

## Capítulo 1

# Equipos y Sensores de la Red de Agrometeorología INIA

**Gustavo Chacón Cruz**

Ingeniero en Ciencias de la Computación  
gchacon@inia.cl

## Introducción

El disponer de datos meteorológicos adecuados es de vital importancia en la planificación de actividades agrícolas. Más aún, la disponibilidad de un historial de datos abundante, fiable, permanente y en tiempo real, permitirá aplicar herramientas para la eficiente toma de decisiones. Estas beneficiarán significativamente a la comunidad agrícola, creando sistemas agrícolas eficientes y ambientalmente sostenibles en el tiempo.

El dato meteorológico se captura automáticamente desde un equipo provisto de sensores y memorias llamado “Estación Meteorológica Automática” (EMA). Los datos meteorológicos colectados por las EMAs pueden ser aplicados en estudios agrometeorológicos, tales como, adaptación de los cultivos a las condiciones ambientales, la zonificación de los cultivos, la influencia del tiempo con las cosechas y el rendimiento, las enfermedades y plagas de los cultivos agrícolas, la influencia de los factores y elementos del clima sobre la fenología de los cultivos; así como el control y prevención eficiente de los daños causados por eventos meteorológicos extremos.

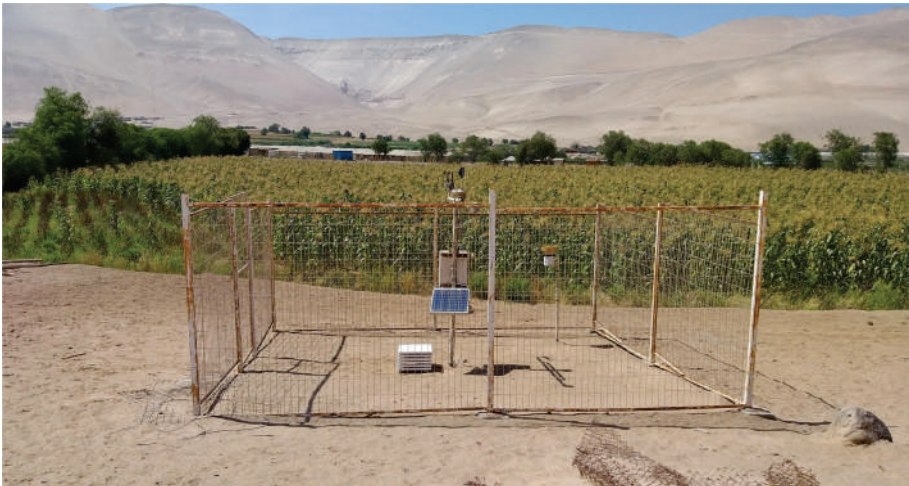
## Descripción de una EMA

Según la Organización Mundial de Meteorología (OMM), una estación meteorológica automática (EMA), corresponde al equipamiento con el cual las observaciones se generan y transmiten automáticamente (OMM, 1992a).

Una EMA está compuesta de: dispositivos de medición, **sensores**, que captan las variables meteorológicas, un sistema de almacenamiento y procesamiento de los datos, **datalogger**, un sistema de **comunicaciones** para enviar los datos a un servidor en internet (vía celular o satelital) y una unidad para almacenar y entregar **energía** para el funcionamiento de los equipos electrónicos (panel solar, regulador de voltaje y batería recargable).

Generalmente, una EMA brinda más utilidad si pertenece a una red de estaciones meteorológicas.

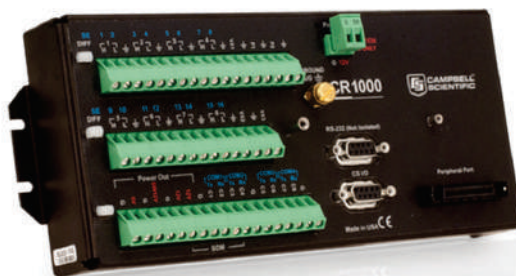
Los costos asociados a la mantención, reparación y operación de una estación automática pueden exceder incluso a los costos asociados a la adquisición de los equipos. Por este motivo, las medidas de protección que se tomen durante la instalación de las estaciones –que les proteja de las inclemencias del clima y el vandalismo– son fundamentales para asegurar la durabilidad en el tiempo y la calidad de los datos. También, durante la instalación, es necesario considerar los requerimientos de cada uno de los sensores con relación al entorno, en donde se deben considerar aspectos tales como la altura, orientación y emplazamiento de los instrumentos. Estos requerimientos están normados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su Guía del sistema Mundial de observación (OMM, 2010), y fueron observados para la instalación de las distintas EMAs de la red de INIA.



