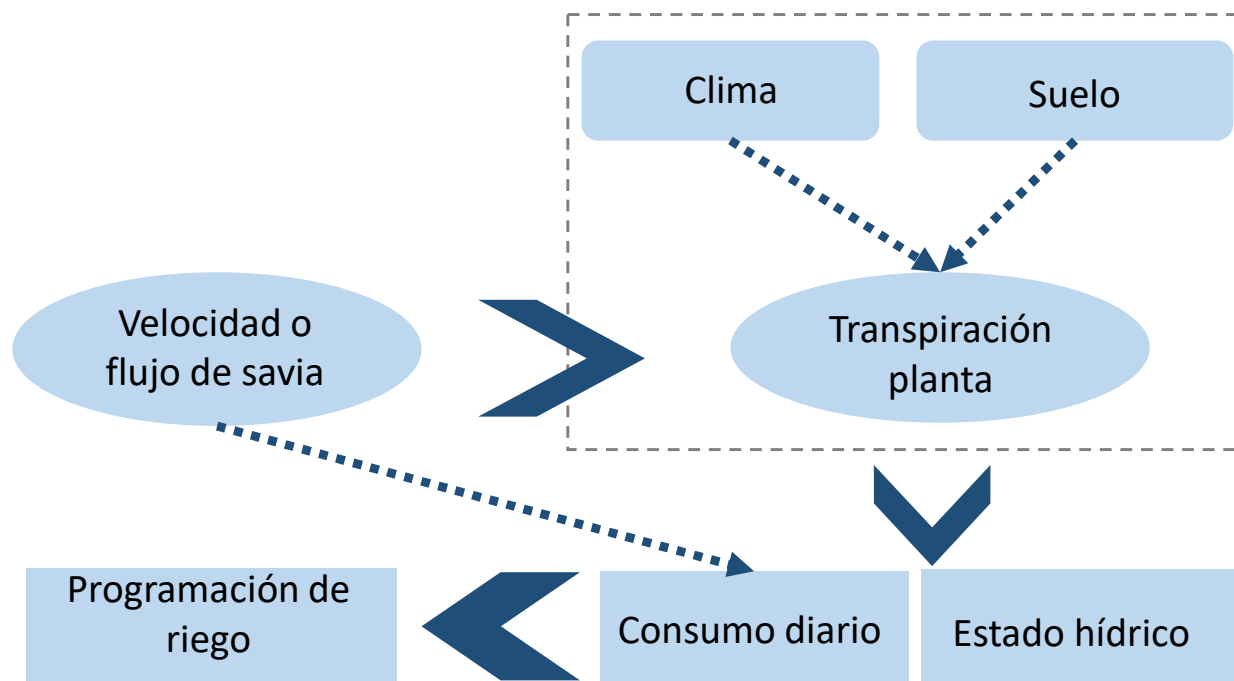
Sensores de Flujo de Savia:



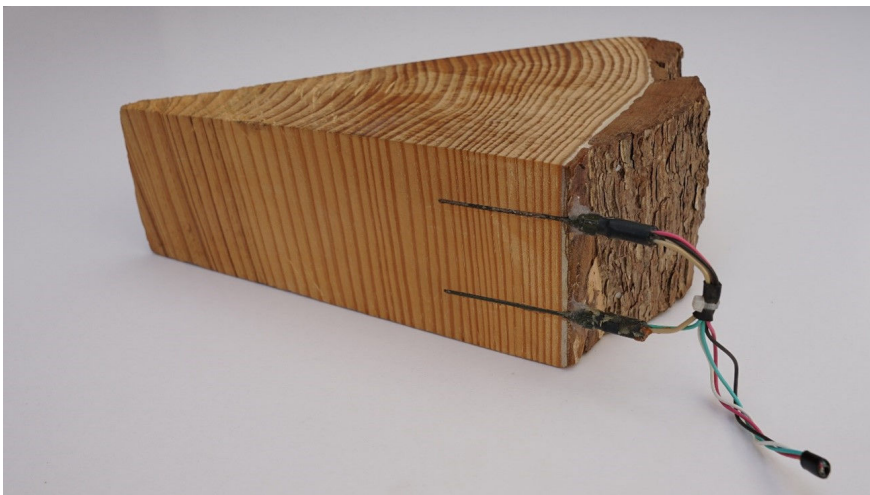
La medida de la velocidad o del **Flujo de Savia** en el tronco o las ramas o raíces puede proporcionar una buena estimación directa de la transpiración.

Medida: Tasa de Transpiración

Aplicaciones: *Monitoreo del agua en los cultivos en regadío. Programación de riegos.*



Sensores de Flujo de Savia:



La medida de la velocidad o del **Flujo de Savia** en el tronco o las ramas o raíces puede proporcionar una buena estimación directa de la transpiración.

Medida: Tasa de Transpiración

Aplicaciones: *Monitoreo del agua en los cultivos en regadío. Programación de riegos.*

Funcionamiento:

Método del calor constante (Granier)

El sensor consiste en un par de agujas de acero inoxidable de 35 mm de longitud separadas entre ellas 6 mm.

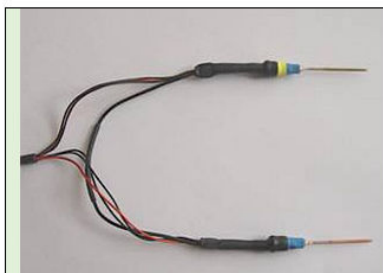
La aguja inferior contiene una resistencia eléctrica lineal (Evanohm) y la superior contiene 3 termopares (Chromel-constantan) a 5 mm, 17,5 mm y 30 mm de la corteza del árbol.

Método del pulso de calor (*Heat Pulse Method - HPM*)

Heat Radio Method - HRM : modificación del HPM

Utiliza un pulso corto de calor y con la ayuda de dos sensores de t^a colocados simétricamente (que miden la tasa de calor transportado) se puede calcular la magnitud y dirección del flujo de agua.

Sensores de Flujo de Savia:

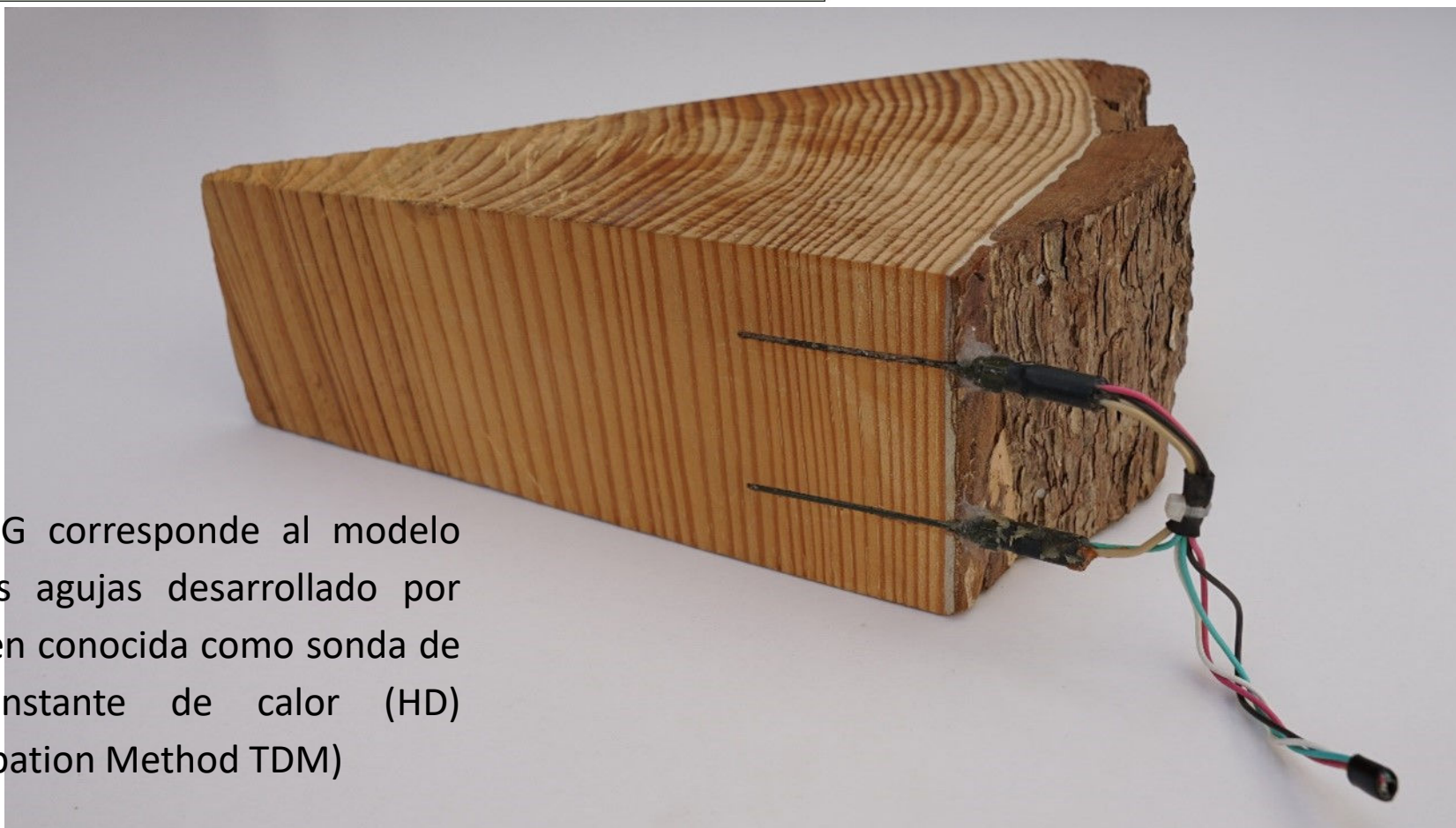


Modelo: SF-G

Marca: ECOMATIK

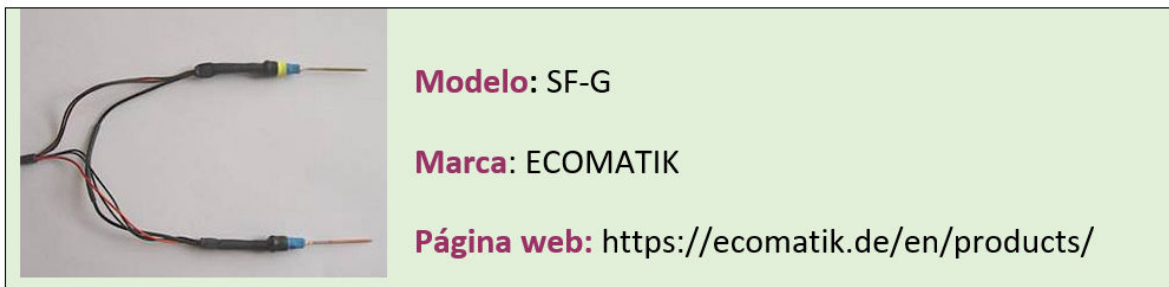
Página web: <https://ecomatik.de/en/products/>

Método del calor constante
(Granier)

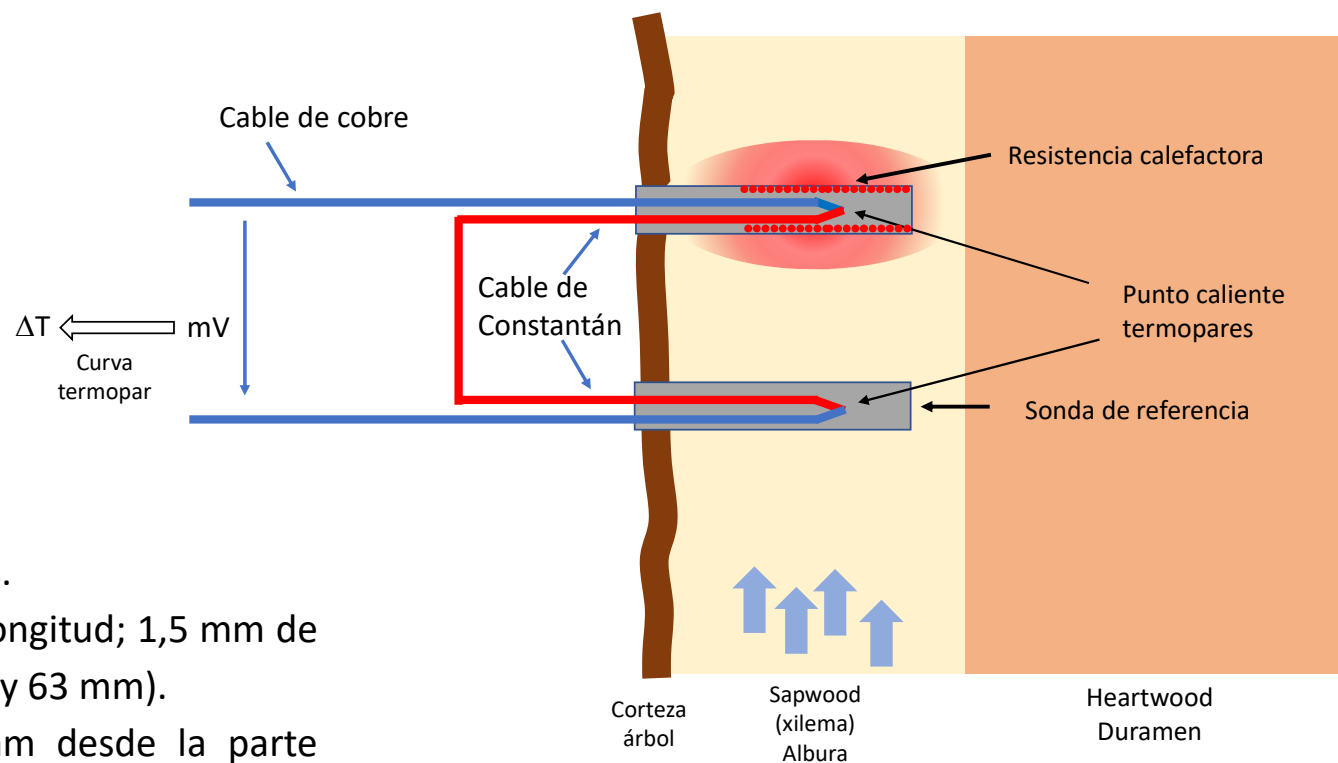


El modelo SF-G corresponde al modelo clásico de dos agujas desarrollado por Granier también conocida como sonda de disipación constante de calor (HD) (Thermal Dissipation Method TDM)

Sensores de Flujo de Savia:



Método del calor constante (Granier)



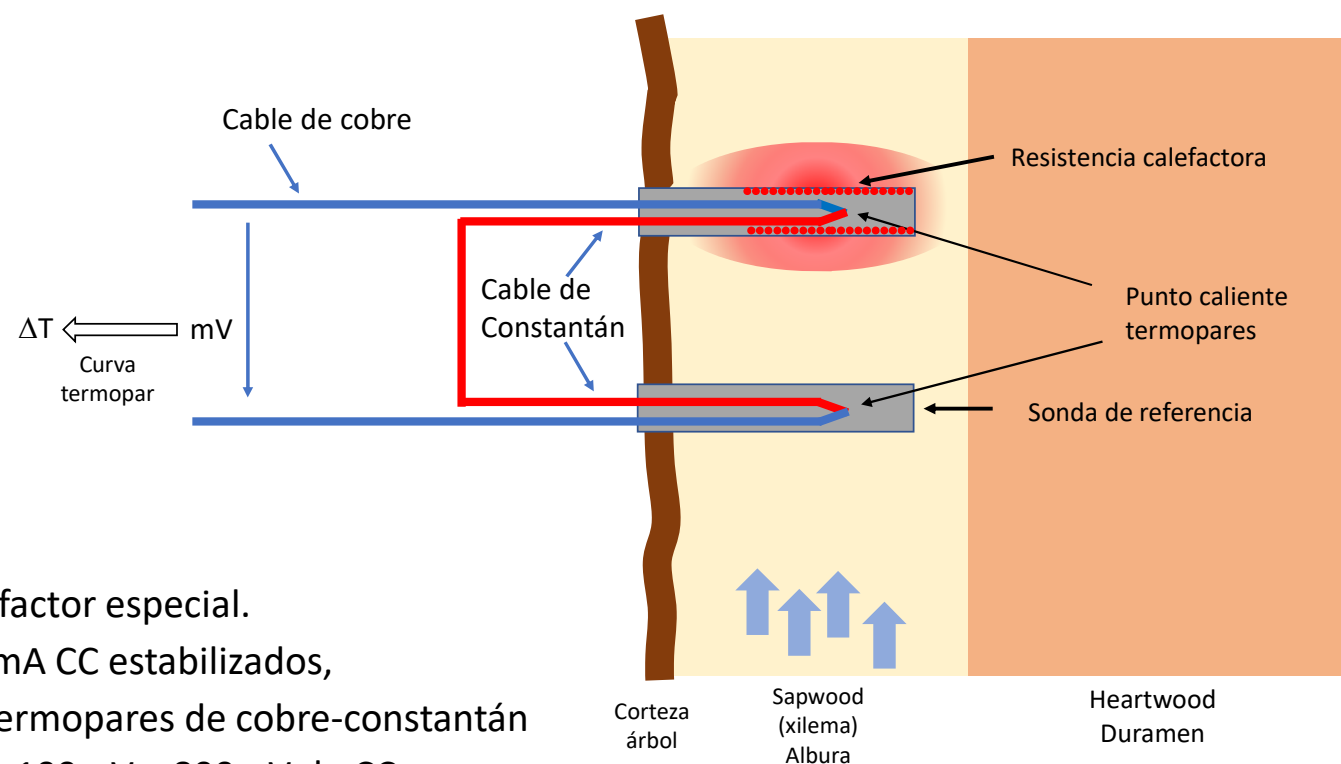
Especificaciones generales:

- **Composición del sensor:** 2 agujas.
- **Tamaño de la aguja:** 33 mm de longitud; 1,5 mm de diámetro (existen modelos de 43 y 63 mm).
- **Zona de calentamiento:** 20 mm desde la parte superior de la aguja.
- **Longitud del cable:** 5 m, ampliable a 20 m.
- **Tamaño del árbol:** Diámetro > 2 cm.

Sensores de Flujo de Savia:



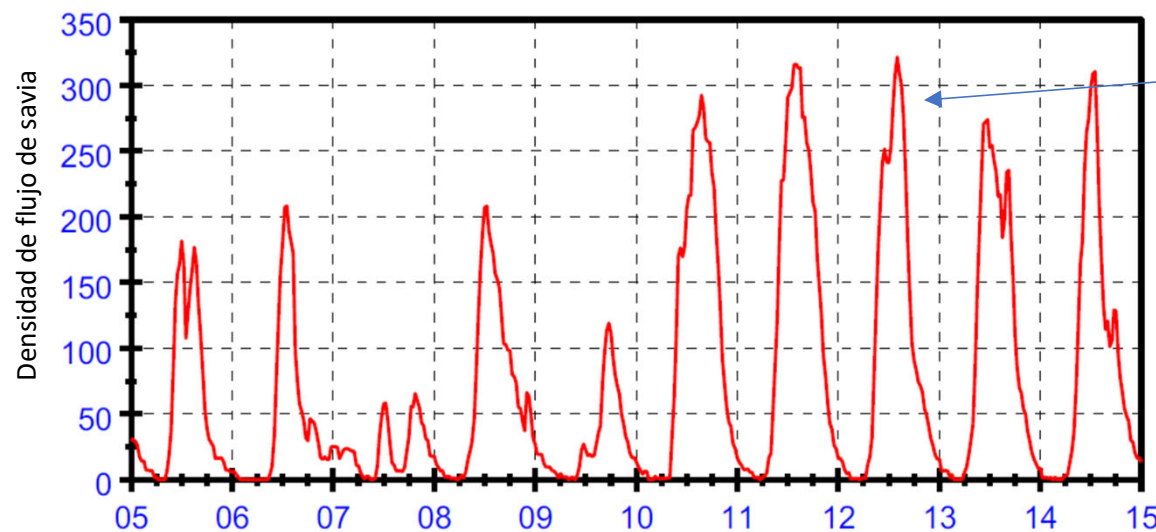
Método del calor constante (Granier)



Especificaciones técnicas:

- **Resistencia calefactora:** de hilo calefactor especial.
 - **Consumo:** 0,2 W +/-5%, 85 mA CC estabilizados,
 - **Sensores de temperatura:** termopares de cobre-constantán
 - **Salida analógica diferencial:** 100 μ V a 800 μ V de CC
 - **Resolución mínima del nodo:** < 10 μ V.
- **Equipo de alimentación resistencia calefactora** (este equipo se suministra aparte):
 - Entrada: 12 a 15 V de CC. Salida: 84 mA estabilizados de CC de forma continua

Sensores de Flujo de Savia:



Alta tasa de transpiración
→ buen estado hídrico

Fig. Densidad de flujo de savia medida con sensor Granier durante un periodo de 10 días. El sensor Granier muestra cero flujo de savia todas las noches.

Menor velocidad { → Estrés hídrico
ó
→ Paso de nubes, ↑CE; etc.

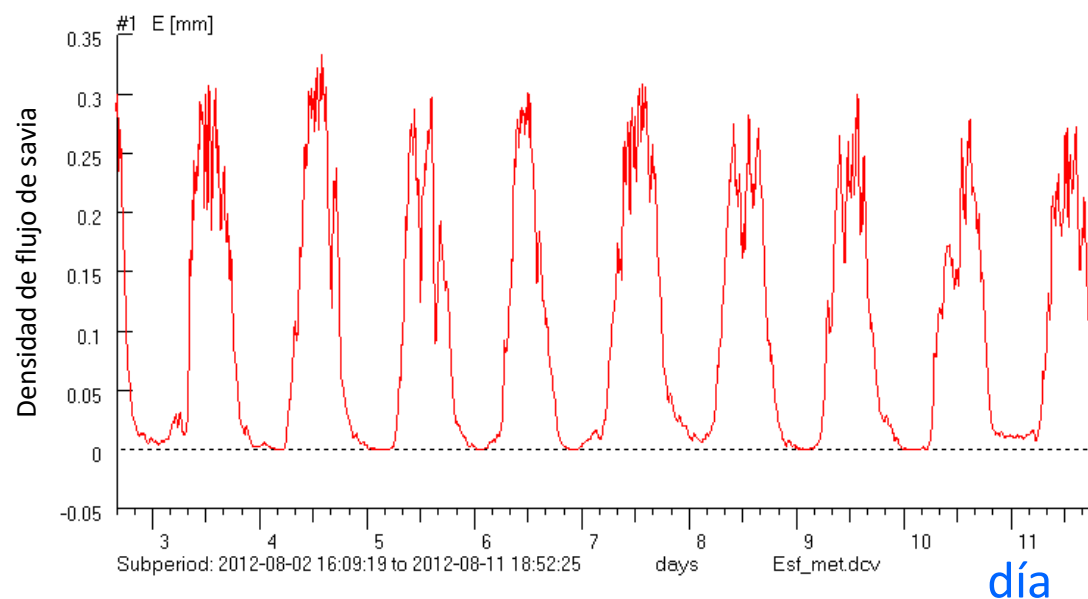
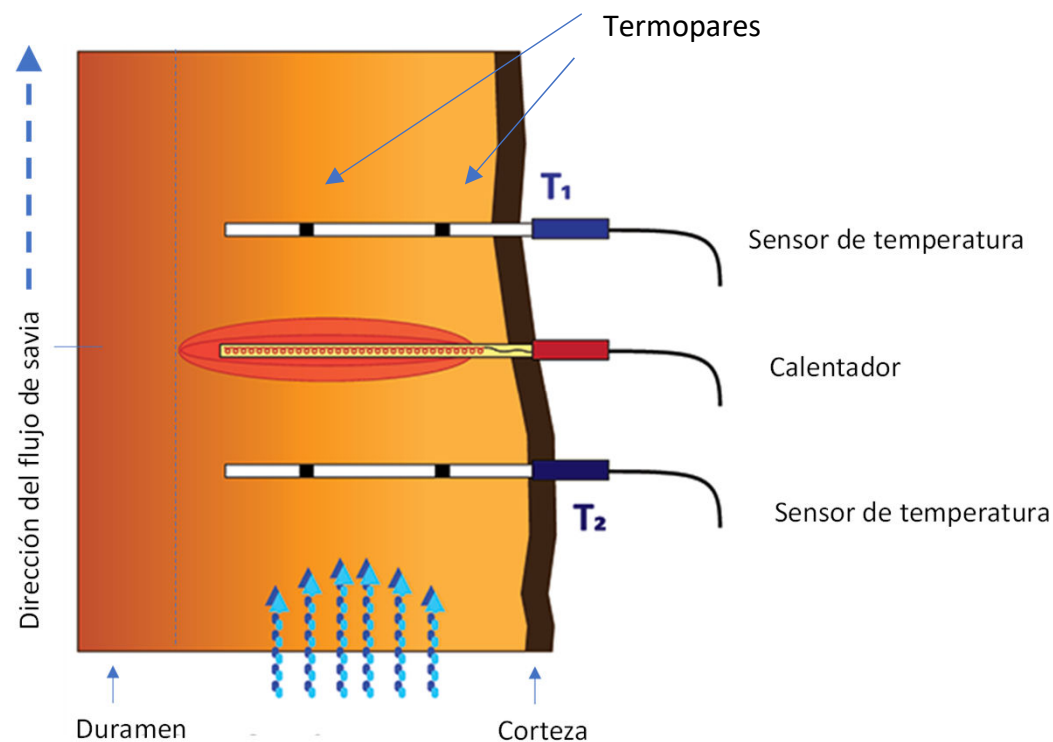


Fig. Densidad de flujo de savia medida con sensor Granier durante un periodo de 8 días. El sensor Granier muestra cero flujo de savia todas las noches.

