

N^o 20
10920
Francisco Martín Thiele



Instrumentos Científicos para la Agricultura Protegida



APB-112

N 20
10920
c.1

#00 7556.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

631.58
M337-i Marín Thiele, Francisco (editor)
Instrumentos científicos para la agricultura protegida /
Francisco Marín Thiele y Francisco Rivas Zúñiga – San José:
MAG/CNP/FITTACORI, 2017.
88 p.

ISBN 978-9968-877-94-7

1. CULTIVO PROTEGIDO 2. EQUIPO. I. Costa Rica.
Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional
Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos.
II. Rivas Zúñiga, Francisco. III. Título.

-- NOV. 2017



Comité de revisión

- Carlos Benavides León, Asesor Independiente
- Gabriela Carmona Alfaro, FITTACORI-Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Guillermo Guzmán Díaz, SUNII- Ministerio de Agricultura y Ganadería
- José David Rojas Fernández, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica

Empresas participantes (Costa Rica)

- Adrián Vargas Obando, Netafim
- Álvaro Arias Mora, LAPACA S.A.
- Francisco Rivas Zúñiga, IngPlantae
- Gerli Ramírez Ruiz, Hanna Instruments
- Ricardo Aguilar Díaz, Campbell Scientific

Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización de los autores

Portada colaboración del Área de Desarrollo de Mercados del
Consejo Nacional de Producción

La mención de empresas o productos no es una recomendación comercial
ni refleja propuesta acerca de las empresas, la calidad o el uso de los instrumentos señalados

ÍNDICE

I.	Sobre el contenido del documento	5
II.	El uso de instrumentos científicos en la Agricultura Protegida	7
	Equipamiento científico	9
	Necesidad de inversión en tecnología	12
	Literatura citada	15
III.	Los instrumentos de medición	16
	¿Qué es un instrumento de medición?	17
	¿Cómo elegir el instrumento electrónico apropiado?	21
	A. Características estáticas	21
	B. Características dinámicas	25
	Consideraciones sobre instalación del instrumento electrónico	31
	A. Características eléctricas	31
	B. Características ambientales y de confiabilidad	37
	C. Características mecánicas	38
	Tipos de sensores	40
	A. Sensores de temperatura	40
	B. Sensores de humedad relativa	41
	C. Sensores de radiación	42
	D. Sensores de velocidad y dirección del viento	43
	E. Sensores de lluvia	44
	F. Sensores de humedad en el suelo	45
	G. Sensores relacionados con desarrollo y fisiología de los culivos	50

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Literatura citada	56
IV. Fichas técnicas de algunos instrumentos electrónicos de medición	58
3.1 Equipo multiparámetro de bolsillo	59
3.2 Sensor conductivímetro para líquidos.....	60
3.3 Mini controlador de conductividad eléctrica	61
3.4 Mini controlador de pH	62
3.5 Radiómetro infrarrojo	63
3.6 Medidor portátil de luz	64
3.7 Medidor portátil de luz PAR	65
3.8 Sensor d luz PAR.....	66
3.9 Medidor de clorofila	67
3.10 Ceptómetro	68
3.11 Lector de flujo de savia	69
3.12 Sicrometro de tallo	70
3.13 Sensor de humedad de hoja	71
3.14 Medidor de oxígeno disuelto	72
3.15 Sensor de tensión de suelo.....	73
3.16 Sensor de contenido de humedad	74
3.17 Sensor de humedad en suelo	75
3.18 Sensor digital de humedad TDR	76
3.19 Sensor para agua en suelo con computador de mano	77
3.20 Sensor de potencial hídrico	78
3.21 Medidores colorimétricos portátiles	79
3.22 Sensor para sólidos solubles	81
3.23 Sensor para velocidad de viento.....	82
3.24 Sensor para medir CO ₂	83
3.25 Estación para evapotranspiración	84
3.26 Estación climática de uso general.....	84
3.27 Estación meteorológica para investigación	85
3.28 Registro de datos	86
3.29 Sistema de monitoreo	87

SOBRE EL CONTENIDO DEL DOCUMENTO

Este aporte está diseñado para llamar la atención acerca de la necesidad de hacer más competitiva la actividad de producción agrícola protegida, mediante el uso de instrumentos que permitan al técnico y al productor, una noción más precisa de lo que sucede en el entorno de los cultivos.

Para ello, es importante tener claro que los instrumentos electrónicos de medición son una necesidad más que un simple gasto, o un lujo. Son herramientas vitales como cualquier otro insumo dentro del sistema productivo, a las cuales hay que dar un uso apropiado, debido mantenimiento y observar la extensión de su vida útil.

El presente folleto pretende apoyar la gestión de los usuarios al brindar información técnica básica no solo sobre el tema, sino sobre el funcionamiento de los instrumentos. Está dividido en tres secciones. En primer lugar, una breve introducción, que se espera sea motivadora para aclarar la importancia de estas herramientas; pretende inducir a técnicos y productores en el uso de equipo en las actividades productivas, iniciando con equipos sencillos y de bajo costo y avanzando conforme el productor vea la necesidad de incorporar nuevas variables (información) en su rutina de trabajo, que aseguren mayores ingresos mediante un manejo más apropiado de su actividad. Los instrumentos pueden variar en su complejidad y por tanto, en su costo. Los habrá tan sencillos como para medir un solo fenómeno, o con múltiples sensores para construir un panorama más amplio de las condiciones del entorno. La necesidad de inversión estará dada por la importancia de las diferentes variables por medir, la naturaleza del negocio y la capacidad económica; pero es importante iniciar el registro de datos para darse cuenta incluso de las bondades que este tipo de inversión puede llevar al productor.

La segunda sección ilustra sobre los principios que rigen el diseño y funcionamiento de estos aparatos (su ingeniería), ya que es importante conocer algunos de los elementos sobre su construcción y operación. Por simples que parezcan, los equipos son resultado de avances en la tecnología y requieren aptitud para su manejo y conocimiento sobre su uso prudente y cuidados especiales. La posibilidad de almacenar o transmitir información varía en unos y otros, aunque sea a veces suficiente una lectura inmediata en el lugar de trabajo, para enmendar o corregir una acción en el proceso. Para esto, se describirán las formas en que se miden las variables, cómo se calculan y expresan los datos, la sensibilidad y la precisión, la alimentación de energía, tipos de sensores, su clasificación y su construcción, así como características técnicas. Esta información será de mucho interés para quienes están cerca de estas herramientas y puede despertar la curiosidad y facilitar entender las razones para un uso adecuado en tiempo y espacio.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Y, finalmente, dado que existe gran cantidad de instrumentos, se presenta un grupo de veintinueve fichas técnicas con instrumentos y sensores para distintos usos, aparatos simples (un solo parámetro) o más complejos (multifunción o multiparámetro). Para esto, se ha contado con el apoyo de cuatro empresas, representantes locales de las industrias que producen este tipo de equipos, cuyo interés fue apoyar al Programa ProNAP y sus usuarios, en esta gestión. Las fichas se hayan desligadas de las empresas por tratarse de un documento de referencia y tener claro que no es esta una gestión de interés comercial. También debe quedar claro que no se pretende recomendar a alguna de las empresas o la compra de alguno de los equipos; todas son empresas serias que han aportado para llevar al lector información de alta calidad. Y hay más empresas y más equipos y variantes, que por razones de espacio y la naturaleza de este documento no se han podido incluir, pero que pueden consultarse en busca de la mejor selección de los instrumentos.

Como se verá, las fichas de cada equipo contienen información general sobre las variables por medir y las unidades de medición, los modelos de transmisión de datos, requerimientos para dotarlos de energía, mantenimiento, uso y la importancia de la información que se genere.

Se espera que este esfuerzo pueda servir para llamar la atención acerca de la necesidad de utilizar instrumentos de medición, tanto como para ilustrar sobre las alternativas, especificaciones y necesidades de un sistema de producción que debe ser preciso, no solo en el ámbito de manejo de cultivos sino en la gestión integral y la mejora de los ingresos del productor.

FMT

EL USO DE INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS EN LA AGRICULTURA PROTEGIDA¹

La agricultura protegida (AP) es un sistema alternativo de producción que genera interés entre los productores debido entre otras razones, a sus capacidades para mejorar el uso del área, reducir el empleo de sustancias plaguicidas y, principalmente, debido a la posibilidad de proteger a los cultivos de las fuertes lluvias, vientos e intensa radiación, aspectos del clima que dificultan en grado importante la producción.

Este sistema sin embargo, no representa una solución ante todos los requerimientos del productor ni del cultivo. Su correcta utilización depende del conocimiento de una serie de variables que han establecido las bases para el diseño, manejo y mantenimiento de la estructura, así como de las condiciones climáticas de la zona para seleccionar los cultivos por desarrollar de acuerdo con sus requerimientos fisiológicos. No sobra indicar que las oportunidades de mercado, juegan un importante papel para definir la utilidad del proyecto.

La agricultura protegida, indistintamente de la escala de producción y el sistema constructivo, debe considerarse como agricultura de precisión, más aún cuando al cultivo se le ha apartado de varios de los elementos naturales que permiten su “normal” desarrollo, o bien cuando se trata de genética especializada. Entre más aislado se encuentre el cultivo de las condiciones naturales, mayor responsabilidad tiene el productor para con él por suministrarle los requerimientos para su buen desarrollo.

La realidad sin embargo, es otra. Gran cantidad de deficiencias se observan en el campo, ocasionadas por la carencia de datos, que permita la apropiada preparación del proyecto productivo. El sentido común, para ser correctamente ejecutado, debe acompañarse con conocimiento acerca de las variables del entorno geográfico, las condiciones climáticas, los cultivos susceptibles de desarrollar, los materiales de cerramiento, herramientas de producción (agua, nutrimentos, sustratos ideales o accesibles, disponibilidad de fitosanitarios naturales o de síntesis) y otros aspectos involucrados.

Conflictos en la aplicación de la tecnología como desconocimiento sobre estructuras, materiales de cerramiento, termodinámica, clima o fisiología de cultivos, son frecuentes; y todos ellos se fundamentan en la carencia de eventos de medición de variables que afectan al sistema. Las referencias obtenidas en la literatura científica, por lo general deben entenderse como guías de trabajo o comprensión de un fenómeno, mas no como recomendaciones puntuales para la aplicación de valores.

¹ Francisco Marín-Thiele, Ingeniero Agrónomo, Gerente de ProNAP. Convenio CNP-MAG.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Es allí donde se vuelve vital conocer no solo la magnitud sino el comportamiento *in situ* de las variables que afectan la termodinámica, la producción y el desempeño general de los cultivos.

Benavides y colaboradores (2016) mostraron la importancia de conocer el comportamiento de variables como temperatura y humedad relativa, para determinar la viabilidad de desarrollar una especie bajo protección. Empleando los registros de la unidad productiva y la referencia técnica acerca de requerimientos de los cultivos (figura 1.1), se facilita la comprensión acerca de la respuesta de las plantas (en caso de estar ya sembradas) o bien determinar las especies vegetales de mejor adaptación para lograr que los esfuerzos del productor aseguren los resultados esperados. Cuando una estructura ya está construida, la información influye en la forma en que se interpreta y maneja la agronomía de cultivo, así como sobre la necesidad de ajustes estructurales, dentro de lo cual estaría considerada la adaptación con otros materiales de cerramiento, hasta el rediseño completo del proyecto. Ideal es por supuesto, que las variables sean valoradas previamente para reducir los peligros intrínsecos de mal ajuste termodinámico.

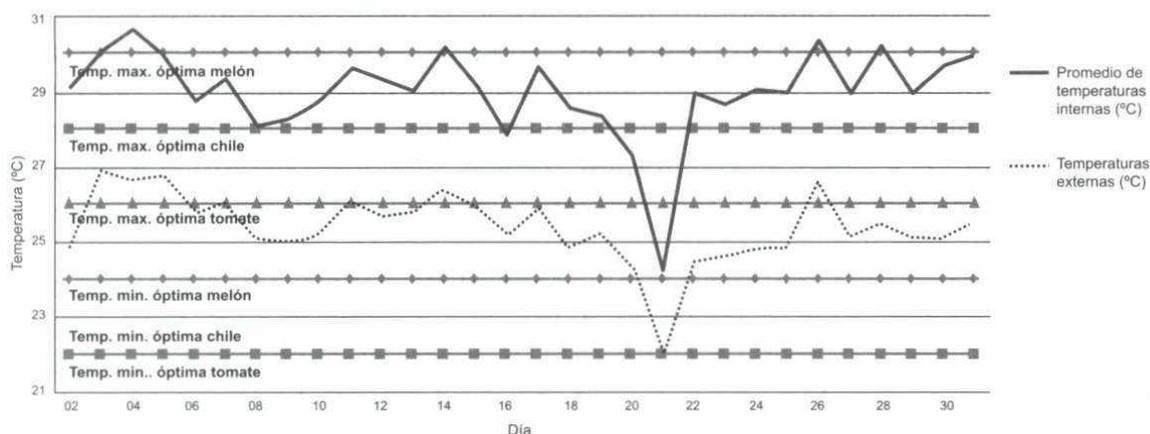


Figura 1.1. Comportamiento de temperaturas en una estructura tipo invernadero en un periodo definido y requerimientos térmicos teóricos de tres cultivos. Con base en los resultados obtenidos por López y Benavides, 2014. En: Benavides et al. (2016).

Así las cosas, Méndez y Marín (2015) señalaron que el concepto de agricultura protegida considera no solamente la infraestructura productiva, sino todo el agroecosistema (de por sí alterado) y las obras y acciones complementarias requeridas para cumplir con las demandas del sistema intensivo de producción. Los autores mencionados, concluyeron que es común que el desconocimiento sobre el tema de agricultura protegida, cree obstáculos y limitaciones para el desarrollo de esta actividad. Ello se evidencia por ejemplo, en la heterogeneidad de criterios para construir indicadores de gestión institucional y en las fallidas aplicaciones de los principios de la termodinámica, indistintamente de la escala o de la complejidad tecnológica que se aplique.

EL EQUIPAMIENTO CIENTÍFICO

De lo señalado con anterioridad, se extrae que hay una significativa carencia en el saber sobre los valores de los componentes que afectan el desarrollo de los cultivos. Y por tanto, el triunvirato entre el ambiente, el medio de cultivo y la genética, no es comprendido con suficiencia; y la actividad por tanto, no es lo eficaz que se requiere. Consideraría para explicar esto, una serie de hechos mediante los que se ha sacrificado la precisión. La agricultura de aproximación era en buena medida el enfoque de estudio; y hay en la cultura un aparente rechazo por invertir en herramientas científicas –equipo- que apoyen la toma de decisiones fundamentada. Así mismo, en algún momento, el alto costo y la falta de equipos fuera del laboratorio, limitaban la intención de actuar de los técnicos.

En el censo de agricultura protegida en 2008 (Marín, 2010), se establecieron algunas consultas a los productores para tratar de evidenciar lo indicado. Es notorio en el cuadro 1.1, que la baja frecuencia de uso de, por ejemplo, un termómetro básico, es señal que no es clara la necesidad de monitorear los valores en la temperatura en los proyectos, o bien desconocimiento acerca de la importancia de ese registro para explicar la respuesta de los cultivos y establecer estrategias de mejora. Más aún, una mínima parte de esas respuestas incluiría tal vez un termógrafo, en proyectos de magnitud importante o para la exportación, tal que las fluctuaciones y el comportamiento estacional tampoco podrían ser referidos.

Cuadro 1.1. Presencia de algunos equipos como indicadores de gestión del clima en estructuras de agricultura protegida (en porcentaje de fincas visitadas). Costa Rica, 2010.

Equipo	%
Estaciones meteorológicas	2,04
Pantalla termo-reflectiva	0,58
Sensor de conductividad	4,09
Sensor de CO ₂	0,73
Termómetros	12,16
Ventiladores	5,4

Fuente, Marín, 2010.

Sin menoscabo de la naturaleza o complejidad de las estructuras productivas, esto es, sin importar si se trata de techitos tomateros o de un módulo industrial de tipo invernadero (figura 1.2), es necesario contar con herramientas de medición, que deben estar asociadas inicialmente con las posibilidades económicas del productor, tanto como con las variables de mayor peso en la actividad.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Estas herramientas le facilitarán al productor, comprender las relaciones entre los valores medidos y la fisiología o respuesta de un cultivo; por ejemplo cómo la alta conductividad eléctrica se relaciona con menor vitalidad de los pelos absorbentes de las raíces y poca absorción de nutrientes, o que bajas humedades relativas y altas temperaturas podrían causar aborto floral, o bien que excesos de radiación solar pueden inducir mayor crecimiento vegetativo pero disminuir la fase reproductiva.



Figura 1.2. Sistemas de producción agrícola protegida comunes en Costa Rica. Arriba. A-techitos para solanáceas y B- sistema rústico a dos aguas en madera; abajo: C- casa de sombra y D- invernadero industrial. Fotos del autor.

En el trópico, la temperatura es tal vez de las variables climáticas más importantes y se debe asegurar el conocimiento sobre su magnitud, los máximos y mínimos, estacionalidad y la temporalidad. Esto permitiría por ejemplo, conocer periodos críticos para el cultivo y las posibilidades de calendarización, proponer estrategias de riego y nutrición para aprovechar mejor los recursos, reducir el estrés de las plantas y seleccionar materiales genéticos aptos. Los datos podrían provenir de alguna estación meteorológica cercana, pero los microclimas son tan diversos en nuestro país que incluso ello podría incidir sobre la selección de la estructura (Méndez y Marín, 2015), tal como la necesidad de transmitir radiación o porosidad de los materiales de

cerramiento, la altura de los módulos, la necesidad de mallas termo-reflejantes, requerimientos de ventilación activa o pasiva y otras. La variedad de equipos es abundante y también debe existir correspondencia entre su complejidad, la escala del proyecto, las posibilidades de inversión en equipos y la evaluación e interpretación de los datos obtenidos.

Es de suponer además, que una variable interactúa con otras y, por ello, un solo instrumento no es suficiente para conocer y valorar el entorno, aunque el inicio es una buena oportunidad para darse cuenta de esto (figura 1.3). De manera que al termómetro habrá que acompañarlo con un medidor de humedad relativa, o de velocidad del viento u otros. Lo verdaderamente importante es iniciar una gestión de conocimiento sobre el medio en el cual se trabaja para poder explicar las respuestas de las plantas.

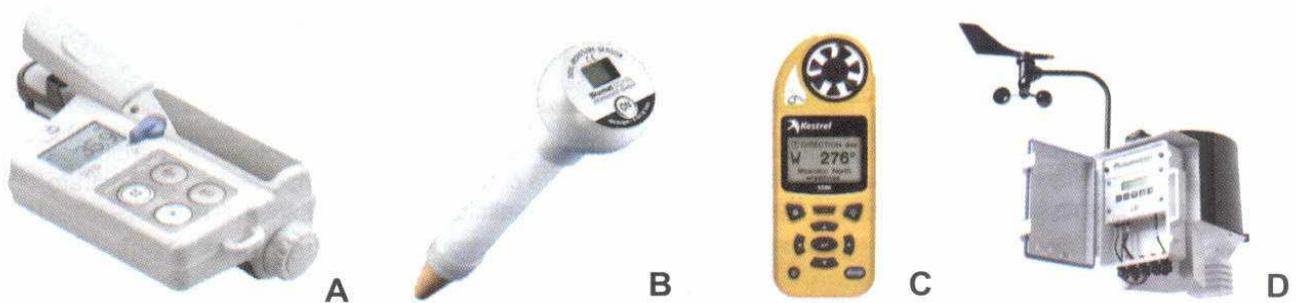


Figura 1.3. Dos instrumentos uniparámetro: A-medidor de clorofila y B-tensiómetro; instrumentos multiparámetro para medición de variables de clima (C-manual y D-estacionario). Imágenes libres de Internet

En la figura 1.4, se observan algunas referencias sobre este asunto. Como ejemplo, el ápice poco turgente de una planta de tomate, en un módulo productivo con sustrato y ferti-irrigación, a las 9 de la mañana. Es muy probable que el exceso de radiación provocado por el uso de techos de policarbonato, indujera una importante elevación de la temperatura y estrés en el cultivo, pese a suficiente humedad en el sustrato. No hubo registros mínimos como para poder ofrecer una explicación más precisa o ilustrar al usuario acerca del caso, pero un productor podría llevar un registro de máximas y mínimas con un termómetro de bajo costo.

Hay casos en que, a falta de un “sencillo” conductímetro, se han dado inversiones innecesarias. Por ejemplo, Hernández (2016) evaluó la eficacia de la decisión tomada por un pequeño productor acerca del cambio de un sustrato. Las plantas comenzaron a expresar problemas de cuello del tallo, susceptibilidad a insectos, marchitez y muerte en corto plazo (figura 1.5). La suposición del agotamiento y contaminación del sustrato para producir, llevó a tomar la decisión de sustituirlo por otro, para el cual la respuesta fue la misma. Se estimó que las altas y sostenidas conductividades de ambos, provocadas

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

tal vez por la acumulación de sales en el fertirriego (sustrato inicial) o baja calidad del material contratado (sustrato de cambio), fueron las causantes de los conflictos. El resultado fue una inversión de 5 veces el costo de un conductímetro de mano, más el costo implícito de equilibrar las variables abióticas y bióticas del sistema, el costo de las plantas falladas y el costo de oportunidad por no-ventas.

Innumerables casos hay en los cuales podrán hacerse reflexiones similares. En la mayoría, el registro de algunas variables podría haber dado la información suficiente para orientar en la mejora del sistema.



Figura 1.4. Estrés en las plantas producido por desequilibrios de las condiciones abióticas; A- pérdida de turgencia por mal manejo de agua de la planta; B- efecto de alta conductividad y temperatura en el sustrato y C- poda por problemas en follaje por aumento temporal en la salinidad. Fotos del autor.



Figura 1.5 Muerte paulina de plantas por altos valores de salinidad (alta conductividad eléctrica) en el sustrato. Foto del autor.

NECESIDADES DE INVERSIÓN EN TECNOLOGÍA

Hay una abundante oferta de instrumentos electrónicos de medición, registro y procesamiento de datos en el mercado. Sin embargo, debe tenerse claro que su selección y uso, deben estar regidos por las necesidades del sistema productivo. Existen instrumentos que registran información en “tiempo real”, que permiten asociar el valor registrado con un momento o acto específicos. Tal es el caso cuando es requerida la confirmación de acidez del agua, conductividad de la solución fertilizante, la transmisión de luz de un material de cubierta, etc. Sin embargo, las plantas están expuestas a los factores de manera permanente, lo que implica que su respuesta

obedece en un todo, a las variaciones ocurridas durante un periodo; de allí la importancia de tener claro que la medición continua, esto es, la determinación del comportamiento y magnitud de las variables, es lo que puede relacionarse con la repuesta de los cultivos en sus diferentes etapas. Surge la necesidad entonces de instrumentos con cualidades de almacenamiento de datos y la posibilidad de transmitir información oportuna y veraz, más complejos conforme la actividad sea de mayor impacto comercial.

Sin embargo, como en todo proceso de aprendizaje, debe haber un tiempo prudencial y orientación para el logro de los objetivos. La conciencia por parte de un productor acerca de las implicaciones de un determinado factor de clima, puede facilitar la generación de una acción simple de registro, en donde se utilicen instrumentos de bajo costo varias veces al día. Esto se ha propuesto como una medida de impulso mediante la construcción de buenas prácticas, o de una matriz para anotaciones, como parte de un procedimiento de trabajo (Marín, 2015).

En la figura 1.6 se ilustra sobre diferentes artefactos para la medición de temperatura, desde aquellos que permiten una lectura inmediata (A,B,C) a los que requieren además una base de cálculo para ese y otros valores (C,E), hasta instrumentos con capacidad para almacenar información, sea esta visible durante el periodo de lectura (E y F), fija o transferible a un sistema de graficación (D, F y G).



Figura 1.6. Diferentes instrumentos para medir temperatura y humedad relativa. De lectura inmediata-registro manual: A) medidor de temperaturas máximas y mínimas, B) psicrómetro, para medir temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo y calcular además humedad relativa y otros parámetros; C) medidor de carátula para temperatura y humedad relativa; D) medidor digital de humedad relativa y temperatura. De almacenamiento de información (gráfica o digital): E) higrotermógrafo clásico con banda de papel, F y G) higrotermómetros digitales con memoria de datos que luego se descargan a un computador. Imágenes libres de internet.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Por otro lado es importante que se atiendan las recomendaciones técnicas de los distintos aparatos, pues en muchas oportunidades, en particular tratándose de equipos más sofisticados, sus diseños y requerimientos les imprimen rasgos de compatibilidad. Las características del sensor, los formatos y materiales para transmisión de datos, la calidad de la energía abastecida y otros más, son asuntos para considerar. En el siguiente capítulo, se dará información para ampliar profusamente este tema.

LITERATURA CITADA

- Benavides, C.M.; López, A.J. y Alfaro, M. Elena. 2016. Diseño, evaluación y operación de ambientes protegidos en función del clima. Universidad de Costa Rica/Ministerio de Agricultura y Ganadería. 108 p.
- Hernández, F. 2016. Una experiencia en la toma de decisiones sin control de parámetros técnicos: cambio de sustrato. Boletín del Programa Nacional de Producción Agrícola bajo Ambiente Protegido (Costa Rica) 10(57):8-11.
- Marín, F. 2010. Cuantificación y valoración de estructuras y procesos de producción agrícola bajo ambientes protegidos en Costa Rica. Informe final proyecto FIT-TACORI F-02-08. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 34 p.
- Marín F. 2015. Guía para construir procedimientos para producción de cultivos bajo ambiente protegido para pequeños productores. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 72 p.
- Méndez, C y Marín, F. 2015. El concepto de agricultura protegida para el trópico latinoamericano. Boletín del Programa Nacional de Producción Agrícola bajo Ambiente Protegido (Costa Rica) 9(54):2-12.

LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN ²

Costa Rica incursionó en la producción bajo ambientes protegidos desde hace unas tres décadas con la producción de flores y follajes; luego se extendió hacia la producción hortícola con tomate y chile dulce principalmente. Según señala Rojas (2007), cada día cobra mayor importancia la producción bajo ambientes protegidos, como una forma de producir para los mercados de exportación tanto como para asegurar la producción y la calidad para los mercados domésticos.

Los productores pueden beneficiarse al desterrar la creencia que la producción en ambientes protegidos está fuera de su alcance, aunque esto requiere acceso al conocimiento técnico y las tecnologías necesarias para responder a las exigencias del mercado en el cual se desenvuelven.

Lo señalado, obliga al agricultor a tomar decisiones más acertadas en el manejo del cultivo, en busca del incremento en la calidad de la producción. Y para ello, su mejor aliado es la información concisa y certera que le puedan aportar los equipos de medición. Sin esta información, las decisiones tomadas podrían ocasionar que los factores ambientales o del suelo o sustrato, varíen aleatoriamente, lo que puede significar la diferencia entre tener ganancias o sufrir pérdidas sustanciales.

En un sistema donde las variables ambientales se encuentran interrelacionadas y acopladas, como lo es un cultivo bajo ambiente protegido, cuando un problema es finalmente observado, es difícil determinar cuál evento lo causó, si solamente se conocen las condiciones ambientales presentes en el instante que se detecta la anomalía. Este es el motivo por el cual el registro de los datos adquiere mayor importancia, ya que orienta al productor a tomar mejores decisiones sobre el manejo del cultivo, su riego, fertilización y el ambiente que lo rodea.

Es recomendable monitorear la evolución en el tiempo de los factores ambientales, tales como: temperatura, humedad relativa, radiación; o elementos del sistema como acidez y conductividad eléctrica, entre otros. Para ello es necesario contar con uno o más equipos de medición, colocados en puntos estratégicos y configurados para tomar datos de manera periódica, para luego almacenarlos de forma ordenada. Esto le permite al agricultor recopilar información valiosa, de la cual puede (y debe) aprender, ya que ahora dispondrá con la información adecuada para detectar las causas de las enfermedades y otras situaciones, al analizar ya no solo el momento actual, sino el comportamiento en el tiempo.

**“Medir... para después controlar”;
ese es el paradigma establecido**

² Francisco Rivas Zúñiga, Ingeniero Electricista. IngPlantae

Son muchas las expresiones conocidas y los argumentos propuestos en la literatura, que respaldan el hecho de que no es posible controlar aquello que no se ha medido. De ahí la importancia que toma la información adquirida del entorno mediante el uso de instrumentos de medición y, más aún, su registro y procesamiento.

¿QUÉ ES UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN?

El proceso de medición consiste en la comparación de magnitudes físicas, para lo cual se toma como referencia un patrón previamente establecido. Como parte del proceso, factores tan variados como: quién realiza la medición, el lugar dónde se realiza la medición, el ambiente en el cual se mide, los cálculos realizados para obtener el resultado, entre otros, influyen en el dato que se obtiene como resultado. Es por esto que medir se define como un proceso o conjunto de factores que conducen a un resultado con un nivel de incertidumbre propia de la medición.

Para efectuar esta tarea se utilizan los instrumentos de medición, que son dispositivos empleados con el propósito de contrastar magnitudes físicas distintas, mediante un procedimiento de medición. Como unidades de medida se utilizan objetos y/o sucesos previamente establecidos como patrones y como resultado del proceso de medición, se obtiene un valor que es la relación entre el objeto de estudio y el patrón de referencia.

La evolución de los instrumentos de medición en el tiempo, resulta interesante de analizar, ya que ha respondido principalmente ante necesidades de automatizar y reducir los tiempos de los procesos en la industria, así como aumentar en nivel de precisión y exactitud en el campo médico. Según Creus (2011), en los inicios de la era industrial, la operación de procesos se llevaba a cabo mediante el control manual de las variables, al utilizar sólo instrumentos de medición simples como: manómetros, termómetros, etc., lo que era suficiente ante la relativa simplicidad de los procesos.

Sin embargo, la complejidad con que estos procesos se han ido desarrollando, ha exigido la inclusión de instrumentos de medición más sofisticados. Estos instrumentos han ido liberando al personal de campo de su función de actuación física directa sobre el proceso y, al mismo tiempo, le han permitido una labor de supervisión y de vigilancia; asimismo, gracias a los instrumentos de medición, ha sido posible alcanzar condiciones estables de calidad que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente control manual.

“Un simple equipo de bolsillo pasa a ser una herramienta más de trabajo a la hora de optimizar los recursos y tomar decisiones”.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

En términos abstractos, un instrumento electrónico de medición es un dispositivo que transforma una variable física de interés, que se denomina variable medida, en una forma apropiada para registrarla o visualizarla, o bien ser detectada por un segundo equipo, llamada medición o señal medida.

Como se muestra en la Figura 2.1, un instrumento de medición industrial se basa en un **elemento sensor**; un dispositivo que se encuentra en contacto directo con una magnitud física definida como **entrada** y que al interactuar con esta, sufre cambios en sus propiedades. Por ejemplo la magnitud física puede ser la radiación solar y la propiedad alterada puede ser la resistencia eléctrica del elemento sensor que varía proporcionalmente a la variable medida.

Un **elemento transductor**, realiza la conversión de la variación del elemento sensor y, a partir de ella, genera información a modo de una **señal eléctrica de salida**. Por ejemplo, la variación en la resistencia eléctrica del elemento sensor de la Figura 2.1 es una medida directa de la radiación solar presente, sin embargo los equipos electrónicos a los cuales se conecta la salida de este instrumento de medición no pueden interpretar esta variación, por lo que el elemento transductor lo convierte a una variación de tensión o corriente eléctrica proporcional al nivel de radiación incidente.

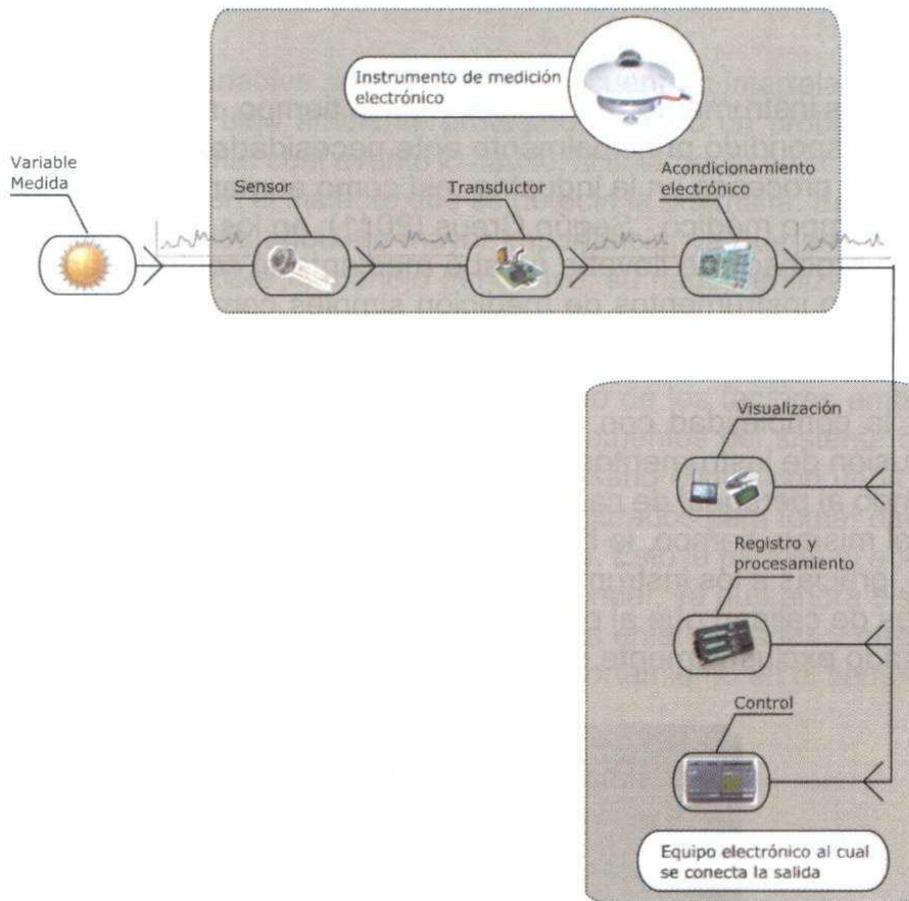


Figura 2.1. Diagrama funcional de los elementos que componen un instrumento de medición electrónico.

Luego se ejecuta un proceso de **acondicionamiento electrónico** de la señal obtenida del transductor que por lo general incluye procesos de **amplificación** y **filtrado** , donde finalmente se envía una señal eléctrica en un rango estandarizado (esto es, en un formato comprensible para ser interpretado con posterioridad) hacia otro equipo electrónico, ya sea para su **visualización, registro, transmisión o control** .

Queda claro entonces, que sensor y transductor son componentes distintos entre sí y que forman parte del instrumento electrónico de medición. Sin embargo, es muy común encontrarse que a los instrumentos de medición electrónicos se les conozca bajo el nombre de “sensores”, “sondas” o “transductores”, de forma indistinta como una simplificación de su nombre.

Existen equipos que incluyen la mayoría de los elementos mostrados en la figura 2.1. Sin embargo, existen otros que solo poseen algunas de las funciones, por ejemplo el instrumento de Figura 2.2 realiza las funciones de sensado, transducción, acondicionamiento, visualización y registro. En otros casos, la señal de salida del instrumento es conectada directamente a un equipo de control, sin que se dé su visualización. Ejemplo de esto son las sondas de campo (conductividad, humedad, pH y otras) como la mostrada en la Figura 2.3, que no cuenta necesariamente con indicadores en el punto de medición, sino que se conectan directamente a un equipo de control, el cual responderá ante sus lecturas.

Es frecuente que en procesos agrícolas, sea necesaria la manipulación y regulación de las variables ambientales para llevarlas a mejores condiciones que las que el propio operador podría realizar. La importancia de los instrumentos de medición se ha acrecentado con el desarrollo de técnicas de control que involucran la interacción entre un instrumento de medición, una unidad de control, un elemento final de control o actuador y el propio proceso controlado.



Figura 2.2. Sensor portátil de pH.



Figura 2.3. Sonda de pH para instalación en campo.

Ese conjunto de equipos forman lo que se conoce como lazo de control, el cual puede ser abierto o cerrado. A manera de ejemplo, en un lazo de control abierto como el mostrado en la Figura 2.4, el operador ajusta la válvula manual en la forma que cree conveniente para igualar el caudal del líquido de salida con el de entrada. Si los caudales de entrada y salida son diferentes, al operador le será difícil mantener un nivel constante de modo que tendrá que hacer ajustes con frecuencia.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

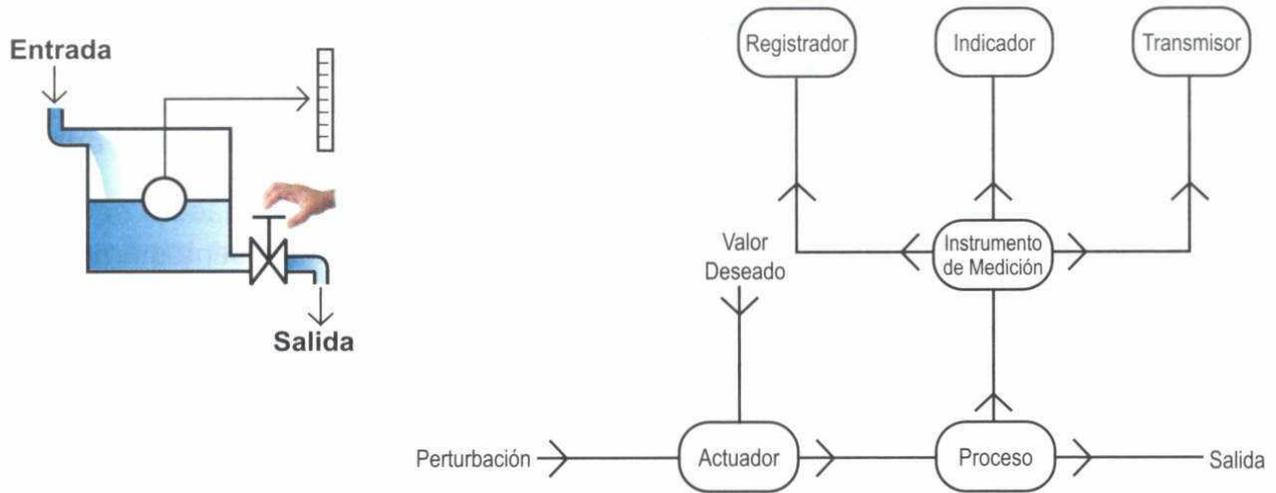


Figura 2.4. Características de un lazo de control abierto, según Creus (2011).

Por otro lado, un lazo de control cerrado como el de la Figura 2.5, podría consistir en el ajuste de la posición de un vástago, que controle la apertura del diafragma de la válvula de control, de modo que una vez ajustado, sea el mismo sistema el que se encargará de mantener el nivel en el punto deseado. Si en algún momento se presentaran picos de caudal en la entrada, el nivel aumentará, con lo cual, la válvula de control abrirá para aumentar el caudal de salida y mantener así un nivel controlado, independientemente de la actuación del operador.

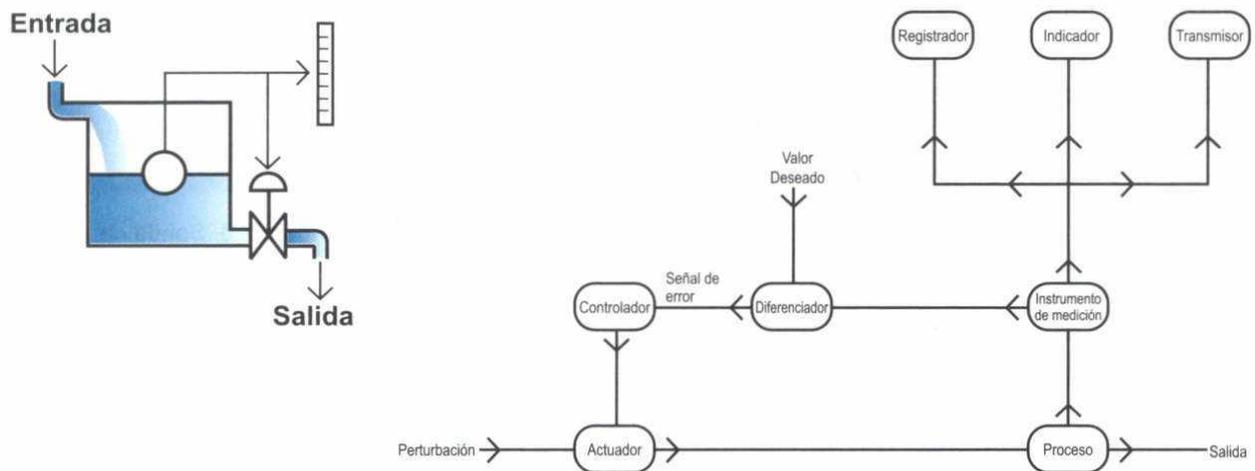


Figura 2.5. Características de un lazo de control cerrado, según Creus (2011).

¿CÓMO ELEGIR EL INSTRUMENTO ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN APROPIADO?

Seleccionar el instrumento de medición más apropiado para una labor específica puede ser complejo y requiere de preparación técnica, ya que son vastas las tecnologías de sensado y los principios de transducción que se emplean actualmente para convertir una magnitud física en una señal eléctrica. Además, la mayoría de las variables pueden ser medidas por varios tipos de sensores y transductores con distintos principios de funcionamiento, por lo que siempre es recomendable consultar a un profesional. Sin embargo, es importante que la persona que lo adquiere, que por lo general es además quien lo utiliza, conozca los aspectos generales que se deben tomar en cuenta durante el proceso de selección.

A. Características estáticas

Estas cualidades, describen el comportamiento del sensor ante cambios relativamente lentos de la magnitud de entrada y en ausencia de perturbaciones externas. Dentro de las características estáticas se encuentran las siguientes:

El error

Es necesario saber que no existe un instrumento de medición perfecto, por lo que se debe aprender a convivir con un nivel aceptable de error en las mediciones. “El error es la diferencia entre el valor medido y el valor real. Toda medida lleva asociado un error, y el conocimiento del mismo es de la mayor importancia para la interpretación y evaluación de los resultados” (Mandado y colaboradores, 2009).

La exactitud

La exactitud se define como “la cualidad de un sensor que establece su capacidad para proporcionar a su salida, una señal que coincida con la que corresponde exactamente al valor verdadero de la variable que se mide” (Mandado y colaboradores, 2009) y se puede representar mediante la distribución probabilística de los datos mostrada en la Figura 2.6. Con base en lo anterior, cualquier diferencia entre el valor real de la variable medida y el valor proporcionado por el sensor (ej. ± 1 °C), representa una fuente de error.

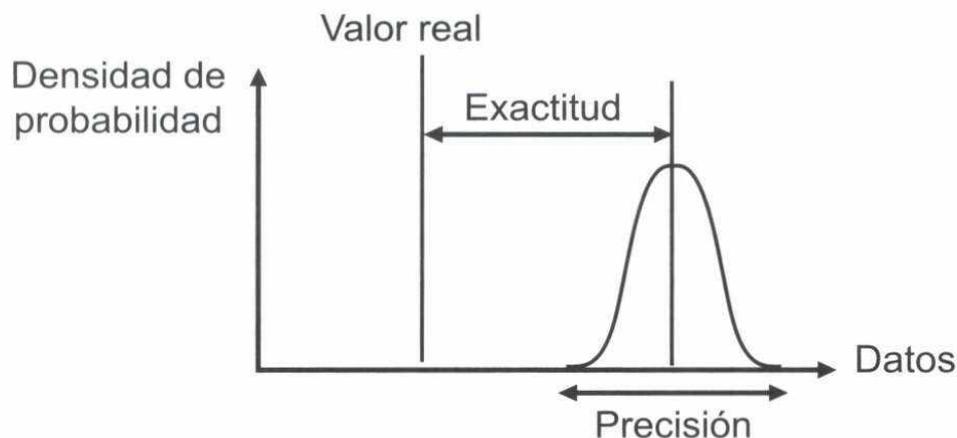


Figura 2.6. Distribución probabilística de los datos obtenidos de un instrumento de medición.

La precisión

Según Mandado y colaboradores (2009), la precisión define la capacidad de un instrumento de medición para proporcionar el mismo valor de salida, cuando se realiza una secuencia de mediciones bajo las mismas condiciones de trabajo, ante un mismo valor de entrada. Como se muestra en la Figura 2.7, una precisión elevada implica una diferencia mínima entre varias medidas de un mismo evento y es una condición necesaria, aunque no suficiente, para tener una apropiada exactitud. Usualmente los fabricantes especifican la precisión de un sensor como un porcentaje del valor del rango de medición del instrumento (ej. $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\%$), y con menor frecuencia como la máxima desviación entre medidas o mediante el dato del valor cuadrático medio de dicha desviación.



Figura 2.7. Ilustración de los conceptos de precisión y exactitud. Según Nielsen (2014).

Cuán preciso puede ser un elemento de medición, es determinado principalmente por su repetitividad, que consiste en el grado de concordancia entre mediciones sucesivas de una misma condición de entrada, realizadas bajo las mismas condiciones de medición. Al igual que por su reproducibilidad, que consiste en el grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de una misma condición de entrada, realizadas bajo diferentes condiciones de medición.

La curva de calibración

Es una relación directa punto a punto y experimentalmente obtenida de la señal de salida en función de la entrada. Para definirla adecuadamente se necesita como mínimo indicar su forma y sus límites.

Las tolerancias de los componentes y las no idealidades de los circuitos electrónicos ocasionan el efecto mostrado en la Figura 2.8, donde dos instrumentos de medición aparentemente idénticos no presenten curvas de calibración idénticas. Además, esta característica varía a lo largo del tiempo y del grado de utilización del equipo.

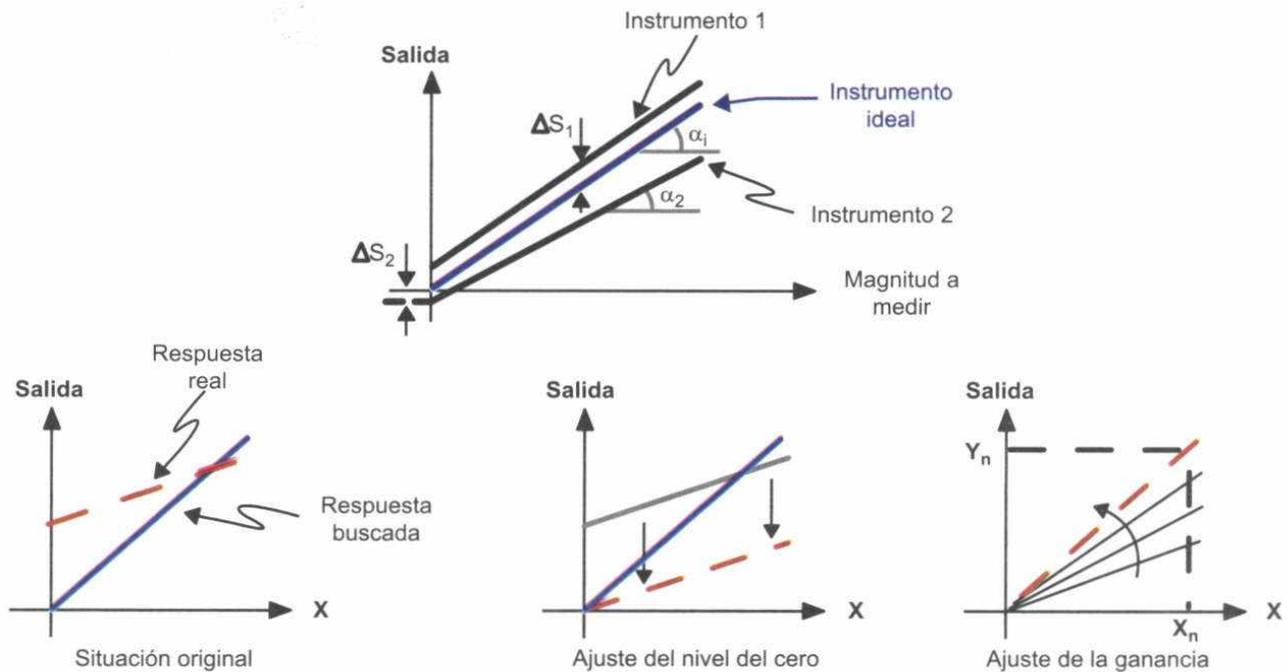


Figura 2.8. Características de la curva de calibración de un instrumento de medición. Modificado de Bustos (2012).

La resolución

Los instrumentos miden procesos en los que los cambios son continuos y las variaciones en la medición (entrada) por tanto son permanentes. Para medir este comportamiento se requiere en muchas oportunidades de la conversión del dato a un estado digital; esto se representa en la Figura 2.9. Según Mandado y colaboradores (2009) la resolución se define como el cambio o escalón más pequeño de la salida capaz de ser medido, cuando la magnitud a medir varía continuamente. Esto es, se miden pequeños cambios o escalones como fracciones, por ejemplo, de concentraciones, grados o velocidades. Usualmente la resolución de la salida es expresada mediante cantidades de "bits" (por ejemplo 8, 16 o 32 bits) y, por tanto, un instrumento con mayor cantidad de bits, ofrece una mayor resolución de salida.

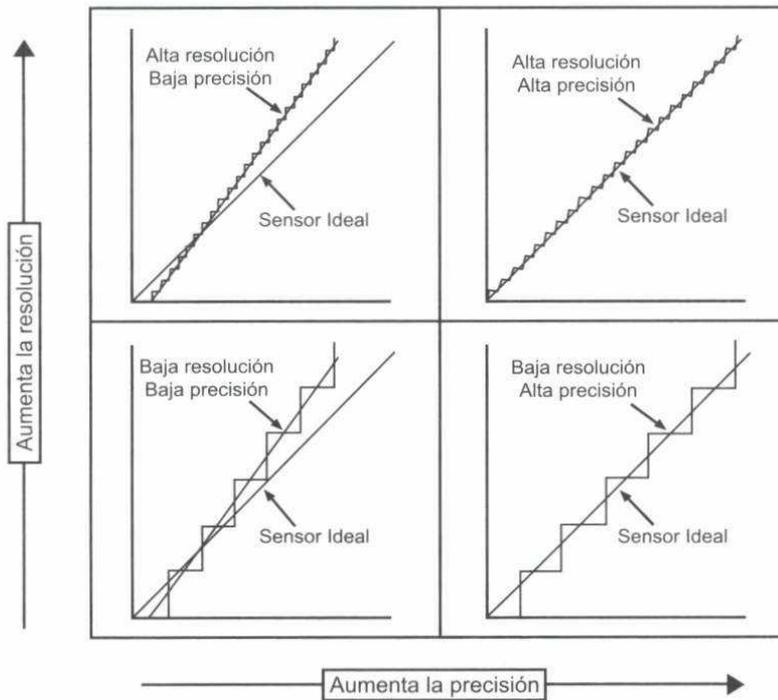
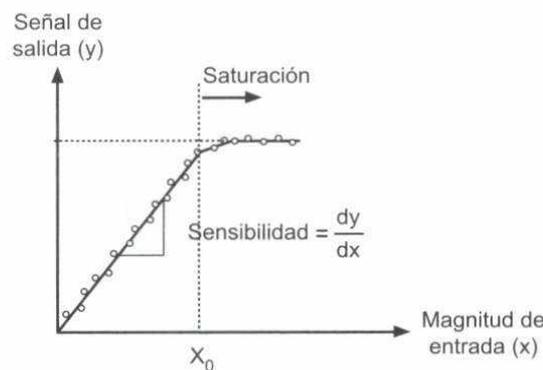


Figura 2.9. Efecto de la resolución sobre la salida de un instrumento de medición. Modificado de Bustos (2012).