**Figura 1.** EMA Lluta Medio, Arica y Parinacota. Fuente: INIA La Platina.

# Instrumentos de una EMA estándar de INIA

1. *Datalogger* Campbell Scientific CR-1000, 1000X o CR-300: Almacena y ejecuta programas para leer, transmitir y gestionar datos.
2. Módem GPRS / Satelital: Envía datos por las redes de internet móvil 3G, 4G o satelital.
3. Panel solar (20 a 50W dependiendo la ubicación de la estación): Capta la radiación para cargar la batería de 12 Volts.
4. Gabinete protector IP65: Armario que aloja *datalogger*, batería, regulador de voltaje, barómetro y cables.
5. Regulador de voltaje PS150 ó CH150 para 12 V: Recepciona y distribuye la energía proveniente del panel solar y de la batería recargable.
6. Batería de 12 V 7.2 A ó 12 V 12 A: Energiza el *datalogger*, modem y sensores.
7. Pluviómetro Texas Electronics TE525MM-L25: Sensor que registra la precipitación.
8. Sensor temperatura y humedad relativa HMP60-L11: Registra la temperatura y humedad ambiental.
9. Panel protector de HMP60 modelo 41303-5: Accesorio que otorga la sombra al sensor de temperatura ambiental.
10. Sensor temperatura de suelo CS107-L20: Registra la temperatura en la superficie y a 10 cm de profundidad.
11. Caseta para sensor de temperatura superficial de suelo: Otorga la sombra al sensor.
12. Piranómetro Li-Cor LI200X-L34 ó Apogee SP110: Registra la radiación solar instantánea.
13. Anemómetro RM Young 03002-5: Registra la velocidad y dirección del viento.
14. Barómetro CS106 Vaisala: Registra la presión atmosférica.
15. Estructura metálica anticorrosiva (mástil): Sostiene el armario y algunos sensores.
16. Cerco con llave: Protege la instalación.



**Figura 2.** *Datalogger* Campbell Scientific CR-1000.  
Fuente: [campbellsci.es/](http://campbellsci.es/)

# Higrotermómetro

**Definición:** La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos. (OMM N°. 8, 1996, 2.1.1). Esta magnitud nos permite expresar el nivel de temperatura de los cuerpos.

Todos los procesos fisiológicos y funciones de las plantas tales como respiración, fotosíntesis, asimilación y transpiración se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura. Los valores óptimos y extremos (máximos y mínimos) de las temperaturas son diferentes para las plantas de distintas especies e incluso para diversos períodos de su vida, por lo que la temperatura del aire tiene una gran importancia en la vida de las plantas. Incluso es posible establecer modelos de simulación del desarrollo de las plantas en base a la temperatura ambiente (Lamboni, M. et al. 2009).

Unidades: La temperatura termodinámica (T) expresada en Kelvin es la temperatura básica. En meteorología se utiliza casi siempre la temperatura (t) expresada en grados Celsius. Una diferencia de temperatura de un grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) es igual a una diferencia de un Kelvin (K).

Variables derivadas: La agrometeorología utiliza variables basadas en la temperatura. Estas pueden ser subdivididas en medidas primarias y secundarias. A continuación se definen las variables:

- **Primarias**, medidas a una altura de 2 m sobre el nivel del suelo tal como la temperatura del aire instantánea.
- **Secundarias**, medidas a una altura de 2 m sobre el nivel del suelo, por un período de 24 horas, tales como:
  - a) Temperatura máxima del aire.
  - b) Temperatura mínima del aire.
  - c) Temperatura promedio.



**Figura 3.** Higrometro inserto en protector de radiación solar. Fuente: [campbellsci.es/](http://campbellsci.es/)

# Humedad relativa

Definición: *La razón expresada en porcentaje, entre la presión de vapor observada y la tensión del vapor saturante con respecto al agua a la misma temperatura y presión (OMM N.º. 8, 1996, 4.1.1.).*

La humedad relativa, en conjunto con otras variables como temperatura ambiental y velocidad de viento, pueden ser utilizadas para establecer ventanas de aplicación de plaguicidas. Varios autores señalan que las aplicaciones de plaguicidas en un ambiente con humedad relativa mayor a 90% y menor a 35%, resultan ineficaces y/o contaminantes. También está relacionada con la evapotranspiración y el riesgo de enfermedades fúngicas en varios cultivos.