Sensores de Flujo de Savia:

Método del pulso de calor modificado



Esquema de los componentes del método de compensación de pulso de calor para la medida del flujo de savia en órganos conductores de árboles.

Las agujas con los termopares (aguja superior e inferior), y la aguja calefactora (aguja central) se instalan en el xilema funcional, por el que circula la savia.

Con déficit hídrico, el flujo de savia disminuye

Sensores de Flujo de Savia:



Ventajas:

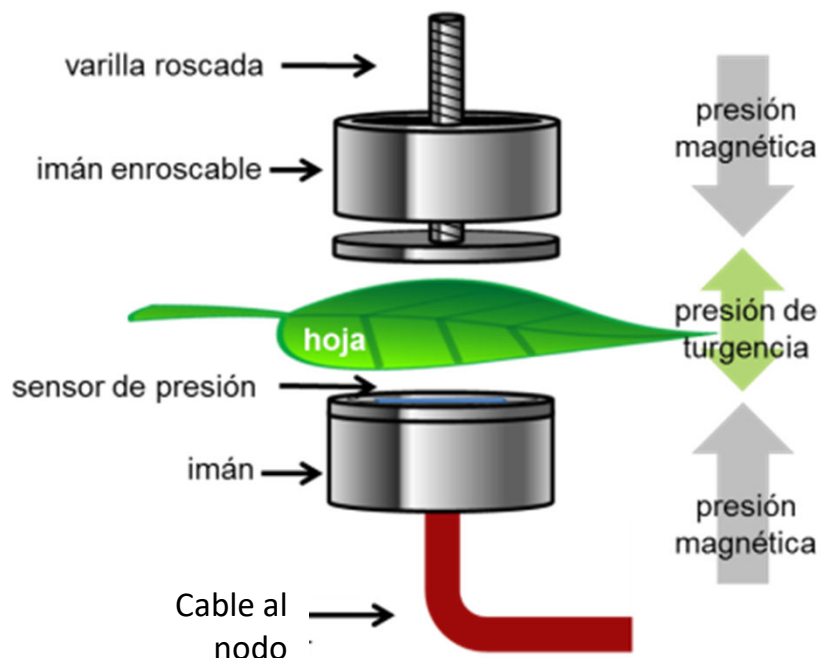
- Medida relacionada directamente con la transpiración de la planta.
- Permite el registro continuo y automático.
- **Gran utilidad en la programación de riegos.**

Sus **limitaciones principales** son:

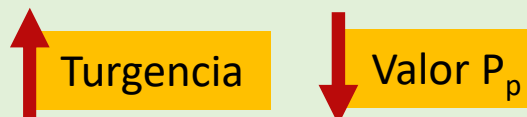
- Heterogeneidad del xilema, lo cual introduce incertidumbre sobre el número de sondas que tenemos que instalar y dónde.
- Heterogeneidad en la densidad de flujo de savia en profundidad, con respecto al cambium, que ocasiona **perfiles de flujo de savia variables**.
- Se producen cambios estacionales de estos perfiles, relacionados con el estrés hídrico, y que aumentan su variabilidad en función de la profundidad.
- **Calibración** para cada tipo de cultivo (método agua consumida diariamente).

Sensor de Turgencia de hoja: Miden permanentemente el estado del agua del árbol a través de la variación de presión que el jugo celular de la hoja genera en la pared celular.

Funcionamiento:



El valor de P_p que representan los sensores está inversamente relacionado con la turgencia en la hoja



Utilización: Monitorización en tiempo real del estrés hídrico de la planta.



Con estrés hídrico el potencial de turgencia de las hojas disminuye

Sensor de Turgencia de hoja: Miden permanentemente el estado del agua del árbol a través de la variación de presión que el jugo celular de la hoja genera en la pared celular.

El registro diario de la variación de presión en las hojas y la temperatura ambiente, **permite saber si el árbol está correctamente hidratado o estresado** por falta de agua.

Tres estados de clasificación:

- Bien irrigado
- Estrés suave
- Estrés severo

Por lo tanto, los sensores miden la adecuación del riego en la plantación.

Inconvenientes:

- Deben estar calibradas ($P_p = f(\text{estado hídrico})$)
- Es difícil interpretar los datos para un cultivo, es necesario experiencia en su interpretación.
- Se ven afectados por el movimiento violento de la copa o de las hojas por viento y pueden caerse.



Sensor de Turgencia de hoja: Miden permanentemente el estado del agua del árbol a través de la variación de presión que el jugo celular de la hoja genera en la pared celular.

El registro diario de la variación de presión en las hojas y la temperatura ambiente, **permite saber si el árbol está correctamente hidratado o estresado** falta de agua.

Tres estados de clasificación:

- Bien irrigado
- Estrés suave
- Estrés severo

Por lo tanto, los sensores miden la adecuación del riego en la plantación.

Utilización: Monitorización en tiempo real del estrés hídrico de la planta.

- En el primer estado, la planta dispone de recursos hídricos en abundancia, pudiendo indicar incluso que el aporte de agua es mayor del necesario. Se considera que **no tiene estrés hídrico**.
- En el segundo estado, la planta dispone de suficiente agua para su desarrollo en la mayoría de las fases del ciclo anual de la planta. Se considera que tiene un **estrés hídrico moderado**.
- En el tercer estado, la planta carece de suficiente agua para un desarrollo adecuado, y pueden llegar a aparecer daños permanentes si se mantiene en este estado durante un tiempo prolongado. Se considera que tiene **estrés hídrico severo**.

Inconvenientes:

- Deben estar calibradas ($P_p = f(\text{estado hídrico})$)
- Es difícil interpretar los datos para un cultivo, es necesario experiencia en su interpretación.
- Se ven afectados por el movimiento violento de la copa o de las hojas por viento y pueden caerse.

Sensor de Turgencia de hoja: Método de “forma de la curva”

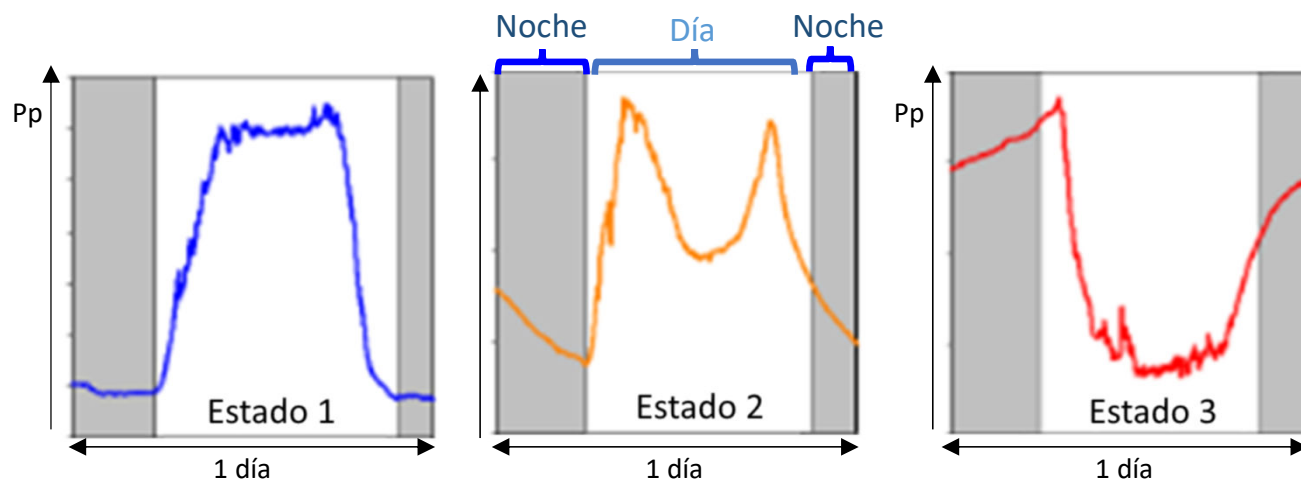


Figura: Turgencia de la hoja a lo largo de un día según su estado de estrés. La zona sombreada representa los periodos nocturnos.

El valor de P_p que representan los sensores está inversamente relacionado con la turgencia en la hoja

↑ Turgencia ↓ Valor P_p

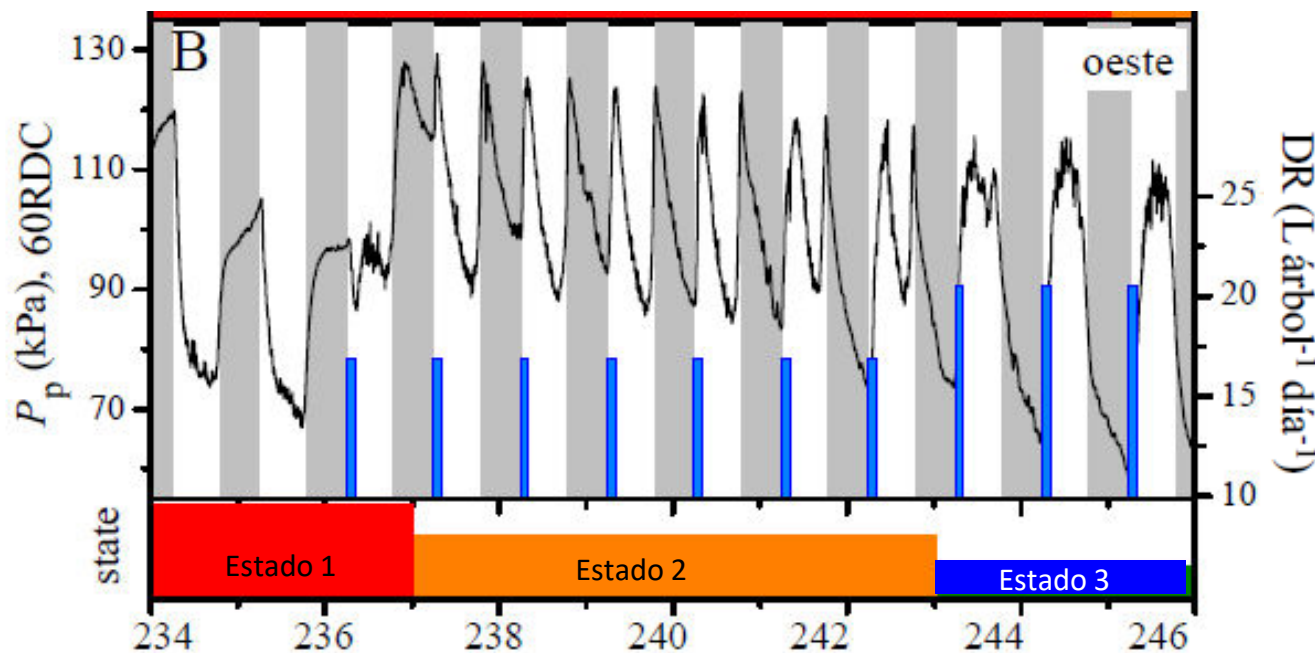
Estados de clasificación de la adecuación del riego:

- **Estado 1: Bien irrigado.** Recursos hídricos en abundancia. P_p máximo a mediodía, P_p mínimo durante la noche
- **Estado 2: Estrés suave.** Agua suficiente para el desarrollo aparece un nuevo máximo de P_p por la tarde
- **Estado 3: Estrés severo.** Falta agua para un desarrollo adecuado. mínimo a mediodía y valores máximos durante la noche; acumulación de aire dentro de la hoja. Presiones de turgencia muy bajas, cercanas a cero.



Usando el método de “forma de la curva” es fácil interpretar los resultados

Sensor de Turgencia de hoja: Método de “forma de la curva”



Estados de clasificación de la adecuación del riego:

- **Estado 1: Bien irrigado.** Recursos hídricos en abundancia. P_p máximo a mediodía, P_p mínimo durante la noche
- **Estado 2: Estrés suave.** Agua suficiente para el desarrollo aparece un nuevo máximo de P_p por la tarde
- **Estado 3: Estrés severo.** Falta agua para un desarrollo adecuado. mínimo a mediodía y valores máximos durante la noche; acumulación de aire dentro de la hoja. presiones de turgencia muy bajas, cercanas a cero.



Estimadores de estrés hídrico a partir de sensores.



Usando el método de “forma de la curva” es fácil interpretar los resultados

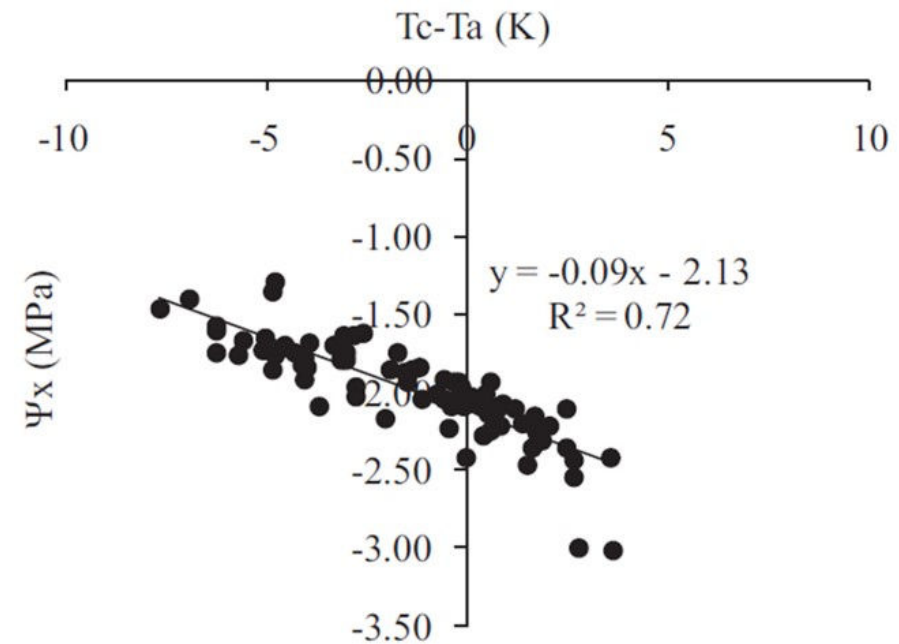
Sensor de Temperatura de hoja:

- Se ha demostrado que existe una correlación directa entre la diferencia de $T_{\text{Leaf}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$ y el potencial hídrico de las hojas por lo que se puede utilizar para medir el estado del agua de las plantas.



Sensor de Temperatura de hoja:

- Se ha demostrado que existe una correlación directa entre la diferencia de $T_{\text{Leaf}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$ y el potencial hídrico de las hojas por lo que se puede utilizar para medir el estado del agua de las plantas.

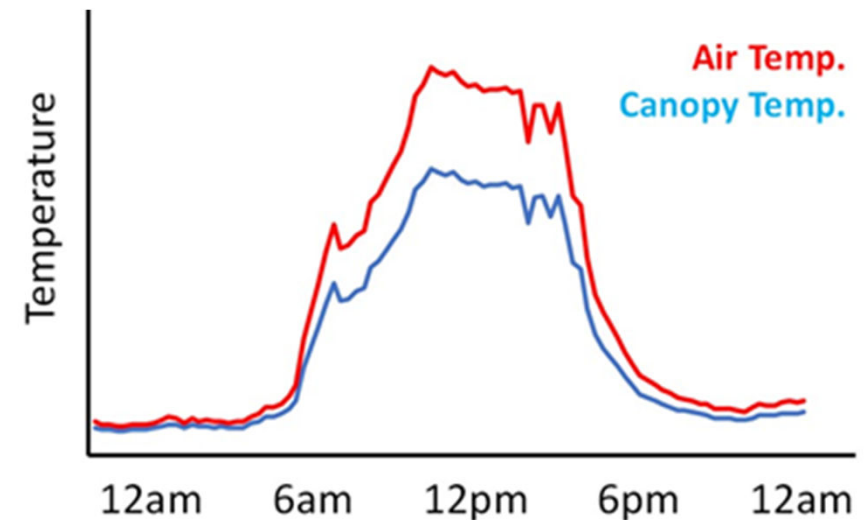


Ejemplo de la fuerte correlación entre la T_{leaf} y el potencial hídrico foliar. (González-Dugo et al, 2012)

Proporcionan información sobre la cantidad de agua en las plantas y la cantidad de agua a aplicar en el riego.

Sensor de Temperatura de hoja:

- Se ha demostrado que existe una correlación directa entre la diferencia de $T_{\text{Leaf}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$ y el potencial hídrico de las hojas por lo que se puede utilizar para medir el estado del agua de las plantas.



Ejemplo de relación entre la T_{Leaf} y T_{air} durante un ciclo de 24 horas.

La T_{Leaf} aumenta y disminuye a lo largo del día con la T_{air} .
Una planta bien regada $\rightarrow \uparrow$ Transpiración $\rightarrow \uparrow \Delta T_{\text{Leaf-Aire}}$
Una planta con estrés $\rightarrow \downarrow$ Transpiración $\rightarrow \downarrow \Delta T_{\text{Leaf-Aire}}$

Sensor de Temperatura de hoja: Indicador de estado hídrico

A partir de las diferencias entre las temperaturas de la Hoja T_{Leaf} y del aire T_{Air} , $T_{\text{Leaf}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$, es posible obtener índices de cultivo, tales como el “**Crop Water Stress Index**” (CWSI), el cual es un buen indicador del estrés hídrico

El CWSI [0,1] \rightarrow CWSI = 0 Cultivo bien regado. No existe estrés hídrico.
CWSI = 1 Cultivo totalmente estresado. Estrés hídrico máximo.

Como norma, el cultivo no requiere el riego hasta que el CWSI alcance un valor umbral, **el cual puede ser de 0,1 a 0,3**, dependiendo del cultivo. Este es el verdadero problema, determinar el valor umbral.

$$\text{CWSI} = \frac{(T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}}) - (T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}})_{\text{LL}}}{(T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}})_{\text{UL}} - (T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}})_{\text{LL}}}$$

Donde:

$(T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}})$ es la diferencia de temperatura medida de la hoja - aire

$(T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}})_{\text{LL}}$ el lower limit de $T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}}$ para un dosel transpirando

$(T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}})_{\text{UL}}$ el diferencial en el caso de un dosel sin transpirar

Lower limit y Upper limit pueden obtenerse siguiendo la metodología propuesta por:

- Idso et al. (1981) (EMPÍRICAMENTE)
- Jackson et al. (1981, 1982) (BALANCE ENERGÉTICO)
- Meron et al. (2003) (SUPERFÍCIES DE REFERENCIA)

Sensor de Temperatura de hoja: ➡ Indicador de estado hídrico

A partir de las diferencias entre las temperaturas de la Hoja T_{Leaf} y del aire T_{Air} , $T_{Leaf} (°C) - T_{Air} (°C)$, es posible obtener índices de cultivo, tales como el “**Crop Water Stress Index**” (CWSI), el cual es un buen indicador del estrés hídrico

El CWSI [0,1] ➡ CWSI = 0 Cultivo bien regado. No existe estrés hídrico.
CWSI = 1 Cultivo totalmente estresado. Estrés hídrico máximo.

Como norma, el cultivo no requiere el riego hasta que el CWSI alcance un valor umbral, **el cual puede ser de 0,1 a 0,3**, dependiendo del cultivo. Este es el verdadero problema, determinar el valor umbral.

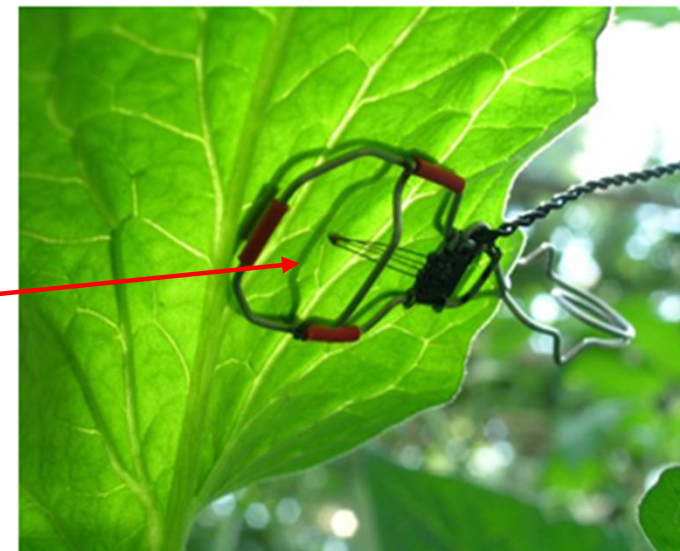
Tabla: Valores umbrales del índice de estrés hídrico para la programación del riego en algunos cultivos agrícolas.