La sensibilidad

La sensibilidad es una característica propia de los sensores cuya salida es en formato analógico y representa la variación de la señal de salida del sensor cuando se produce una entrada, por lo que normalmente se define como la pendiente de la curva de calibración del instrumento, mostrada en la Figura 2.10. La sensibilidad, puede verse perturbada por múltiples factores como: calidad de la fuente de energía eléctrica, factores ambientales, golpes o vibraciones, entre otros.



➤ Sensibilidad constante ⇒ Sistemas lineal

Figura 2.10. Efecto de la sensibilidad y la saturación en la curva de calibración de un instrumento de medición. Tomado de Bustos (2012).

La saturación

Es un efecto asociado a las limitaciones del transductor y los componentes electrónicos con los que se construye el instrumento de medición. Se define como el nivel de entrada a partir del cual la sensibilidad empieza a disminuir de manera progresiva, como se muestra en la Figura 2.10, su efecto se visualiza como una disminución en la pendiente de la curva de calibración, hasta llegar a saturarse en un valor máximo.

Histéresis

Es un efecto principalmente asociado al elemento sensor del instrumento de medición y se define como la diferencia que se registra en la medición, dependiendo del sentido de la magnitud de entrada a partir del cual se obtuvo el valor de la señal salida. Esto quiere decir que un mismo valor de la magnitud de entrada puede provocar salidas diferentes, dependiendo de si alcanzó esa magnitud de entrada a partir de un aumento o una disminución en la misma, como se ilustra en la Figura 2.11.

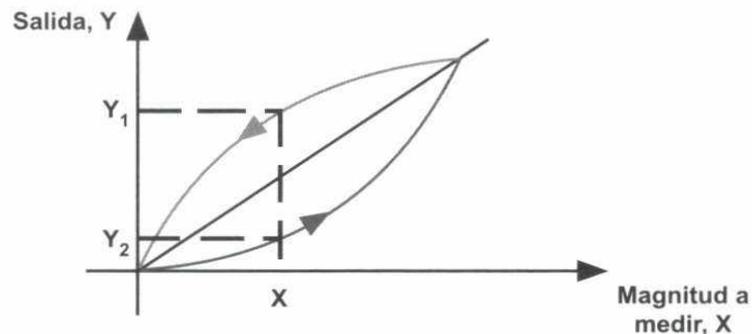


Figura 2.11. Efecto de histéresis presente en los instrumentos de medición. Tomado de Bustos (2012).

B. Características dinámicas

A manera de analogía, los sensores se comportan de forma similar a los ojos y el oído del humano, que sólo son sensibles a la luz o los sonidos en un determinado rango de longitudes de onda. De manera similar y en función del principio de medición, los sensores sólo operan dentro de un rango de velocidades a las que ocurre un fenómeno.

En general, los equipos de medición presentan limitaciones en su respuesta cuando el fenómeno supera una determinada velocidad de cambio, dando lugar a la aparición de errores. Por lo tanto, es importante conocer las características dinámicas del instrumento y la forma en que variará aquello que se espera medir, principalmente cuando la magnitud de entrada puede presentar cambios bruscos repentinos (como luminosidad o velocidad y dirección del viento, entre otros).

C. Características de entrada del instrumento de medición

Magnitud y tipo de transductor

Como parte del proceso de selección del sensor más adecuado para una aplicación, es necesario conocer con suficiente profundidad la variable de entrada, ya que generalmente en el mercado se encuentran equipos de medición diseñados para responder solamente a una magnitud de entrada, llámese temperatura, humedad relativa, conductividad, pH, etc., por lo que el principio de funcionamiento del elemento sensor y el transductor deben encontrarse asociados con la naturaleza de la magnitud de entrada. Un error fatal sería pretender realizar mediciones sobre una magnitud de entrada, con un instrumento inadecuado.

Rango de medición

El rango de medición debe ser seleccionado de modo que el conjunto de valores posibles de la magnitud a medir, estén comprendidos dentro de los límites superior e inferior del rango especificado por el fabricante del instrumento mediante su curva de calibración, mostrado en la Figura 2.12. En algunos casos, es señalado por su nombre en inglés, como "Measurement range" o "Span", y puede ser dado en alguno de los siguientes formatos:

- Unidireccional: 0 a 5 cm,
- Bidireccional simétrico: $\pm 45\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Bidireccional asimétrico: -20 a $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Cero desplazado: 50 a 100 Kg.

Es importante señalar que el rango de medición de un instrumento es limitado principalmente por las características del conjunto sensor-transductor. Sin embargo, existen también valores (mínimos, máximos o ambos) de la magnitud física de entrada a los cuales el sensor se puede exponer sin ocasionarle un daño permanente. Estos límites usualmente son establecidos por la construcción física del instrumento (encapsulado, material, tipo de conductor, etc.).

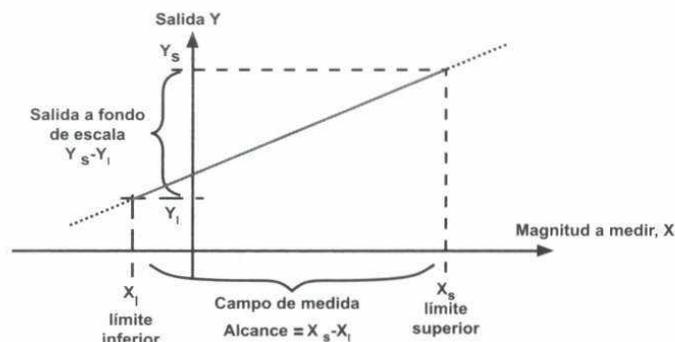


Figura 2.12. Rango de medición de la curva de calibración de un instrumento de medición. Tomado de Bustos (2012).

D. Características de salida del instrumento de medición

Dominio de datos:

Es la forma en que el instrumento dispone la información a su salida. Bajo este panorama, los tres principales dominios son el analógico, el digital (mostrados en la Figura 2.13) y el temporal (mostrado en la Figura 2.17), los cuales se describen de manera breve a continuación.

Sensores de salida analógica

Estamos acostumbrados a la idea de que vivimos en una era digital. Sin embargo, el mundo físico tal y como lo percibimos a nivel “sensorial”, es analógico. Fenómenos como el sonido y la temperatura, varían de forma suave y continua en el tiempo, y por lo tanto su comportamiento es analógico. Así, una señal analógica se define como una señal que varía de manera continua en el tiempo, tal como se muestra en la Figura 2.13. Además, se caracterizan por su capacidad de tomar cualquier valor posible dentro de un intervalo de variación definido y por contener infinitos datos en un periodo finito de tiempo.

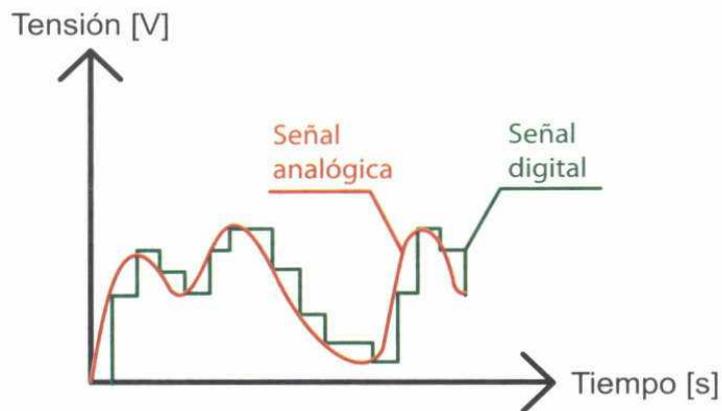


Figura 2.13. Características de las señales analógicas y digitales

Cabe destacar que una señal analógica implica problemas asociados con la presencia de ruido y distorsión, sobre todo si es necesario transmitir la señal a larga distancia.

Sensores de salida digital.

Como se muestra en la Figura 2.13, estos sensores se caracterizan porque su señal de salida solo toma un número finito de niveles o estados, cada uno de ellos asociado con un valor específico y puntual dentro del rango de medición. Es conveniente aclarar, que a pesar de que usualmente el término digital se relaciona con el término binario, es un error pensar que ambos son intercambiables, o que su significado sea equivalente.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Por ejemplo, los mensajes enviados por un telégrafo mediante el uso de código Morse, disponían de cinco posibles estados (o valores): el punto, de duración mínima. La raya, cuya duración es de aproximadamente tres veces la del punto. El espacio corto, usado entre símbolos de una misma letra y duración de aproximadamente un punto. El espacio medio, usado entre dos letras de una misma palabra con una duración de aproximadamente tres puntos y el espacio largo, usado para separar palabras y su duración es de aproximadamente tres veces la duración de la raya. Lo anterior describe un medio para el envío de información en formato digital.

Por otro lado, un interruptor que normalmente se utiliza para la activación de las luces en una casa, solo tiene dos posibles estados “encendido o apagado” y por lo tanto su operación es digital y además binaria. Una variable binaria “**bit**” es la que solo puede tomar un estado asociado con uno de los dos posibles estados, cada uno asociado con un valor lógico e interpretado como “sí o no” (“1 o 0”).

En los sensores de salida digital, es necesario realizar un proceso llamado **conversión analógico-digital**, mediante el cual, la información proveniente de una magnitud física analógica, se convierte en una señal eléctrica digital. Una vez “digitalizada”, la información normalmente se codifica para facilitar su transmisión e interpretación, empleando un número “n” de variables binarias (“bits”).

En general, la información digital se ve menos afectada por el ruido eléctrico y por la atenuación asociada con cualquier proceso de transmisión. Como se muestra en la Figura 2.14 los procesos de reconstrucción, amplificación e interpretación de las señales digitales después de ser transmitidas y alteradas por el ruido eléctrico, son más sencillos debido a la simplificación realizada mediante la reducción de la cantidad de posibles valores de la señal, a un número finito de posibles estados en un intervalo finito de tiempo.

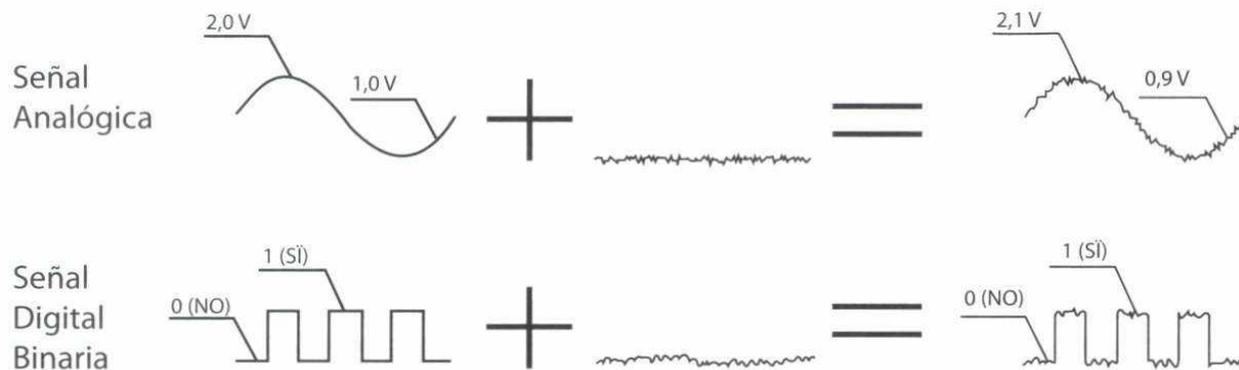


Figura 2.14. Efecto del ruido eléctrico sobre señales analógicas y digitales.

Por otro lado, el proceso de transmitir información digital, puede realizarse en dos formatos. El primero es el formato en serie mostrado en la figura 2.15, especialmente útil cuando se requiere transmitir información a larga distancia por un único canal (como lo es un conductor eléctrico), con la desventaja de que requiere un mayor tiempo para el envío de la información.

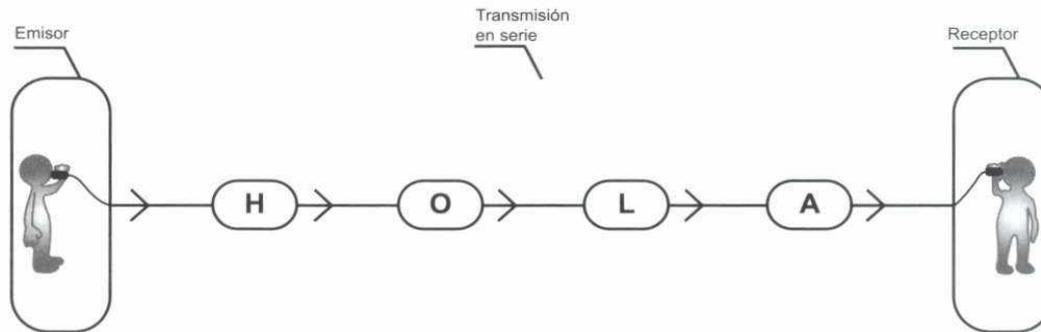


Figura 2.15. Proceso de transmisión de información digital en serie.

El segundo, es el formato en **paralelo**, mostrado en la figura 2.16. Es muy útil cuando se requiere transmitir información a una muy alta velocidad, con la desventaja de que requiere un mayor número de canales de comunicación.

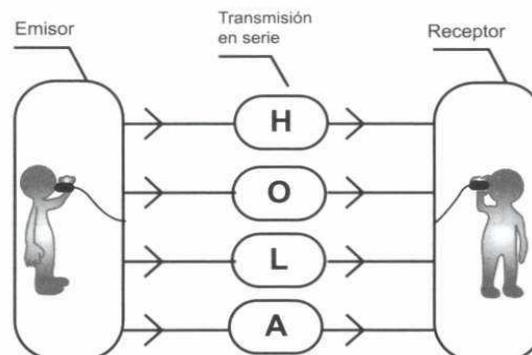


Figura 2.16. Proceso de transmisión de información digital en paralelo.

De nuevo, se debe verificar la compatibilidad entre el instrumento de medición y el equipo al cual se pretende conectar su salida, con el fin de garantizar que el intercambio de información sea efectivo.

Sensores de salida temporal

Un tercer grupo, son los denominados sensores temporales, los cuales proporcionan a su salida señales eléctricas en las que la información está asociada con la variable tiempo. Existen varios métodos de representar la información, sin embargo el caso más utilizado, debido a las ventajas que ofrece durante el proceso de transmisión de los datos, es el de **señal cuadrada**. En estos equipos la

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Es importante considerar el efecto de las pérdidas ocasionadas por la impedancia eléctrica de los conductores, ya que como se muestra en la Figura 2.18, el conjunto “sensor-conductor-controlador”, forma un circuito en serie, de modo que un instrumento con salida de tensión es afectado como se muestra en la Figura 2.19, donde se observa que una fracción de la tensión medida en los terminales de salida del sensor se pierde en los conductores, lo que ocasiona que la magnitud de la tensión que finalmente se obtiene en los terminales de entrada del controlador, difiera del valor original.

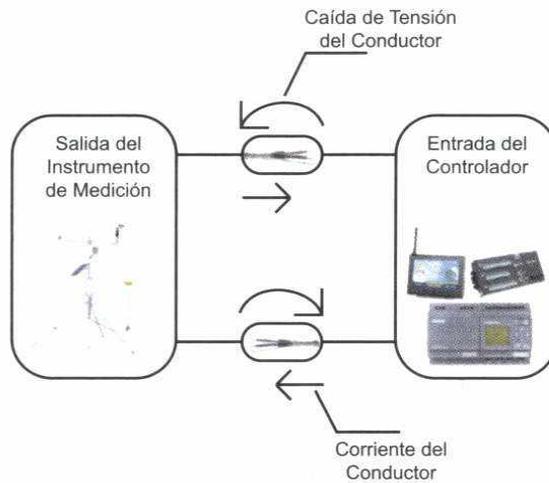


Figura 2.18. Circuito en serie formado por la salida del sensor, la impedancia de los conductores y la entrada del controlador.

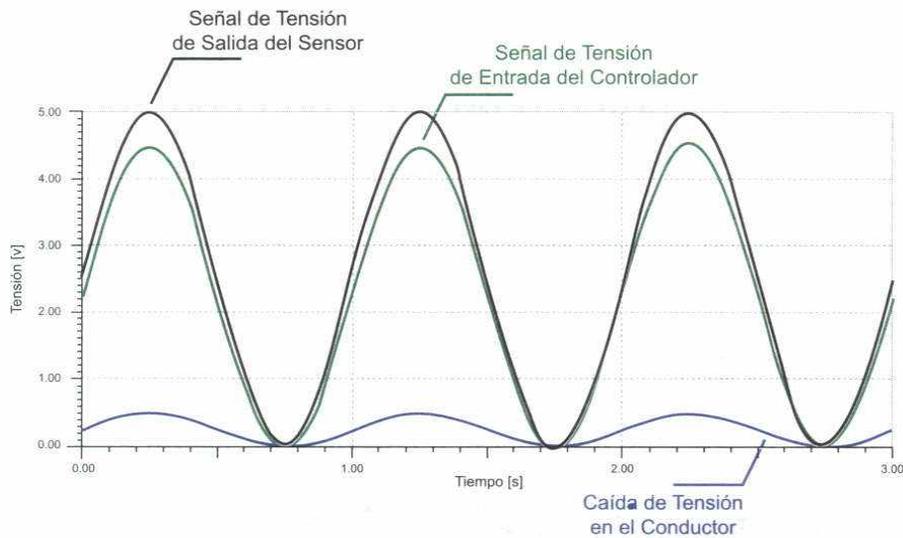


Figura 2.19. Efecto de la caída de tensión en la impedancia eléctrica de los conductores.

Por lo tanto, bajo ciertas condiciones la distancia entre el sensor y el sitio de lectura es un aspecto crítico y ante tal situación, podría resultar técnicamente más adecuado que la salida del instrumento sea una señal de corriente eléctrica. Ya que por definición, la corriente será la misma en todos los puntos de un circuito en serie y su integridad no es afectada por la impedancia del conductor.

En ambos casos (corriente o tensión), existe una limitante que debe ser considerada durante el proceso de selección del instrumento de medición, llamada “acople de impedancias”. Un técnico debe garantizar un correcto acople de impedancias, fundamental para una correcta interacción entre el sensor y el equipo al cual se conecta

Ruido eléctrico

Es una de las principales fuentes de error en los instrumentos electrónicos de medición. Técnicamente son denominados “errores de interferencia” y como se muestra en la Figura 2.20, se manifiestan en forma de señales parásitas que se suman a la medición, lo cual podría reflejarse como fluctuaciones aleatorias en la lectura.

El ruido es generado principalmente por perturbaciones eléctricas provenientes del entorno físico en el cual se utiliza el sensor, así como durante el recorrido de la señal eléctrica de salida por los conductores eléctricos que lo comunican con el equipo que recibe la señal.

Algunas fuentes de interferencia comunes en un ambiente agrícola, son las señales de radio, la presencia de actuadores o equipos eléctricos que generen campos electromagnéticos como los motores, bombas y compresores, la conmutación de interruptores como relés, o bien, por un alto nivel de fluctuación en la fuente de alimentación eléctrica. Su efecto se puede minimizar mediante técnicas apropiadas de conexión, equipos de filtrado, apantallamiento y puesta a tierra.

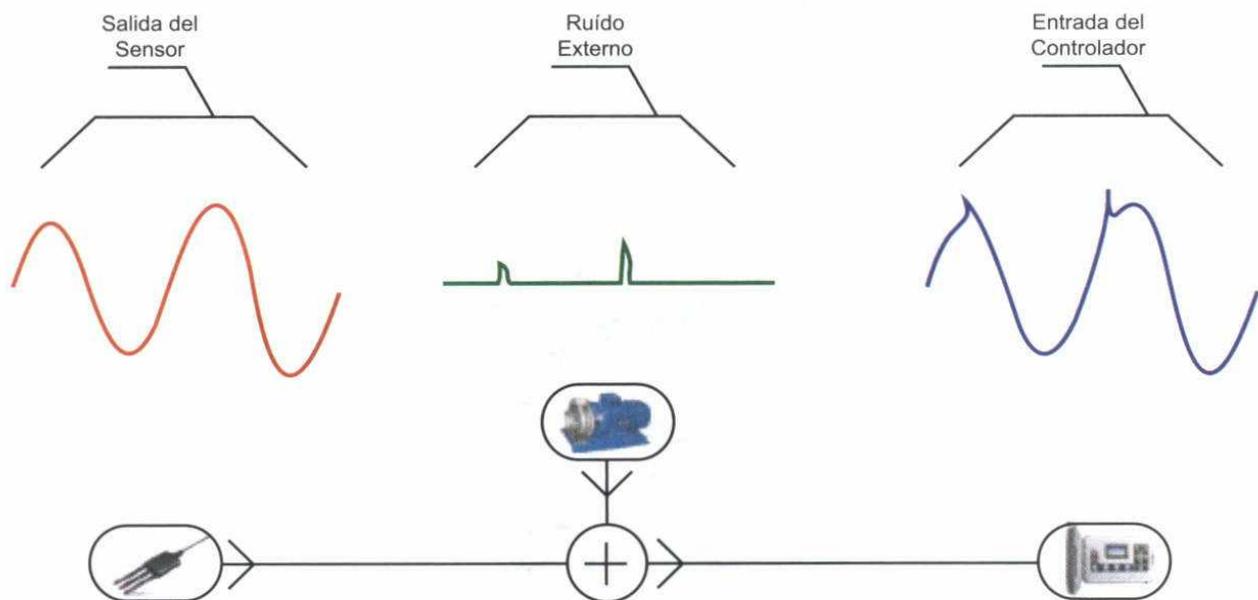


Figura 2.20. Efecto del ruido eléctrico, ocasionado por la interferencia de un motor de alta potencia que opera cerca de los cables que comunican al sensor.

Alimentación

El conocimiento para la instalación de un sistema, debe estar en manos del técnico especializado, por lo cual hay que tomar en cuenta este factor dentro de los rubros de inversión. En su mayoría, los sensores comerciales requieren para su funcionamiento de una fuente de alimentación que les proporcione la energía eléctrica necesaria. Para esto, los fabricantes indican un valor nominal, o en algunos casos un rango de tensiones para la alimentación del instrumento. Este parámetro es llamado tensión de operación (“Operating Voltage”) o tensión de alimentación (“Supply Voltage”).

Es posible que la tensión de alimentación de un instrumento, sea especificada en **corriente alterna**. Bajo este panorama, es importante verificar que el equipo es compatible con las características de la red eléctrica de Costa Rica, con una tensión nominal 120 V^{RMS} a una frecuencia nominal de 60 Hz.

Pese a ello, es más frecuente encontrar sensores con especificaciones de alimentación en **corriente continua**. En estos casos es necesario conocer el valor nominal de la tensión de alimentación, el cual normalmente se encuentra entre los valores de 24, 15, 12, 9 o 5 VDC.

En los sensores energizados con corriente continua, es fundamental conocer y respetar la polaridad con la que debe conectarse la alimentación del equipo; esta información debe ser aportada por el fabricante en sus hojas de especificaciones y debido a la importancia de este factor, es común que se encuentre explícitamente señalado en el encapsulado de los instrumentos, al igual que en los bornes de conexión dispuestos para la fuente de alimentación, como se muestra en la Figura 2.21. Es importante evitar que el instalador incurra en confusión, ya que invertir la polaridad de la alimentación del equipo podría ocasionar su daño permanente e inmediato.



Figura 2.21. Polaridad y bornes de conexión para la fuente de alimentación.

El conductor

El conductor tiene como función principal transportar señales en forma de tensión o corriente. Bajo ciertas condiciones, es preferible que los cables de conexión entre el sensor y el equipo al cual se conecta, y en ocasiones también los conductores de alimentación, sean de un tipo especial.

Según CENTELSA (2010), es necesario emplear cable especial para instrumentación como el mostrado en la Figura 2.22, para transmitir señales analógicas o digitales de baja energía, provenientes de un instrumento de campo.

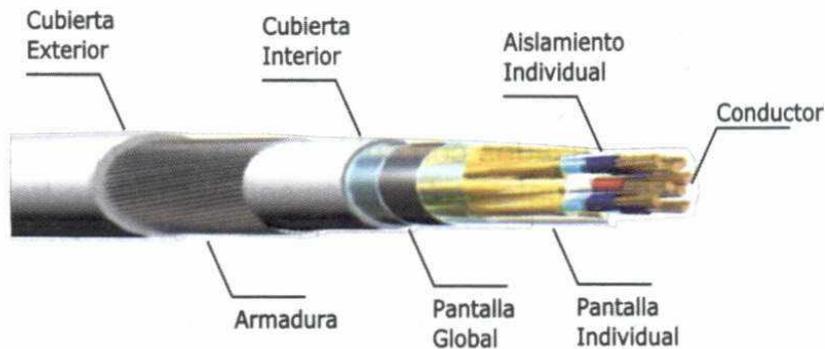


Figura 2.22. Componentes de un cable para instrumentación. Tomado de CONTECSA (2009).