Unidades: La unidad estándar para humedad relativa válida es el porcentaje (%).

Variables derivadas: Las variables derivadas de la humedad relativa se clasifican en primarias y secundarias. Las variables que implican humedad son:

- Primarias, medidas a una altura de 2 m en un período corto de tiempo. Humedad relativa valor actual.
- Secundarias, medidas a una altura de 2 m por un período de 24 horas.
  - a) Humedad relativa promedio.
  - b) Humedad relativa máxima diaria.
  - c) Humedad relativa mínima diaria.



**Figura 4.** Higrómetro, sensor de temperatura y humedad relativa del aire.  
Fuente: [campbellsci.es/](http://campbellsci.es/)

# Piranómetro

**Definición:** *Un piranómetro es un instrumento meteorológico utilizado para medir, de manera muy precisa, la radiación solar incidente sobre una superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para la densidad de flujo de radiación solar*



**Figura 5.** Piranómetro en EMA El Asiento, comuna de Alhué.

en un campo de 180 grados. Este sensor integra la medición de radiación directa proveniente del sol y la radiación difusa proveniente de la atmósfera, por lo que el término técnico empleado para definir este valor es el de radiación solar global.

La radiación solar es la energía proveniente del sol recibida por la tierra. Ésta es la responsable de casi todos los tipos de procesos físicos, biológicos, químicos y bioquímicos que ocurren en el sistema tierra-atmósfera. Todas las variables climáticas, dependen directa o indirectamente de la radiación solar.

La radiación solar es el motor del ciclo hidrológico, convirtiendo grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua a través de los procesos de evaporación y evapotranspiración. El agua evaporada se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos. De esta forma, la radiación solar es un parámetro fundamental para el cálculo de los balances de agua y de los principales índices bioclimáticos. Es importante mencionar que no toda la energía solar disponible se utiliza para evaporar el agua; parte de la energía se utiliza también para calentar la atmósfera y el suelo.

De la misma manera, la radiación solar es la base energética de la fotosíntesis, por lo que también está muy ligada a la capacidad de las plantas para fijar carbono y producir tanto biomasa como otros fotosintatos. Sin perjuicio de lo anterior, hay especies que biológicamente están adaptadas a la poca radiación solar, por lo que cuando es excesiva, estas se ven afectadas negativamente, siendo por tanto una restricción para algunos cultivos.

El estudio de la radiación solar y su influencia en las plantas tiene varias aplicaciones prácticas. Por ejemplo, seleccionar las especies adecuadas para un lugar determinado. Seleccionar las fechas de siembra en función a la duración del día. Se puede usar la iluminación artificial para el cultivo de hortalizas y floricultura y controlar fechas de floración y el rendimiento de las mismas. La radiación solar no sólo afecta el desarrollo de la planta, sino que puede afectar el crecimiento y la calidad de los frutos.

Unidades: La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, esta mide la energía por unidad de tiempo y área. Su unidad es el  $W/m^2$  (watt por metro cuadrado). Para el total del flujo de radiación se utiliza  $MJ/m^2$  (megajulio ó megajoule por metro cuadrado).

### **Variables derivadas:**

Para la radiación se derivan las siguientes variables:

- Primarias, medidas cada 30 minutos.
- Promedio.
- Máxima.
- Mínima.
- Desviación estándar.
- Secundarias, en un período de 24 horas.
- Total (o radiación neta).

## **Pluviómetro**

El pluviómetro es el instrumento para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un espacio de tiempo determinado. El agua recogida por él, se mide en litros o milímetros por metro cuadrado.

**Definición:** *La precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo (OMM N°. 8, 1996, 6.1.1).*

El retorno del vapor de agua a la superficie se realiza mediante el proceso de condensación que depende, esencialmente, del enfriamiento del aire. Hay varias formas, dentro de las cuales podemos mencionar: La lluvia es una de las formas de precipitación más corrientes y se produce, generalmente, a temperaturas sobre  $0^{\circ}C$ .





**Figura 6.** Pluviómetro en EMA El Asiento, comuna de Alhué.

La nieve se forma a temperaturas inferiores al punto de congelación y se presenta formando complejos cristales planos hexagonales en ramas. Por su parte, la nevisca es la lluvia helada. Esta se forma al pasar la lluvia, de una masa caliente, por una capa de aire frío. Por último, el granizo se produce como el resultado de un fuerte proceso convectivo propio de las tempestades. El agua procedente de las nubes es lo que se define en meteorología como precipitación, el fenómeno llamado heladas no es una precipitación.