Autor (año)	Cultivo	Umbral <i>CWSI</i>
Nielsen (1990)	Soya (<i>Glycine max</i>)	0.2
Garrot <i>et al.</i> (1990) y Orta <i>et al.</i> (2003)	Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i> L.)	0.41
Hutmacher <i>et al.</i> (1991)	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	0.1-0.2
Gardner <i>et al.</i> (1992)	Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	0.2-0.3
Anconelli <i>et al.</i> (1994)	Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)	0.35
Anconelli y Battilani (2000)	Vid (<i>Vitis vinifera</i>)	0.4
Irmak <i>et al.</i> (2003)	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	0.22
Barbosa y Ramana (2005)	Algodón (<i>Gossipium hirsutum</i>)	0.3
Erdem <i>et al.</i> (2005)	Sandía (<i>Citrullus vulgaris</i> L.)	0.6
Simsek <i>et al.</i> (2005)	Pepino (<i>Cucumbis sativus</i>)	0.2
Emekli <i>et al.</i> (2007)	Pasto Bermuda (<i>Cynodon dactilon</i>)	0.1

Sensor de Temperatura de hoja:

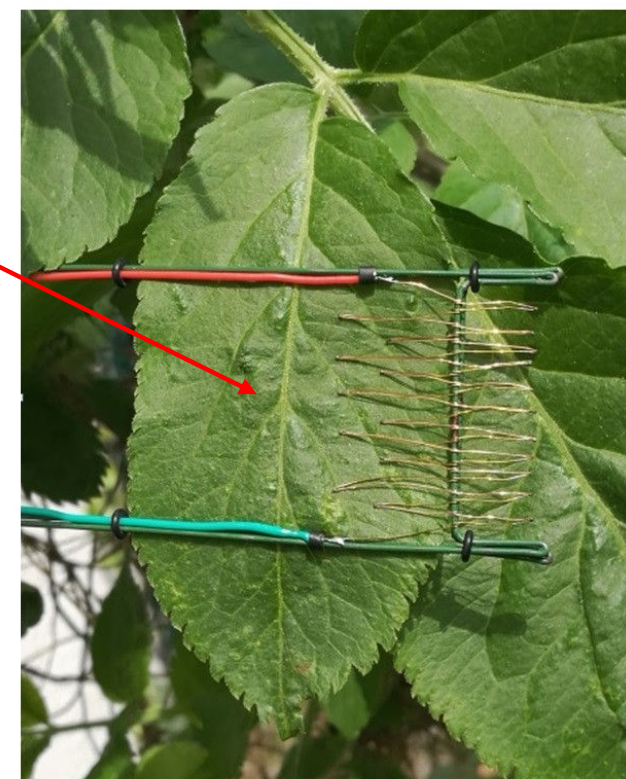
a) Sensor de T_{leaf} con contacto

- de termistor NTC
- de termopar



b) Sensor de T_{leaf} sin contacto

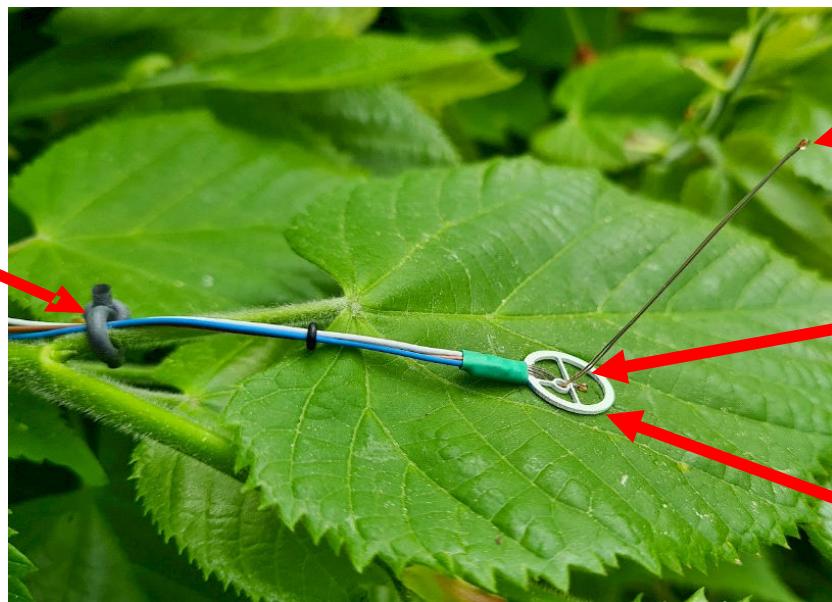
- de infrarrojos
- Por cámaras térmicas infrarrojas



Sensor de Temperatura de hoja: a) Sensor de T_{leaf} con contacto

a.1) De termistor NTC: **Marca: ECOMATIK. Modelo LAT-B3**

Banda de goma resistente a los rayos UV para sujetar los cables

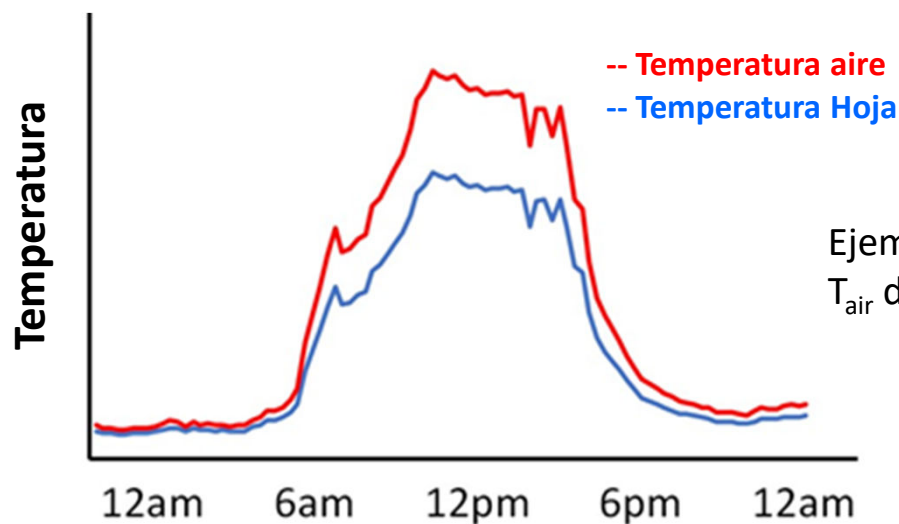


Sensor para T_{air}

Sensor para T_{Leaf}

$$\Delta T_{Leaf-Aire} (^{\circ}C) = T_{Leaf} (^{\circ}C) - T_{Air} (^{\circ}C)$$

Imán

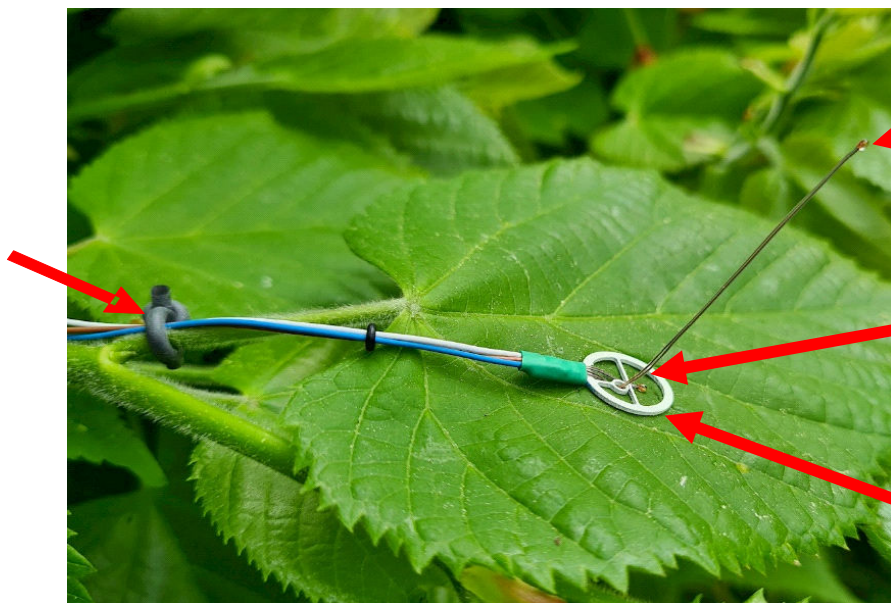


Ejemplo de relación entre la T_{Leaf} y T_{air} durante un ciclo de 24 horas.

Sensor de Temperatura de hoja: a) Sensor de T_{leaf} con contacto

a.1) De termistor NTC: **Marca: ECOMATIK. Modelo LAT-B3**

Banda de goma resistente a los rayos UV para sujetar los cables



Sensor para T_{air}

Sensor para T_{Leaf}

$$\Delta T_{Leaf-Aire} (^{\circ}C) = T_{Leaf} (^{\circ}C) - T_{Air} (^{\circ}C)$$

Imán

Especificaciones generales:

- Posición de montaje: Superficie de la hoja
- Distancia entre las sondas T_{leaf} y T_{air} : configurable por el usuario máx. 35 mm

Tamaño de hoja adecuado y grosor

- Longitud > 1,4 cm. Anchura entre 0,8 y 20 cm (para anchuras de hoja mayores bajo pedido).
- Posibilidad de montaje magnético estable para hojas de grosor < 0,7 mm

Tamaño y peso: Diámetro: 12 mm; Peso: aprox. 0,9 g.

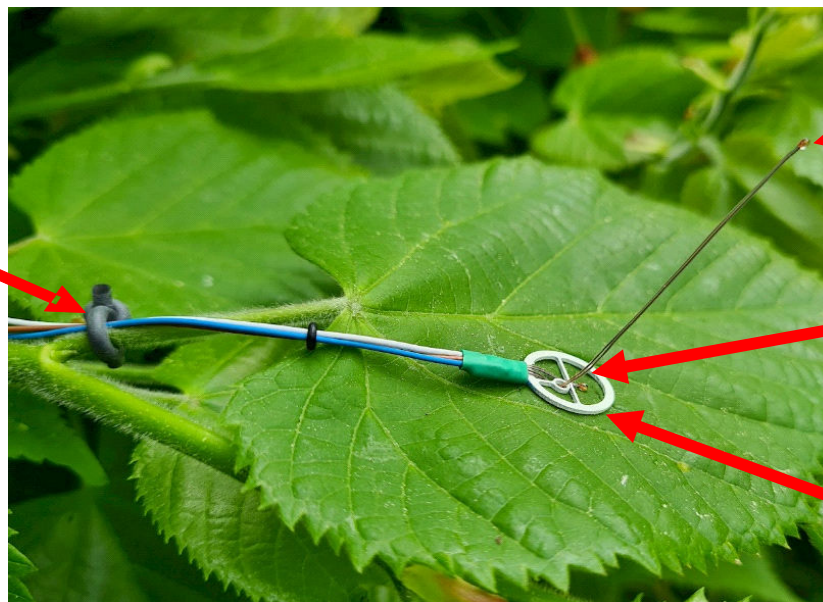
Condiciones de funcionamiento: Temperatura del aire: -25 a 70 °C, humedad del aire: 0 a 100%.

Longitud del cable: 0,5 m + 4,5 m de extensión enchufable (máx. 20 m).

Sensor de Temperatura de hoja: a) Sensor de T_{leaf} con contacto

a.1) De termistor NTC: **Marca: ECOMATIK. Modelo LAT-B3**

Banda de goma resistente a los rayos UV para sujetar los cables



Sensor para T_{air}

Sensor para T_{Leaf}

$$\Delta T_{Leaf-Aire} (^{\circ}C) = T_{Leaf} (^{\circ}C) - T_{Air} (^{\circ}C)$$

Imán

$$T_{Leaf} = 1/(a + b (\ln(R_{NTC})) + c (\ln(R_{NTC}))^3) - 273,15$$

$$R_{NTC} = (V_{in} - V_{out})/V_{out} \cdot R_1$$

Especificaciones técnicas:

Termistor tipo NTC: $R_{25^{\circ}C} = 10 \text{ k}\Omega$

Rango de medida: de -25 a $70^{\circ}C$

Precisión: Depende del sensor:

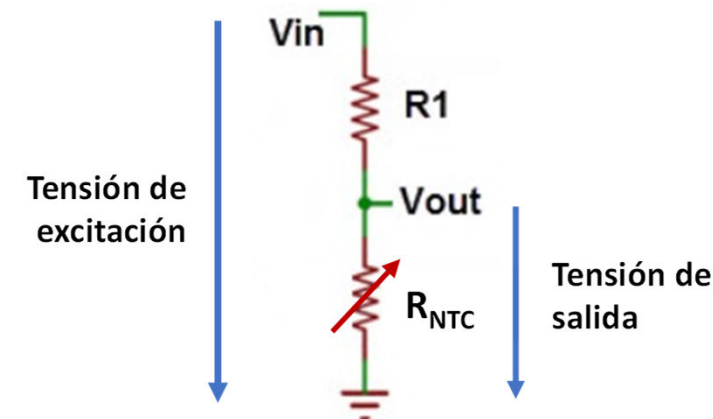
- Tolerancia de T_{air} y T_{leaf} absolutos: $\pm 0,4^{\circ}C$
- Tolerancia de la diferencia de temperatura hoja-aire ($\Delta T_{leaf-aire}$): $\pm 0,2^{\circ}$

Resolución: es dependiente del nodo IoT

Divisor de tensión interno incluido: Resistencia interna de $20 \text{ k}\Omega$

Tensión de alimentación: $2,5 \text{ V}$, tiempo de respuesta: 100 ms máx.

Salida eléctrica: de 0 a $2,5 \text{ V}$ cuando se alimenta a $2,5 \text{ V}$.



Sensor de Temperatura de hoja:

b) Sensor de T_{leaf} sin contacto:

Son menos invasivos y muy confiables, por no influir en el objetivo

b.1) Por infrarrojos:



b.2) Por cámaras térmicas infrarrojas



Dan información sobre la variabilidad espacial del estado hídrico del cultivo y sobre el nivel de estrés hídrico de las plantas.

Sensor de Temperatura de hoja: b) Sensor de T_{leaf} sin contacto:

b.1) Por infrarrojos: **Marca: apogee. Serie: SI-400**

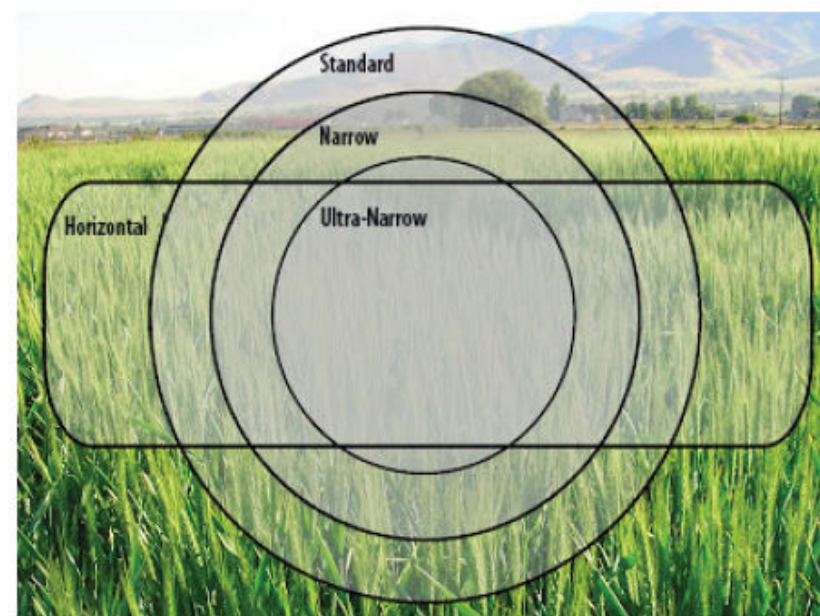


- **Permite mediciones continuas de la T_{Leaf}**
- Las mediciones están relacionadas con el uso del agua de las plantas, el estrés hídrico de los cultivos, las estrategias de sequía y la absorción de nutrientes.

Aplicación típica: **Estimación del estado hídrico de la planta**

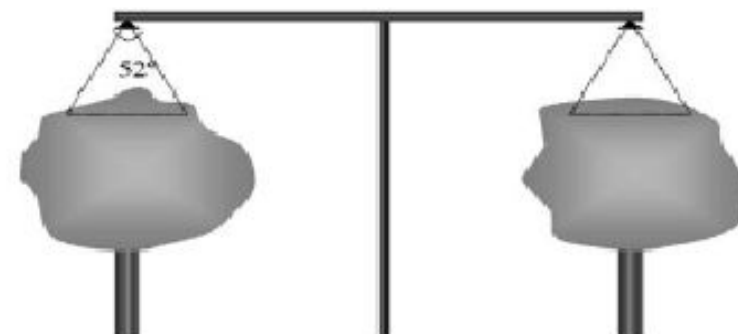
- Salida estándar: SDI-12
- Tensión de alimentación: De 5,5 a 24 V CC
- Consumo: 1,5 mA (inactivo), 2,0 mA (activo)
- Tiempo de medida: 0,6 sg
- Bajo costo. Bajo mantenimiento. Fácil de instalar

Campo de visión Field of View



Sensor de Temperatura de hoja: b) Sensor de T_{leaf} sin contacto:

b.1) Por infrarrojos: **Marca: apogee. Serie: SI-400**



- **Permite mediciones continuas de la T_{Leaf}**
- Las mediciones están relacionadas con el uso del agua de las plantas, el estrés hídrico de los cultivos, las estrategias de sequía y la absorción de nutrientes.

Aplicación típica: **Estimación del estado hídrico de la planta**

- Salida estandar: SDI-12
- Tensión de alimentación: De 5,5 a 24 V CC
- Consumo: 1,5 mA (inactivo), 2,0 mA (activo)
- Tiempo de medida: 0,6 sg
- Bajo costo. Bajo mantenimiento. Fácil de instalar



Figura: Árboles instrumentados con sensores de temperatura

Sensor de Temperatura de hoja: b) Sensor de T_{leaf} sin contacto:

b.1) Por infrarrojos: **Marca: apogee. Serie: SI-400**



- **La medición infrarroja es una medición puramente optica:** Una lente limpia es fundamental para obtener una lectura exacta
- La medición infrarroja es una medición de superficie: Si hay suciedad, polvo, escarcha, etc en la superficie, sólo se medirá en la capa superior, es decir, la capa de suciedad.
- Los diagramas de punto de medición mostrados en la documentación del instrumento indican normalmente lo que se conoce como punto de medición 90 %, en otras palabras, el 90 % de la energía convertida en el sensor proviene de esa zona.

Sensor de Temperatura de hoja: b) Sensor de T_{leaf} sin contacto:

b.2) Por cámaras térmicas infrarrojas



Dan información sobre la variabilidad espacial del estado hídrico del cultivo y sobre el nivel de estrés hídrico de las plantas.



- ✓ Equipo portátil.
- ✓ Captura puntual de información.
- ✓ Toma aérea de imágenes → Mayor superficie controlada → variabilidad espacial.

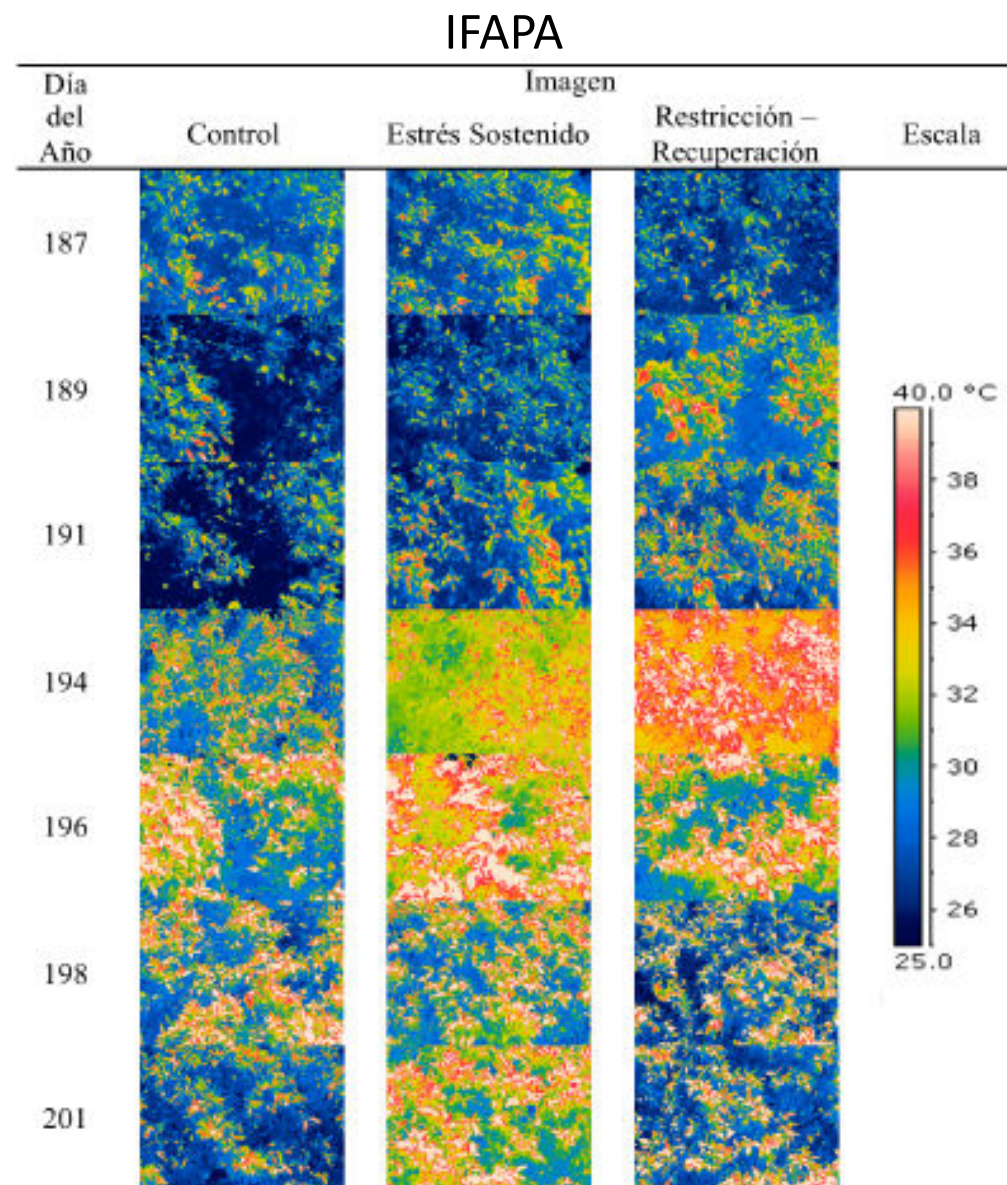


Imagen 5. Evolución de la temperatura de copa en tres tratamientos de riego diferenciados en un cultivo de cítricos

Sensor de Temperatura de hoja: b) Sensor de T_{leaf} sin contacto:

Nueva tecnología de riego de precisión : “**Umbral de tiempo y temperatura**”

(TTT son sus siglas en inglés, Steve Evett 2008)).

Sistema que abre y cierra automáticamente la emisión del **agua de riego** según la T_{leaf} , controlando la eficacia del uso del agua y la uniformidad, para conseguir los rendimientos máximos en las cosechas con cada gota.

Para determinar cuándo regar, hay que tener en cuenta variables tales como la calidad del suelo, el tipo de cosecha y la temperatura.

Se basa en que las plantas crecen mejor en una gama reducida de temperaturas, y esta gama podrá variar dependiendo de la especie de cultivo.

Algodón: Temp. optima [23-32] °C

Si $T_{leaf} > 28^{\circ}\text{C}$

y Tiempo $> 4,5$ h

} **apertura riego**



Figura: Montaje de sensores de infrarrojos a intervalos regulares en los tramos del sistema de riego de pivote central para medir T_{leaf} . Utilizando otros sensores infrarrojos estacionarios dispuestos en el campo, se verifican estas mediciones

Sensor de Temperatura de hoja:



Ventajas

Posibilidad de trabajar a diferentes escalas (planta , parcela o cuenca).

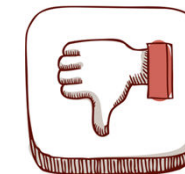
Versatilidad (cualquier tipo de cultivo).

Toma de información rápida y sencilla.

Otras aplicaciones: búsqueda de variedades más resistentes a la sequía (mejor regulación de su temperatura ante condiciones de estrés).



Inconvenientes



Complejidad en la interpretación de los resultados.

Temperatura del cultivo no solo está relacionada con la transpiración también :

- Viento.
- Radiación.
- Temperatura del ambiente.
- Humedad ambiental.

Coste elevado de los equipos de mayor precisión.