Existe además el tipo de cable mostrado en la Figura 2.23 conocido como cable para control. Este cable es especialmente diseñado para transmitir señales eléctricas de mayor potencia en comparación con las que requieren un cable de instrumentación, por lo que normalmente se utiliza para las señales de salida de equipos como: presostatos, termostatos, etc., al igual que para el envío de señales de activación a actuadores de baja potencia e interruptores controlados eléctricamente, como relevadores y contactores.

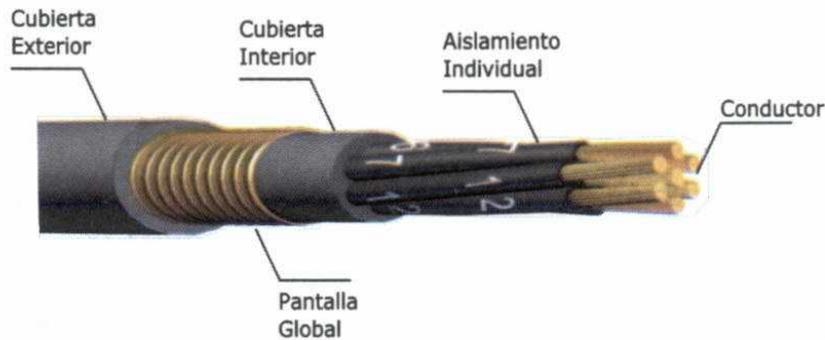


Figura 2.23. Componentes de un cable para control. Tomado de CONTECSA (2009).

Probablemente el precio de estos tipos de cables sea mayor en comparación con el cable convencional, que normalmente se utiliza en las instalaciones eléctricas residenciales; sin embargo estos conductores poseen cualidades adicionales mostradas en las figuras 2.22 y 2.23, descritas de manera breve a continuación.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Según CENTELSA (2010), en un cable para instrumentación y control, el conductor es fabricado de cobre o cobre estañado y esto ofrece una buena conducción eléctrica. En el caso del cobre estañado además, se da una alta resistencia a la corrosión galvánica. Por lo general, son cables **multiconductores** (pares, tríadas o cuádruples) y pueden estar formados por uno solo o varios hilos, dependiendo del grado de **flexibilidad** requerido.

El **aislamiento** del cable, es el material que recubre al conductor con el propósito de confinar la corriente eléctrica, protegiéndolo de daños físicos y también a los usuarios del sistema, contra posibles descargas. Para seleccionarlo se deben considerar aspectos como nivel de aislamiento eléctrico requerido, temperatura de servicio del conductor, la flexibilidad final requerida del cable o comportamiento ante posible exposición al fuego, entre otros. Normalmente, los cables para instrumentación y control son fabricados con cubiertas de aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) y son diseñados para proteger las señales que se transmiten a través de ellos.

Además cuentan con un apantallado, que le confiere protección ante las interferencias electromagnéticas y electrostáticas que puedan estar presentes en la trayectoria del conductor. Como se muestra en la Figura 2.22, el apantallado puede ser individual para cada conductor, lo que contrarresta el efecto del ruido eléctrico que se genera de modo interno en el cable, o bien con apantallamiento global para toda la línea, lo que le confiere protección electromagnética ante interferencias producidas por elementos exteriores.

Según CENTELSA (2010), este tipo de **apantallamiento** se construye con una cinta de poliéster aluminizado de aplicación helicoidal, con un conductor desnudo de cobre estañado en contacto directo con la parte de aluminio de la cinta (denominado conductor de drenaje), cuyo objetivo es garantizar la continuidad eléctrica de la pantalla a lo largo de todo el conductor y facilitar el proceso de conexión física de la pantalla a tierra.

En algunos casos, también es necesaria una alta protección mecánica del conductor. Para esto, algunos cables disponen de una **armadura**, construida con hilos de cobre trenzados entre sí y aplicados sobre el núcleo del cable como se muestra en las figuras 2.22 y 2.23, para formar una superficie electrostática. Además, según CENTELSA (2010), juega un papel importante en la protección del cable, sobre todo cuando va a ser instalado en ambientes mecánicamente agresivos o contra esfuerzos de tracción e impactos producidos durante la instalación, como: enterramiento directo, lugares con gran afluencia de tráfico pesado, instalaciones submarinas (donde la presión del agua puede deteriorar los cables) y protección mecánica contra el ataque de animales como roedores.

Para finalizar, una **cubierta exterior** conocida como “chaqueta”, brinda al cable protección ante múltiples aspectos ambientales como: resistencia a la humedad, a las temperaturas de servicio, al fuego, a los rayos ultravioleta (UV), al impacto y abrasión, entre otros.

B. Características ambientales y de confiabilidad

Podría suceder que en determinadas ocasiones, el instrumento opere bajo condiciones ambientales distintas de aquellas para las cuales fue diseñado y calibrado. Consecuentemente, esto genera desviaciones de las características estáticas antes mencionadas e incluso su mal funcionamiento. Entre los factores más comunes por considerar, se encuentran:

Temperatura

El efecto térmico es una característica que debe ser expresada por los fabricantes de todos los sensores de aplicación agrícola e industrial, mediante la indicación del rango de temperatura de operación del instrumento. Este rango representa el intervalo de temperatura al cual se puede exponer de manera directa el instrumento sin que este deje de operar de acuerdo con las especificaciones establecidas por el fabricante. Es importante resaltar la diferencia entre el rango de operación y el valor de la temperatura máxima, definida como la temperatura máxima a la que el sensor puede ser expuesto sin sufrir ningún daño o degradación de sus características.

Presión

Su efecto es apreciable cuando se opera a una presión barométrica anormal, por ejemplo, en altitudes elevadas o bajo condiciones de vacío, muy diferentes de las condiciones de presión para las cuales fue diseñado y calibrado el instrumento. Como consecuencia de esto, se generan efectos de “desplazamiento del cero” (descalibración) y variación de la sensibilidad, similar al caso de la temperatura.

Vibraciones

Por el efecto de las vibraciones pueden ocasionarse errores en la medición, como consecuencia de los fenómenos de resonancia y ruido eléctrico (interferencia) que podrían generarse en los elementos electrónicos del equipo.

Humedad

El exceso de humedad es uno de los principales aspectos ambientales que comprometen la correcta operación de los instrumentos electrónicos de medición, pues causa deterioro del aislamiento eléctrico, el ingreso de partículas de agua que

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

afecta los componentes electrónicos y produce la oxidación de los bornes de conexión, entre otros. Son daños que comúnmente se presentan en el campo de los instrumentos de aplicación agrícola y que pueden ocasionar el daño permanente del equipo.

Por lo general, el fabricante indica el tipo de aplicación para la cual se recomienda el instrumento, asociado con el nivel de protección que ofrece su encapsulado. Es importante tomar en cuenta este aspecto y revisar de manera periódica la integridad del encapsulado del equipo para prevenir anomalías.

Vida útil y tiempo de almacenamiento

Es probable que el lector se encuentre familiarizado con el periodo de vida útil de un instrumento, o tiempo mínimo durante el cual el instrumento opera de forma normal, según las especificaciones del fabricante. Sin embargo, también es importante conocer el periodo de almacenamiento de un sensor, ya que en este también ocurre un deterioro, a pesar de que el almacenaje se realice en las condiciones ambientales señaladas por el fabricante (de otra manera el deterioro será acelerado). El deterioro se refleja en desajustes y cambios desfavorables en las características estáticas y dinámicas, así como la descalibración del equipo.

C. Características mecánicas

Ya sea que se esté pensando en un instrumento portátil, para un uso “de mano” como el mostrado en la Figura 2.2, o bien, un instrumento que será instalado de manera permanente en el campo, como el mostrado en la Figura 2.3, es necesario conocer y respetar las especificaciones mecánicas dadas por el fabricante. La persona contratada para seleccionar e instalar el equipo, al igual que quien lo adquiere y utiliza, deben tener claro que aun cuando el sensor sea de alta calidad, si el instrumento es mal instalado, mal utilizado, mal calibrado, o no se le da el mantenimiento periódico necesario, es imposible garantizar una correcta interacción entre la magnitud física a medir, el sensor y el equipo electrónico al cual se conecta su salida, lo que se traduce en una pérdida de credibilidad en los datos que el instrumento arroja.

El técnico entonces, debe considerar detalles como la construcción del sensor, las dimensiones externas, el tipo y localización de las conexiones eléctricas y mecánicas, el material de la carcasa y el grado de protección ante agentes externos, además de los tipos y periodos de mantenimiento requeridos. Lo cierto es que un instrumento que no posea el nivel de protección adecuado para el ambiente de trabajo al que será expuesto, sufrirá deterioro acelerado y la confiabilidad en sus mediciones será limitada en todo momento.

Con base en ello, ahora es necesario cuestionarse al adquirir un instrumento de medición, si este cuenta con las capacidades para cumplir con los requerimientos de

entrada y salida y adicionalmente, con el grado de protección necesario para resistir el ambiente de trabajo al cual se expondrá.

Existen muchos estándares internacionales mediante los cuales los fabricantes de equipos especifican el grado de protección mecánica que garantizan para sus equipos. En Costa Rica, es común la importación de equipos apegados a las normativas estandarizadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), sin embargo existen algunas otras también permitidas que deben respetar las indicaciones de la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) IEC 144, señalados mediante el uso de las siglas "IP" (acrónimo de la palabra en inglés Ingress Protection).

Como se ilustra en el cuadro 2.2, la protección ambiental se indica mediante el uso de las siglas IP seguidas de dos cifras decimales. La primera refiere al grado de protección frente al contacto y entrada de cuerpos sólidos, y la segunda al grado de protección frente a la entrada de líquidos. Un valor mayor, corresponde a un mayor grado de protección del encapsulado.

Cuadro 2.2. Significado de las cifras del grado de protección IP, de acuerdo con la norma IEC144. Elaborado a partir de información tomada de Mandado y colaboradores (2009).

Primera cifra "X"	Grado de protección frente a la entrada de sólidos	Segunda cifra "Y"	Grado de protección frente a la entrada de líquidos
0	No está protegido contra el ingreso de cuerpos sólidos.	0	No está protegido contra el ingreso de cuerpos líquidos.
1	Protección contra la entrada de cuerpos sólidos mayores de 50 mm .	1	Protección contra condensación interna de gotas.
2	Protección contra la entrada de cuerpos sólidos mayores de 12 mm.	2	Protección contra gotas de líquido con un ángulo de inclinación de hasta 15° con respecto al eje vertical.
3	Protección contra la entrada de cuerpos sólidos mayores de 2,5 mm.	3	Protección contra gotas de líquido en forma de lluvia con un ángulos de inclinación menores o iguales a 60° con respecto al eje vertical.
4	Protección contra la entrada de cuerpos sólidos mayores de 1 mm.	4	Protección contra salpicadura de líquidos desde cualquier dirección.
5	Protección contra el depósito de cantidades perjudiciales de polvo, que interfieran con el adecuado funcionamiento del equipo.	5	Protección contra chorros de líquido desde cualquier dirección, bajo condiciones especificadas por el fabricante.
6	Protección total contra la entrada de polvo.	6	Protección contra chorros de líquido desde cualquier dirección bajo condiciones especificadas por el fabricante (aplicaciones navales).
		7	Protección contra la inmersión en agua bajo condiciones especificadas de presión y tiempo.
		8	Protección contra la inmersión en agua por tiempo indefinido bajo condiciones específicas de presión.

TIPOS DE SENSORES

A. Sensores de temperatura

Resistencias metálicas:

La resistencia eléctrica es una propiedad física de los materiales. Este aspecto es de gran aplicación en conductores eléctricos metálicos, cuya respuesta depende de la temperatura y por ello se les emplea como transductores. Las resistencias metálicas más comunes son las de platino, usualmente indicadas por la nomenclatura Pt100. Esto significa que, esta resistencia tendrá una magnitud de 100 Ω , para una temperatura de 0 °C y una magnitud de 138,5 Ω una temperatura de 100 °C. Los rangos de medición son diversos, aunque es común de -40 °C a 60 °C, con una precisión de 0,1 °C.

Termistores:

Son materiales semiconductores, que modifican su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Comercialmente se pueden encontrar de dos tipos, Termistores de Coeficiente Negativo (NTC), lo que significa que su resistencia eléctrica disminuye ante un aumento en la temperatura, y Termistores de Coeficiente Positivo (PTC) en los cuales la resistencia eléctrica aumenta de manera proporcional, ante un incremento en la temperatura.

Termopar:

Está basado en el principio físico llamado “Efecto Seebeck”, en el cual, en el punto de unión de dos conductores metálicos distintos, se forma una tensión eléctrica (voltaje) cuando la temperatura en el punto de unión es diferente de la temperatura en los extremos libres de ambos conductores. De este modo, es posible calcular la diferencia de temperaturas entre el punto de la unión (que sería la temperatura que se desea conocer) y temperatura en los extremos del termopar, siendo esta un valor de temperatura de referencia en el punto de medición.

Termómetro de luz infrarroja:

Según Martin (2010), a medida que las plantas sufren de estrés hídrico, en forma natural comienzan a cerrar sus estomas y dejan de transpirar aun estando bien hidratadas, provocando que la planta “se caliente” y la temperatura de las hojas aumente. Con las lecturas por rayos infrarrojos, se puede detectar este aumento de temperatura en la planta.

Si se mide la temperatura de las hojas con rayos infrarrojos en ese momento, estas lecturas pueden indicar que hay estrés hídrico, cuando en realidad éste es un

período en que la planta responde a las altas temperaturas. Por lo tanto es necesario relacionar las mediciones tomadas de temperatura de la hoja, con la temperatura ambiente presente en el instante de medición.

También debe considerarse que al inicio del desarrollo del cultivo, cuando el follaje de las plantas es escaso, como se muestra en la Figura 2.24 las lecturas del IR a menudo medirán las temperaturas del suelo. Estas lecturas generalmente ofrecen datos de temperatura más altos puesto que el suelo tiende a calentarse rápidamente.

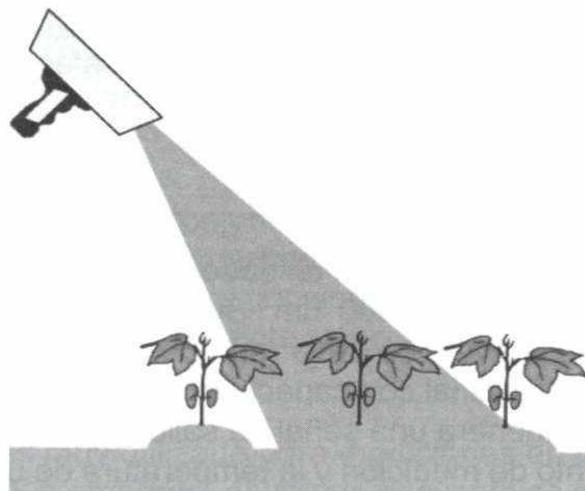


Figura 2.24. Funcionamiento de un sensor de temperatura de la hoja infrarrojo.
Tomado de Martin (2010).

B. Sensores de Humedad Relativa

Psicrómetro:

Su principio de funcionamiento está basado en una diferencia de temperaturas. Para esto, es necesario conocer la temperatura de un termómetro en un bulbo seco, que define la temperatura ambiente, y la temperatura de un termómetro en un bulbo húmedo, cuya magnitud es función de la cantidad de agua evaporada y por lo tanto, afectada por la presión de vapor de agua en la atmósfera. Mediante tablas de conversión, es posible obtener el dato de la humedad relativa del ambiente, a partir de la diferencia de temperaturas ante un estado de presión relativa del vapor de agua. Es necesario mantener permanentemente húmedo el bulbo del segundo termómetro.

Sondas Capacitivas:

Su principio de medición está basado en la magnitud de la capacitancia (definida como la capacidad de almacenar cargas electrostáticas) medida entre dos

electrodos, entre los cuales, se incluye un material **dieléctrico** (material que impide el paso del campo eléctrico a través de él) y además higroscópico (que posee la capacidad de absorber agua del ambiente y cambiar alguna de sus características físicas), de manera que la magnitud de la capacitancia medida entre ambos electrodos, es función de la humedad relativa del aire en el ambiente.

Representan una solución versátil y económica en aplicaciones de automatización. Sin embargo, poseen la desventaja que ante condiciones de alta humedad (cerca no al 100 % de HR), el material dieléctrico e higroscópico tiende a saturarse y toma un periodo de tiempo en volver a medir correctamente. Esto puede ser contrarrestado con mejores condiciones de ventilación para el sensor.

C. Sensores de radiación

Piranómetro:

Se usa para medir la radiación global en unidades de energía (W/m^2), por lo general en un espectro entre 300 nm y 2800 nm. Su principio de funcionamiento está basado en el proceso de conversión de la radiación absorbida en calor, el cual es aplicado a una termopila (material con capacidad de almacenar calor en un periodo de tiempo conocido), que genera una señal de salida en función de los cambios de temperatura entre el punto de medición y la temperatura de un punto de referencia. Así, la radiación calienta la zona en la cual están conectadas las uniones sensibles de una termopila, y esta produce una señal de salida (voltaje) en función de la temperatura, que es a su vez función de la radiación incidente.

El piranómetro es comúnmente utilizado para realizar mediciones de energía incidente, para la evaluación energética de una zona geográfica o de un sistema, por ejemplo en invernaderos o paneles solares.

Luxómetro:

Es utilizado para medir la luz visible por el ojo humano, la cual se encuentra en un espectro comprendido entre los 380 y 800 nm, usualmente son construidos a partir de una celda fotovoltaica como elemento sensor y transductor. Las mediciones obtenidas a partir de estos equipos pueden ser correlacionadas con la información correspondiente a la energía incidente (como en el caso del piranómetro) mediante tablas de conversión.

Sensor quantum (PAR):

Es usado para fines de investigación ya que mide específicamente la radiación aprovechada para la fotosíntesis de las plantas. Se basa en un detector fotosensible (que cambia sus características físicas ante la incidencia de fotones),

los cuales son contruidos a partir de material semiconductor. Este elemento es cubierto de una protección de aluminio anodizado y filtros de cristal de colores para limitar la radiación que detecta, al rango correspondiente a la radiación útil para las plantas o fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés), ubicada en el espectro entre 400 y 700 nm. Esta se puede medir como unidades de energía (W/m^2), o como densidad del flujo de fotones fotosintéticos, medidos en unidades Quanta, por unidad de tiempo y superficie ($moles/m^2 \cdot día$).

D. Sensores de velocidad y dirección del viento

El anemómetro es el instrumento con capacidad de medir la velocidad del viento, existen varios tipos, aunque destacan los siguientes.

Anemómetro de cucharas:

Está construido a partir de un conjunto de cucharas semiesféricas, unidas radialmente a un eje. El conjunto gira impulsado por el golpe del aire en las cucharas, de modo que la velocidad del viento se convierte en la velocidad de giro del eje. Para obtener una señal eléctrica, usualmente se acopla con el eje un generador eléctrico a manera de dínamo.

Este tipo de sensor es muy utilizado para mediciones en rangos de entre 1,5 y 50 m/s hasta 180 km/h. Sin embargo, entre sus desventajas se encuentran que necesita un valor mínimo de velocidad para que sus mediciones sean correctas, normalmente entre 0,5 y 1 m/s. Y es necesario revisar periódicamente el estado de las cucharas y que el eje no haya sido bloqueado por la presencia de polvo y otros elementos presentes en el ambiente.

Anemómetro de hilo caliente:

Su principio de funcionamiento se basa en medir los cambios que se generan en la temperatura de un filamento normalmente metálico, el cual ha sido calentado a una temperatura constante mediante circuitos de control electrónico.

La magnitud de la tensión que se le aplica al filamento para mantenerlo en la condición de temperatura constante se relaciona directamente con la transferencia del calor y, por tanto, con la velocidad del fluido. Este tipo de instrumento es especialmente útil para la medida de velocidades en fluidos de temperatura constante, además posee una alta velocidad de respuesta, que permite la medición de fenómenos turbulentos con un bajo error asociado.

Anemómetro ultrasónico:

Su principio de funcionamiento se basa en el hecho de que la velocidad de propagación del sonido depende de la velocidad y dirección del medio a través del

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

cual se propaga, en este caso el medio de propagación es el viento. Por lo tanto, lo que se mide es el tiempo que demora una señal ultra sónica en atravesar una distancia conocida, ante una condición de velocidad del viento variable entre el emisor y el receptor de la señal.

Posteriormente, mediante una segunda medición realizada por otro conjunto emisor-receptor ubicado en dirección perpendicular al primero, se puede calcular la velocidad del viento y además su dirección.

El precio de este tipo de instrumento de medición normalmente es mayor que un anemómetro de cucharas, sin embargo al no tener partes móviles requiere un menor mantenimiento y otorga una mayor confiabilidad.

Veletas:

Este sensor permite conocer la dirección del viento, y son construidos a partir de un brazo o “pluma”, que gira sobre un eje vertical, al que se le incorpora un deflector. De modo que, cuando existe una corriente de aire, se aplica una fuerza sobre el deflector que hace que el brazo gire en la dirección del viento.

Para convertir la posición del deflector en una señal eléctrica, normalmente se conecta el eje vertical con un potenciómetro de precisión, de modo que la resistencia medida es proporcional al ángulo que la veleta forma con respecto al norte.

E. Sensores de lluvia

El pluviómetro es una herramienta para medir el nivel de precipitación líquida en unidades de milímetros de altura, lo cual es equivalente a litros por metro cuadrado. En todos los casos, es muy importante que sea instalado en un espacio abierto, libre de obstáculos. Además, normalmente son calibrados con un nivel de resolución 0,1 mm de precipitación para cumplir con lo indicado por el WMO (Organización Mundial de Meteorología, por sus siglas en inglés).

Pluviómetro de cazoletas basculantes:

Está formado por dos partes, una base que contiene en su interior las cazoletas basculantes y un embudo superior para la captación de la precipitación. El mecanismo de medida es muy sencillo, la precipitación recogida por el embudo pasa a una de las cazoletas situadas en uno de los extremos del brazo de un balancín, y cuando este se llena, se vuelca y vacía la cazoleta y posiciona la otra cazoleta bajo el embudo, comenzando el ciclo nuevamente.

En cada descarga se provoca un contacto eléctrico que se registra en forma de pulso, posteriormente, la cantidad de agua precipitada se mide a partir del número de pulsos registrados.

Pluviómetro de descarga:

Este tipo de pluviómetro funciona de modo similar al de cazoletas basculantes; sin embargo, este opera no por pulsos, sino en función del tiempo, ya que registra el periodo con el cual uno de los dos cubos internos se inclina, como consecuencia de que se ha alcanzado un nivel de precipitación específico. En la mayoría de los pluviómetros, el agua se drena por la parte inferior, de modo que no necesita vaciarse manualmente.

F. Sensores de humedad del suelo

Según Martin (2010), al crecer las plantas utilizan el agua del suelo alrededor de sus raíces y a medida que esto ocurre, la humedad de la zona radicular empieza a disminuir, hasta un punto en el cual se requiere aplicar un riego o de lo contrario las plantas se estresarán hasta alcanzar un punto extremo donde se agota la totalidad del agua disponible, ocasionando que mueran.

“La tensión superficial, es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua” (Martin, 2010).

Cuando el perfil del suelo o sustrato se encuentra al 100 % de su contenido de humedad, alcanza lo que se conoce como Capacidad de Campo (CC). A esta condición se le asocia una tensión superficial de aproximadamente 0,1 bar, lo que significa que el agua no es retenida fuertemente por las partículas de suelo (o sustrato), y por lo tanto, es fácil para las plantas extraerla.

Como se observa en la Figura 2.25, a medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta hasta que el nivel de humedad alcanza el Punto de Marchitamiento Permanente (PMP). Es de destacar que aunque por debajo del PMP todavía hay un poco de humedad en el entorno de la raíz, esta agua está retenida tan fuertemente (baja humedad, pero alta tensión superficial) por las partículas del suelo (o sustrato), que las raíces de la planta no pueden extraerla y mueren de sed.

“En la mayoría de los cultivos agronómicos, el PMP se presenta cuando la tensión en el suelo es de 15 bar” (Martin, 2010).

El Agua Disponible para la Planta (ADP) es la diferencia en contenido de humedad, entre la CC y el PMP. Por su parte el Déficit Permitido en el Manejo del Riego (DPM), consiste en un porcentaje de agotamiento (reducción) del ADP, ajustado de modo que el estrés hídrico no ocasione daños a las plantas, ni pérdidas considerables de la cosecha.

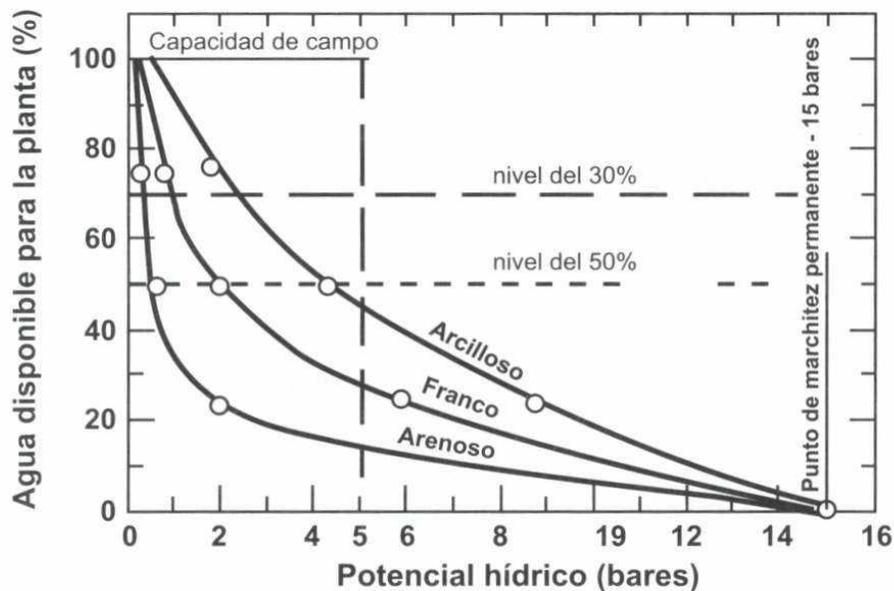


Figura 2.25. Curvas características del contenido de humedad y tensión para diferentes tipos de suelo. Tomado de Martin (2010).

Sonda de neutrones:

Se ha utilizado extensamente en labores de investigación por ser una técnica muy eficaz para medir el contenido total de agua en el suelo por unidad de volumen. Para esto, calcula la cantidad de hidrógeno (un componente esencial del agua) presente en el mismo. Sin embargo, para su funcionamiento es necesaria una fuente radioactiva y estudios físicos y químicos sobre las fuentes de hidrógeno presentes en el suelo a analizar, adicionadas al agua aportada por el riego.

“Los neutrones rápidos, emitidos de la fuente y que pasan a través del tubo de acceso dentro del suelo adyacente, pierden gradualmente su energía por medio de

colisiones con otros núcleos atómicos. Los neutrones chocan con el hidrógeno del agua del suelo y pierden velocidad. Los neutrones lentos rebotan de nuevo a un detector, creando un impulso eléctrico que se registra automáticamente y proporciona un determinado número de neutrones por período, que se relaciona con el contenido volumétrico total del agua en el suelo” (Enciso, Portes y Périès, 2007).

Aunque este método tiene gran aceptación por su precisión y exactitud, su aplicación en actividades agrícolas de pequeña y mediana escala es limitada, principalmente por su elevado costo y porque el equipo es regulado al involucrar la manipulación de una fuente radioactiva.

Tensiómetros:

Según Infoagro Systems, S.L. (sf), los tensiómetros actúan como una verdadera raíz artificial, que indica la tensión del agua disponible con independencia de las características del suelo.

Este instrumento consiste en un tubo de plástico lleno de agua y herméticamente cerrado, equipado con un vacuómetro (medidor de vacío) graduado en la unidad de centibar (cb) (algunos equipos incorporan un sensor electrónico) en la parte superior, y una punta de material poroso en contacto con una columna de agua, la cual es jalada por el suelo a medida que este se seca. Sin embargo, durante el riego, el agua retorna al tensiómetro desde el suelo y la lectura del manómetro se aproxima a 0 cb.

La confiabilidad de las mediciones de estos equipos depende del buen contacto del dispositivo con el suelo, condición que se tiende a perder conforme el suelo se seca. Por lo tanto, los tensiómetros funcionan bien en los suelos con alto contenido de humedad. Generalmente, el límite funcional de estos equipos, es de cerca de 80 cb; a una mayor tensión, el aire entra a través de la cápsula de material poroso (comúnmente se utiliza un tipo especial de cerámica) y provoca fallos en el instrumento.

Como se muestra en la Figura 2.26, se necesita más de un tensiómetro en cada sitio de medición, dependiendo de la altura de la raíz del cultivo en específico. Según Martin (2010) para cultivos con raíces superficiales como las hortalizas, se necesitan al menos dos instrumentos, instalados uno a 6 pulgadas y otro a 12 pulgadas de profundidad. Mientras que para cultivos con raíces más profundas, se recomienda emplear tres instrumentos, instalados a 12, 24 y 36 pulgadas. La elección de un lugar representativo dentro del área de cultivo cuyo monitoreo se pretende realizar, es de vital importancia.

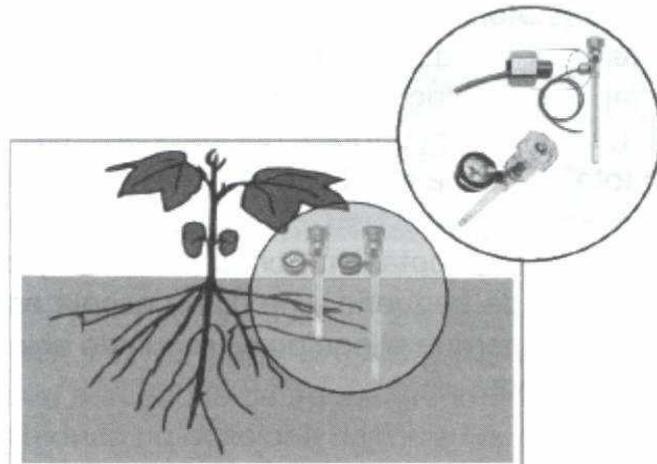


Figura 2.26. Diagrama de instalación en campo de un par de tensiómetros. Según Martin (2010).

Reflectómetros en el dominio del tiempo (TDR, por sus siglas en inglés):

Funcionan bajo el principio de que la presencia de agua en el suelo afecta la velocidad de propagación de una onda electromagnética (la hace más lenta). Para esto, el TDR envía una onda electromagnética a través de una guía (tres puntas paralelas) colocada en el suelo a la profundidad deseada. El TDR entonces mide el tiempo que le toma a la onda viajar por la guía hacia el suelo y ser recibida por la otra. Posteriormente, este tiempo se interpreta como un valor de humedad del suelo.

Reflectómetros en el dominio de la frecuencia (FDR, por sus siglas en inglés):

Según explica Martin (2010), estos equipos utilizan un oscilador de corriente alterna para formar un circuito eléctrico en conjunto con el suelo. Después de insertar las sondas, que pueden ser puntas paralelas o anillos de metal en el suelo, el oscilador produce valores de frecuencia según sea el contenido de humedad del medio.

Sonda resistiva:

El principio físico de estos dispositivos es que el contenido de humedad se puede determinar por la resistencia eléctrica entre dos electrodos en contacto con una porción del suelo (a mayor humedad por unidad de volumen, menor resistencia eléctrica).

Estos sensores consisten por lo general en unos bloques de material poroso que se entierran a una profundidad asociada con la altura de las raíces de la planta. En ambos extremos del material poroso, se dispone de un conjunto de electrodos

construidos de materiales poco susceptibles a la formación de puentes de sal entre ellos, para evitar generar resultados erróneos.

De manera similar que en los tensiómetros, la exactitud y la precisión de las sondas resistivas dependen del buen contacto del dispositivo con el suelo. Por lo tanto, funcionan bien en los suelos con alto contenido de humedad, pero su confiabilidad se compromete conforme el suelo se seca. Además, estos sensores se ven afectados ligeramente por factores como la temperatura y la salinidad, por lo que se recomienda calibrarlos de acuerdo con el tipo específico de suelo o sustrato.

Según IRROMETER Inc. (sf), un referente en este tipo de instrumento son los sensores de matriz granular comúnmente conocidos como sensores Watermark® mostrados en la Figura 2.27. Este tipo de sensor cuenta con un par de electrodos de alta resistencia a la corrosión, instalados dentro de una matriz granular de yeso, que le proporciona estabilidad ante los cambios en los niveles de salinidad del suelo o sustrato.

Este instrumento responde ante algunas de las deficiencias de las sondas resistivas antes señaladas, por lo que ha crecido su popularidad y aceptación. Además, ofrece un bajo costo y una fácil integración con equipos electrónicos para la lectura y registro de las mediciones.



Figura 2.27. Sensores de matriz granular para medición de contenido de agua en el medio de cultivo
Tomado de IRROMETER Inc.(s.f.).

Sonda capacitiva:

La constante dieléctrica de un material es distintiva del mismo. El aire por ejemplo, posee una constante dieléctrica de aproximadamente 1, mientras que la mayoría de los materiales del suelo, tales como la arena, arcilla y material orgánico poseen una constante dieléctrica con valor entre 2 y 4.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

El agua posee la característica de que cuenta con una constante dieléctrica muy alta en comparación con los demás compuestos presentes en el medio de crecimiento de la raíz. Específicamente, su constante dieléctrica es 78. Por lo tanto, al medir la magnitud de la constante dieléctrica en una porción representativa del medio, la sonda capacitiva estima el contenido de humedad de manera indirecta: a mayor porcentaje de agua por unidad de volumen, mayor constante dieléctrica.

Ello quiere decir que estos sensores proporcionan la lectura del contenido volumétrico de agua en el suelo (o sustrato) a la profundidad a la que se colocan, como un valor porcentual de la razón: metros cúbicos de agua por metros cúbicos de suelo (%). Su diseño está basado en un capacitor construido a partir de dos placas de un material conductor, separadas por una distancia corta y un material dieléctrico e higroscópico.

La interpretación de sus datos puede representar un nivel de complejidad mayor que en los otros instrumentos. Como ejemplo aclaratorio: un valor de 0 a 0,1 m³/m³ (o 10 %), indica un suelo seco o cerca del punto de marchitamiento permanente. Mientras un valor dentro del rango de 0,3 a 0,4 m³/m³ (30 a 40 %), representa un suelo con una humedad en el rango de capacidad de campo a saturado.

Al igual que en los otros instrumentos de medición de humedad del compuesto, estos equipos tienen como limitación que sus mediciones son tomadas sobre una pequeña muestra, por lo que es fundamental asegurar su correcto contacto con el elemento sensor del instrumento. Además, la representatividad del punto en el cual se localice el instrumento es vital, ya que en la mayoría de los casos es a partir de esta muestra que se toman las decisiones que se aplicarán sobre todo un sector de cultivo.

G. Sensores relacionados con el desarrollo y la fisiología de los cultivos

Conductímetro:

Según Infoagro Systems, S.L. (sf), la Conductividad Eléctrica (CE) es una variable que se controla en muchos sectores, desde la industria química hasta la agricultura. Esta propiedad depende de la cantidad de sales disueltas (cuanto mayor sea su concentración, mayor será la CE) presentes en una sustancia (solución del sustrato, suelo o ferti-riego en este caso). Además, según Torres y colaboradores (sf), mediante el análisis de la CE es posible saber si existe acumulación de sales en el entorno de la raíz de las plantas.

Por definición la CE es inversamente proporcional a la resistividad del material y comúnmente se expresa en unidades de Siemens por centímetro (S/cm). Algunos valores de referencia se muestran en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Valores de referencia de la conductividad de distintos medios comunes, según Infoagro Systems, S.L. (s.f).

Medio	Conductividad
Agua pura	0,055 $\mu\text{S/cm}$
Agua destilada	0,5 $\mu\text{S/cm}$
Agua de montaña	1 $\mu\text{S/cm}$
Agua de uso doméstico	500 - 800 $\mu\text{S/cm}$
Máximo agua potable	10055 $\mu\text{S/cm}$
Agua de mar	52 mS/cm

Según Infoagro Systems, S.L. (sf), la CE de una solución depende del movimiento molecular y la temperatura influye en dicho movimiento, por lo que es necesario tomarla en cuenta cuando se realizan mediciones de alta precisión.

Generalmente, para realizar mediciones comparativas, la temperatura de referencia es de 20 C ó 25 C. Para corregir los efectos de la temperatura, se utiliza un factor de compensación β (expresado en unidades de $\%/C$) que varía de acuerdo con la composición de la solución que se está midiendo. "En la mayor parte de las aplicaciones, el coeficiente β se fija en $2\%/C$ " (Infoagro Systems, S.L., sf).

Sensores de pH:

Según Karlanian (2011), el pH de la solución del sustrato, es decir, la solución de agua que se encuentra en los poros del medio de cultivo, controla la disponibilidad relativa de los nutrientes para las plantas.

El pH del agua y del suelo o sustrato, es el aspecto más importante a tomar en cuenta para determinar la disponibilidad de nutrientes de los cultivos (especialmente micronutrientes). Conocer esta variable, permite realizar un manejo de la fertilización de acuerdo con las exigencias de las plantas de una manera más eficiente y precisa según los rangos señalados en la Figura 2.28.

El pH nos indica la acidez o la alcalinidad de una solución; un valor 7 es neutro, por debajo de 7 es ácido y por encima de ese valor es alcalino. Según Torres y colaboradores (sf), todos los nutrientes se encuentran disponibles en el rango de pH de 5,4 a 6,2, como se muestra en la Figura 2.29. Sin embargo, cada tipo de planta responde a un rango óptimo de pH. Por otra parte, Karlanian (2011) especifica que el nivel de pH también depende del medio de crecimiento de la raíz, de modo que en sustratos (no suelo), el rango de pH óptimo para la mayoría de las plantas es de 5,8 hasta 6,2 y en los que contienen más del 30% de suelo, el rango recomendado es de 6,2 hasta 6,8.

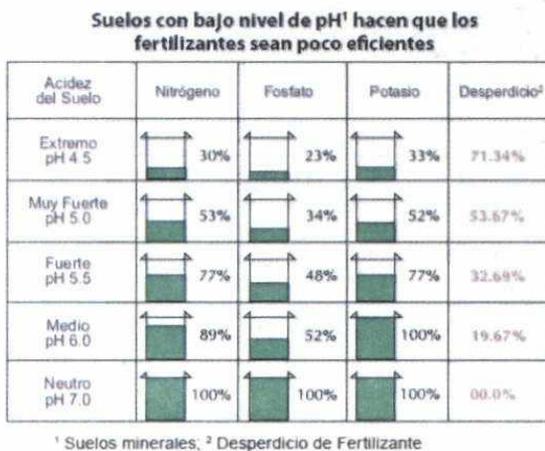


Figura 2.28. Relación de uso de nutrientes según el pH del suelo. Tomado de (Infoagro Systems, S.L. (sf).

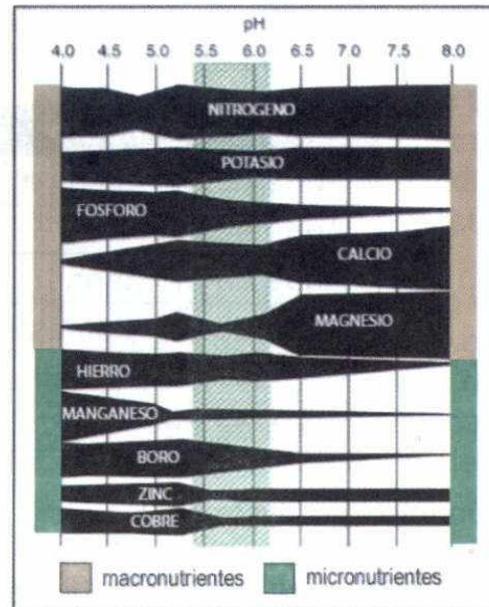


Figura 2.29. Disponibilidad de los nutrientes de acuerdo con el pH del medio. Tomado de Torres y colaboradores (sf).

Sensor de flujo de savia

Según LAPACA (2017), la savia es el fluido o líquido transportado por los tejidos de conducción de las plantas (xilema o floema). La savia transportada por el xilema (denominada "savia bruta") consiste principalmente en agua, elementos minerales, reguladores del crecimiento y otras sustancias que se hallan en disolución. El transporte de esta savia se produce desde las raíces de la planta hasta las hojas por los tubos leñosos.

El monitoreo del flujo de savia es utilizado principalmente en árboles, tanto en tallos leñosos pequeños como en árboles muy grandes, en los cuales la medida del flujo de savia en el tronco, las ramas o las raíces proporciona una buena estimación de la transpiración, que a su vez, permite determinar sus requerimientos de riego.

Su funcionamiento está basado en el principio del Método del Cociente Calórico (HRM, por sus siglas en inglés), desarrollado por la Universidad Occidental de Australia junto con organizaciones asociadas como el ICRAF y CSIRO. El HRM posee similitudes con el Método de Deformación del Campo de Calor (HFDM, por sus siglas en inglés), lo que le permite realizar el cálculo de la transpiración de la planta a partir de la medición del flujo de savia, aún en condiciones de flujo cero y velocidad reversa del flujo de savia.

Su diseño se muestra en la Figura 2.30, donde se puede apreciar que el instrumento está construido a partir de sondas compuestas por tres "agujas" de

longitud específica. Dos de ellas: la superior e inferior, se encuentran localizadas a una misma distancia sobre el punto de calentamiento y cada una contiene dos medidores de temperatura de alta precisión. A lo largo de la aguja central se extiende un calentador, que aplica calor a la albura, que corresponde a los últimos anillos de crecimiento del árbol, donde se encuentra el xilema funcional (por lo general, la albura se distingue por ser de un color más claro).

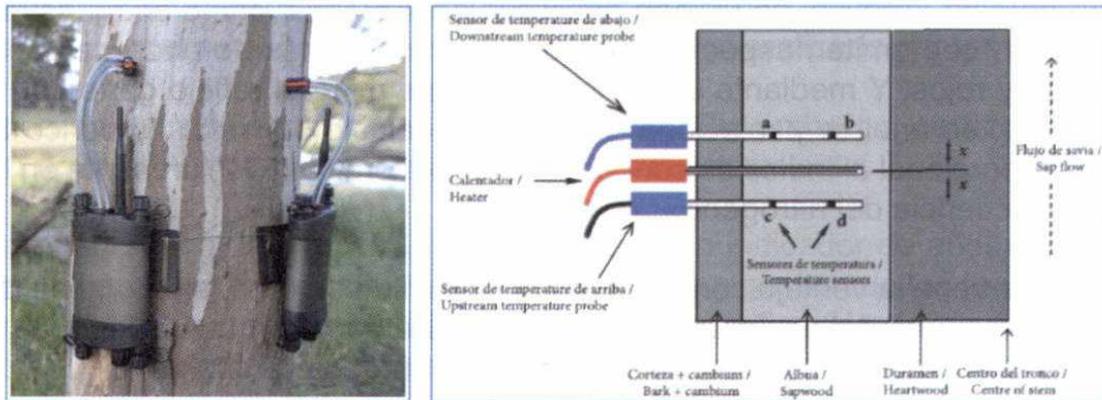


Figura 2.30. Colocación y diagrama de funcionamiento de un medidor de flujo de savia.
Tomado de LAPACA (2017).

Estas diferencias de temperatura y su variación en el tiempo se asocian con la transpiración del cultivo, con las ventajas de que: “Dado que se trata de un método fisiológico, la medida del flujo de savia presenta la ventaja adicional de integrar conjuntamente las consecuencias derivadas de la acción sobre el contenido hídrico del suelo y la demanda climática de agua sobre el funcionamiento hídrico de la planta, permitiendo no sólo analizar el consumo hídrico real de la planta, sino además detectar la presencia de estrés fisiológico o hídrico y evaluar las necesidades de riego”. (LAPACA, 2017).

Medidor de clorofila

El contenido de clorofila en las hojas de las plantas está estrechamente relacionado con las condiciones nutricionales de la planta; se incrementa proporcionalmente a la cantidad de nitrógeno presente. Su lectura se da en unidades de micromoles de clorofila por metro cuadrado de superficie de las hojas ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$).

Este equipo forma parte de una nueva generación de instrumentos de medición, que permiten el monitoreo de las condiciones de desarrollo y fisiología del cultivo de una manera ágil y no destructiva. En este caso, la medición de la concentración de clorofila en las hojas se realiza mediante el uso de unas pinzas, que toman una sección de la hoja sin causarle mayor daño a la planta.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

Su principio de funcionamiento es óptico y es el resultado de investigaciones realizadas por científicos de la Universidad Estatal de Utah, quienes descubrieron que la transmisión de luz por la clorofila es característicamente alta en el espectro cercano al infrarrojo y muy baja en la gama de los rojos. Esto porque las plantas verdes absorben la radiación visible para la fotosíntesis y reflejan el espectro cercano al infrarrojo, que no utilizan.

A partir de esta premisa, se utilizan emisores de luz “LED” como se muestra en la Figura 2.31, que emiten específicamente en las longitudes de onda de espectros infrarrojos y rojos. Y mediante unos detectores, se mide el reflejo generado por la hoja, el cual se analiza y relaciona mediante el cálculo del valor numérico SPAD, que es proporcional al índice de concentración de clorofila (ICC) presente en la hoja y en consecuencia del nitrógeno.

“Este índice tiene la ventaja con respecto al contenido de nitrógeno total en la hoja, de que no requiere del envío de muestras al laboratorio, porque las lecturas de las unidades SPAD pueden realizarse en el campo” (Infoagro Systems, S.L., sf).

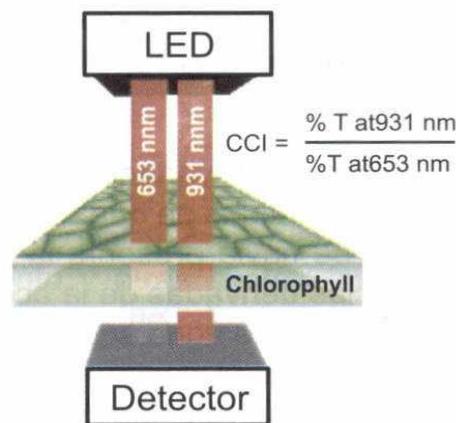


Figura 2.31: Principio de funcionamiento de un medidor óptico de clorofila.
Tomado de LAPACA (2017).

El monitoreo del nivel de clorofila ayuda a tomar mejores decisiones y ejecutar un manejo más preciso de la fertilización. Como resultado, se mejora la calidad y productividad de los cultivos, al optimizar las condiciones nutricionales de las plantas.

Medidor de evapotranspiración:

La evapotranspiración es la pérdida de humedad de una superficie por el efecto combinado de la evaporación directa y la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Su unidad de medida es en milímetros por unidad de tiempo (mm/s).

El monitoreo y control de esta variable permite estimar las necesidades de riego de un cultivo (cuándo y cuánto regar), por lo que ayuda a prevenir condiciones desfavorables (excesos o carencias) del riego, optimizando el uso del agua y la energía.

El principio de funcionamiento de estos equipos, se basa en un evaporador cerámico, que forma parte del instrumento. El cual, reacciona a la influencia del ambiente y el agua de la misma forma que lo hacen el suelo (o sustrato) y las plantas, su efecto se ve reflejado en el decrecimiento progresivo del nivel de agua del instrumento, el cual se asocia con el consumo del riego realizado por las plantas.

Este es un instrumento eficaz y fácil de usar. Sin embargo, se debe reabastecer con agua periódicamente para su correcto funcionamiento.

“Se puede tomar la evapotranspiración como un indicador de aridez de una zona, y es indispensable en las tareas de planificación y gestión de los recursos hídricos, en ciertos estudios medioambientales y en la cuantificación de las demandas hídricas de la vegetación, especialmente de los cultivos” (Infoagro Systems, S.L., sf).

Balance de energía

Algunos procesos biológicos, físicos o químicos, pueden ser modelados con base en las variables ambientales y, a su vez, de los requerimientos del cultivo. Por tanto, las decisiones acerca del control, pueden ser ahora tomadas en función de coeficientes en los que intervienen las diversas condiciones ambientales (la evapotranspiración por ejemplo), lo que implica el uso de diversos instrumentos, para lograr una gestión precisa en la actividad productiva.

En estructuras de agricultura protegida, es importante conocer la entrada y la salida de energía del sistema, como parte del proceso de mejoramiento de las condiciones de producción. Para esto, se requiere emplear equipo diverso para sensado, tal que se pueda detectar el comportamiento de las condiciones que intervienen en el flujo de energía así como su magnitud. Benavides y colaboradores (2016) han desarrollado el tema para el trópico y el lector puede referirse a su propuesta, que permite mediante los principios de termodinámica aplicados a la conducción de energía por los materiales, hacer los cálculos requeridos.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

LITERATURA CITADA

- Benavides, C.M.; López, A.J. y Alfaro, M. Elena. 2016. Diseño, evaluación y operación de ambientes protegidos en función del clima. Universidad de Costa Rica/Ministerio de Agricultura y Ganadería. 108 p.
- Bustos, J. (26 de Septiembre de 2012). blogspot. Obtenido de <http://jorgebustos161002342.blogspot.com/2012/09/caracteristicas-un-sistema-de-medida.html>.
- CENTELSA. (abril de 2010). Cables para instrumentación y control. Cables y tecnología, 3-14.
- CONTECSA. (01 de Diciembre de 2009). Catálogo de Cables de Instrumentación y Control.
- Creus, A. (2011). Instrumentación industrial (Octava ed.). México D.F., México: Alfaomega.
- Enciso, J. M., Porter, D., & Périès, X. (Agosto de 2007). Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Extensión cooperativa de la universidad de Texas, 1-12 .
- Infoagro Systems, S.L. (sf). Clorofila. Medidor Minolta Spad 502 plus. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de:
http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=8501&_clorofila_medidor_minolta_spad_502_plus_tienda_on_line.
- Infoagro Systems, S.L. (sf). Conductividad eléctrica (CE). Recuperado el 22 de Enero de 2017, de:
http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53.
- Infoagro Systems, S.L. (sf). Instrumentos medida. Recuperado el 17 de Enero de 2017, de Medidor de humedad de suelo. Tensiómetros Irrometer: http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6406&_medidor_de_humedad_de_suelo_tensiometros_irrometer_tienda_on_line.
- Infoagro Systems, S.L. (sf). Medidor de evapotranspiración ET. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de:
http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=6417&_medidor_de_evapotranspiracion_et_tienda_on_line.