Dendrómetro



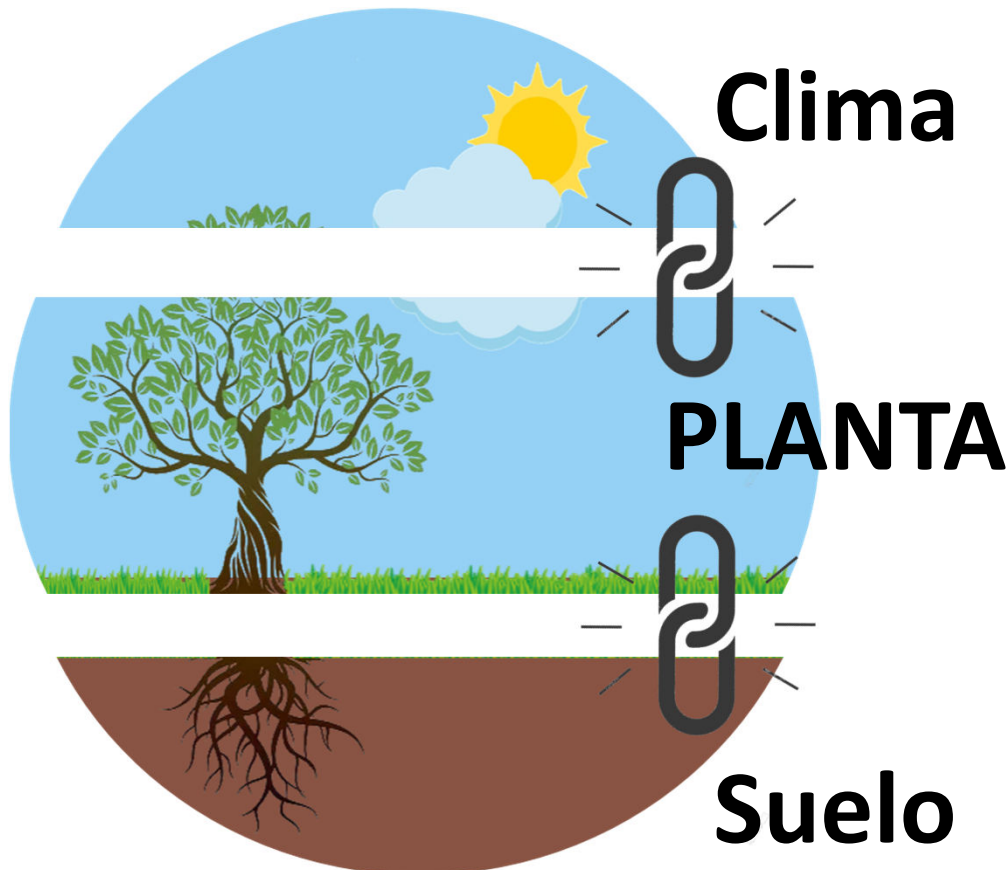
Flujo de savia



Turgencia



Temp. De hoja

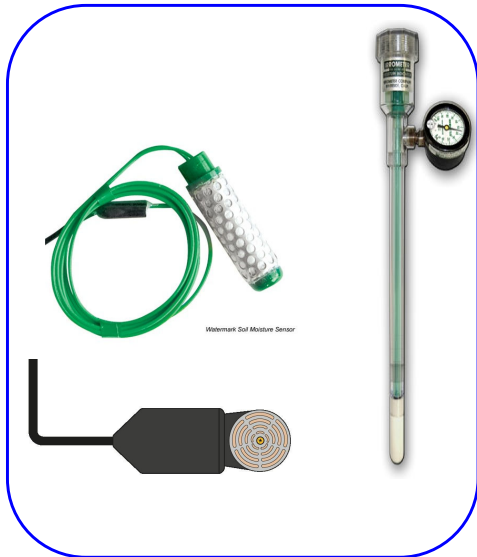


El problema de las mediciones directas sobre la planta es que es posible encontrar respuestas del cultivo ante situaciones de exceso de agua que son iguales que las que se producen en condiciones de estrés. Por este motivo **es necesario recibir información complementaria procedente de sensores de humedad del suelo y/o climáticos que permitan discernir la causa que desencadena una determinada respuesta medida en la planta.**

Sensores de suelo:

Los sensores de suelo proporcionan visibilidad de la zona de raíces, lo que ayuda a los técnicos para tomar decisiones informadas sobre algunas cuestiones.

Sensores de potencial matricio



Sensores de Humedad, CE y Temp.



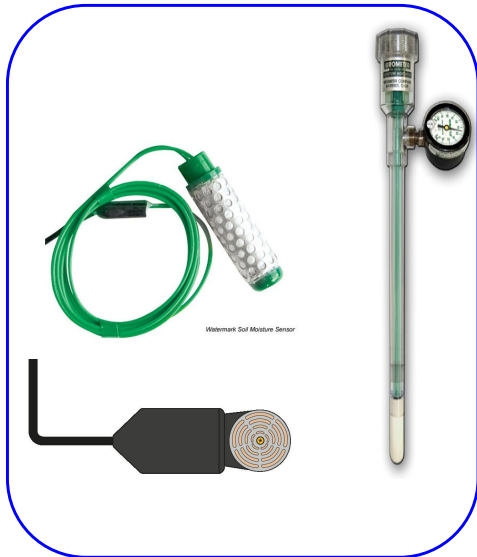
Existe una limitación general para todos los sensores de agua del suelo, miden el contenido de agua o parámetros relacionados en algún punto en el campo. Algunos también están limitados a una sola profundidad del suelo.

La gran variabilidad espacial de las propiedades hídricas del suelo en términos de capacidad de retención de agua en el suelo y, en particular, de la tasa de infiltración dificulta la caracterización del estado hídrico de un campo basado en observaciones puntuales.

Sensores de suelo:

Los sensores de suelo proporcionan visibilidad de la zona de raíces, lo que ayuda a los técnicos para tomar decisiones informadas sobre algunas cuestiones.

Sensores de potencial matrico



Sensores de Humedad, CE y Temp.



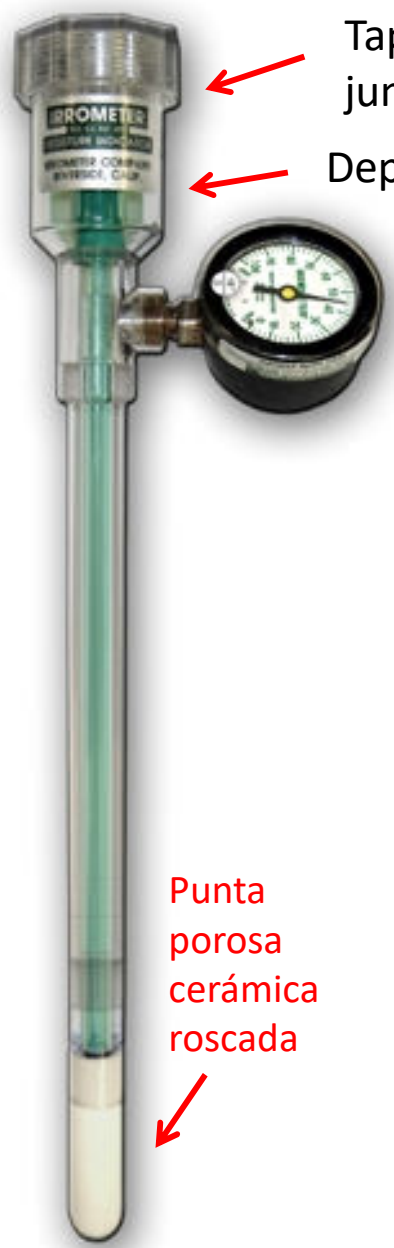
Características deseables para cualquier sensor de suelo o planta que se usen en la programación del riego:

- Bajos costes de compra y mantenimiento.
- Máxima precisión.
- Amplio rango de medición.
- Fácil de instalar, usar y mantener.

Los sensores del suelo también deben presentar las siguientes características:

- Gran volumen de medición del suelo
- No verse afectados por la salinidad o la textura del suelo
- No tener requerimientos de calibración local
- Mínima perturbación del suelo cuando se instala

Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**



Tapón roscado con junta de neopreno
Deposito agua
Vacuómetro con doble escala en centibares o kilopascales

Rango
0-100 cb → uso general
0-40 cb → de baja tensión para suelos muy gruesos

Longitud variable
30 , 60, 90, 120 cm

Punta porosa cerámica roscada

El potencial del agua representa la tensión con que el agua es retenida por el suelo (la fuerza que han de hacer las plantas para extraer la humedad del suelo)



Nos interesa

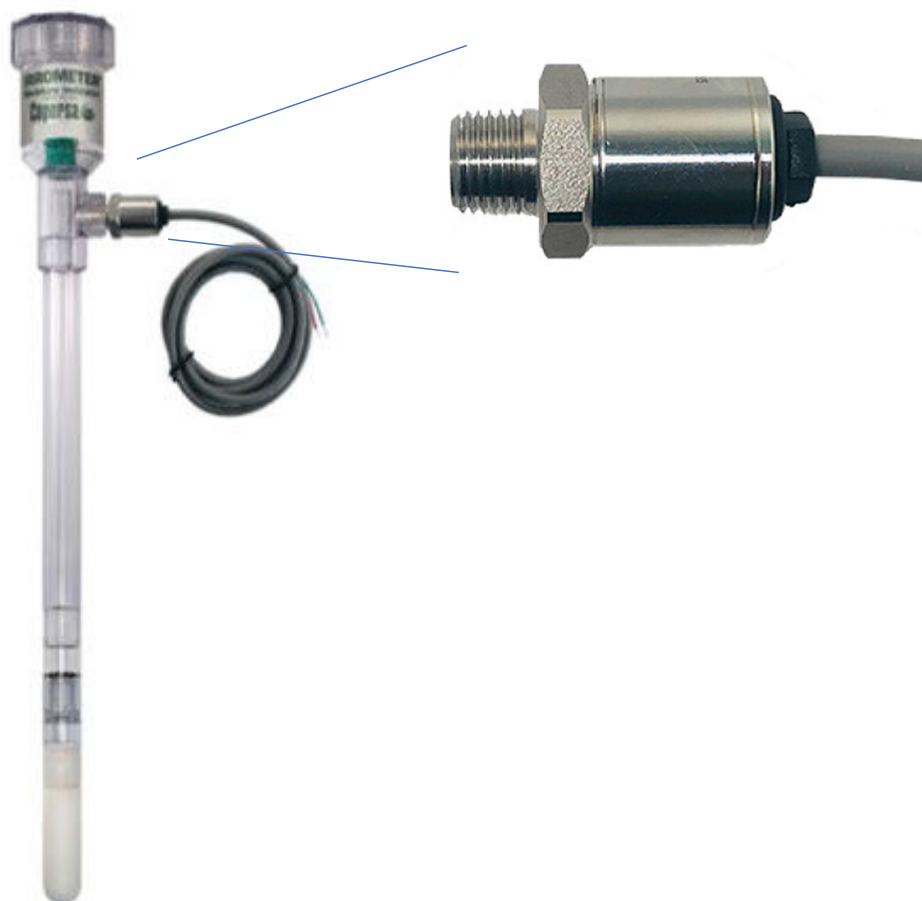
Salidas eléctricas

Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**

Salidas eléctricas: Analógicas: En tensión: 0 - 4,5 Vcc; 0 - 3 Vcc

En intensidad: 4-20 mA

Digital: Contacto libre de potencial



TENSIOMETROS con Salida: 4-20 mA
(Necesitan alimentación, 10-30 Vcc)



TENSIOMETROS con Salida: 0 - 4,5 V
(Necesitan alimentación, 5 Vcc)

Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**

Salidas eléctricas: Analógicas: En tensión: 0 - 4,5 Vcc; 0 - 3 Vcc

En intensidad: 4-20 mA

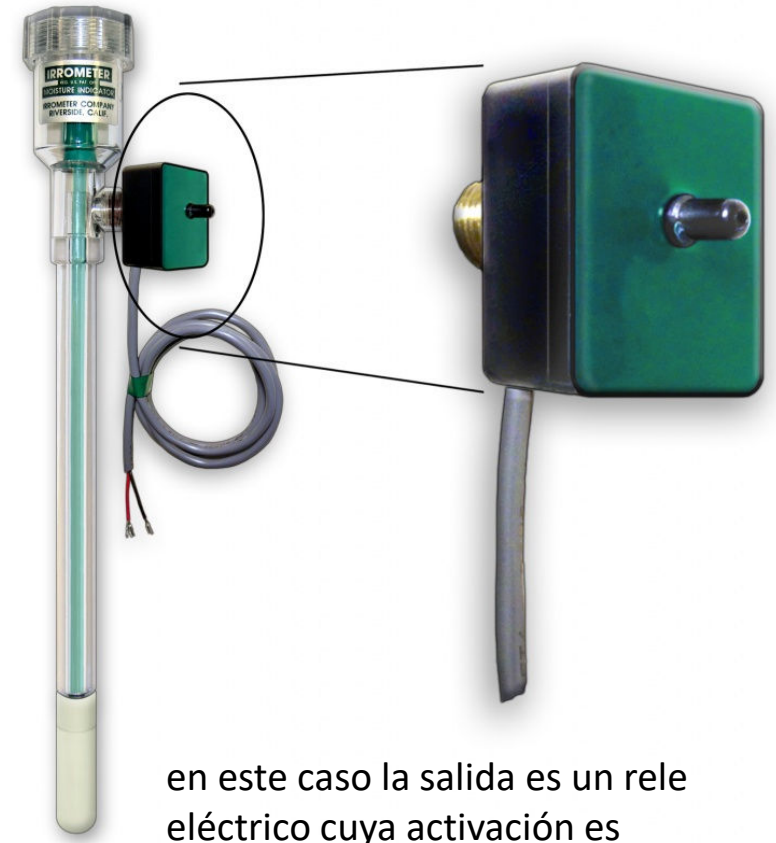
Digital: Contacto libre de potencial



Tensiómetros digitales

en este caso es un rele reed ajustable sobre la esfera del vacuostato cuyo indicador en forma de aguja tiene un pequeño imán acoplado

TENSIÓMETRO con Salida digital



en este caso la salida es un rele eléctrico cuya activación es ajustable a la tensión que se desea

TENSIÓMETRO con Salida digital

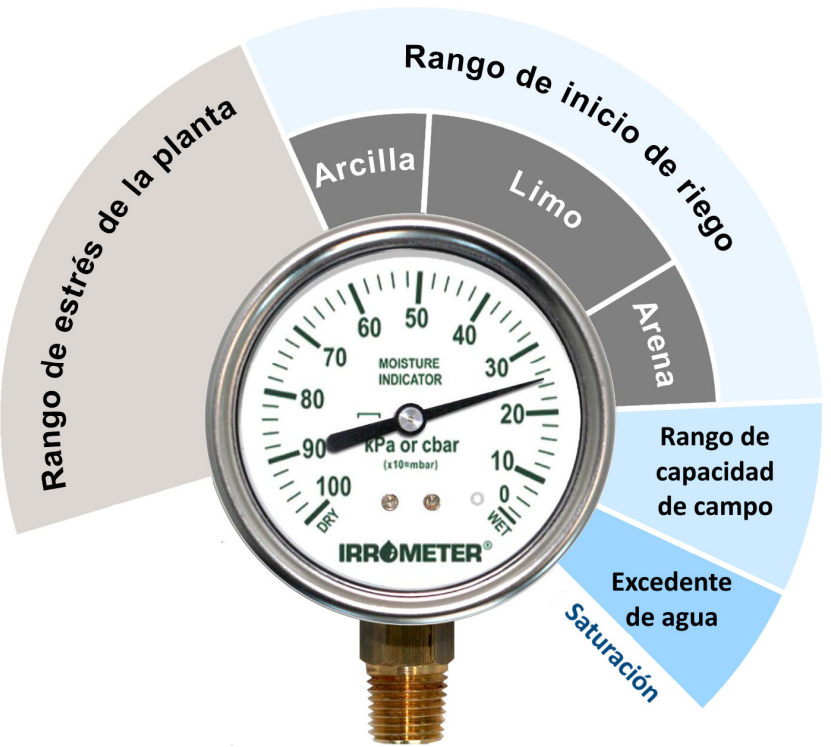
Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**

Salidas eléctricas: Analógicas: En tensión: 0 - 4,5 Vcc; 0 - 3 Vcc
En intensidad: 4-20 mA
Digital: Contacto libre de potencial



Tensiómetros digitales

en este caso es un rele reed ajustable sobre la esfera del vacuostato cuyo indicador en forma de aguja tiene un pequeño imán acoplado



Interpretación de las lecturas

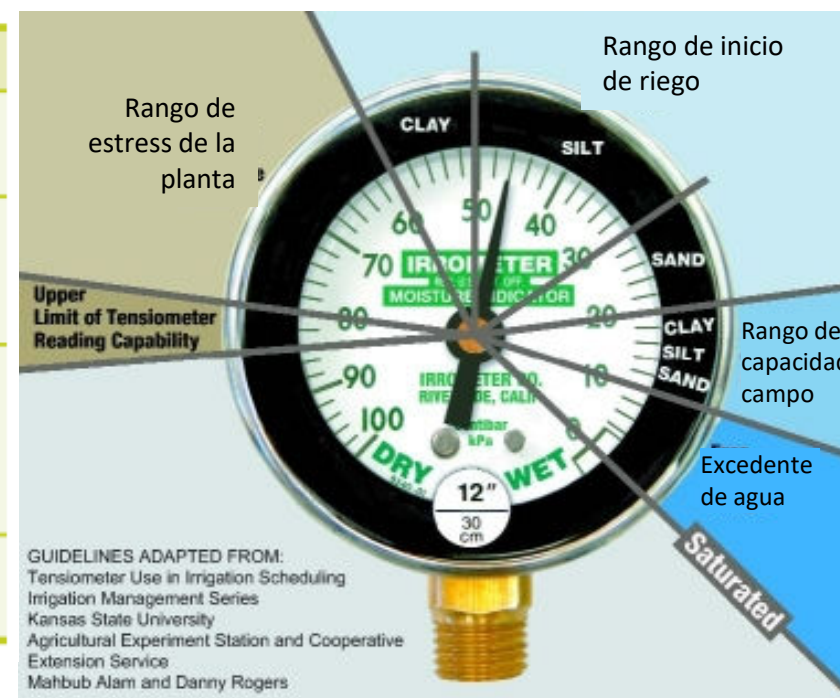
TENSIOMETROS con Salida digital

Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**

Salidas eléctricas: Analógicas: En tensión: 0 - 4,5 Vcc; 0 - 3 Vcc
 En intensidad: 4-20 mA
 Digital: Contacto libre de potencial

LECTURA (cbars)	INTERPRETACIÓN
0-10	Indican un suelo saturado de agua. Puede ser una lectura frecuente durante las 24 horas posteriores al riego.
10- 20	El suelo tiene los microporos llenos de agua y los macroporos con aire. Es el estado que se denomina de capacidad de campo.
20 -60	En este rango la planta tiene una buena oxigenación y el suelo dispone de más o menos agua en función de su textura. En suelos arenosos se recomienda empezar a regar entre 30 y 45 cbares.
60- 80	Indican que la planta está sufriendo estrés y se acerca al punto de marchitez en suelos de textura gruesa.

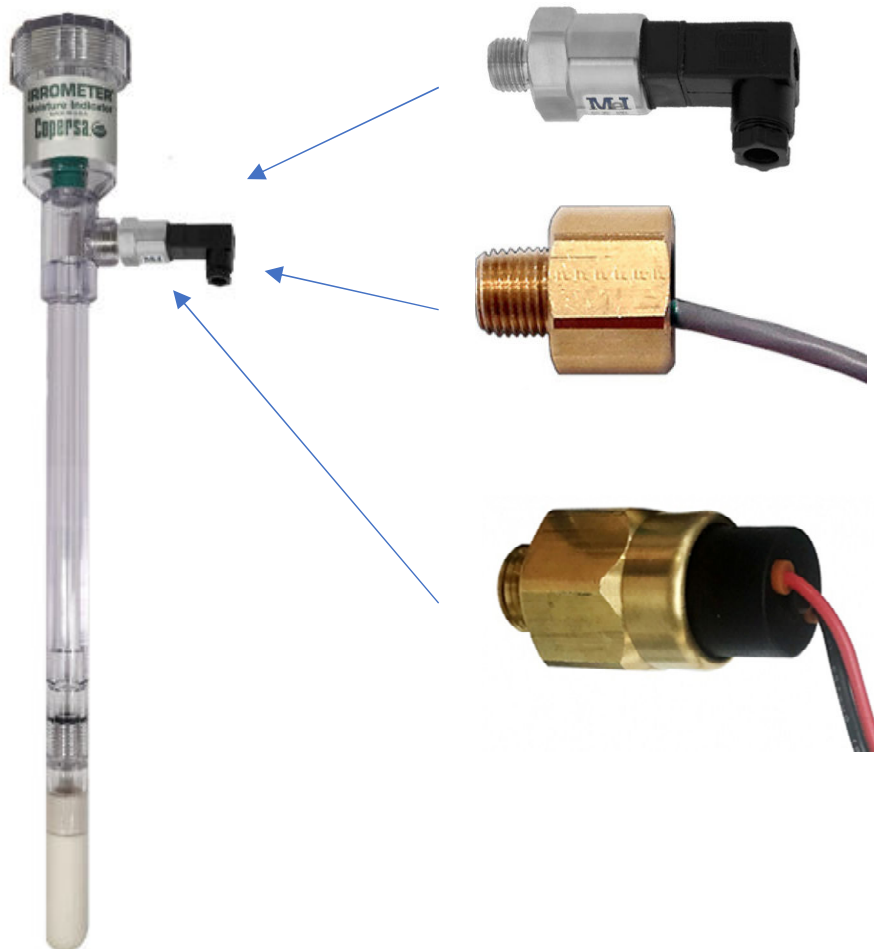
Tabla: Interpretación de las lecturas de potencial matricio (cbar) obtenidas de un tensiómetro (valores orientativos)



Interpretación de las lecturas

Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**

Sensores de presión negativa



Salidas:

Analógicas: En tensión: 0 - 4,5 Vcc; 0 - 3 Vcc
En intensidad: 4-20 mA

Digitales: Contacto libre de potencial
- Rele eléctrico (10 A)
- Rele reed (100 mA)

Determinación de los umbrales de gestión:

CUÁNDO regar

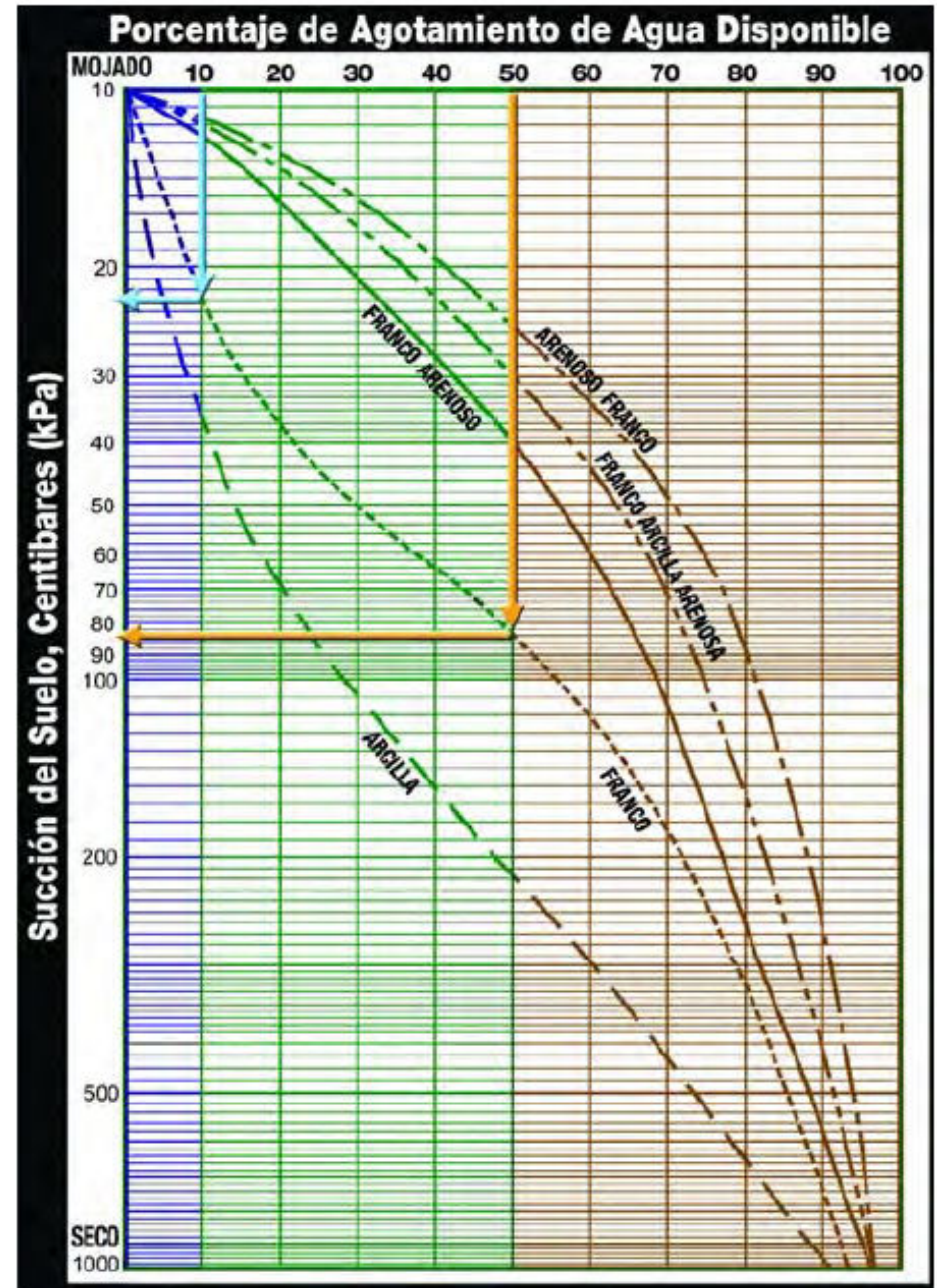
Los umbrales son puntos de referencia que identifican los límites superior e inferior para gestionar el agotamiento permisible.