- Infoagro Systems, S.L. (sf). Medidor económico de pH del suelo. SoilStik. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de [www.infoagro.com: http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=5411&_Medidor%20econ%20mico%20de%20pH%20del%20suelo.%20SoilStik](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=5411&_Medidor%20econ%20mico%20de%20pH%20del%20suelo.%20SoilStik)
- IRROMETER Inc. (sf). Medición de la Humedad del Suelo. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de [www.irrometer.com: http://www.irrometer.com/sensorssp.html](http://www.irrometer.com/sensorssp.html)
- Karlanian, M. (1 de Diciembre de 2011). inta.gov.ar. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de Cómo medir el pH y la conductividad eléctrica: <http://inta.gov.ar/documentos/como-medir-el-ph-y-la-conductividad-electrica>
- LAPACA. (2017). Flujo de Savia. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de: <http://www.lapacacr.com/productos/fisiologia-vegetal/flujo-de-savia-sfm>.
- LAPACA. (2017). Medidor de clorofila. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de: <http://www.lapacacr.com/productos/fisiologia-vegetal/medidor-de-clorofila>.
- Mandado, E., Acevedo, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*. México D.F., México: Alfaomega.
- Martin, E. (Septiembre de 2010). Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿Cuándo? Extensión Cooperativa de la Universidad de Arizona, 1-8.
- Nielsen. (13 de Febrero de 2014). www.excelate.com. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de Smart Data Series: Accurate Data: <http://exelate.com/resources/white-papers/smart-data-series-accurate-data/>.
- Rojas, J. (2007). *Ambientes Protegidos: Una opción para productores con visión empresarial*. (F. Marín, Ed.) Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos, 7-8.
- Torres, A. P., Camberato, D., Lopez, R. G., & Mickelbart, M. (sf). *Producción Comercial de Cultivos Bajo Invernadero y Vivero*. Purdue Extension, 1-6.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

FICHAS DE ALGUNOS EQUIPOS PARA AGRICULTURA PROTEGIDA

En un afán por ilustrar acerca de la disponibilidad de algunos de los muchos equipos disponibles en el mercado, se compiló un grupo de fichas técnicas en procura de brindar información que será de interés para el usuario. Su uso puede ser general, pero la mayoría de esos instrumentos se adapta a sistemas en los que la precisión es cada vez más importante, ante la necesidad de un mejor empleo de los recursos productivos, tanto como a la valoración del comportamiento de los cultivos bajo condiciones de agricultura protegida. Algunos de ellos como las estaciones meteorológicas, son en particular útiles para analizar el comportamiento del clima interno, pronosticar cambios en la fisiología del cultivo y caracterizar periodos y zonas de cultivo; incluso pueden ser fuente de valiosa información para tomar la decisión acerca de instalar o no un proyecto en un sitio determinado.

Se encontrarán equipos para la lectura de diversas variables, según la caracterización desarrollada en la sección anterior. Para cada caso, se incorporó información relacionada con la naturaleza del equipo, algunas opciones para usos específicos, las variables que permite medir y las unidades de medición.

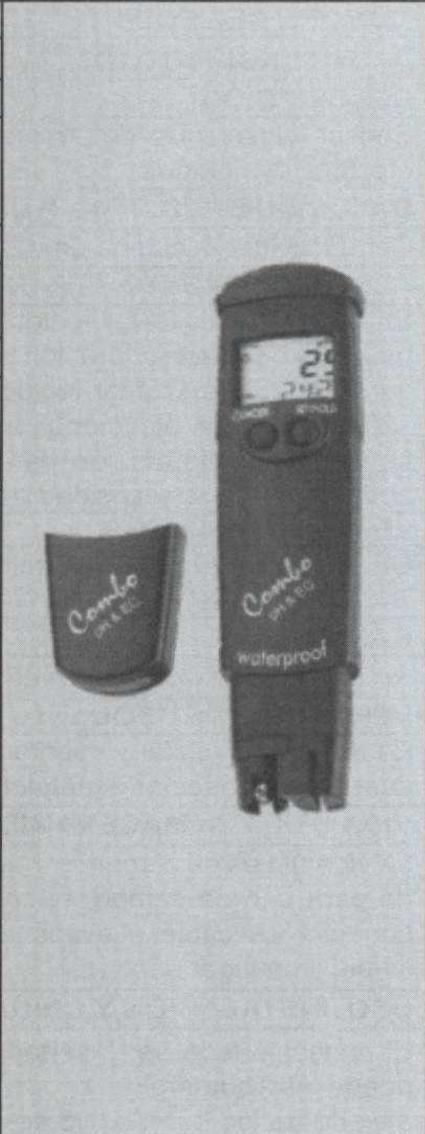
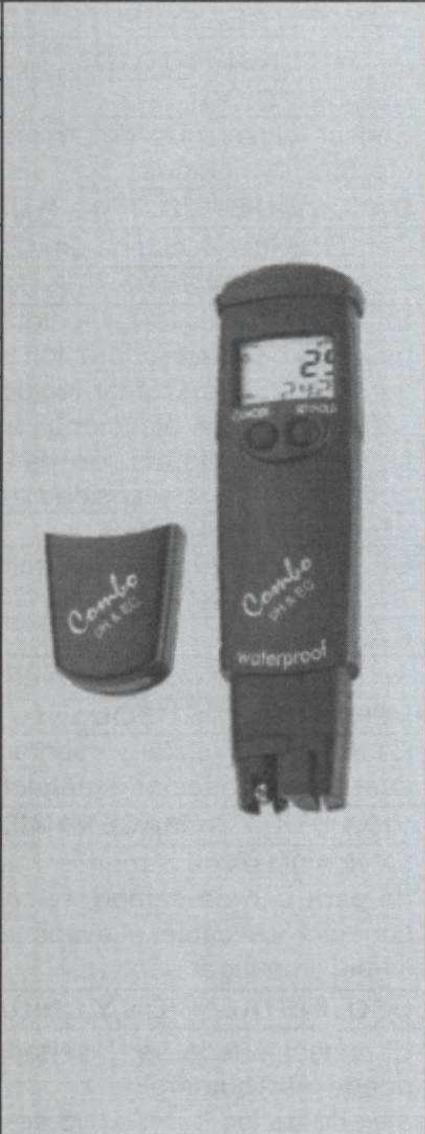
Así mismo, se incluyen detalles relacionados con la manipulación, la calibración, el almacenamiento y cuidados especiales que requieren los instrumentos. Se hace también notorio el hecho que existe un límite de tiempo, o vida útil, en el cual el instrumento puede funcionar de manera correcta, si es que se le ha empleado de la forma debida y bajo las condiciones especificadas (ambiente de trabajo del instrumento) por el fabricante.

La utilidad práctica se señala. Sin embargo, el técnico y el productor, deben tomar previsiones acerca de cuál o cuáles son las variables que impactan en mayor grado la actividad productiva, de forma que la inversión en equipo sea necesariamente ordenada y en concordancia además, con la capacidad de inversión y los requisitos para almacenar e interpretar los datos.

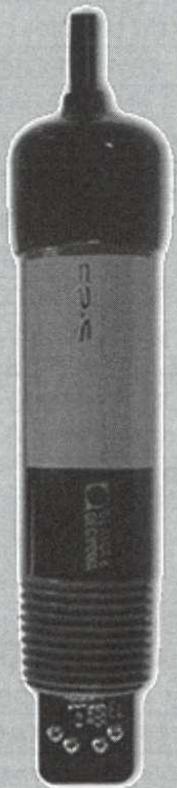
La agricultura protegida debe ser cada vez más eficiente. El costo inicial de la infraestructura significa un importante esfuerzo del productor. Pero decidirse por este sistema de cultivo obliga también a una mayor preparación y al empleo de conocimiento y de las herramientas tecnológicas que, al fin, permitirán mejores ingresos, una mejor calidad de vida y una más apropiada relación con el ambiente y las comunidades.

FMT.

FICHA TECNICA NÚMERO 3.1

NOMBRE DEL EQUIPO	
EQUIPO MULTIPARAMÉTRICO DE BOLSILLO	
DESCRIPCIÓN	
Equipo multiparamétrico, para la medición de pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (TDS) y temperatura; versión de bolsillo, con bulbo intercambiable e impermeable.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Registra pH, CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ o en mS/cm , TDS en ppm (mg/l) o en ppt ($\mu\text{g}/\text{l}$), temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y $^{\circ}\text{F}$	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
No tiene sistema de almacenamiento, sino que las mediciones se leen directamente en una pantalla LCD.	
LECTURA DE DATOS	
Para pH: 0 a 14,00, $\pm 0,05$ Para CE: 0-3990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o 0-20 mS/cm , $\pm 2\%$ Para TDS: 0 a 2000 ppm o 0 a 10,00 ppt, $\pm 2\%$ Para temperatura: 0-60,0 $^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$	
CALIBRACIÓN	
La calibración requiere del uso de soluciones referencia en dos puntos de pH (4 y 7) y un punto de conductividad eléctrica (1473 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o 12,88 mS/cm).	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Hay dos versiones según expresan las unidades de CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y TDS en ppm, o bien en mS/cm o ppt, respectivamente.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El equipo no tiene cuidados especiales para almacenamiento, excepto retirar las pilas. Es resistente a salpicaduras de agua y es impermeable en caso de inmersión. El electrodo de pH es sustituible por otro al terminar su vida útil, de 6 meses a 1 año, dependiendo de los buenos cuidados de limpieza, calibración e hidratación.	
USO, INSTALACION Y CUIDADOS ESPECIALES	
Calibrar para resultados exactos y precisos. Mantener hidratado el bulbo de medición de pH y limpiarlo posteriormente a su uso.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Medir el pH y la conductividad eléctrica (CE) o sólidos totales disueltos (TDS), es una forma fácil, rápida y económica para conocer las cualidades del medio de cultivo. La conductividad eléctrica del agua es una determinación indirecta de la cantidad de nutrientes disponibles en el agua, en forma de iones y sales. Los TDS son las sustancias orgánicas e inorgánicas con un tamaño menor a dos micrómetros y determinan las condiciones del agua. Al conocer estos valores e interpretarlos con el requerimiento de los cultivos, es posible prevenir y corregir problemas asociados con la nutrición, y permite además orientar las inversiones de control en el sistema de fertirriego.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.2

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR CONDUCTIVÍMETRO PARA LÍQUIDOS	
DESCRIPCIÓN	
Sensor digital que determina la temperatura y conductividad eléctrica en líquidos.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Conductividad eléctrica en dS/cm y temperatura en °C	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor necesita un lector de mano (ProCheck) para tomar medidas puntuales. También puede ser conectado a un datalogger EM50G para tomar lecturas constantes. El EM50G tiene la capacidad para almacenar hasta 36000 lecturas, además de transmitir la información para visualizar los datos desde una computadora sin necesidad de ir al campo.	
LECTURA DE DATOS	
CE: 0 hasta 120 ± 0,01 dS/m ó ± 10 % Temperatura: -40 a 50°C ± 1°C	
CALIBRACIÓN	
No se necesita. Se realiza en fábrica en solución KCl.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Es un equipo digital y cuentan con conector de 3,5 mm o cable suelto para conectar a 'datalogger'.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
La vida útil es de al menos 2 años. Aunque el sensor fue diseñado para uso de campo, el cuidado especial debe darse con el conector y el cable, al evitar cortes o daños. Almacenar el equipo limpio y en lugar seco	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
El sensor puede ser insertado en la tubería de riego, también puede ser sumergido en un tanque, aunque preferiblemente alejado de los bordes. No se deben tocar los tornillos sin guantes; y tampoco debe estar en contacto con ningún tipo de aceite o residuo no conductivo. El manual recomienda un procedimiento de limpieza cuando se deja por largo tiempo en tanques.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Con este sensor se permite medir la concentración de sales en agua y de sólidos disueltos que están pasando por los ductos del sistema de riego, en los tanques de recirculación en sistemas hidropónicos, e incluso de los tanques de almacenamiento de agua para riego u otros usos. Con esto pueden establecerse cambios en la concentración con el avance de los ciclos productivos y determinar la necesidad de balancear el riego con las soluciones nutritivas. La lectura de temperaturas permite proyectar tasas de dilución o concentración del líquido medido. El sensor puede ser instalado en tuberías de flujo, de tal forma que brinda información sobre concentración total de nutrientes en la solución.	

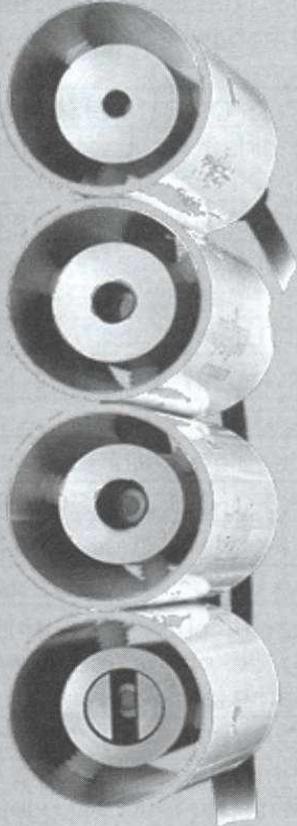
FICHA TECNICA NÚMERO 3.3

NOMBRE DEL EQUIPO	
MINI CONTROLADOR DE C.E.	
DESCRIPCIÓN	
Equipo para monitorear y controlar la conductividad eléctrica en línea de manera automática, mediante la dosificación de compuestos químicos.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Conductividad eléctrica (CE) en mS/cm	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
No tiene sistema de almacenamiento; responde en tiempo real y el dato se muestra en una pantalla LCD.	
LECTURA DE DATOS	
Valores de CE entre 0 y 10,00 ± 0,2 ms/cm y una resolución de 0,01 mS/cm	
CALIBRACIÓN	
Calibración manual en un valor cercano a la lectura de conductividad eléctrica que se desea establecer como referencia, mediante una solución.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Hay dos versiones que varían en tanto el origen de la energía sea esta 12 VDC para corriente directa, o para corriente alterna (115/230 V).	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El equipo está fabricado para el uso continuo; de ser requerido, limpiar la sonda y el equipo antes de guardar. La vida útil es de hasta dos años.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
El equipo debe ir conectado a una bomba dosificadora y una sonda para poder llevar a cabo las tareas de lectura/monitoreo. Es preciso mantener en buen estado la sonda de medición mediante limpieza, mantenimiento y calibración para resultados precisos y alargar su vida útil. En particular hay que evitar que se generen depósitos de sales en la sonda.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
La conductividad es un flujo eléctrico que se transmite mediante la presencia de aniones y cationes, que son las sales y los nutrientes. En general, se mide aplicando una corriente eléctrica alterna a dos electrodos inmersos en la solución o material de interés y se mide el voltaje resultante.	
La salinidad se ha medido usando la conductividad eléctrica y es una forma indirecta pero precisa de correlacionar varias propiedades físicas y químicas de un medio de cultivo. La salinidad se refiere a la presencia de sustancias inorgánicas disueltas, principalmente Na ⁺ , Mg ⁺² , Ca ⁺² , K ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , HCO ₃ ⁻ y CO ₃ ⁻² .	
Otros factores que intervienen en la conductividad son la capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio de iones y los contenidos de materia orgánica. La conductividad eléctrica puede relacionarse con la productividad o la humedad del medio.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.4

NOMBRE DEL EQUIPO	
MINI CONTROLADOR DE pH	
DESCRIPCIÓN	
El equipo está diseñado para monitorear y controlar el pH en línea (tiempo real), de manera automática, mediante la emisión de alertas ante cambios en la dosificación de compuestos químicos.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
pH	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
No tiene sistema de almacenamiento.	
LECTURA DE DATOS	
Valores pH entre 0 y 14,0 ± 0,2, y resolución de 0,1.	
CALIBRACIÓN	
Calibración manual en un punto cercano al valor de pH que se desea mantener, se realiza con soluciones de referencia.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Hay dos versiones que varían en tanto el origen de la energía sea esta 12 VDC para corriente directa, o para corriente alterna (115/230 V).	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El equipo está diseñado y fabricado para el trabajo continuo. Las sondas para la medición de pH conectadas al controlador, requieren cuidados de limpieza e hidratación del bulbo para mantener su funcionamiento y alargar su vida útil, que es de 1 a 2 años bajo uso continuo.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
El equipo debe ir conectado a una bomba dosificadora y una sonda para poder llevar a cabo las tareas de monitoreo y eventual dosificación. Se debe mantener en buen estado la sonda de medición mediante limpieza, mantenimiento y calibración para resultados exactos y alargar su vida útil.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
El pH afecta la disponibilidad de nutrientes en el medio de cultivo, especialmente los micro-nutrientes, que se encuentran en pequeñas cantidades y cuya deficiencia puede ocasionar rápidos cambios en el desarrollo.	
Los nutrientes se encuentran disponibles en rangos de pH de 5,4 a 6,2. El pH entre 6 y 7 se considera óptimo para el desarrollo de las plantas, aunque cada especie puede ser más o menos tolerante a valores algo distintos de los señalados.	
Cuando el pH es mayor a 7,5, puede existir una gran precipitación de sales e inmovilización de nutrientes.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.5

NOMBRE DEL EQUIPO	
RADIÓMETRO INFRARROJO	
DESCRIPCIÓN	
Sensor para medir temperatura, sin que exista contacto con el elemento de interés.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Temperatura en °C	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor necesita un lector de mano para tomar medidas puntuales, y este los almacena para luego descargarlos. También puede ser conectado a un 'datalogger' para tomar medidas con determinada frecuencia (almacena hasta 36000 lecturas). Tiene la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde su computadora sin necesidad de ir al campo.	
LECTURA DE DATOS	
Temperatura desde -30 hasta $65 \pm 0,2$ °C	
CALIBRACIÓN	
Se realiza en fábrica cada 2 años.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Algunos son digitales otros son analógicos, y vienen con conector 3,5mm o cable suelto para conectar a otros 'dataloggers'. También los hay con diferentes ángulos de apertura (14-32 °), tres circulares, uno horizontal.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Aunque el sensor fue diseñado para uso de campo, el único cuidado especial debe ser con el conector y el cable de no ser cortado o dañados. La vida útil es de al menos 2 años.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Se debe evitar la presencia de elementos que puedan afectar la medida o que no se cubra correctamente el área de interés. Usualmente se instala en la parte superior de la estructura o invernadero, apuntando hacia la plantación y dependiendo de altura de la misma, la posición deberá ser será más alta o con una inclinación diferente. La distancia y el ángulo deben ser previamente analizados para cubrir el área deseada a medir.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Se usa para medir la temperatura del cultivo, suelo o medio de cultivo dentro del invernadero o a campo abierto. Esta información es de suma importancia para determinar tasas de evapotranspiración y actividad fotosintética, lo cual determina la eficiencia de la planta y el efecto de las condiciones ambientales sobre su fisiología. Todo ello repercute en la absorción de agua y nutrientes y el desarrollo general. La medición de temperatura de los materiales de la estructura, puede ayudar en el análisis de flujos y equilibrio de energía dentro del sistema.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.6

NOMBRE DEL EQUIPO	
MEDIDOR PORTÁTIL DE LUZ (LUXÓMETRO)	
DESCRIPCIÓN	
Equipo medidor de la cantidad de luz total, ideal para su uso en invernaderos y lecturas de contraste en zonas con sombreado.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Intensidad de luz medida en kiloluxes, como cantidad de luz total. Ofrece una incertidumbre de $\pm 6\%$ de la lectura.	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
No tiene sistema de almacenamiento. Los datos se despliegan en una pantalla LCD	
LECTURA DE DATOS	
Lecturas en tiempo real KLux 0,001 a 199,9	
CALIBRACIÓN	
No requiere calibración.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
No hay otras versiones.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El equipo cuenta con empaque de carga y almacenamiento. En caso de no usarse por periodo prolongado, solamente debe retirarse la pila.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Se emplea directamente exponiendo el sensor a la radiación en el sitio requerido. No ocupa cuidados especiales salvo mantener limpio el sensor.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
<p>La temperatura y la luminosidad pueden interferir de forma positiva o negativa en el desarrollo de las diferentes especies de plantas, por lo que es imperativo conocer estos factores en cultivos de ambiente protegido para obtener mejores resultados. Las plantas usan la radiación activa de los 400 a los 700 nm como su fuente de energía para el proceso de la fotosíntesis, por lo que los materiales de recubrimiento de los invernaderos deben tener una alta transmitancia en este intervalo de luz.</p> <p>Además, la interacción de los diferentes componentes del invernadero como elementos estructurales y postes, equipo auxiliar como tuberías, cortinas y accesorios de luz adicionales, reducen la cantidad de luz total que llega a las hojas de la planta. Por lo tanto, la selección del material de recubrimiento durante el diseño del invernadero y del equipo auxiliar es fundamental.</p> <p>El equipo permite conocer la cantidad total de luz que hay dentro de estructuras productivas y determinar el grado de transmitancia según la interferencia de materiales de cerramiento, comparando frecuentes lecturas con las de ambiente exterior.</p>	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.7

NOMBRE DEL EQUIPO	
MEDIDOR PORTÁTIL PARA LUZ PAR	
DESCRIPCIÓN	
Instrumento portátil para medir la radiación fotosintéticamente activa (o luzPAR)	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Fotones en $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El equipo tiene la capacidad para almacenar 99 lecturas, sean medidas puntuales, o mediante un método automático de registro. Tiene la capacidad de tomar lecturas cada 30 segundos y de sacar un promedio de hasta 60 medidas cada 30 segundos y almacenar el valor dentro del límite propuesto	
LECTURA DE DATOS	
Desde 0 hasta $4000 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. Trabaja en una rango de 389 hasta $692 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$, con error de menos del 10 % para lecturas realizadas entre 412 y 682 nm.	
CALIBRACIÓN	
Para calibración, cada año se debe revisar el estado del mismo usando un programa y enviando el reporte a fábrica para determinar si la calibración es necesaria.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Es un sensor digital que además puede presentarse en una versión para conectarlo vía USB ver los datos en la computadora.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Al menos 2 años y cuidar de no dañar conector y cable. Almacenar en un lugar seco.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Dependiendo de la aplicación, el sensor debe ser instalado en una placa de nivel, orientado con el cable hacia el norte y nivelado. Se debe asegurar que esté libre de obstrucciones tales como insectos, hojas etc., evitando dejarlo en aéreas donde hay posibilidad de sombra.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
La luz PAR es la forma en que mejor se logra interpretar la cantidad de energía que recibe la planta, además del indicador acumulado de Luz Diaria Integrada. Es esencial conocerla para establecer la eficiencia de los materiales de cerramiento así como proyectar suficiencia para la fotosíntesis de la planta. El dato acumulado también permite valorar posible estrés fisiológico. Ambas variables están relacionadas con las tasas de productividad.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.8

NOMBRE DEL EQUIPO

SENSOR LUZ PAR

DESCRIPCIÓN

Sensor para medir la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES

Fotones en $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

El sensor necesita un lector de mano para tomar medidas puntuales. También puede ser conectado a un 'datalogger' para tomar medidas permanentemente, con la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde su computadora sin necesidad de ir al campo. Almacena hasta 36000 lecturas.

LECTURA DE DATOS

Rango de 0 - 4000 μmol de fotones/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}$.
 Rango de espectro 389 to 692 nm \pm 5 nm
 Error de menos de 10 % ente 412 y 682 nm \pm 5 nm

CALIBRACIÓN

Para calibración se necesita mantener limpio el equipo y cada año revisar el estado del mismo, utilizando un programa y enviando el reporte a la fábrica para determinar si la calibración se necesita.

VERSIONES DEL EQUIPO

Sensor analógico. Equipado con cable suelto para conectar a otros 'datalogger', aunque también hay versiones para visualizar con un lector de mano o incluso para conectarlo vía USB y ver los datos en la computadora.

VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO

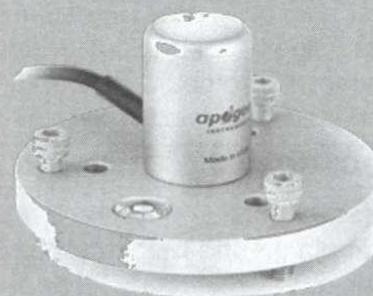
Al menos 2 años con cuidar de no dañar el conector ni el cable. Aunque el sensor fue diseñado para uso de campo, el único cuidado especial es que el conector o el cable no sean cortados o dañados.

USO, INSTALACION Y CUIDADOS ESPECIALES

Dependiendo de la aplicación, debe ser instalado en la placa de nivel, orientado con el cable hacia el norte y nivelado. Debe darse limpieza frecuente de la cúpula o celdilla, además de asegurar que esté libre de obstrucciones tales como insectos, hojas etc. Por su naturaleza, debe evitarse dejarlo en aéreas donde hay posibilidad de sombreado.

IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN

La luz PAR es la forma en que mejor se logra interpretar la cantidad de energía que recibe la planta, además del indicador acumulado de Luz Diaria Integrada. Es esencial conocerla para establecer la eficiencia de los materiales de cerramiento así como proyectar suficiencia para la fotosíntesis de la planta. El dato acumulado también permite valorar posible estrés fisiológico. Ambas variables están relacionadas con las tasas de productividad.



FICHA TECNICA NÚMERO 3.9

NOMBRE DEL EQUIPO	
MEDIDOR DE CLOROFILA	
DESCRIPCIÓN	
Mide la concentración de clorofila directamente en el follaje de las plantas.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Concentración de clorofila por área, leída en diferentes formatos (CCI: Chlorophyl Content Index o SPAD: Minolta Special Product Analyysis Division).	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor se incluye en un lector de mano para tomar medidas puntuales. Los datos pueden ser descargados después a la computadora. El tiempo de lectura es de menos de 3 segundos y el equipo tiene capacidad de 8 MB para 160,000 lecturas. Existe la opción para incluir el punto GPS, aunque se reduce la capacidad a 94,000 lecturas.	
LECTURA DE DATOS	
La lectura de concentración de clorofila se realiza por área. Se utilizan cabezas de lector de 63,6 mm ² (9,0 mm diámetro estándar), 19,6 mm ² (5,0 mm diámetro con reductor); según tamaño de las hojas. La concentración de clorofila se mide en $\mu\text{mol por m}^2 \pm 10 \mu\text{mol}$ usando una ecuación genérica integrada en el equipo.	
CALIBRACIÓN	
Con el tiempo y dependiendo del uso, podría ser necesario revisar el equipo directamente en fábrica para su adecuado funcionamiento.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
No existen otras versiones.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Aunque el sensor fue diseñado para uso de campo, el cuidado especial es mantenerlo limpio y libre de humedad. La vida útil es de al menos 2 años y se aconseja remover la batería de 9 V si es almacenado por largos periodos.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
El equipo está diseñado para tomar medidas puntuales. Se debe usar agua, alcohol y un paño suave para remover polvo, suciedad y otros agentes extraños que pudieran interferir en la lectura.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Es el único equipo que mide directamente la concentración de clorofila en la hoja. Esto permite determinar la tasa fotosintética del cultivo, evaluar aspectos de la salud de la planta así como su actividad de desarrollo, y proyectar la tasa de crecimiento y eventual producción.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.10

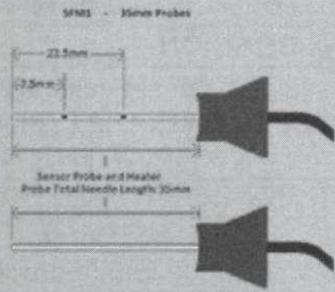
NOMBRE DEL EQUIPO
CEPTÓMETRO
DESCRIPCIÓN
El ceptómetro permite determinar el índice de área foliar (IAF) usando un conjunto de 80 sensores para medir luz PAR.
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES
Radiación PAR en $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ Índice de área foliar en mm^2
ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS O TRANSMISIÓN
El sensor incluye el lector de mano para tomar medidas puntuales. Calcula el índice de área foliar en el momento. Los tiempos de lectura son puntuales con el lector de mano, pero este los almacena para luego poder descargarlos.
LECTURA DE DATOS
Luz PAR: 0 a $> 2,500 \pm 1 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ índice de área foliar en mm^2
CALIBRACIÓN
Se realiza usando el sensor PAR externo, comparando medidas en un día que haya suficiente luz, y configurando la ubicación ya que para el cálculo del IAF el ángulo por la posición geográfica debe ser tomado en cuenta debido a la inclinación de los rayos solares.
VERSIONES DEL EQUIPO
No existen otras versiones
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO
La vida útil es de al menos 2 años. El equipo debe almacenarse en un lugar con poca humedad y sin baterías, si no se usa por largo tiempo.
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES



Debido a la longitud de la barra de sensores, se recomienda tener cuidado para no golpearla. Puesto que el sensor fue diseñado para uso de campo, viene con caja rígida que debe ser usada siempre para el transporte. Debe mantenerse limpio.

IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN
Este medidor de luz PAR e Índice de Área Foliar, permite determinar la actividad fotosintética del cultivo así como determinar y proyectar el área foliar del dosel del cultivo. Tanto la energía incidente, que afecta la eficacia de la fotosíntesis, como el área foliar, son elementos requeridos para el análisis de crecimiento. Por tanto, ambas variables pueden ser de mucha utilidad para programar la producción, el tiempo de cosecha, etc.

FICHA TECNICA NÚMERO 3.11

NOMBRE DEL EQUIPO	 
LECTOR DE FLUJO DE SAVIA	
DESCRIPCIÓN	
Es un instrumento independiente y auto sostenible (con fuente de energía) que mide el flujo de savia en tiempo real, el cual es el fluido o líquido transportado por los tejidos de conducción de las plantas vía xilema. Se emplea más en especies arbustivas y arbóreas.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Temperatura: °C Velocidad del pulso de calor: $\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$ Velocidad de la savia: $\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$ Flujo de savia: $\text{cm}^3 \cdot \text{hr}^{-1}$ ó litros $\cdot \text{hr}^{-1}$	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor almacena los datos (independientes, de lectura inmediata) en una memoria microSD (incluye una de 4 GB pero soporta hasta 16 GB). Conectando la tarjeta microSD a la computadora, se podrán visualizar los datos.	
LECTURA DE DATOS	
Rango: de -100 hasta +100 $\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$ ($\pm 0,5 \text{ cm} \cdot \text{hr}^{-1}$) para una duración de medida de 2 minutos. Tiene una resolución de 0,01 $\text{cm} \cdot \text{hr}^{-1}$.	
CALIBRACIÓN	
Se pueden calibrar los termistores, sin embargo, no es recomendado para usuarios sin la debida experiencia. De otra forma, se recomienda contactar al distribuidor o al fabricante.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Del mismo tipo de sensores existe con agujas más largas, para ser instalado en árboles grandes.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Por lo menos 2 años; se debe tener especial cuidado en no dañar las agujas y el cable durante el uso y el reempaque.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Aunque el sensor fue diseñado para uso en campo, la instalación requiere de cuidados especiales debido al proceso de inserción de las agujas; además, los sitios de cableado y contactos deben quedar bien cerrados durante el uso prolongado en campo. Debe ser insertado en la planta manteniendo las agujas alineadas, y nunca iniciar el pulso (lectura) mientras estas no estén debidamente instaladas (el manual contiene un procedimiento de fábrica para realizar la operación).	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
La medida del flujo de savia es un indicador de la transpiración; al medirlo se pueden conocer las consecuencias derivadas de eventos que afectan el contenido de agua del suelo y la demanda de agua por la planta, sobre su condición hídrica, lo cual permite no sólo analizar el consumo hídrico real, sino además detectar la presencia de estrés fisiológico y evaluar las necesidades de riego y el comportamiento del agua en la relación con el medio de cultivo. Se utiliza en ramas o tallos mayores a 2 cm de diámetro.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.12

NOMBRE DEL EQUIPO

SICRÓMETRO DE TALLO

DESCRIPCIÓN

Es un instrumento independiente y auto sostenible para la medición del potencial hídrico de las plantas en tiempo real.

DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES

Potencial hídrico en términos de la presión del flujo de la savia. En megapascales.

ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

El aparato incluye una memoria microSD de 4 GB, para el almacenamiento de datos; soporta hasta 16 GB. Los datos pueden ser descargados y visualizados conectado la tarjeta microSD a la computadora.

LECTURA DE DATOS

Desde cada 1 ("modo en vivo") hasta 51 segundos. La lectura va desde -0,1 MPa hasta -10 MPa con precisión de $\pm 0,1$ MPa y una resolución de 0,01 MPa.

CALIBRACIÓN

El equipo debe ser calibrado por el usuario, según la información que se suministra en el manual; o se puede solicitar de fábrica según especificaciones, pero el servicio tiene costo adicional.

VERSIONES DEL EQUIPO

Solo hay una versión de este equipo, que es autónoma y auto sostenible (con fuente propia de energía).

VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO

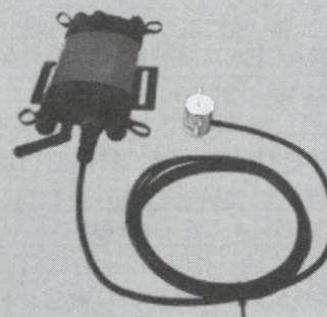
La vida útil es muy variable, dependiendo de mantenimiento y exposición al ambiente, pero puede considerarse de al menos 2 años. En almacenamiento, evitar daños al sensor del termopar, así como del cable.

USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES

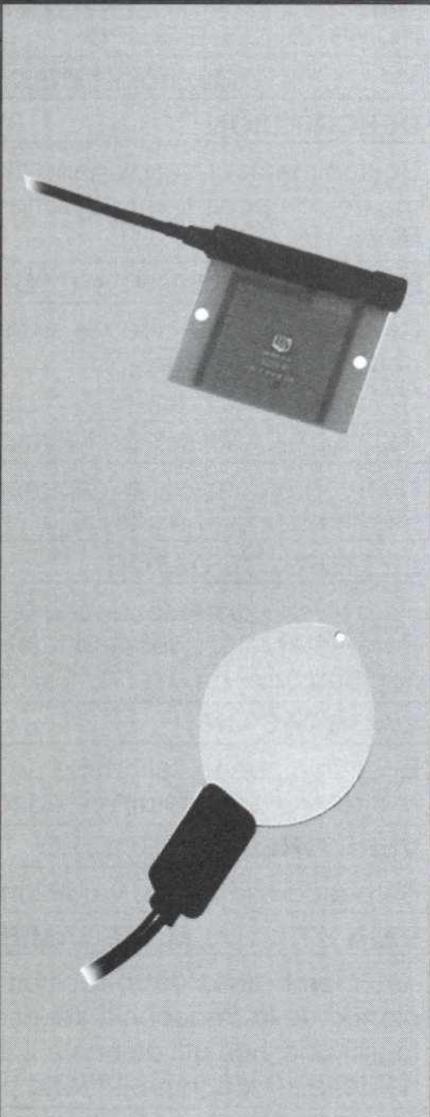
Debe ser insertado en la planta, poniendo en contacto uno de los termopares con el tejido y los otros termopares quedan en la cámara a modo de bulbo húmedo y para el control de temperatura de compensación. La cámara debe estar debidamente asegurada y sellada. Al colocar el sensor, se debe tener cuidado de no arrastrarlo, ya que contiene los termopares que son muy pequeños, poco perceptibles, y por tanto fáciles de dañar. Existe un procedimiento de fábrica para realizar la instalación, que es el que se recomienda.

IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN

Puede registrar continuamente los cambios en el estado/potencial hídrico de la planta sin dañarla. Mide indirectamente el efecto de las variables del entorno sobre los tejidos. Ello permite determinar la condición general y por tanto, los esfuerzos que hace la planta para normalizar su estado. Eso significa que refleja directamente la energía requerida para tener acceso al agua o el nivel de estrés en que se encuentra la planta.



FICHA TECNICA NÚMERO 3.13

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR DE HUMEDAD EN HOJA	
DESCRIPCIÓN	
Se utiliza principalmente para conocer la frecuencia con que la superficie de la hoja se mantiene húmeda o seca.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Resistencia en $k\Omega$ (kilo ohmios)	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor es conectado al 'datalogger' (encargado de almacenar datos), y configurado según el intervalo de lectura deseado y las variaciones en el tiempo (clima).	
LECTURA DE DATOS	
El rango normal de operación es entre 0° y 100°C . Puede trabajar en un rango va desde -40° a 150°C , con riesgo de agrietamiento por debajo de los -40°C .	
CALIBRACIÓN	
La resistencia del sensor determina el punto de transición húmedo / seco. Para obtener los mejores resultados, se recomienda calibrar el sensor en campo para que se adecue a las condiciones donde será instalado.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Hay versiones que varían en sus rangos de medición: 50-200 $k\Omega$ (para sensor sin revestir) o 20-1000 $k\Omega$ (para sensor recubierto).	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Si el equipo no es instalado de forma inmediata, se recomienda guardarlo en un lugar con condiciones de humedad y temperatura regulares. Se deberá tomar en cuenta las condiciones en las que se instala, para así hacer una visualización de cada cuánto se deberá hacer el mantenimiento respectivo (6-24 meses).	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Debe ser colocado en las cercanías de la plantación a la que se quiera controlar, con una pequeña inclinación para que la radiación solar captada sea la mínima posible, esto al aire libre. En superficies no vivas, como una estructura hecha por el hombre, tenga en cuenta el montaje del sensor contra una superficie plana en el lado sombreado. Esto hará que las características térmicas del sensor sean similares a las de la superficie que está siendo estudiada.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
El aparato registra la resistencia del aire húmedo y lo equipara a la humedad de las hojas a una altura de planta ($k\Omega$). Menos resistencia significa que la hoja tiene más humedad. Conocer la transición que se da en las plantaciones con respecto al porcentaje de humedad que contiene la superficie de las hojas, es importante como indicador del estado hídrico general del cultivo. Con esta información se determina si las plantas necesitan ser irrigadas y cuánta agua requieren.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.14

NOMBRE DEL EQUIPO

MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO

DESCRIPCIÓN

Equipo medidor del oxígeno disuelto en el agua. Posee un sistema de compensación de temperatura, salinidad y presión atmosférica.

DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES

Registra el contenido de oxígeno disuelto en ppm y calcula el porcentaje de saturación. También registra temperatura en °C y °F.

ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

No tiene sistema de almacenamiento. Los datos se leen directamente en una pantalla LCD.

LECTURA DE DATOS

En oxígeno disuelto: desde 0 hasta 45 ppm (cada 0,01) \pm 1,5%.
Para saturación: desde 0 hasta 300 %.
Temperatura: de 0 a 50 °C; o de 32 a 122 °F \pm 0,1 °C/°F.



CALIBRACIÓN

El equipo puede calibrarse en uno o dos puntos, ya sea al 100% de saturación de oxígeno (con el aire) y al 0% (solución requerida).

VERSIONES DEL EQUIPO

Se puede contar con variaciones dependiendo de la longitud de la sonda, de 4 o de 10 metros.

VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO

Las membranas de refracción deben ser cambiadas cada 3 meses aproximadamente o dependiendo de la frecuencia del uso que se le dé al equipo. Con mantenimiento preventivo se puede lograr una vida útil de hasta 2 años. En caso de no usarse el equipo se sugiere retirar la membrana de la sonda y mantenerla por separado hasta requerirse de nuevo.

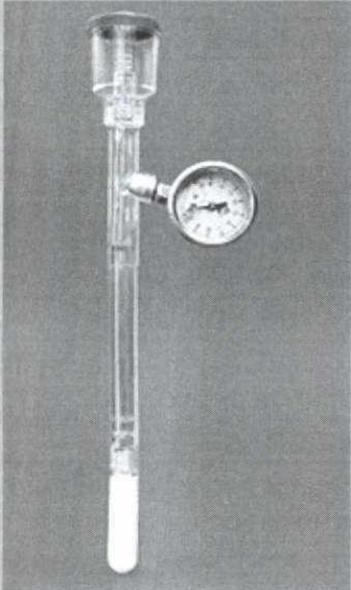
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES

Mantener en buen estado las membranas de medición, así como realizar procesos de limpieza y mantenimiento preventivos a la sonda. Las membranas deben lavarse con una solución de electrolitos de fábrica. Para resultados precisos y exactos calibrar el equipo antes de ser usado.

IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN

El oxígeno disuelto se ve afectado por temperatura, salinidad y altitud. Mientras más elevada es la temperatura, menos oxígeno puede disolverse en el agua. La falta de oxigenación casi no produce síntomas inmediatos, pero disminuye el crecimiento y rendimiento de las plantas. Agua muy oxigenada puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes, como el nitrógeno, debido a mayor cantidad de microbios nitrificantes; por el contrario, la falta de oxígeno favorece la degradación de las raíces, la muerte de microorganismos benéficos y hace más susceptibles a las plantas a ataques de patógenos, incluso puede provocar la muerte.

FICHA TECNICA NÚMERO 3.15

NOMBRE DEL EQUIPO	
TENSIÓMETRO	
DESCRIPCIÓN	
El tensiómetro es un sistema de medición directa, que depende de las fuerzas físicas en el suelo. La humedad del suelo interactúa con el instrumento a través de una punta de cerámica. Entre más seco el suelo, más tensión ejercerá sobre la cerámica y más agua se extraerá de la columna del tensiómetro, lo cual crea una tensión medible dentro de la columna. Esta tensión se lee en un indicador mecánico (manómetro).	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Presión, en centibares (cb). Una lectura más alta en el manómetro, significa mayor extracción del líquido por parte del suelo.	
ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS O TRANSMISIÓN	
El equipo no almacena datos, ni transmite; sin embargo, se puede adaptar para un datalogger.	
LECTURA DE DATOS	
La lectura es en tiempo real, instantánea, luego de la estabilización del material; se da en valores de presión desde 0 hasta 100 centibares.	
CALIBRACIÓN	
No requiere calibración.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Existe diversas longitudes del mismo, desde 15 cm hasta 150 cm y también hay tensiómetros para sustratos, que son más cortos y están adaptados para medios de cultivo de mayor porosidad.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
La vida útil es de al menos 2 años, según uso y mantenimiento. En caso de almacenarlo, debe ser en un sitio fresco y seco, en un contenedor que evite deterioro de la cerámica; el equipo debe estar limpio y seco.	
USO, INSTALACION Y CUIDADOS ESPECIALES	
Debe ser insertado en suelo o sustrato, con especial cuidado de no dañar la punta de cerámica contra rocas y otros materiales. Se recomienda usar el kit de instalación (barreno) para evitar deterioro. Hay que evitar el daño ocasionado por maquinaria agrícola u otras operaciones de cultivo, ya que suelen dejarse instalados en campo o sustrato. Para obtener una lectura, se recomienda esperar que el equipo se estabilice, pues debe haber una relación suelo-tensiómetro durante algunas horas, luego de instalarlo.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Los tensiómetros son usados para programar irrigaciones con todas las clases de equipos de irrigación, todos los tipos de cultivo y todas las clases de suelos y la mayor parte de sustratos. También se emplea con el objetivo de determinar el cese de riego, para ahorrar costos en labores, agua y energía. Incluso puede orientar el momento de aplicación de fertilizantes.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.16

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR DE CONTENIDO DE HUMEDAD	
DESCRIPCIÓN	
Es un sensor que mide contenido de agua en el suelo por medio de capacitancia. Puede ser calibrado para uso tanto en suelos minerales o sustratos (cultivo sin suelo, como en al imagen).	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Contenido volumétrico de agua (%) (agua total)	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El dato no se transmite sino que es una lectura inmediata (en tiempo real). Puede conectarse a un 'datalogger' y desplegar lecturas en pantalla o almacenar información. La cantidad de datos depende de calibración de registro y capacidad el equipo.	
LECTURA DE DATOS	
El rango de lectura va desde 0 % hasta el valor de saturación del medio de cultivo.	
CALIBRACIÓN	
El equipo se calibra desde el lector que se acopla al sensor y según el tipo de sensor de que se trate.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
El sensor puede ser múltiple, e incluir lectura de temperatura y conductividad eléctrica.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El sensor del instrumento tiene una vida útil de 2 años. Si no está en uso, debe guardarse bajo condiciones de baja humedad, sin exposición a luz o altas temperaturas.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Se utiliza directamente, introduciendo el sensor en el suelo (puede ser en una calicata) o el sustrato. El equipo puede dejarse fijo en el punto de interés, para analizar el comportamiento del medio de cultivo, o utilizarse como equipo móvil para lecturas inmediatas en el sitio. Se debe verificar buen contacto del medio con el sensor.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Conocer el contenido de humedad en el suelo o sustrato, permite determinar el momento en que se hace necesario el riego o cómo el medio reacciona al cultivo y el clima. Para esto debe saber cuáles son los límites para el cultivo y sus requerimientos, previniendo así gastos innecesarios en agua, nutrientes y electricidad. Igualmente es posible que se observen variaciones entre épocas seca y época lluviosa, por lo que es útil para conocer la pérdida de humedad en diferentes situaciones, o la velocidad de evaporación. La información puede graficarse y apoyar la interpretación de curvas de retención de humedad.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.17

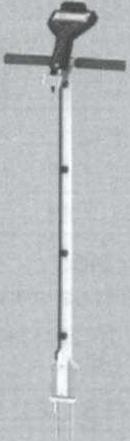
NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO	
Sensor para medir humedad en suelo	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Contenido de humedad volumétrica en suelo (%).	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor puede usar un lector de mano para tomar medidas puntuales y almacenarlos. También puede ser conectado a un 'datalogger' para tomar medidas frecuentes; este tiene la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde su computadora sin necesidad de ir al campo.	
LECTURA DE DATOS	
Contenido de humedad: 0–100 ± 1 % VSW (volumen de agua en volumen de suelo).	
CALIBRACIÓN	
Para calibración se necesita mantener limpio el equipo y cada año revisar el estado del mismo, usando un programa y enviando el reporte a la fábrica para determinar si la calibración es requerida.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Existen por capacitancia, o por tiempo (TDR o Time Domain Reflectometer).	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
La vida útil es de al menos 2 años. Aunque el sensor fue diseñado para uso de campo, el único cuidado especial es con el conector y el cable, que no sean cortados o dañados.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Dependiendo de la aplicación y los datos requeridos, debe ser instalado dentro del suelo, a diferentes profundidades, donde no quede con las agujas torcidas. Estas deben quedar completamente cubiertas ya que el aire va a afectar la detección de humedad en suelo.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Conocer el contenido de humedad en suelo, permite determinar su capacidad en tiempo real en relación con los requerimientos del cultivo. Ayuda a asegurar que el riego está siendo bien aplicado, en un nivel óptimo, donde la planta pueda maximizar su potencial de crecimiento y producción. Dependiendo del cultivo se recomienda hacer monitoreo a diferentes profundidades hasta llegar más abajo del límite inferior de las raíces, para tener un perfil completo de la humedad del suelo; esto permitirá determinar el comportamiento del agua en el perfil y por tanto determinar la frecuencia y cantidad de riegos por aplicar, sea por etapa fisiológica o cronológica.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.18

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR DIGITAL DE HUMEDAD	
DESCRIPCIÓN	
Sensor digital que mide la cantidad porcentual de humedad en determinado volumen (715 mL) de suelo, sustratos o compostajes.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Contenido de humedad volumétrica WVC % Temperatura °C Conductividad eléctrica dS/m	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor necesita un lector de mano (ProCheck) para tomar medidas puntuales y también puede ser conectado a un 'datalogger' EM50G para tomar medidas con cierta frecuencia (hasta 36000 lecturas) y este tiene la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde su computadora sin necesidad de ir al campo.	
LECTURA DE DATOS	
Contenido volumétrico de humedad desde 0 hasta 100 % ± 15%; en el rango de 1 a 40 es de ± 1%; Temperatura desde -10 hasta 60 C ± 1 °C CE desde 0 hasta 23; en rango de 0 a 7 dS/m ± 10 % .	
ALMACENAMIENTO DEL EQUIPO	
Debe haber manejo cuidadoso del conector y del cable para no ser cortados o dañados.	
CALIBRACIÓN	
Para algunos suelos minerales y para investigaciones, se puede calibrar el sensor a diferentes fórmulas de determinación de humedad volumétrica en suelo.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Del mismo tipo de sensores existen para volúmenes determinados, capacidad para medir temperatura, y algunos con conductividad eléctrica como este. Algunos son digitales otros son analógicos, y vienen con conector 3,5 mm o cable suelto para conectar a otros 'dataloggers'.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Debe haber manejo cuidadoso del conector y del cable de no ser cortado o dañado. La vida útil es de al menos 2 años y cuidar de no dañar conector y cable.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Debe ser insertado de forma vertical en el medio, a determinada profundidad, pero no muy por debajo del nivel de la raíz. Tener especial cuidado al insertarlo en suelos con mucha piedra pues las placas no se deben doblar.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Se usa para identificar la capa de riego/nutrientes que se necesita aplicar y con qué frecuencia se debe aplicar para no llevar el cultivo a puntos extremos como para derrochar agua o nutrientes. Como cada medio es diferente, este valor se debe relacionar con las curvas de retención de humedad de ese mismo medio para estar siempre dentro del rango óptimo de humedad, y de tal forma maximizar el desarrollo y producción de los cultivos	



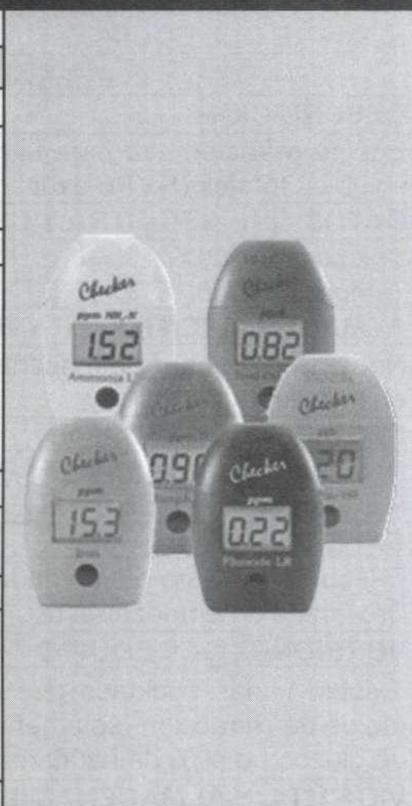
FICHA TECNICA NÚMERO 3.19

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR PARA AGUA EN SUELO CON COMPUTADOR DE MANO	
DESCRIPCIÓN	
Es un instrumento que contiene un sensor de medición de humedad del suelo (CS658 o CS659) y una computadora de mano con pantalla, para visualizar las lecturas. Incluye un GPS para definir la ubicación latitud y longitud de los sitios de medición.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Contenido de humedad en % Temperatura en °C	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
La información se graba en la computadora de mano. Se pueden almacenar más de 1000 medidas. Los datos pueden ser transferidos a la computadora mediante el Bluetooth.	
LECTURA DE DATOS	
La frecuencia y tiempo de medición lo define el usuario. El rango de medición es de 0 a 50% VWC, con una precisión de $\pm 3\%$ en soluciones de conductividades eléctricas menores a 6,5 dS/m.	
CALIBRACIÓN	
El sensor viene con su respectiva hoja de calibración.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
HS2 y HS2P según el tamaño de la sonda, para hacer más fácil su inserción en el suelo	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Mantener hasta donde sea posible en las cajas de empaque original u otro gabinete que lo proteja. Dependiendo del uso y mantenimiento, la vida útil es en promedio de 5 años.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Las varillas de la sonda se fijan a la carcasa con las tuercas de casquillo para proporcionar estabilidad adicional durante la inserción. Un mango de plástico moldeado se conecta al cable del sensor para proporcionar un mejor agarre.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Este instrumento viene con un software para la computadora, donde se puede ver la información en tablas y gráficos de los diferentes sitios donde se realizaron las mediciones. Puede editar la posición de las áreas de medición y su tamaño, se puede configurar el instrumento para visualizar el sitio en Google Earth. A partir de esta información, el usuario puede desarrollar las prácticas agrícolas apropiadas para mejorar el proceso de producción, mediante cualidades de los lotes de una finca para cultivos varios o instalaciones agrícolas.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.20

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR DE POTENCIAL HÍDRICO	
DESCRIPCIÓN	
Sensor digital que determina el potencial hídrico en suelo.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Potencial Hídrico en suelo en kPa (kilopascales) Temperatura de suelo en °C	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor necesita un lector de mano (ProCheck) para tomar medidas puntuales en el tiempo. También puede ser conectado a un "datalogger" EM50G para tomar medidas en forma permanente y este tiene la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde su computadora sin necesidad de ir al campo. Puede almacenar hasta 36000 lecturas.	
LECTURA DE DATOS	
Potencial Hídrico: -9 hasta -100,000 kPa $\pm 10\%$ ó 2 kPa Temperatura: -40° hasta 60°C $\pm 1^\circ\text{C}$	
CALIBRACIÓN	
No es afectado por el tipo de suelo, ya que se mide directamente en la cerámica aunque cuenta con la posibilidad de calibrar por el usuario según el tipo de suelo. El manual contiene la información para esto.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Algunos vienen con conector 3,5 mm o cable suelo para conectar a otros "dataloggers".	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
La vida útil es de al menos 2 años. En almacenamiento debe evitarse daños al conector y al cable.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Debe ser insertado directamente en el suelo o sustrato. Debe evitarse dejarlo caer o golpearlo, ya que la cerámica puede quebrarse y perdería precisión. Se recomienda no exponer el sensor a aceites, grasas naturales de la piel o sustancias hidrofóbicas.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN:	
El potencial hídrico en el suelo es un valor fundamental para determinar la cantidad de agua disponible para las plantas y determinar los rangos óptimos de humedad del suelo para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se encuentra muy relacionado con la programación del riego en cuanto a cantidad y frecuencia.	