Este rango depende del tipo de suelo, el cultivo, el desarrollo de la planta

Típico: { 10 % en el extremo húmedo
40-50 % en el extremo seco
del agotamiento del agua disponible

10% → 23 cb

50% → 84 cb



Medición de Potencial mátrico: **TENSIÓMETROS**

Ventajas

Las principales **ventajas** de los tensiómetros frente a otros sensores de humedad del suelo son:

- Su **medida** se ve escasamente afectada por la salinidad y temperatura del suelo.
- No requieren de **calibración** previa
- Su **instalación** es relativamente sencilla
- Su **coste** es relativamente bajo
- Se adaptan bien a **suelos** de textura fina con elevados niveles de arcilla
- Son bastante **precisos** cuando se trabaja con niveles de humedad de suelo elevados, como por ejemplo en cultivos hortícolas.

Inconvenientes

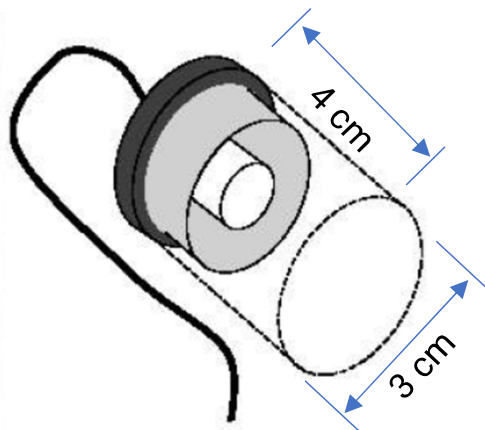
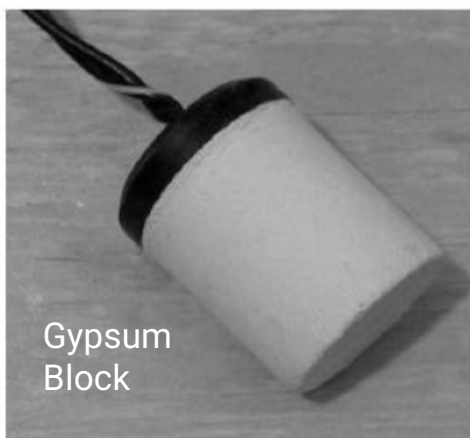
Los principales **inconvenientes** de los tensiómetros frente a otros sensores de humedad del suelo son:

- Su **funcionamiento es hidráulico**. Si se produce una entrada de aire en el tubo del tensiómetro se descarga y deja de funcionar.
- Como consecuencia de lo anterior, no son adecuados para trabajar en cultivos en los que se mantienen niveles de humedad de suelo muy bajos. Normalmente **con tensiones superiores a 60-80 kPa suelen descargarse**.
- Requieren de un **mantenimiento mínimo** entre campañas de riego.
- Al igual que el resto de sensores de humedad de suelo, dan una **información puntual**. En suelos heterogéneos la medida de cada tensiómetro es poco representativa de la totalidad.

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Bloques de sensores de yeso (Bouyoucos)

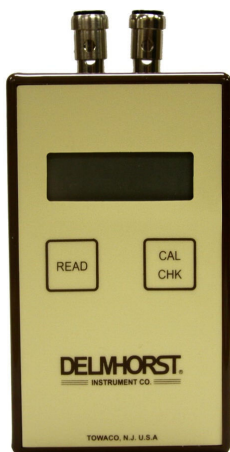
Los bloques están hechos de yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos de acero inoxidable. Se fabrican bajo condiciones controladas para obtener un grado máximo de uniformidad y rápida respuesta a los cambios de humedad del suelo.



Marca: DELMHORST
Modelo: GB-1
Precio: ±20 €

Especificaciones

Potencial hídrico del suelo:	-10 a -1500 cb
Salida Resistencia:	50 a 35000 Ω
Longitud de cable estándar	1,8 m; 7,6 m
Temperatura del entorno operativo	-40 a 60 °C
Humedad ambiente de funcionamiento	0 a 100%



Ohmetro para lectura Bloques de yeso

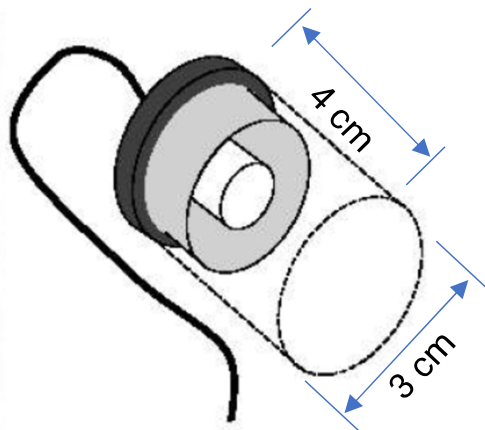
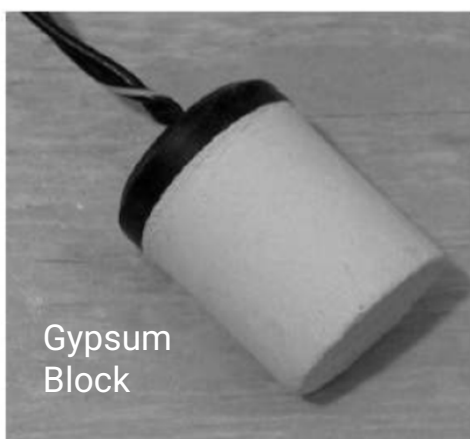
MARCA: DELMHORST
MODELO: KS-D1
PRECIO: 385 €

- Rango de humedad: 10 - 1500 cb
- Escala de referencia 0-100.

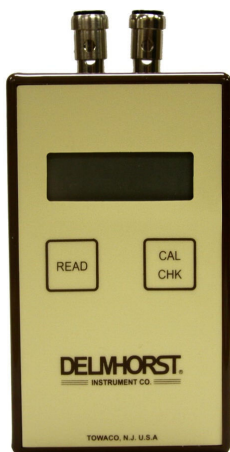
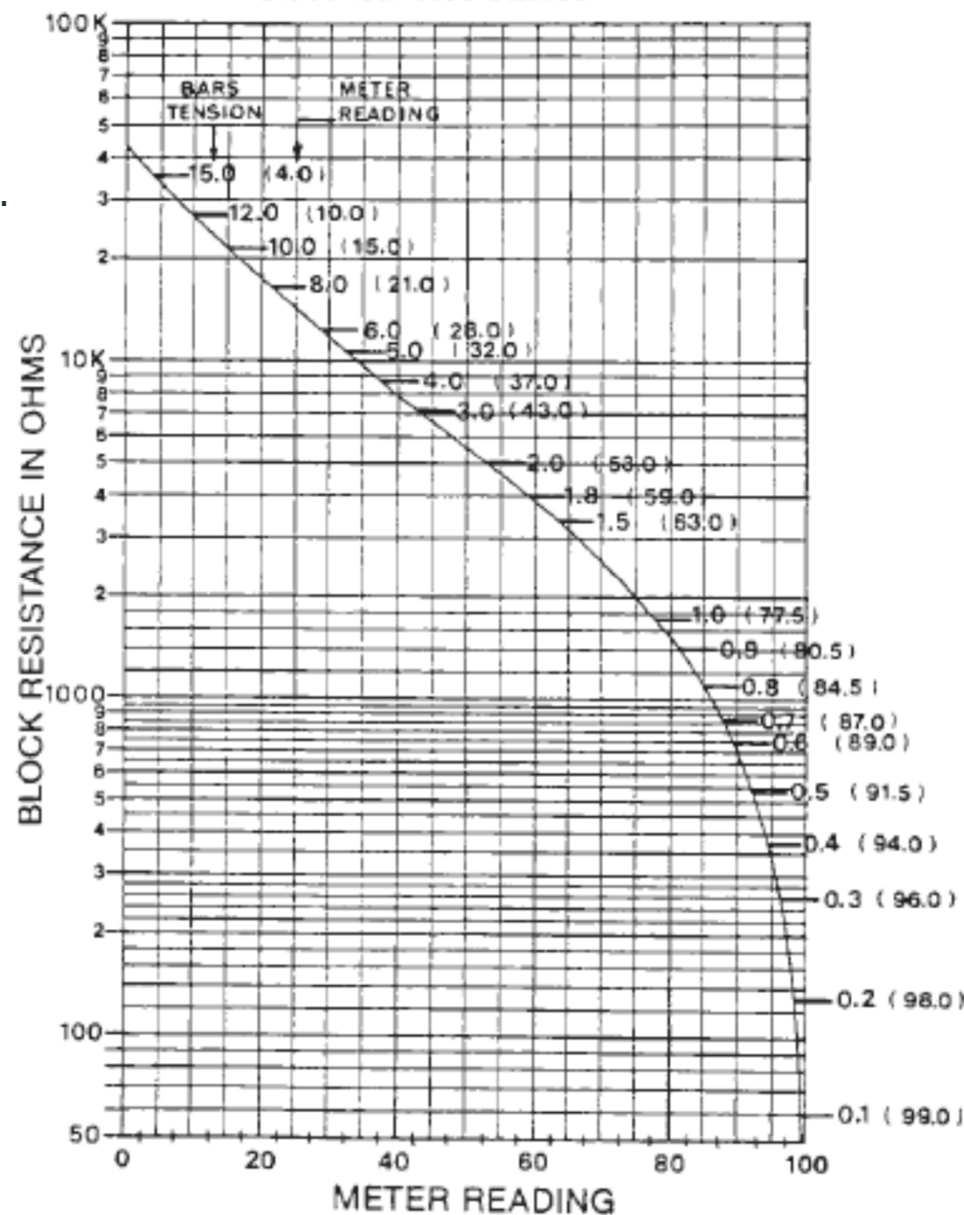
Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Bloques de sensores de yeso (Bouyoucos)

Los bloques están hechos de yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos de acero inoxidable. Se fabrican bajo condiciones controladas para obtener un grado máximo de uniformidad y rápida respuesta a los cambios de humedad del suelo.



Meter Readings vs. Soil Moisture Tension and Electrical Resistance



Ohmetro para lectura Bloques de yeso

MARCA: DELMHORST

MODELO: KS-D1

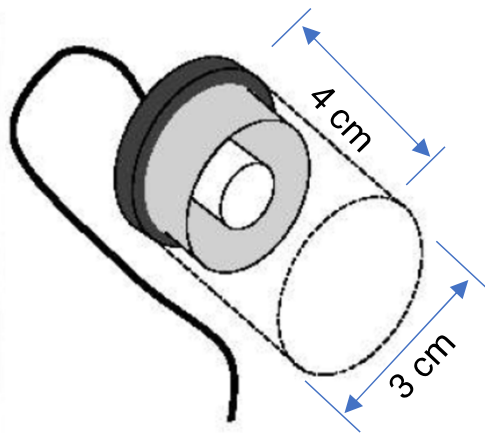
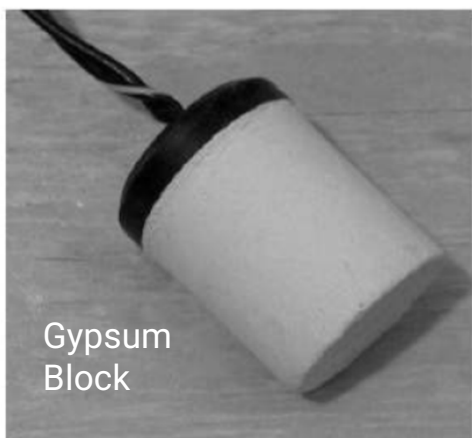
PRECIO: 385 €

- Rango de humedad: 10 - 1500 cb
- Escala de referencia 0-100.

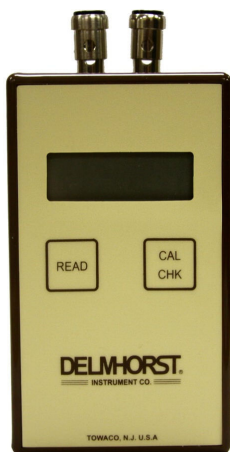
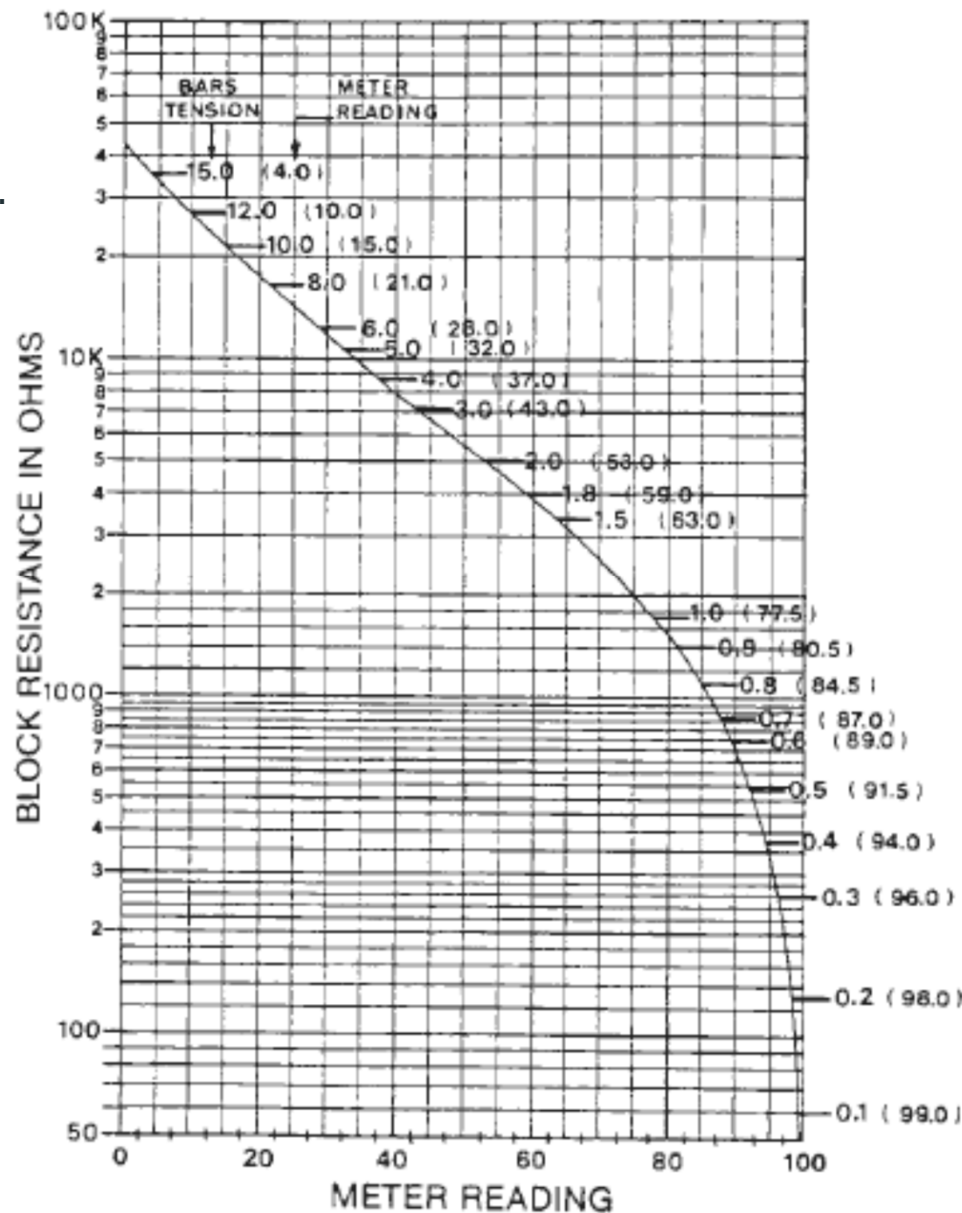
Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Bloques de sensores de yeso (Bouyoucos)

Los bloques están hechos de yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos de acero inoxidable. Se fabrican bajo condiciones controladas para obtener un grado máximo de uniformidad y rápida respuesta a los cambios de humedad del suelo.



Meter Readings vs. Soil Moisture Tension and Electrical Resistance



Ohmetro para lectura Bloques de yeso

MARCA: DELMHORST

MODELO: KS-D1

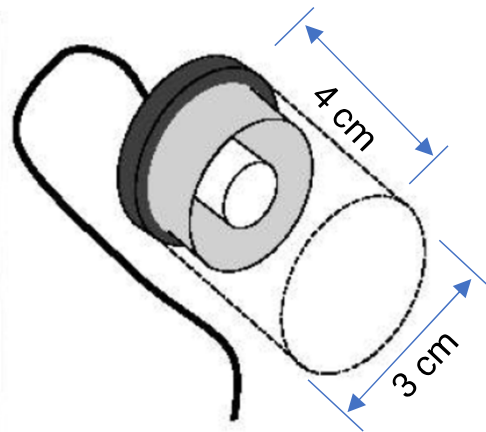
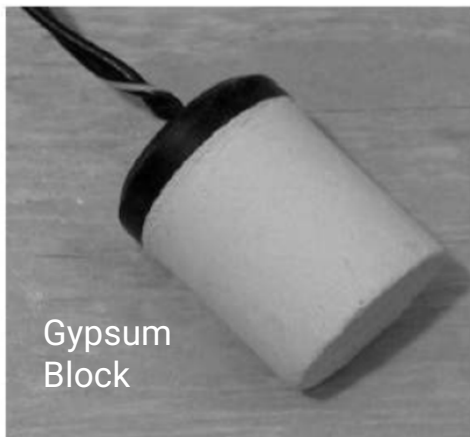
PRECIO: 385 €

- Rango de humedad: 10 - 1500 cb
- Escala de referencia 0-100.

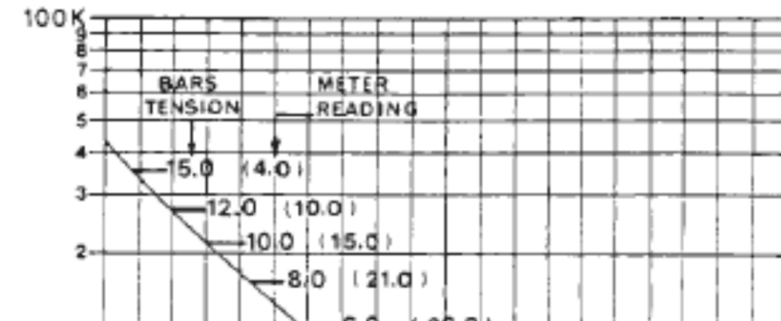
Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Bloques de sensores de yeso (Bouyoucos)

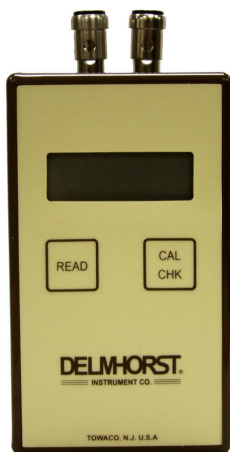
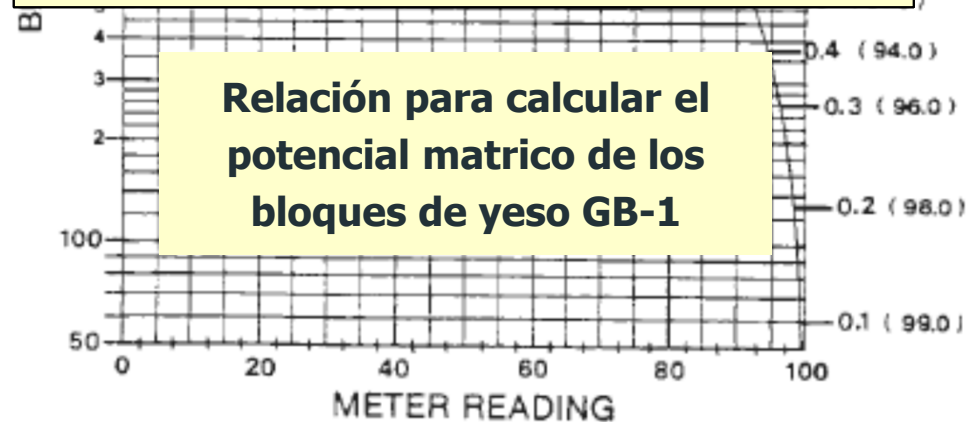
Los bloques están hechos de yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos de acero inoxidable. Se fabrican bajo condiciones controladas para obtener un grado máximo de uniformidad y rápida respuesta a los cambios de humedad del suelo.



Meter Readings vs. Soil Moisture Tension and Electrical Resistance



$$SWP = - 0,0000002566 \times R^6 + 0,0000271804 \times R^5 - 0,0010604163 \times R^4 + 0,0183247258 \times R^3 - 0,1321964809 \times R^2 + 0,7618710496 \times R \text{ [bar; k}\Omega\text{]}$$



Ohmetro para lectura Bloques de yeso

MARCA: DELMHORST

MODELO: KS-D1

PRECIO: 385 €

- Rango de humedad: 10 - 1500 cb
- Escala de referencia 0-100.

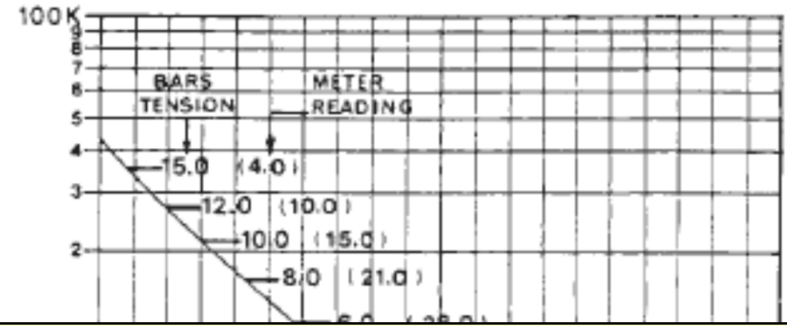
Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: **Resistivo** (Bloques de yeso/cerámica)



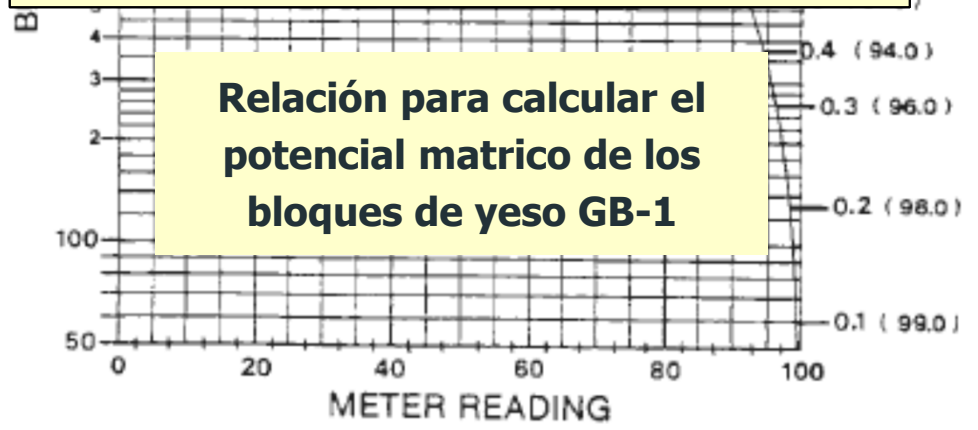
Alcance: 10 a 1500 cbar
Salida: 50 a 35000 Ω

- Problemas: - Se disuelve en 1 o 2 años
- Le afecta la salinidad
- Utilización: - Condiciones de sequedad

Meter Readings vs. Soil Moisture Tension and Electrical Resistance



$$SWP = - 0,0000002566 \times R^6 + 0,0000271804 \times R^5 - 0,0010604163 \times R^4 + 0,0183247258 \times R^3 - 0,1321964809 \times R^2 + 0,7618710496 \times R \text{ [bar; k}\Omega\text{]}$$



Relación para calcular el potencial matrico de los bloques de yeso GB-1

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)



Principales Ventajas:

La lectura es rápida y de fácil transformación a valores de tensión o de contenido de humedad, cuando se dispone de la curva característica de humedad del suelo en estudio.