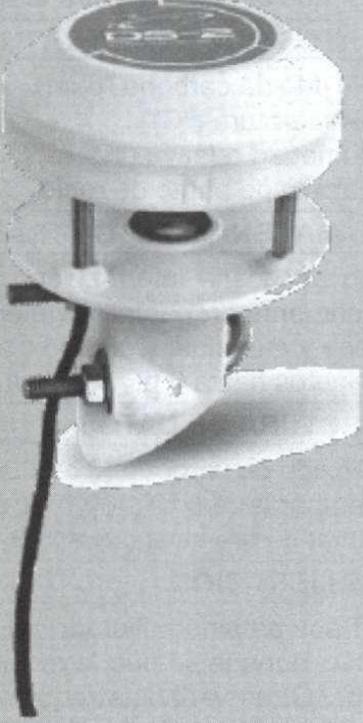
FICHA TECNICA NÚMERO 3.21

NOMBRE DEL EQUIPO	
MEDIDORES COLORIMÉTRICOS PORTÁTILES	
DESCRIPCIÓN	
Colorímetros portátiles para la determinación de concentraciones de una sustancia química en el agua, mediante el uso de 'test kits', de fácil uso y alta precisión en los resultados.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Los instrumentos registran la concentración de diferentes sustancias como amoníaco, bromo, calcio, cloro, cromo, fluoruro, fosfatos, fósforo, hierro, nitritos, níquel, sílice, yodo, además de alcalinidad y color. Se registran en ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón) o PCU (unidades platino/cobalto) en caso de color del agua.	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El dato no se transmite sino que es una lectura inmediata (en tiempo real) que se observa en pantalla.	
LECTURA DE DATOS	
Puede realizar lecturas cada vez que se cargue el recipiente de muestra, que debe haber sido debidamente lavado y enjuagado con agua destilada. El rango de lectura es específico para cada elemento, por ejemplo, cloro libre 0-2,5 ppm, cloro total hasta 500 ppm en ultra-rango, etc.	
CALIBRACIÓN	
El equipo puede calibrarse por medio de los CAL CHECK o soluciones de concentración conocida y los fotómetros tienen la curva precargada para su uso.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Los equipos varían de acuerdo con el elemento químico por detectar, que se trató en 'datos que registra y unidades'. Los códigos para cada uno de ellos, deben ser consultados con el fabricante, pues son específicos.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
No requieren cuidados especiales durante el almacenamiento. El equipo cuenta con portafolio de carga y almacenamiento. En caso de no usarse por un periodo largo de tiempo, retirar la batería. La vida útil es de hasta un año.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Al realizarse la medición de concentraciones químicas mediante el uso del color, es indispensable que las celdas de vidrio requeridas se mantengan sin ralladuras y limpias. No golpear el equipo.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Es particularmente útil para complementar la toma de decisiones en cuanto a nutrición vegetal. Las plantas requieren de una dieta balanceada en nutrientes y el medio aporta algunos de ellos en cantidades variables. Las lecturas son útiles para la selección de la formulación de los nutrientes y su objeto es medir de forma práctica, la concentración de estos nutrientes en las soluciones nutritivas y en el sustrato.	
Las versiones del equipo pueden registrar la presencia de formas puras o activas de distintas sustancias químicas esenciales, dentro de las cuales se hallan los macro y micronutrientes.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.22

NOMBRE DEL EQUIPO	
REFRACTÓMETRO	
DESCRIPCIÓN	
Equipo refractómetro para la medición del contenido de sólidos solubles totales (SST o azúcares) en alimentos.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Brix como % de SST Temperatura en °C	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
No tiene sistema de almacenamiento, sino que la lectura de da en una pantalla LCD.	
LECTURA DE DATOS	
Para °Brix, de 0 a 85% ± 2% Brix con resolución de 0,1% Para temperatura, de 0 a 80 ± 0,3 °C (en °F ± 0,5)	
CALIBRACIÓN	
El equipo requiere el uso de agua destilada para calibrar el 0 % Brix antes de empezar el uso.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Existen varias opciones que permiten conocer: el % Brix y el índice de refracción, solamente % Brix, el % de fructuosa, el % de glucosa o el % de azúcares invertidos.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El equipo no tiene indicaciones especiales para almacenamiento. Solo es conveniente la extracción de la pila si no fuera a emplearse próximamente.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
El instrumento es de uso manual. Limpiar el lente con agua destilada y franela para evitar ralladuras que generen interferencias en las lecturas.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
<p>La madurez fisiológica de los frutos frecuentemente está asociada con muchos cambios en su composición química; algunos de ellos pueden emplearse como indicadores de una madurez satisfactoria. Uno de los indicadores más utilizados son los grados Brix (1°Brix= 1g de azúcares/100g de muestra) que representan el porcentaje de sacarosa determinado en el jugo del tejido.</p> <p>El estado de madurez que poseen muchas frutas y vegetales al ser cosechados, es especialmente importante ya que repercute directamente sobre su calidad y potencial de conservación. La calidad además, está muy ligada con la aceptación de los productos procesados, lo cual hace necesario conocer algunas técnicas de control de la calidad que ayuden a determinar las características óptimas para la cosecha y eventual transformación de estos productos.</p> <p>Vale la pena el registro de cualidades de muchos productos, para determinar un punto adecuado de cosecha, como haber alcanzado condiciones adecuadas de madurez (frutícolas o frutihortícolas especialmente). Este análisis es una forma de asegurar el esfuerzo del productor, más allá de los rendimientos del cultivo.</p>	

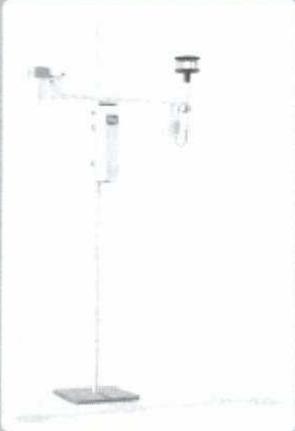
FICHA TECNICA NÚMERO 3.23

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR ANEMÓMETRO	
DESCRIPCIÓN	
Anemómetro, mide velocidad, y dirección del viento.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Velocidad del viento (m/s, km/h, otras) Dirección del viento (grados)	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El sensor necesita un lector de mano (Procheck) para tomar lecturas puntuales. También puede ser conectado a un 'datalogger' EM50G para tomar lecturas consecutivas y en periodos programables. Tiene la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde una computadora sin necesidad de ir al campo y almacenar hasta 36000 lecturas.	
LECTURA DE DATOS	
Velocidad del viento: 0 a 30 m/s, cada 0,3 m/s $\pm 3\%$ Dirección del viento: 0 a 359° $\pm 3^\circ$	
CALIBRACIÓN	No necesita recalibración.
VERSIONES DEL EQUIPO	Sensor digital, con lector sónico que no emplea sistemas mecánicos. Incluye un conector 3,5mm o cable suelto para conectar a otros 'dataloggers'.
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	Aunque fue diseñado para uso de campo, el único cuidado especial es que no le entre agua a la cabeza del sensor. Se previene buen manejo del conector y del cable para que no sean cortados o dañados. La vida útil es de por lo menos 2 años.
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	Dependiendo de la aplicación, debe ser instalado entre 2 y 3 metros, nivelado en relación con el suelo y orientado según se indica en el cuerpo del instrumento. El sitio de colocación debe asegurar que está libre de obstrucciones tales como árboles o cualquier elemento que cause interferencia con su funcionamiento. Debe haber observación regular para evitar la presencia de insectos, hojas y otros agentes.
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	La variable viento, es muy importante para determinar factores de diversa naturaleza. Por un lado, son datos valiosos a la hora de calcular e interpretar las tasas de evaporación y de transpiración de los cultivos. También es posible referenciar las fuerzas que actúan sobre las estructuras para cultivo, para determinar la necesidad de cierres automáticos de ventanas y laterales, o iniciar acciones de inspección y mantenimiento luego de eventos con ráfagas importantes.

FICHA TECNICA NÚMERO 3.24

NOMBRE DEL EQUIPO	
SENSOR PARA MEDIR CO₂ Y AMBIENTE	
DESCRIPCIÓN	
Equipo para medir niveles de CO ₂ dentro de un invernadero, aunque también registra temperatura, y humedad relativa.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Dióxido de carbono (ppm) Temperatura (°C) Humedad relativa (%) Cálculo de punto de rocío (°C)	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
No almacena información, mas despliega los valores simultáneamente en pantalla. Determina valores en tiempo real, máximos y mínimos, y el promedio de los valores en periodos de 15 minutos hasta 8 horas, según se programe.	
LECTURA DE DATOS	
Dióxido de carbono (0 a 5000 ppm ± 50 ppm) Temperatura (-10 a 60 °C ± 0,6 °C) Humedad relativa (10 a 100 % ± 3 %)	
CALIBRACIÓN	
El equipo sale calibrado de fábrica con un patrón de 400 ppm CO ₂ , aunque se puede recalibrar al aire libre en un día despejado. Otras variables requieren de un instrumento externo para calibrar. El menú ofrece opciones.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Hay portátil para una lectura en sitios específicos o para fijar en una pared para monitoreo permanente. Ambos trabajan con baterías.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
En equipo tiene una vida útil de 5 años y se garantiza por un año. De ser necesario almacenar, retirar las baterías y almacenar en un sitio seco.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Se debe instalar en un sitio bien ventilado para registro de las condiciones naturales del medio; debe evitarse el contacto directo con el agua y debe estar en un sitio protegido de la luz solar directa.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Permite monitorear la calidad del aire en los invernaderos, lo que permite tomar decisiones sobre la apertura de ventilación y explicar expresiones del cultivo y la productividad en condiciones cambiantes del clima. La concentración de dióxido de carbono puede ser un indicador de mayor desarrollo, al favorecer la tasa fotosintética.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.25

NOMBRE DEL EQUIPO	
ESTACIÓN PARA EVAPOTRANSPIRACIÓN ET 107	
DESCRIPCIÓN	
Estación agro-meteorológica que permite obtener distintas mediciones ambientales.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Permite tener mediciones de Radiación Solar (W/m^2) Temperatura del Aire ($^{\circ}C$), Humedad Relativa (%), Precipitación (mm), así como también velocidad de viento (m/s) y dirección de viento (grados).	
ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS O TRANSMISIÓN	
La estación viene equipada con "datalogger" la cual es el encargado de almacenar los datos y a partir de ahí hacerse la transmisión de datos vía radio, celular, Ethernet o Wi-fi.	
LECTURA DE DATOS	
Los intervalos de lectura de datos pueden ser modificados acorde con las necesidades del usuario. A un "datalogger" CR1000 y 100Hz, se le pueden adaptar un dinamómetro (W/m^2) $\pm 5\%$, medidores de humedad relativa $\pm 0,6^{\circ}C$ (0-90%) y temperatura $\pm 5\%$, pluviómetros (para más de 1 pulgada/h $\pm 1\%$ o de 1 a 2 pulgadas/h 0-3%), (de 2 a 3 pulgadas/h 0-5%); o un sensor de velocidad ($\pm 0,1m/s$, variable según rango de velocidades) y dirección del viento.	
CALIBRACIÓN	
Cada sensor, así como el grabador de datos, tiene las respectivas hojas para su calibración.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
El equipo se ajusta de acuerdo con los sensores por instalar y se codifican en fábrica	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El grabador de datos se mantendrá protegido por un pequeño gabinete ergonómico, que permite que se mantenga con adecuadas condiciones para su funcionamiento. La vida útil de la estación es de a 10 años, pero eso también va a depender del mantenimiento correctivo y preventivo se le aplique a cada sensor. Se recomienda tener en cuenta que el grabador tiene baterías de litio.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Al momento de la instalación se necesitará un pequeño cimiento para poder fijar la base del tubo en la que se va a colocar el gabinete del grabador, así como los sensores a instalar. Es importante seleccionar un sitio óptimo y se recomienda la elaboración de una cerca de protección para evitar el vandalismo.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Se potencia el monitoreo de las condiciones meteorológicas que rodean los sitios de cultivo, con diversidad de sensores, lo que a su vez permite tener el conocimiento acerca del estado de las variables que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se puede personalizar la estación para que se obtengan los datos requeridos según la actividad productiva y el cultivo específico.	

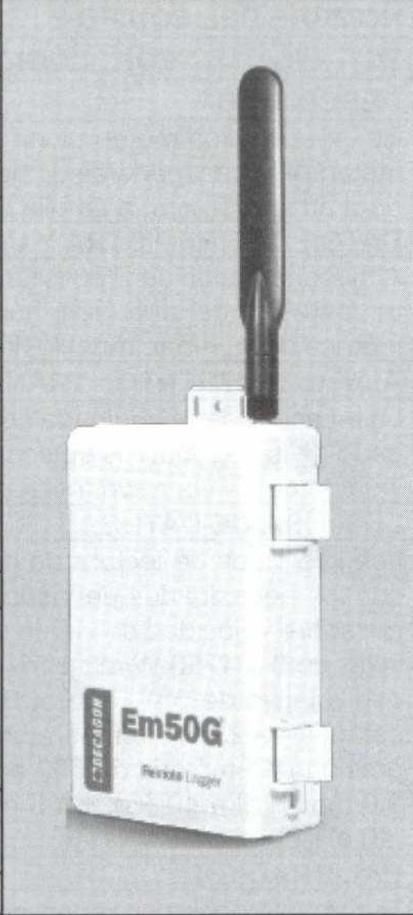
FICHA TECNICA NÚMERO 3.26

NOMBRE DEL EQUIPO	
ESTACIÓN CLIMÁTICA	
DESCRIPCIÓN	
Estación climática completa, multiparámetros.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Temperatura (°C), humedad relativa (%), lluvia (mm), radiación (W/m ²), evapotranspiración (mm), dirección del viento (°), velocidad del viento (Km/h), punto de rocío (°C). Contiene 5 puertos externos para sensores adicionales.	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
Almacena datos hasta por 183 días en función del intervalo programado de registros, desde cada 30 minutos o cada 5 horas. Hay opción para transmitir los datos vía inalámbrica mediante varios sistemas o descargar al computador.	
LECTURA DE DATOS	
Temperatura (-40 a 125 °C ± 3°C), Humedad relativa (10 a 100 % ± 3 %), Lluvia (0,01 a 100 mm ± 2%), Radiación (0-1500 W/m ² ± 5%), Dirección del viento (0 a 359° ± 3°), Velocidad del viento (0,1 a 322 Km/h ± 5%)	
CALIBRACIÓN	Puede realizarse calibración mediante el software del equipo.
VERSIONES DEL EQUIPO	Las versiones varían según el tipo de sensores y cantidad de puertos disponibles. También existe una "mini estación de crecimiento" para temperatura, humedad relativa y radiación (PAR/LDI) para interior del invernadero; también calcula la presión diferencial de vapor y los grados día.
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	En caso de requerirse, se debe almacenar en un sitio fresco, protegido y sin las baterías.
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	Se instala sobre un poste metálico en un sitio despejado y sin la influencia de sombras naturales o edificios, o grandes cuerpos de agua que vayan a afectar o generar interferencia al alterar la precisión de los sensores.
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	Permite disponer de una información meteorológica precisa de gran importancia para el sector agrícola, dado que las empresas dependen directamente de valores de las variables de clima para el apropiado manejo de cultivos y la producción. Permite integrar la información meteorológica en las operaciones diarias de trabajo de producción y riego, lo cual garantiza optimización de recursos, así como la comprensión del proceso productivo y previsiones.

FICHA TECNICA NÚMERO 3.27

NOMBRE DEL EQUIPO	
ESTACIÓN METEOROLÓGICA PARA INVESTIGACIÓN	
DESCRIPCIÓN	
Es una estación meteorológica portátil que hace las mediciones meteorológicas generales, pero es lo suficientemente flexible para adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Almacena velocidad de viento (m/s), dirección (en grados), temperatura del aire (°C), humedad relativa (%), presión barométrica (kPa, mbar, mm Hg, in Hg, PSI y Atm)	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
La estación viene equipada con "datalogger", instrumento encargado de almacenar los datos y a partir de ahí hacerse la transmisión de datos vía radio, celular, Ethernet o Wi-fi.	
LECTURA DE DATOS	
Los intervalos de lectura de datos pueden ser modificados acorde con las necesidades del usuario. El "datalogger" registra lecturas sobre velocidad de viento de 0 a 100 m/s $\pm 0,3$ m/s, radiación solar de 0 a 1750 W/m ² $\pm 5\%$ de la radiación total diaria, humedad relativa de 0 a 100% $\pm 0,8\%$ con valores de configuración estándar (a 23°C), temperatura del aire de -50 a +100 °C ($\pm 0,1$), presión barométrica de 600 a 1100 mb $\pm 0,5$ mb (+ @ 20 °C), $\pm 1,0$ mb (@ 0 a 40 °C), $\pm 1,5$ mb (@ -20 a +50 °C), $\pm 2,0$ mb (@ -40 a + 60° C).	
CALIBRACIÓN	
Todos los sensores vienen debidamente calibrados de fábrica, respectivamente con sus hojas de calibración.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
Flexibilidad para incluir más sensores.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
Si la estación no será instalada de forma inmediata, se recomienda almacenarla en un lugar seco y cálido para que se mantenga en buenas condiciones al momento de su utilización. Se debe tener presente que el "datalogger" posee baterías de litio. Realizar mantenimiento preventivo y correctivo para así darle las adecuadas condiciones y asegurar datos confiables.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
La estación portátil que puede ser instalada en un cimiento de concreto con sus debidos pernos, posteriormente colocar y orientar adecuadamente los sensores para que sus datos sean fiables con respecto a la zona instalada.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
Permite conocer las condiciones meteorológicas en las que se encuentra un área respectiva. Su funcionamiento consiste en llevar un control y monitoreo de las condiciones meteorológicas que rodean los sitios de cultivo, así como también para tener el conocimiento de qué condiciones son más favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se debe personalizar la estación para que se obtengan los datos requeridos para el cultivo específico.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.28

NOMBRE DEL EQUIPO	
ALMACENADOR DE DATOS	
DESCRIPCIÓN	
Es un equipo que registra y puede transmitir datos.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Las variables registradas dependen del sensor empleado; el equipo tiene la capacidad de registrar dirección y velocidad de viento, cantidad de lluvia, radiación, temperatura y humedad relativa, nivel freático, conductividad eléctrica y otros.	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
Los 'datalogger' tienen capacidad de tomar medidas con determinada frecuencia; este tiene la capacidad de transmitir la información para visualizar los datos desde un computador sin necesidad de ir al campo. El equipo tiene la capacidad de almacenar hasta 36000 lecturas.	
LECTURA DE DATOS	
Con el "datalogger" se tiene la capacidad de configurar los tiempos de lectura de acuerdo con la necesidad del usuario, desde cada 5 minutos hasta cada 24 horas. La precisión de las lecturas depende de la precisión de los sensores que le sean conectados.	
CALIBRACIÓN	
No requiere.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
En este tipo de instrumentos existen dos versiones, una que es el EM50, que solo es 'datalogger' pero no transmite información. El EM50G es el que tiene capacidad de transmitir vía red celular y existe la versión que incluye en pequeño panel solar como fuente de energía.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
La vida útil es de al menos 2 años. Aunque el equipo fue diseñado para uso de campo, con protección según los estándares internacionales, es recomendado cerrarlo correctamente, para que no le entre humedad o agua al equipo	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
Usa 5 pilas AA, que deben ser del tipo de NiMH para la versión que tiene panel solar. Cuando se almacenen por periodos largos, quitar las baterías, teniendo en cuenta que al recolocarlas o reemplazarlas, se reinicia el reloj, por lo que hay que restituirlo.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
La información y su relevancia están supeditadas a los ajustes y requerimientos del usuario, en consonancia con los sensores que le hayan sido incorporados. El equipo tiene la capacidad de almacenar información que luego puede ser procesada para una debida interpretación y facilitar así la toma de decisiones en relación con el manejo del ambiente circundante y el desarrollo del cultivo.	

FICHA TECNICA NÚMERO 3.29

NOMBRE DEL EQUIPO	
SISTEMA DE MONITOREO	
DESCRIPCIÓN	
Es un sistema de monitoreo en tiempo real, que registra variables climáticas, del suelo y riego, mediante comunicación por Internet.	
DATOS QUE REGISTRA Y UNIDADES	
Depende de los sensores que se seleccionen además de los de estaciones climáticas completas, Humedad en suelo (%) Medidores de caudal (m ³ ó L / h) Sensores virtuales (administración de finca)	
ALMACENAMIENTO - TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	
El equipo no almacena datos sino que los transmite a un servidor de Internet, hacia una cuenta seleccionada, en donde se pueden almacenar datos incluso de varios años; se analiza y grafica la información.	
LECTURA DE DATOS	
Son mediciones en tiempo real cuya naturaleza depende de los sensores acoplados y su precisión.	
CALIBRACIÓN	
Permite calibración directamente en las opciones del menú de la cuenta de Internet, además de la basada en instrumentos externos de referencia.	
VERSIONES DEL EQUIPO	
El paquete se arma a la medida, de acuerdo con los requerimientos del usuario en cuanto variables de medición y la dimensión de las actividades. Puede incluirse un panel solar para las estaciones de las unidades de transmisión de datos.	
VIDA ÚTIL Y ALMACENAMIENTO	
El equipo tiene una vida útil superior a 5 años y se garantiza por un año. En caso dado, debe almacenarse en un sitio fresco y seco, sin las baterías.	
USO, INSTALACIÓN Y CUIDADOS ESPECIALES	
El equipo debe instalarse en una zona con cobertura celular. Todas las unidades remotas se conectan por señal de radio a un modem central. A cada unidad remota se le pueden colocar 4 sensores y se pueden ubicar a una distancia máxima de 2 km.	
IMPORTANCIA Y USO DE LA INFORMACIÓN	
El monitoreo en tiempo real de las condiciones de clima y de riego, permite profundizar sobre el manejo correcto y desarrollo del cultivo y el máximo aprovechamiento de los recursos, así como programar las variables de producción y la proyección de los rendimientos. Las mediciones de humedad de suelo (o sustrato) junto con las medidas de evapotranspiración, ayudarán a programar y corregir adecuadamente el riego, en particular cuando existe un sistema automático.	



INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS PARA LA AGRICULTURA PROTEGIDA

herramientas para la mejora

Este libro se imprimió en los talleres
de Servicios Litográficos Raval S.A.
en el mes de noviembre del 2017.
Teléfono: 2255-64067
E-mail: litoraval@ice.co.cr