En suelos arcillosos los bloques cubren con buena exactitud más del 80 por ciento de la humedad aprovechable.

No se requiere personal especializado para su instalación.

El costo de los bloques es relativamente bajo.

Principales Desventajas:

Tienen poca sensibilidad ante bajas tensiones de humedad del suelo. Cubren bien el rango de 40 a 1500 cb.

Alta histéresis.

La calibración entre unidades comerciales es variable.

En lugares lluviosos y suelos de alta velocidad de infiltración, los bloques operan correctamente sólo durante pocas semanas.

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark:

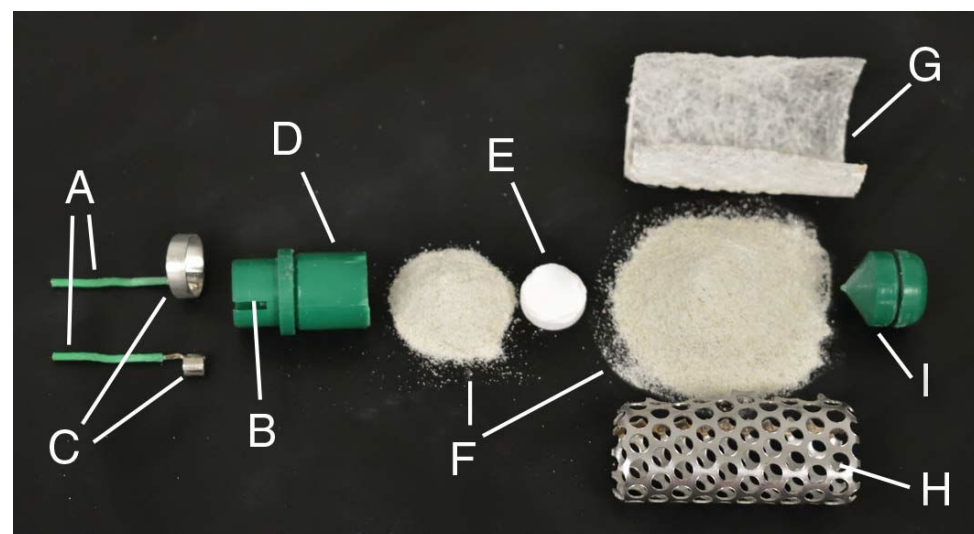
Alcance: 0 a 200 cbar (239 cbar)
Salida: 550 a 28075 Ω (32000 Ω)

Ecuación de calibración: \rightarrow $kPa = (-3,213 * R - 4,093) / (1 - 0,009733 * R - 0,01205 * T)$
(Clinton Shock, 1998)

donde: R en k Ω y T en $^{\circ}C$. Para el rango de 10 a 100 kPa.



Watermark Soil Moisture Sensor



Constan de un sensor con dos electrodos concéntricos, introducidos en un conglomerado especial, cubierto por una membrana sintética con una funda de acero inoxidable. Están provistos de un disco amortiguador para reducir la influencia de la salinidad y se pueden ajustar a la **temperatura** del suelo para obtener una mayor exactitud en las lecturas.

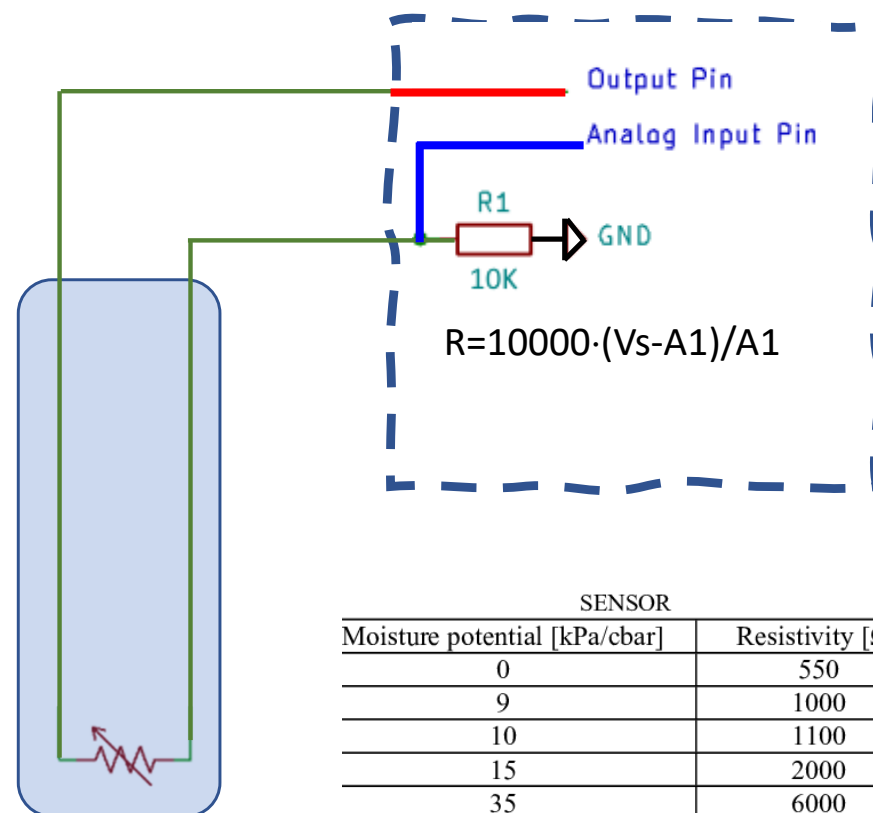
Sensores de Potencial matricio: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark:

Alcance: 0 a 200 cbar (239 cbar)
Salida: 550 a 28075 Ω (32000 Ω)

Ecuación de calibración: $\rightarrow \text{kPa} = (-3,213 * R - 4,093) / (1 - 0,009733 * R - 0,01205 * T)$
(Clinton Shock, 1998)

donde: R en kΩ y T en °C . Para el rango de 10 a 100 kPa.



SENSOR	
Moisture potential [kPa/cbar]	Resistivity [Ω]
0	550
9	1000
10	1100
15	2000
35	6000
55	9200
75	12200
100	15575
200	28075

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark:

Alcance: 0 a 200 cbar (239 cbar)
 Salida: 550 a 28075 Ω (32000 Ω)

- Un sensor completamente húmedo mide 550 Ω .

Para más precisión en la transformación de las medidas óhmicas a centibares utilizamos tres ecuaciones según el valor:

$$R < 0,550 \text{ k}\Omega \quad \rightarrow \text{kPa} = 0$$

$$R > 0,550 \text{ k}\Omega \text{ y } < 1,0 \text{ k}\Omega \quad \rightarrow \text{kPa} = (R * 23,156 - 12,736) * (1 + 0,018 * (T - 24))$$

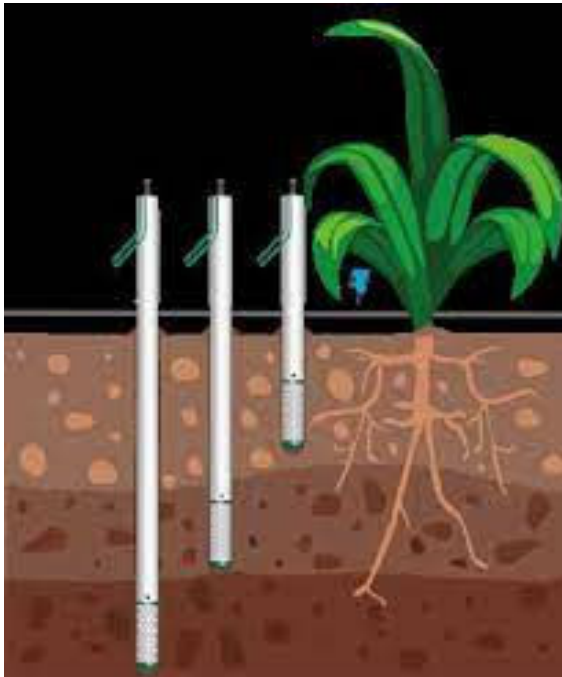
$$R > 1,0 \text{ k}\Omega \text{ y } < 8,0 \text{ k}\Omega \quad \rightarrow \text{kPa} = (-3,213 * R - 4,093) / (1 - 0,009733 * R - 0,01205 * T)$$

$$R > 8 \text{ k}\Omega \quad \rightarrow \text{kPa} = - 2,246 - 5,239 * R * (1 + 0,018 * (T - 24,00)) - 0,06756 * R * R * ((1,00 + 0,018 * (T - 24,00)) * (1,00 + 0,018 * (T - 24,00)))$$

Para la interpretación de los datos es necesario saber la textura del suelo, según esta textura y el porcentaje de agotamiento del agua disponible que se quiere establecer como umbral para regar.

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: **Resistivo** (Bloques de yeso/cerámica)

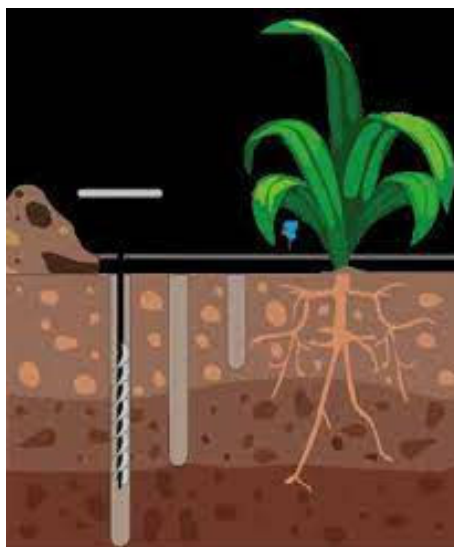
Watermark:



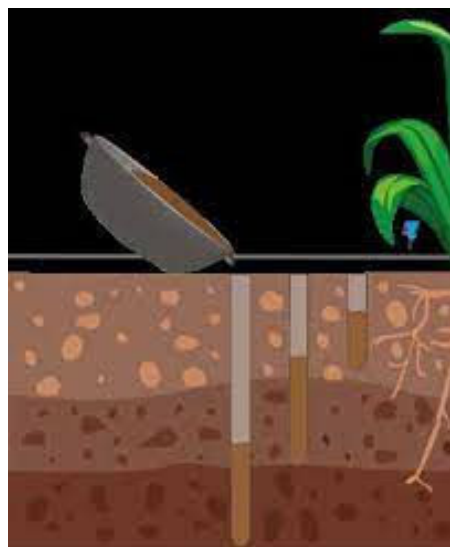
- El entubamiento de PVC de dos diámetros de 25/22 mm permite que las sondas bajen al suelo sin dañarse. Todo asegurando un contacto perfecto con el suelo inalterado.

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

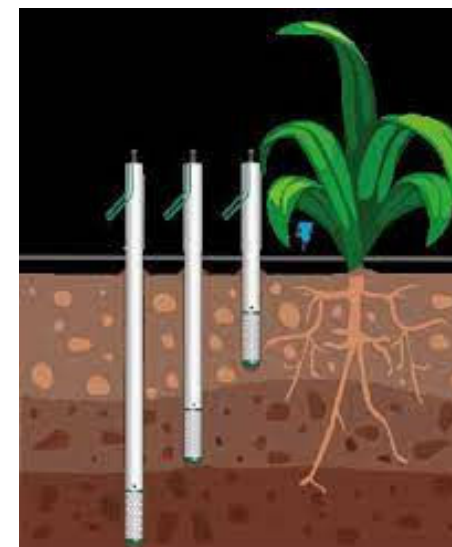
Watermark: Instalación



El agujero debe realizarse con el perforador en espiral 2,2cm, mediante entradas y salidas de 15 cm como máximo, para no comprimir el suelo.



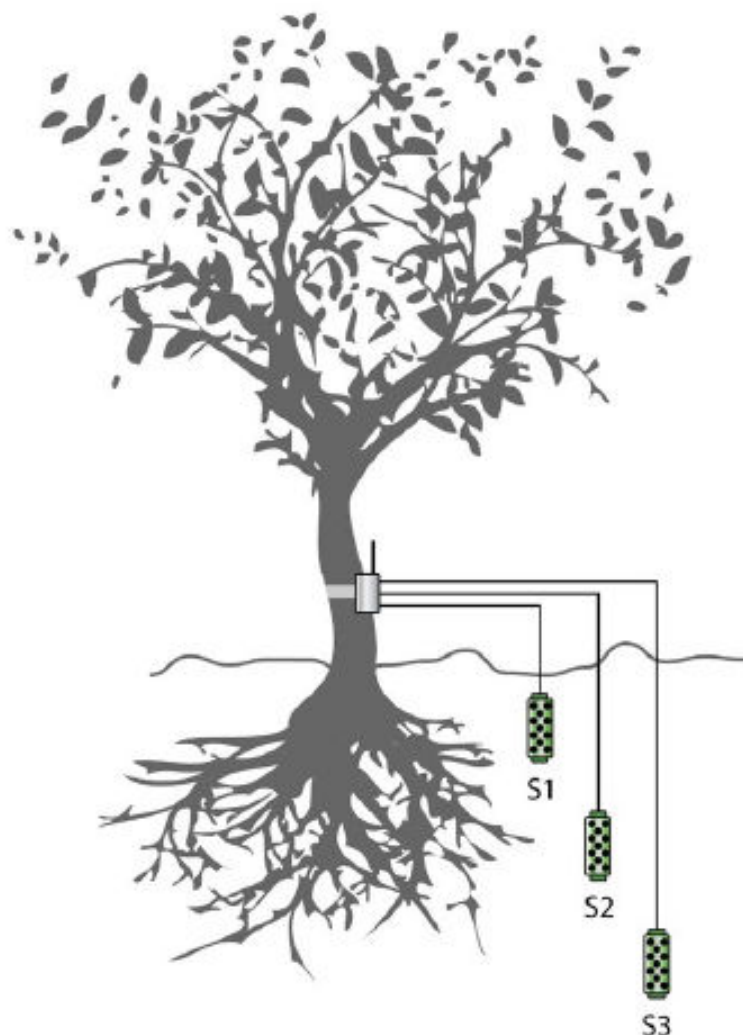
Preparar en un recipiente un lodo pastoso con la tierra extraída y agua. Verter la mezcla en el orificio para crear una película alrededor del sensor y evitar bolsas de aire.



Realizar una marca al tubo de PVC con la profundidad a la cual se desea instalar e insertar el sensor con el tubo de PVC en el agujero presionando hasta llegar a la marca.

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: **Resistivo** (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark: Utilización Sensor de potencial matrico



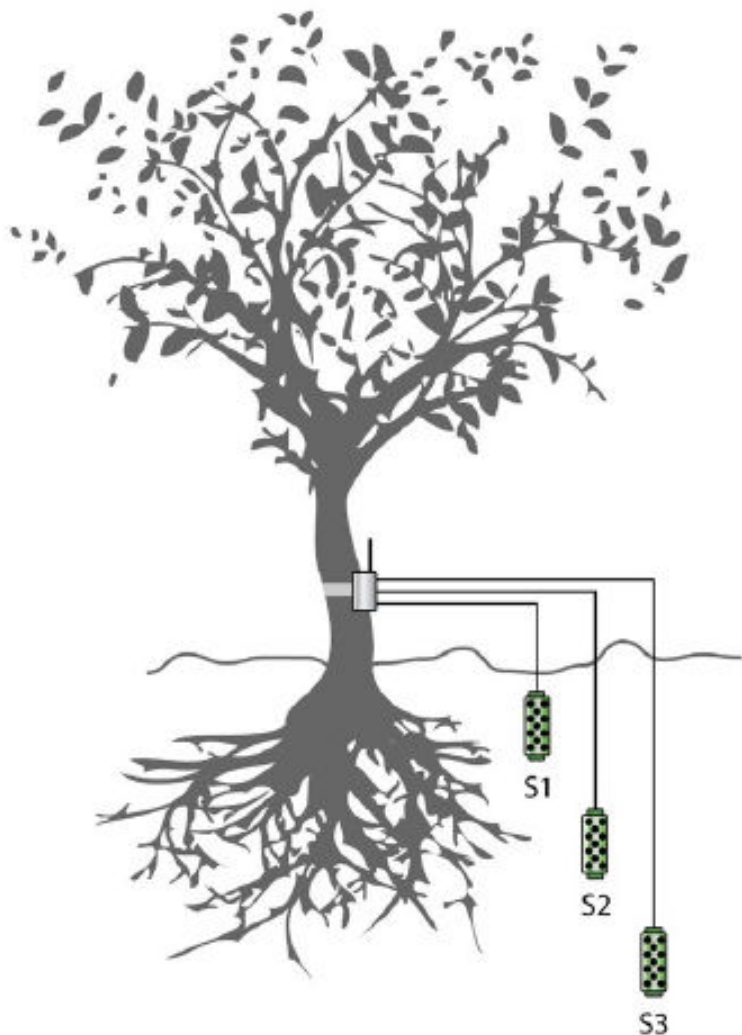
CRITERIOS DE INSTALACIÓN

- Bajo la vertical de un gotero para monitorizar bien el potencial del agua en el suelo que ha sido aportada en el riego.
- En la zona de mayor volumen radicular del cultivo.
- A varias profundidades.
- Próximos a los sensores de humedad.
- Buen contacto con el suelo.
- No alterar estructura del suelo.

El pre-agujero debe realizarse con el perforador en espiral, mediante entradas y salidas de 15 cm como máximo, para no comprimir el suelo.

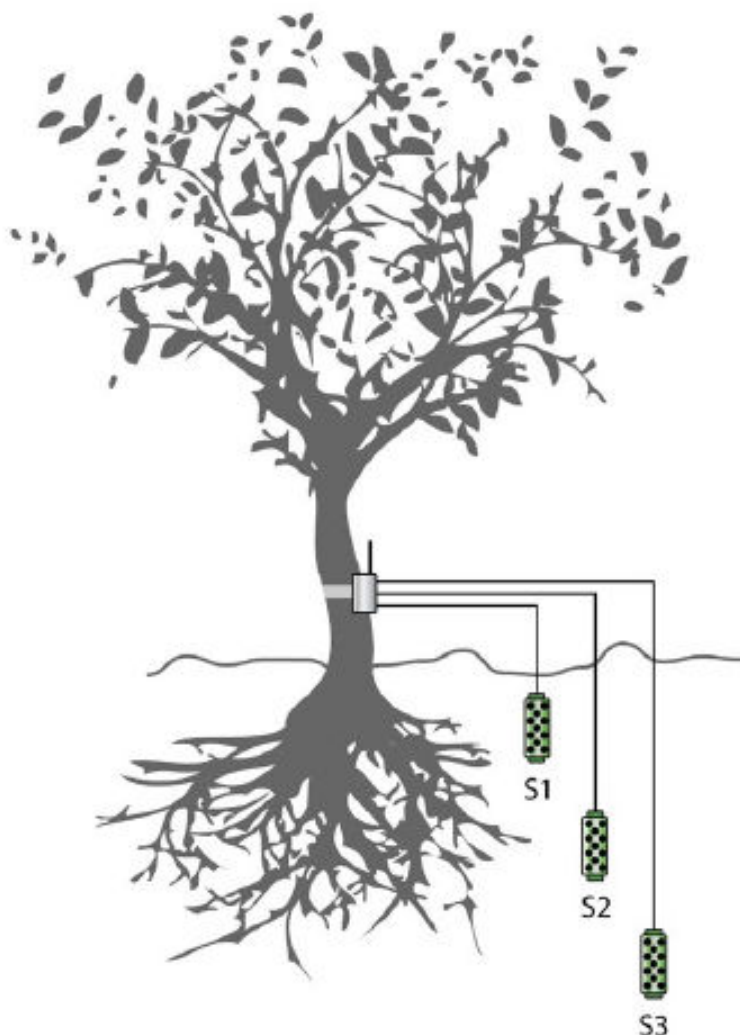
Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark: Utilización Sensor de potencial matrico



Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: **Resistivo** (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark: Utilización Sensor de potencial matrico



Duración:

La revisión de 20 años de uso proporcionan datos recurrentes:

En cultivo anual, la longevidad de las sondas es convencionalmente 6 campañas de 3-4 meses o 5 campañas de 5-6 meses, o 5000 mediciones.

En cultivo perenne, la longevidad de las sondas es de 4 estaciones continuas o 5000 mediciones.

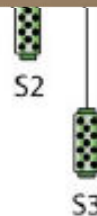
Más allá de este uso, observamos una **deriva** en las medidas, generalmente hacia la subida

Variabilidad: reproducibilidad intralote < 5%.
buena reproducibilidad entre lotes

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Resistivo (Bloques de yeso/cerámica)

Watermark:

Util



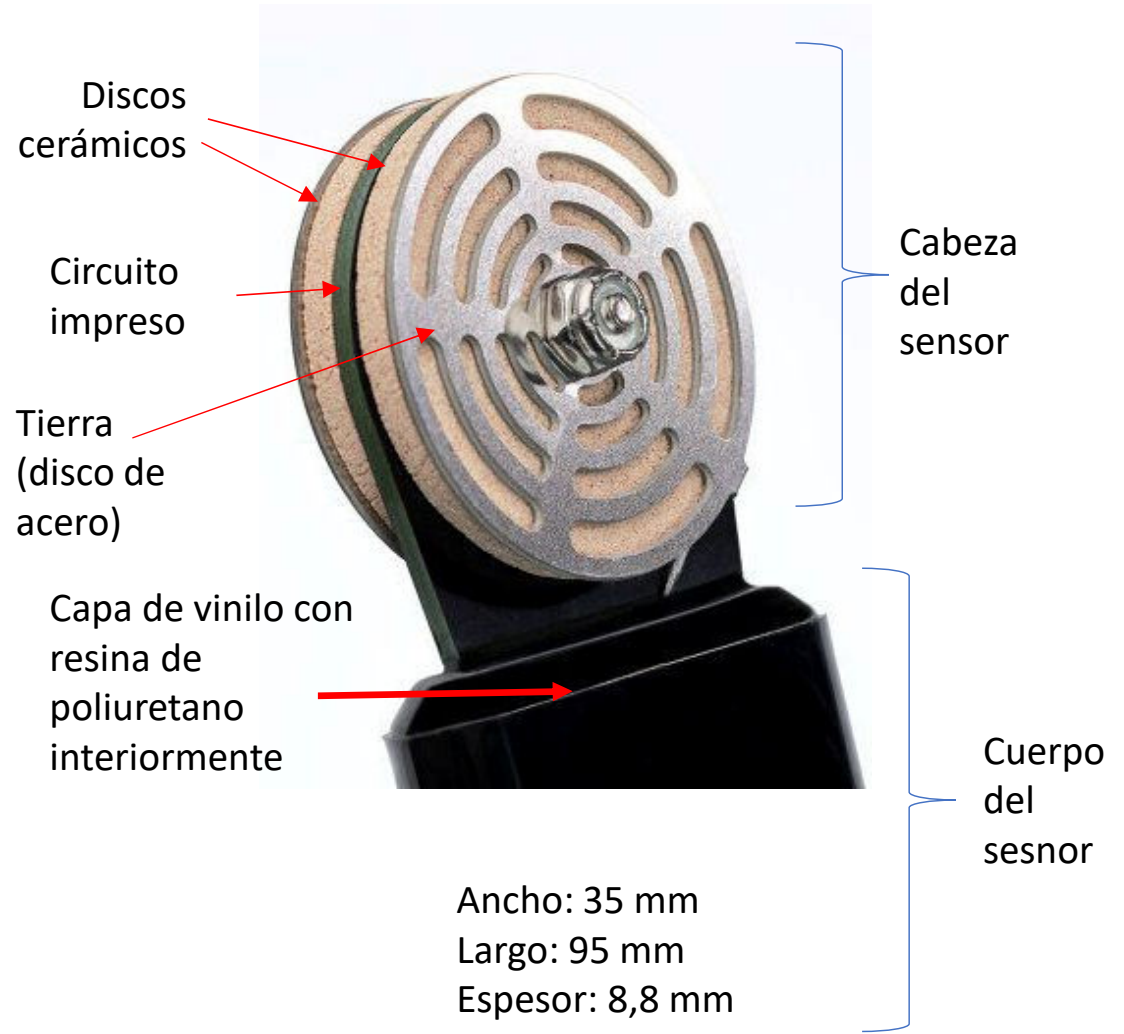
Variabilidad: reproducibilidad intralote < 5%.
buena reproducibilidad entre lotes

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Capacitivo

Sensor de potencial matrico y de temperatura **TEROS 21** (DECAGON MPS2)



5m



Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Capacitivo

Sensor de potencial matrico y de temperatura **TEROS 21** (DECAGON MPS2)

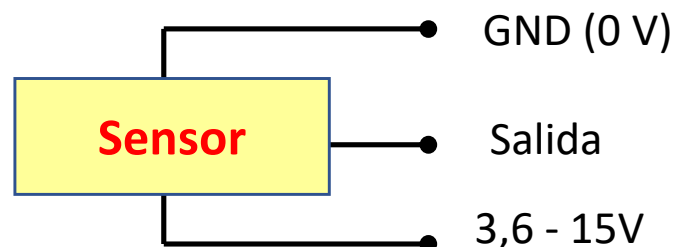


5m



Características:

- La calibración predeterminada en seis puntos da una precisión alta.
- No necesita ser recalibrado.
- Instalación sencilla a cualquier profundidad.
- Cuerpo resistente y duradero.
- Baja sensibilidad a la sal.
- Coste bajo.
- Excelente rango (sensibilidad desde -5 kPa hasta secar al aire [-100,000 kPa]).
- Medición de temperatura incluida.
- Capacidad plug and play.
- Compatible con SDI-12.
- Condiciones de operación: - 40 °C a 60 °C.
- Cable resistente a los rayos UV con repelente de roedores.
- Tipo de suelo: Mineral y turba



Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Capacitivo

Sensor de potencial matrico y de temperatura **TEROS 21** (DECAGON MPS2)



Especificaciones técnicas:

- Tipo de conector estándar: Tipo Jack estéreo de 3,5 mm o cables pelados y estañados
- Alimentación: de 3,6 a 15 Vdc.
- Salida sensor: comunicación serie a 3,6 Vcc o SDI-12
- Consumo: 0,03 mA en reposo, 5 mA típico durante la medición (175 ms)
- Tiempo de media 10 ms
- **Potencial matrico del suelo:**
 - Rango de medida: de -5 a 100,000 kPa
 - Resolución: 0,1 kPa
 - Precisión: \pm (10% de lectura + 2 kPa) de -100 a -5 kPa
 - Frecuencia de medición del dieléctrico suelo: 70 MHz
- **Temperatura:**
 - Rango de temperatura: -40 a +60 ° C
 - Resolución: 0,1 ° C
 - Precisión: \pm 1 ° C

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Capacitivo

Sensor de potencial matrico y de temperatura **TEROS 21** (DECAGON MPS2)



Umbrales óptimos de riego.

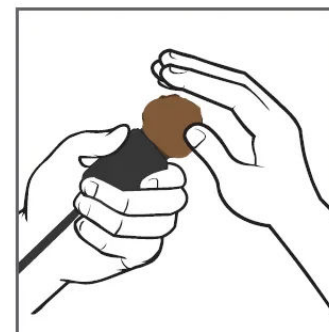
Cultivos	Potencial (kPa)	Cultivos	Potencial (kPa)
Zanahoria	-55-65	Brócoli	-45-70
Repollo	-60-70	Coliflor	-60-70
Arveja	-30-50	Limonero	-40
Lechuga	-40-60	Naranja	-20 -100
Tabaco	-30-80	Melón	-35-40
Caña de azúcar	-25-30	Tomate	-80-150
Maíz dulce	-50-100	Banana	-30-150
Cebolla de verdeo	-45-55	Maíz fase vegetativa	-50
Cebolla para bulbo	-55-65	Maíz fase maduración	-80-120
Papa	-30-50		

Sensores de Potencial matrico: De matriz granular: Capacitivo

Sensor de potencial matrico y de temperatura **TEROS 21** (DECAGON MPS2)

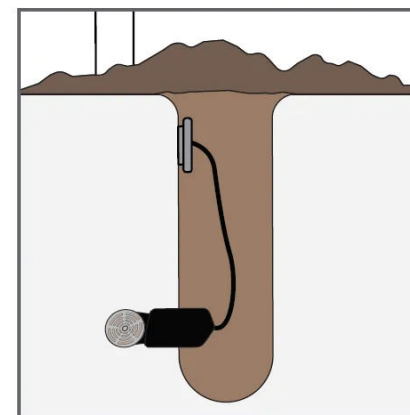
Instalación del sensor:

1.- Insertar sensor: Taladre o haga una zanja en un agujero hasta la profundidad deseada del sensor. Empaque tierra nativa alrededor del sensor para asegurar un buen contacto hidráulico. Inserte el sensor preempacado en la parte inferior del orificio.



2.- Conectar el sensor al nodo y comprobar su funcionamiento.

3.- Restituir el suelo y proteger los cables.



Sensores de Humedad del suelo (VWC): Tipología

Sensores de resistencia



Suelen utilizarse en jardinería y uso doméstico, ya que la precisión es bastante baja

Sensores de reactancia (electromagnéticos)

miden la permitividad (ϵ) del suelo

Calibración

VWC (%)

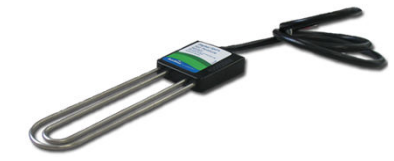
Sensor de refractometría en el dominio del tiempo (**TDR**)



Sensores de refractometría en el dominio de la frecuencia (**FDR**) o de capacitancia (**C**).



Sensores de transmisiometría en el dominio del tiempo (**TDT**)



Sensores de reflectometría en el dominio de la amplitud (**ADR**)/impedancia



Sensores de Humedad del suelo: Sensores electromagnéticos FDR

Sensores de refractometría en el dominio de la frecuencia (**FDR**) o de capacitancia (**C**):

- Miden la permitividad dieléctrica del suelo ϵ
- **Es el método más ampliamente empleado para medir VWC**
- Los sensores de capacitancia generalmente se fabrican como un par de agujas con ejes paralelos
- Al igual que los sensores de dominio de frecuencia y capacitancia, los sensores TDR deben tener un buen contacto con el suelo.
- Cualquier espacio de aire conducirá a mediciones erróneas (varillas: por eso se hacen cortas).
- **La permitividad varía con la CE y la temp. del suelo.** Es importante escoger un sensor con un rango amplio de tolerancia.

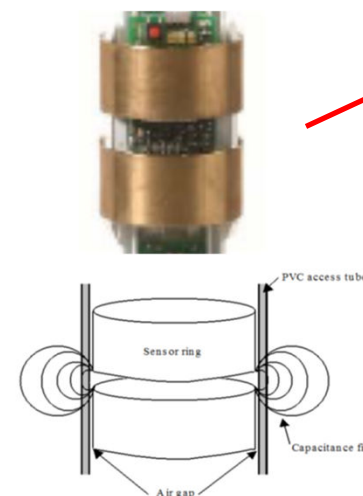
De varillas paralelas:

El sensor tiene un par de electrodos (agujas metálicas paralelas) y utiliza el suelo como su dieléctrico.



El volumen de medición de los sensores de capacitancia depende de la longitud de las varillas, cuya longitud oscila entre 5 cm y 10 cm. El campo de influencia está alrededor de 2 - 3 cm alrededor de las varillas.

De par de anillos metálicos unidos a lo largo de una tubería de PVC:



Están diseñados para tener múltiples sensores a lo largo de la tubería

Sensores de Humedad del suelo: Modelos comerciales más comunes y robustos:



Modelo: Teros-10
Empresa: Meter Group
(antigua Decagon)
Variables: Humedad (VWC)



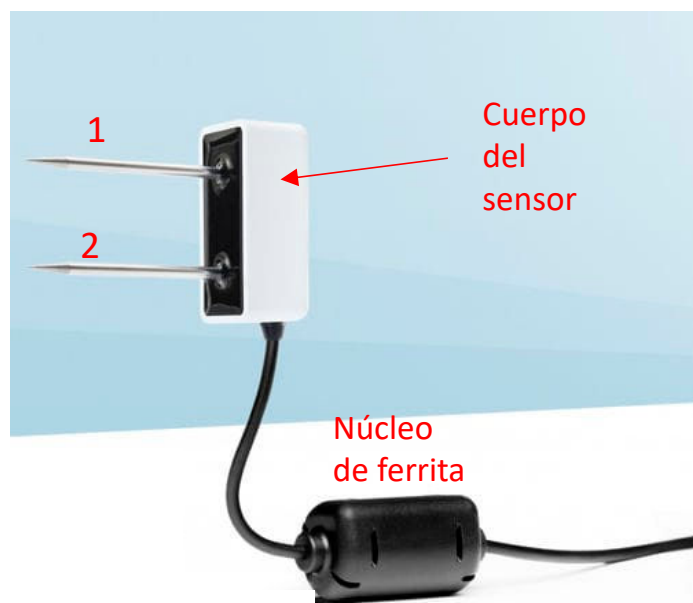
Modelo: Teros-12
Empresa: Meter Group
(antigua Decagon)
Variables: Humedad (VWC)
Temp. Suelo
E.C. Suelo



Modelo: Aquacheck
Empresa: Verdetech
Variables: Humedad (VWC)
Temp. Suelo
E.C. Suelo

Sensores de Humedad del suelo: Modelos comerciales:

Sensor de humedad: **Teros 10** de Meter Group (antigua Decagon)



Frecuencia de trabajo: 70 mHz

Accuracy: 0,03 m³/m³

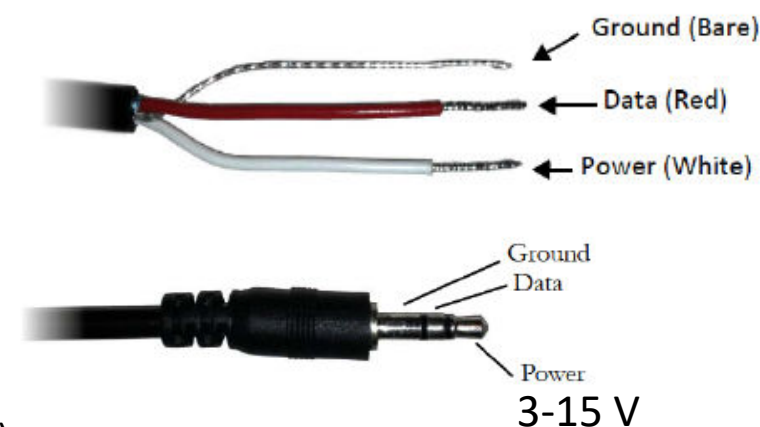
Resolución: 0,001 m³/m³ VWC

Alimentación: 3 a 15 Vcc

Output: 1,000 to 2,500 mV

Range: 0 a 57% VWC

Connector Types: 3,5 mm (stereo)



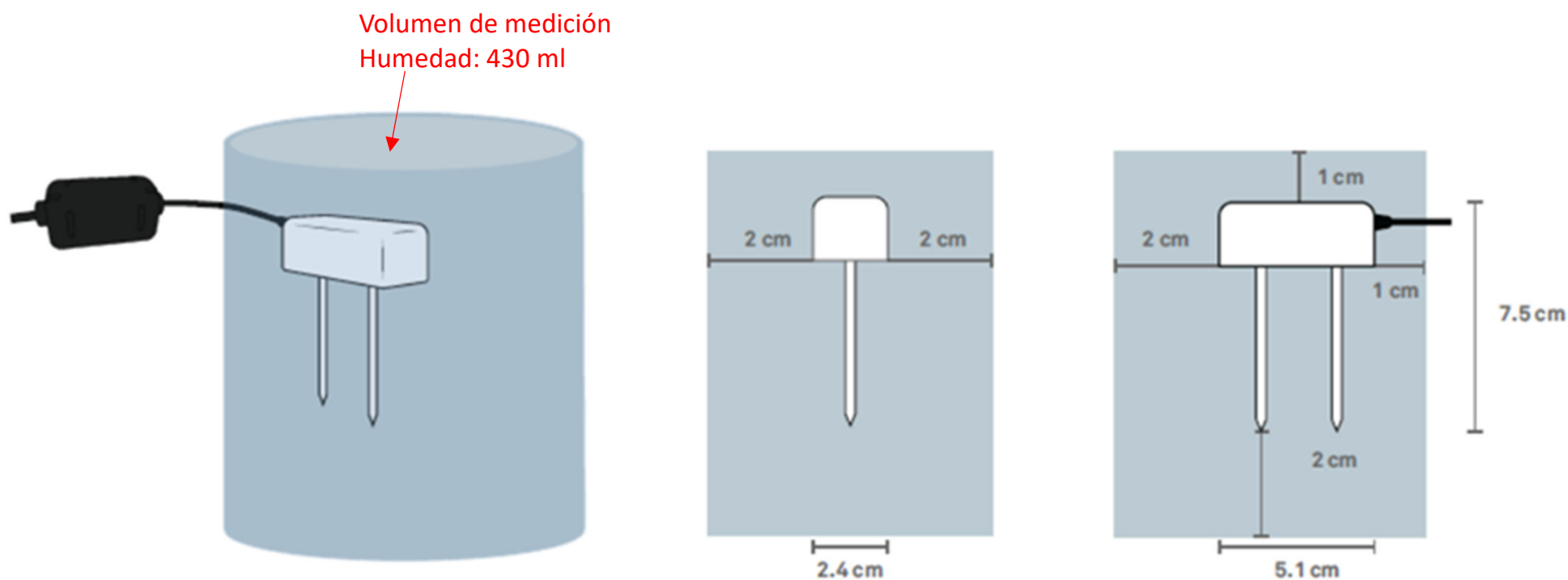
El valor de la humedad Θ (VWC) en función del valor suministrado en tensión (RAW) viene dado para la mayoría de los **suelos minerales** por la ecuación:

$$\Theta(\text{m}^3/\text{m}^3) = 1,895 \times 10^{-10} \times \text{RAW}^3 - 1,222 \times 10^{-6} \times \text{RAW}^2 + 2,855 \times 10^{-3} \times \text{RAW} - 2,154$$

Error absoluto: 0,03 m³/m³ cuando EC < 8dS/m

Sensores de Humedad del suelo: Modelos comerciales:

Sensor de humedad: **Teros 10** de Meter Group (antigua Decagon)



Esquema Volumen de influencia de la sonda

Sensores de Humedad del suelo: Modelos comerciales:

Sensor de humedad: **Teros 10** de Meter Group (antigua Decagon)

Instalación:



Instalación de los sensores verticalmente



Instalación de los sensores horizontalmente

Sensores de Humedad del suelo:

¿Hay agua suficiente en el suelo?

¿Qué contenido corresponde a capacidad de campo?

¿Qué contenido corresponde a Punto de Marchitez permanente?

Tabla:

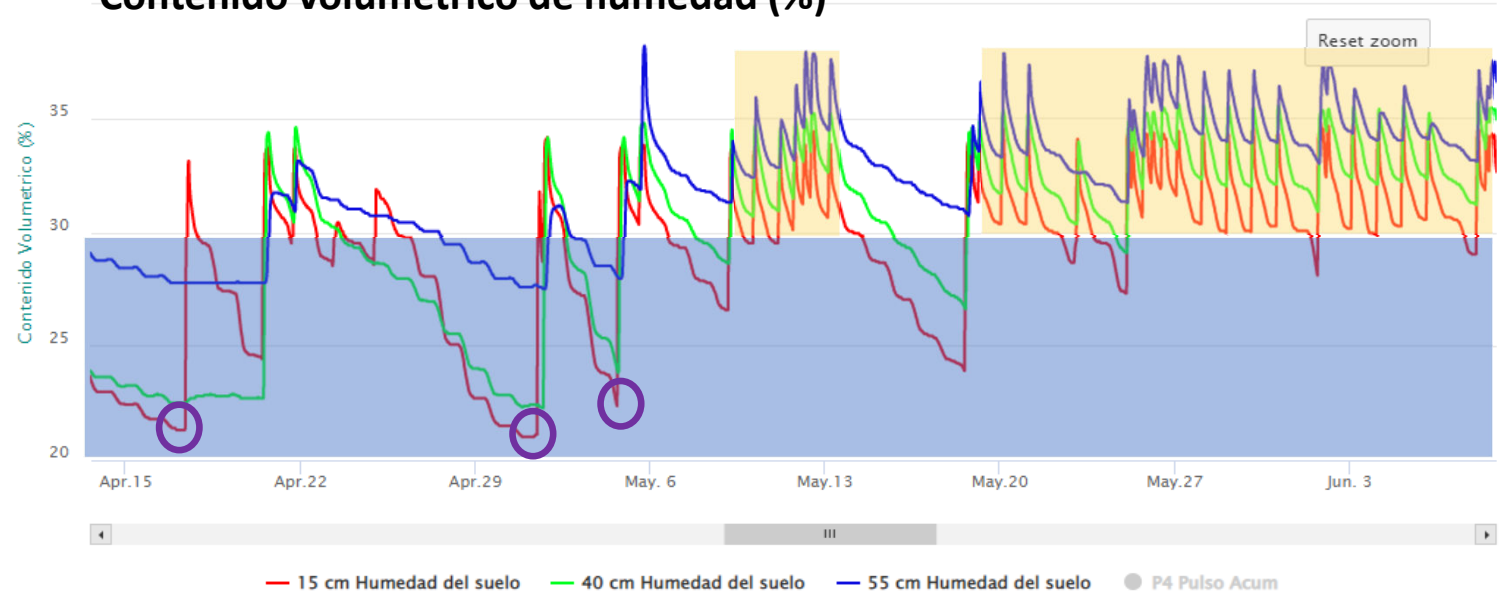
Valores orientativos de los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente para diferentes texturas del suelo.

Textura	VWC (CC) % Capacidad de campo	VWC (pmp) % Punto de marchitez permanente	CRAD % Capacidad de retención de agua disponible
Arena	15	6	9
Arena arcillosa	18	8	10
Marga arenosa	21	9	12
Marga	31	14	17
Franco Limoso	35	16	19
Marga arcillosa arenosa	29	14	15
Arcilla arenosa	33	16	19
Arcilla Franca	36	17	19
Franco arcilloso limoso	40	19	21
Arcilla limosa	40	19	21
Arcilla	44	22	22

Sensores de Humedad del suelo:

Contenido volumétrico de humedad (%)

Textura	CC (m ³ /m ³)	PMP (m ³ /m ³)
Arenoso	0,17	0,07
Arenoso Franco	0,19	0,10
Franco Arenoso	0,28	0,16
Franco	0,30	0,17
Franco Limoso	0,36	0,21
Limoso	0,36	0,22
Franco Arcilloso	0,37	0,24
Arcillo Limoso	0,42	0,29
Arcilloso	0,40	0,24



¿Hay agua suficiente en el suelo?

- : Intervalo de humedad disponible (IHD)
- : Muy próximo a PMP en 3 momentos.
- : Valores superiores a CC → riego no óptimo

¿Qué contenido corresponde a capacidad de campo?

0,30 m³/m³ = **30 %** Contenido volumétrico de humedad)

¿Qué contenido corresponde a Punto de Marchitez permanente?

0,17 m³/m³ = **17 %** Contenido volumétrico de humedad)

Sensores de Humedad del suelo:



Modelo: Teros-12

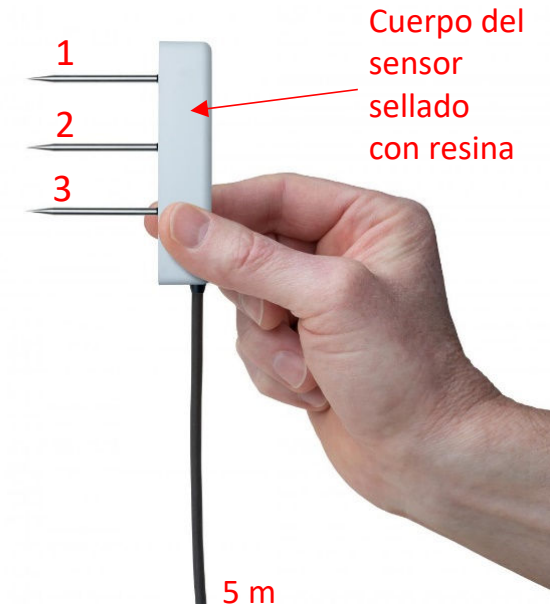
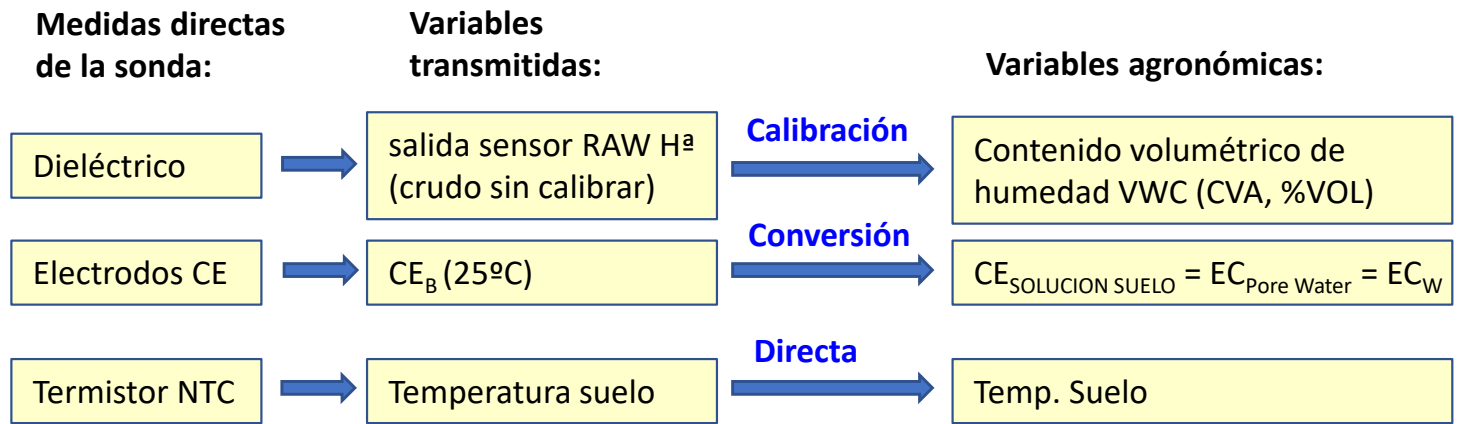
Empresa: Meter Group
(antigua Decagon)

Variables: Humedad (VWC)
Temp. Suelo
E.C. Suelo

Sonda Teros-12

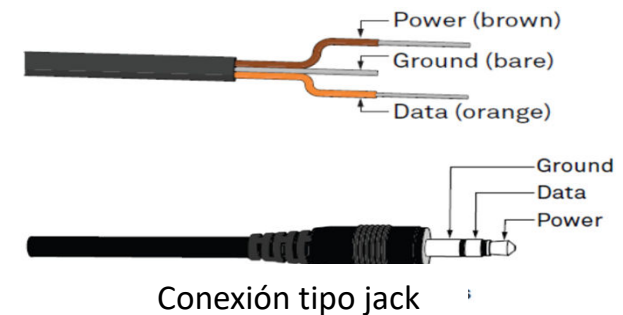
Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Teros 12** (para suelos y sustratos)



Tipo de señal de salida:

Salida SDI-12: **Raw humedad, CE_B (25°C) y Temp. Suelo**
 Conversor A/D 12 bits



Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Teros 12** (para suelos y sustratos)

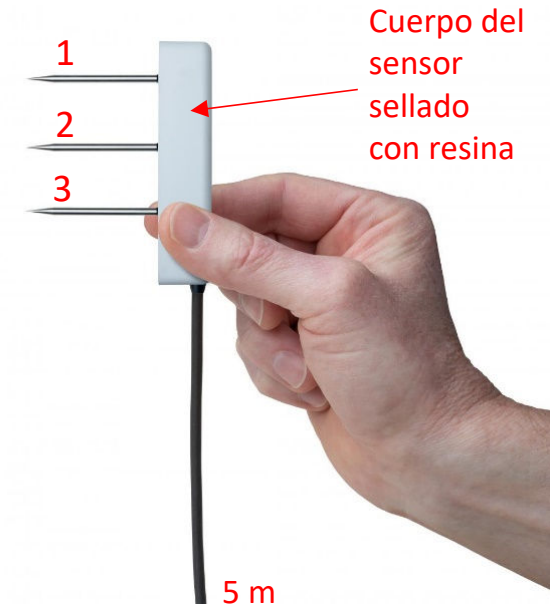
Variables transmitidas:

salida sensor RAW H^a
(crudo sin calibrar)

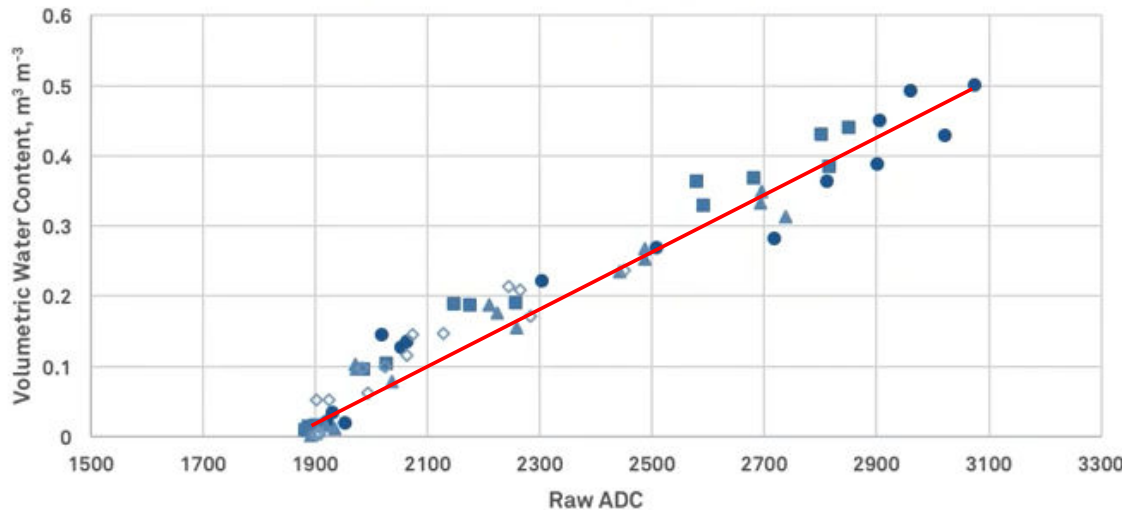
Calibración

Variables agronómicas:

Contenido volumétrico de humedad VWC (% Volumen)



- Calibración de suelos minerales:



$$\Theta \text{ (m}^3\text{/m}^3\text{)} = 3,879 \times 10^{-4} \text{ RAW} - 0,6956$$

Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Teros 12** (para suelos y sustratos)

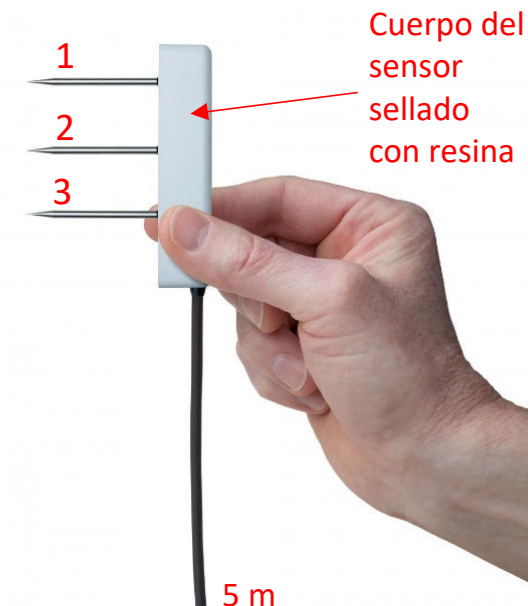
Variables transmitidas:

salida sensor RAW H^a
(crudo sin calibrar)

Calibración

Variables agronómicas:

Contenido volumétrico de humedad VWC (% Volumen)



- Calibración de suelos minerales:

$$\Theta \text{ (m}^3\text{/m}^3\text{)} = 3,879 \times 10^{-4} \text{ RAW} - 0,6956$$

Error absoluto: 0,03 m³/m³ cuando EC < 8dS/m

Para la mayoría de los suelos

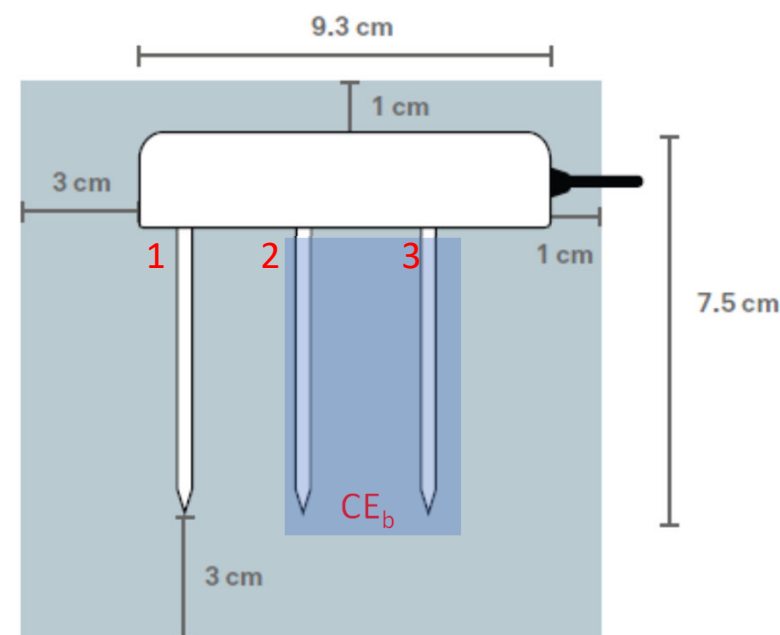
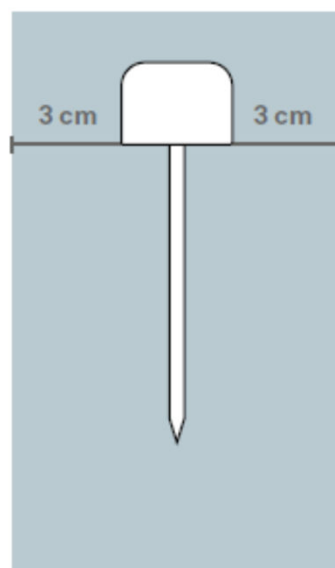
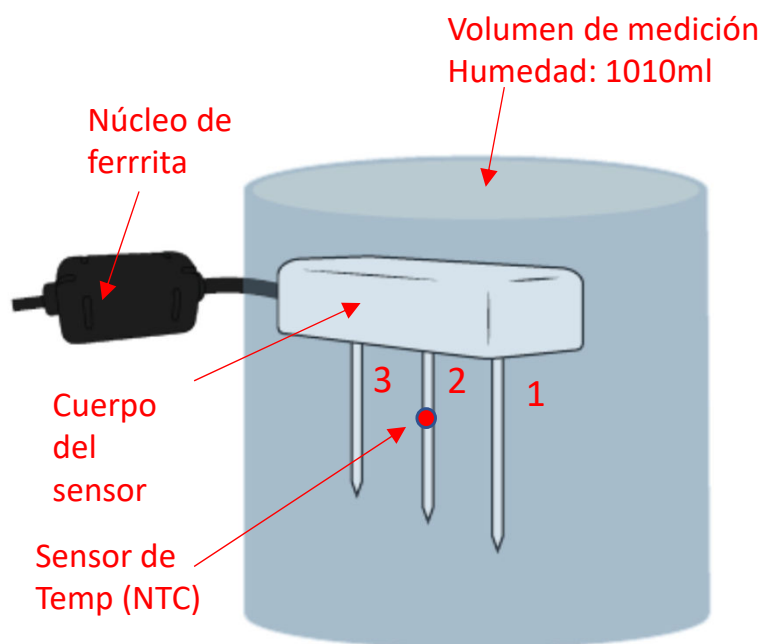
- Calibración de sustratos soiless (mezclas perlita y turba):

$$\Theta \text{ (m}^3\text{/m}^3\text{)} = 6,771 \times 10^{-10} \text{ RAW}^3 - 5,105 \times 10^{-6} \text{ RAW}^2 + 1,302 \times 10^{-2} \text{ RAW} - 10,848$$

Error absoluto: 0,05 m³/m³ cuando EC < 8dS/m

Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Teros 12** (para suelos y sustratos)



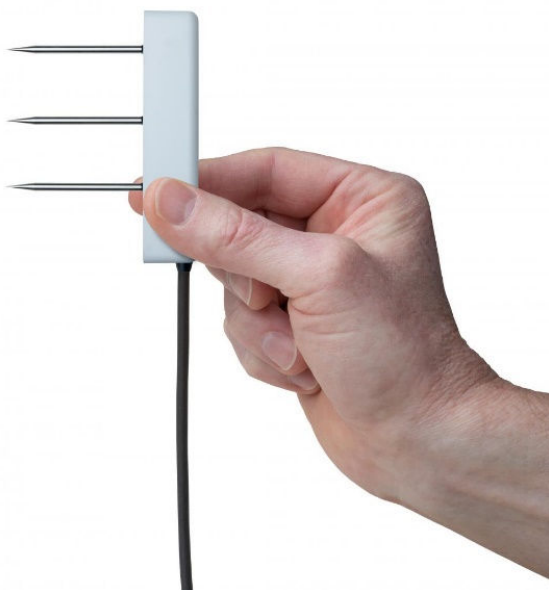
Antiguo sensor GS3
Vol: 160 mL



- Necesidades de alimentación muy bajas.
- Instalación sencilla a cualquier profundidad.
- Las puntas de la sonda son de acero inoxidable y están muy afiladas lo que facilita la instalación, incluso en suelos duros.
- Medidas reales del perfil del suelo.

Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Teros 12** (para suelos y sustratos)



- **Duración de la sonda 10 años.**
- Volumen de medición: 1010 ml.
- Alimentación: de 4,0 a 15 Vdc.
- Consumo: 0,03 mA en reposo, 3,6 mA durante la medición (25 ms)
- Salida sensor: Comunicación serie DDI o SDI-12
- Humedad de suelo: Contenido volumétrico de agua (VWC)
 - Método de medición: Capacitivo
 - Frecuencia de Medida Dieléctrica: 70 MHz
 - Rango de medida: de 0,00 a 0,70 m³/m³ en suelos minerales
 - Volumen de medición: 1010 mL
 - Precisión: ± 0,030 m³/m³ (±3%) típicamente desde 0 a 50°C;
 - Resolución: 0,001 m³/m³ (0,1%)
- Temperatura:
 - Rango de medición: - 40 a 60°C
 - Precisión: ± 1°C de - 40 to 0°C; ± 0,3°C de 0 a 60°C
 - Resolución: 0,1°C
- Conductividad eléctrica (CEa)
 - Rango de medición: de 0 a 20 dS/m (bulk)
 - Precisión: ± 5% de 0 a 10 dS/m; ± 8% de 10 a 20 dS/m
 - Resolución 0.001 dS/m

Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Teros 12** (para suelos y sustratos)

Zanja para enterrar el cable del sensor



Profundidad:
15, 30, 45 cm.

Sensores de Humedad del suelo:



Modelo: Aquacheck

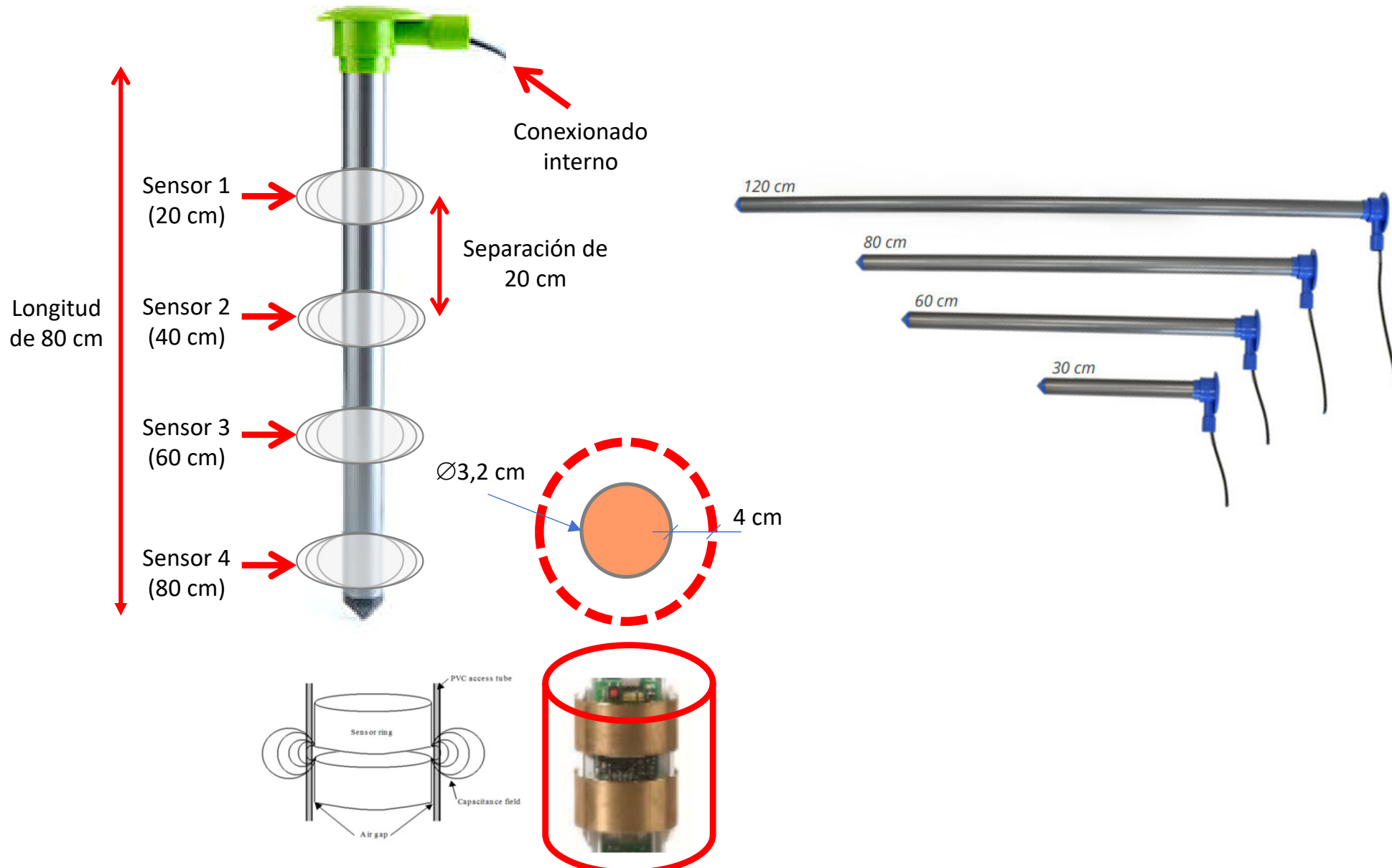
Empresa: Aquacheck

Variables: Humedad (VWC)
Temp. Suelo
E.C. Suelo

Sonda Aquacheck

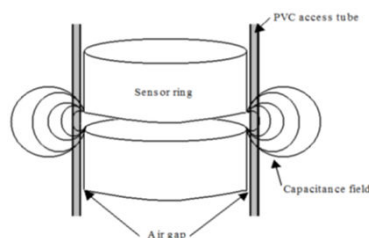
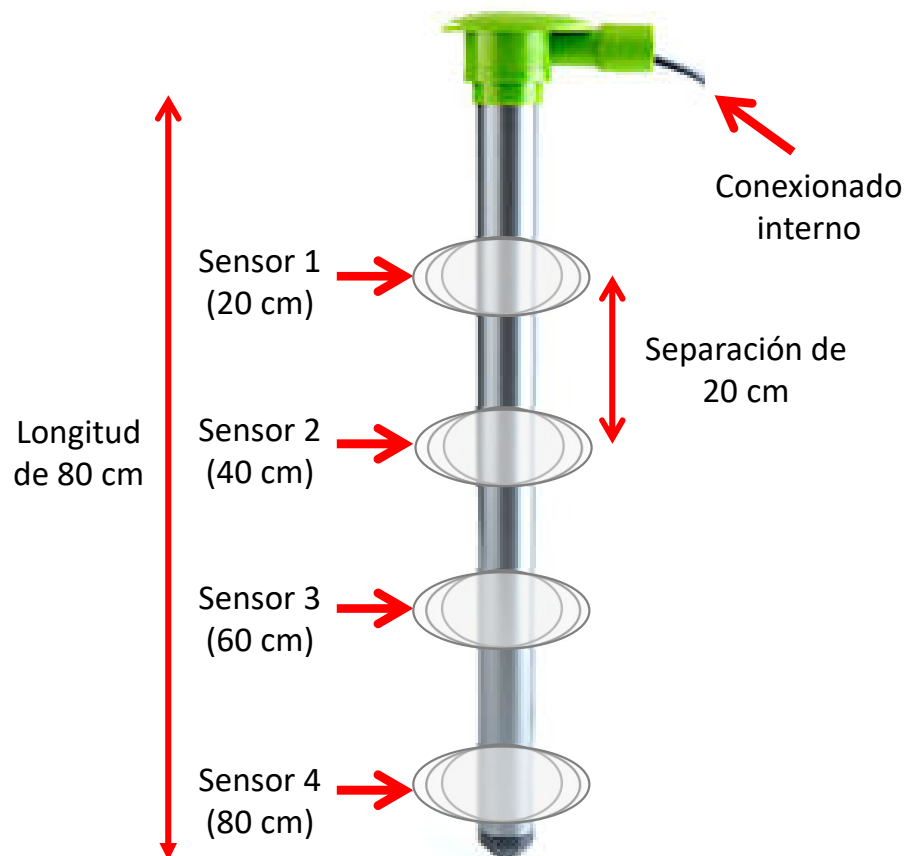
Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Aquacheck**



Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Aquacheck**



Especificaciones generales:

- Medida de la humedad por capacitancia.
- Diámetro uniforme de 32 mm.
- Longitudes disponibles de las sondas de 20 a 150 cm
- Hasta 12 sensores de h^a y temp.
- Certificación normativa: CE, FCC .

Especificaciones técnicas

- Voltaje alimentación: 4 a 14 Vdc
- Longitud del cable: 6 m. Nº de hilos: 3 hilos de 0,5 mm²
- Consumo: 20 mA durante la medida que dura 2 sg; 10µA (0,01mA) durante inactividad.
- Señal de salida: SDI-12 (1200 bds), MODBUS RTU (2400 bds)
- Espaciamiento sensores: cada 10 cm o 20 cm
- Resolución de la medida 13 bits
- **Temperatura:** Rango: 0 a 51°C
Precisión: 0,2°C
- **Humedad (VWC) :** de seco a saturación (0 a 100%)

Sensores de Humedad del suelo:

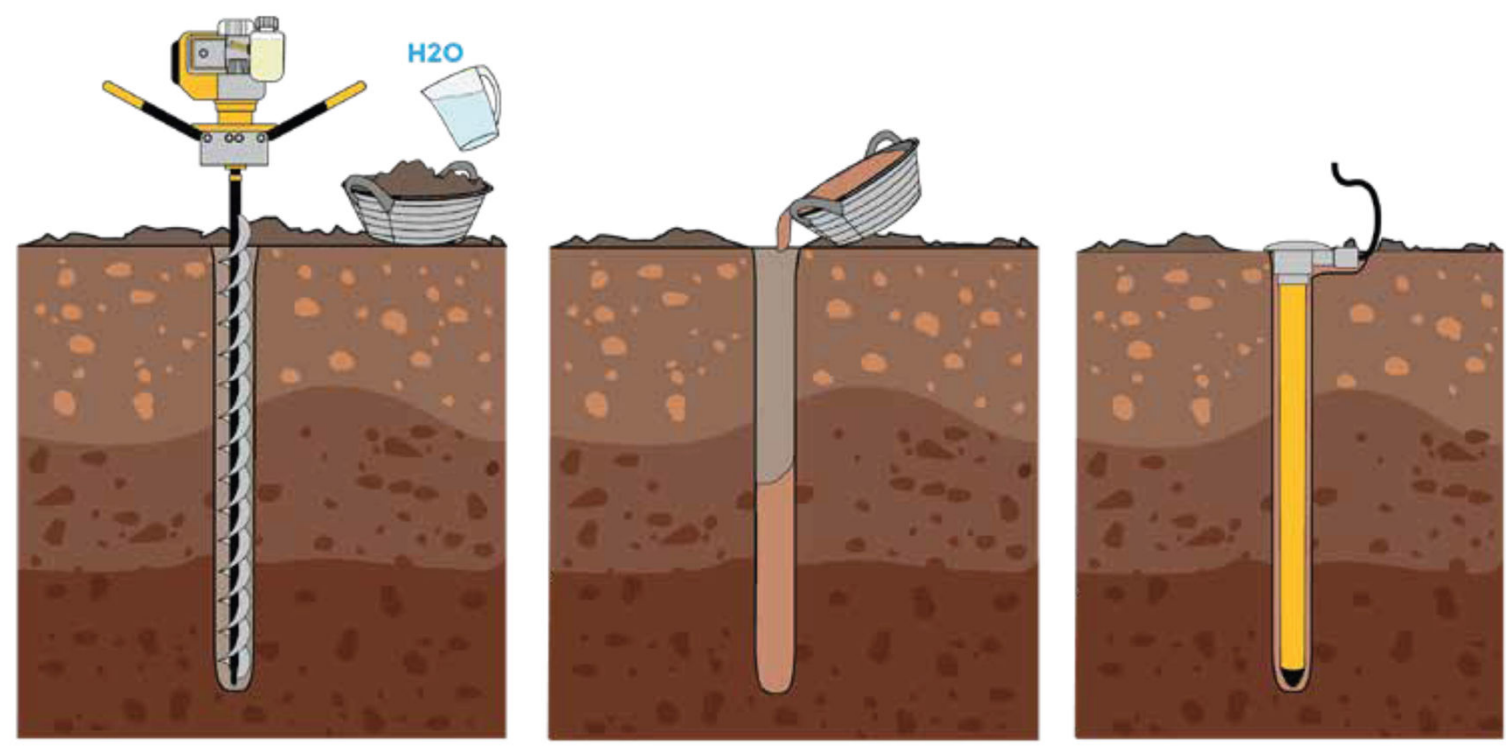
Sensor de humedad, temperatura y CE: **Aquacheck**



Sensores de Humedad del suelo:

Sensor de humedad, temperatura y CE: **Aquacheck**

Instalación: Recordar que el volumen de tierra en contacto con el sensor, es el que tiene la mayor influencia sobre la lectura de este.



Hacer un agujero en el terreno lo más vertical posible en el punto donde se desea instalar la sonda (32 mm). Después de hacer el agujero, preparar un lodo líquido con la tierra extraída de la perforación.

Verter la mezcla en el orificio.

Insertar el sensor en el orificio hasta que la caja de conexiones quede a nivel del suelo, sin retirar el lodo que sobresale.

Sensores de Ambiente

Estos sensores son los utilizados tradicionalmente para realizar la programación de riegos por volumen



- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Presión relativa
- Radiación
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Pluviómetro

Sensores de Ambiente



Programación del riego tradicional

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

K_c : coeficiente cultivo (estado fenológico)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Penman – Monteith

$$NH_n = ET_c - PE$$

PE: precipitación efectiva

$$FL = CE_a / (2 CE_{e_{max}})$$

FL: fracción de lavado (tanto por uno)

CE_a : C.E. del agua de riego (dS/m)

$CE_{e_{max}}$: conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para la cual el descenso de producción es del 100% (dS/m)

$$NR_b = NH_n / (1 - FL) \times E_a$$

NR_b: necesidades brutas de riego

E_a : eficiencia aplicación (riego por goteo 90%)

MUCHAS GRACIAS !!!!!

- *MUITO OBRIGADO !!!*
- *THANK YOU VERY MUCH !!!*
- *MERCI BEAUCOUP !!!*
- *DANKE SCHÖN !!!*