El objetivo que se tiene al medir la precipitación -utilizando un pluviómetro- es el de obtener tanta información como sea posible acerca de la cantidad y distribución, en el tiempo y el espacio, de ésta. La forma más simple y usual de realizar la medición es mediante un medidor de abertura horizontal, circular, de diámetro conocido; se colecta y mide, a intervalos regulares, la cantidad que cae por unidad de área de la abertura del medidor y es igual a la cantidad de precipitación por unidad de área que cae en los alrededores.

La precipitación es un elemento que influye directamente en la configuración del medio natural. Su ritmo temporal y distribución espacial condicionan los ciclos agrícolas. La precipitación representa el factor más importante de la agrometeorología, ya que representa los aportes de agua.

La característica especial de la pluviometría, respecto a los demás parámetros meteorológicos, es su variabilidad. Esto implica que puede llover muchísimo en un punto determinado y a unos pocos centos de metros no caer una sola gota. También, puede caer en un día una gran cantidad de agua y luego pasar meses sin llover absolutamente nada.



El efecto que puede tener la lluvia sobre los cultivos depende de factores diversos como la topografía del terreno, textura del suelo, cubierta vegetal, dirección de los vientos dominantes, distancia al mar, cantidad de agua evaporada, altitud, latitud, etapa de desarrollo del cultivo, especie, variedad, etc. Pero, principalmente, el efecto dependerá de las características más conocidas de la precipitación como son la cantidad, distribución y frecuencia que tiene durante un año.

Unidades: La unidad de la precipitación es la altura en milímetros del agua precipitada (OMM N° 8, 1996, 6.1.2).

VARIABLES DERIVADAS: La variable característica es la cantidad de la precipitación que se representa por el volumen de agua, por unidad de superficie ( $1/m^2$ ), durante un período de observación (hora, día, mes, temporada, año), tanto en forma sólida como en forma líquida.

## Anemómetro

**Definición:** *En una forma simple, se denomina viento como el movimiento de una masa de aire, pero para cuestiones meteorológicas se considerará el viento como una cantidad vectorial de dos dimensiones establecidas por los números que representan su **velocidad** y **dirección** en un tiempo dado (OMM N° 8, 1996, 5.1.1.).*

### Velocidad de viento

El **viento suave** es beneficioso para las plantas, permite renovar el aire que rodea las hojas y como consecuencia, es útil para los procesos de respiración y transpiración vegetal. El viento interviene en la distribución o migración de la vegetación, transportando semillas tanto a pequeñas como a considerables distancias. También juega un papel importante como agente polinizador.



**Figura 7.** Anemómetro en EMA El Asiento, comuna de Alhué.

Por otra parte, **vientos de altas velocidades** tienen efectos altamente dañinos en las plantas, anulando la floración, desprendiendo frutas pequeñas y hojas. Velocidades demasiado bajas de viento, unido a bajas temperaturas y alta humedad relativa, facilitan la presencia de heladas que son perjudiciales para la agricultura. El viento, también puede propagar algunas plagas y enfermedades. Otro efecto perjudicial del viento es el efecto de erosión que tiene sobre el suelo y la propagación de incendios en áreas de bosques.

En el **Cuadro 1** se presenta la escala Beaufort que relaciona la velocidad del viento a los efectos observados sobre el terreno.

**Cuadro 1.** Efecto de la fuerza del viento en terreno según la escala Beaufort.  
Fuente: Maldonado, I. *et al.* 2010.

Número Beaufort	Descripción	Equivalente (Ms <sup>-1</sup> )	Especificaciones para observaciones sobre suelo firme
0	Calma	0-0,2	Calma, el humo sube verticalmente.
1	Ventolina	0,3-1,5	Se define la dirección del viento por el humo.
2	Brisa suave	1,6-3,3	El viento se siente en la cara; se mueven las hojas de los árboles; el viento mueve las veletas.
3	Brisa leve	3,4-5,4	Las hojas y ramas pequeñas se hallan en constante movimiento.
4	Brisa moderada	5,5-7,9	Se levanta polvo y papeles sueltos; se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	Brisa fresca	8,0-10,7	Se mueven los árboles pequeños; se forman pequeñas olas en estanques y lagunas.
6	Brisa fuerte	10,8-13,8	Se mueven las ramas grandes de los árboles; silban los cables del tendido eléctrico; los paraguas se utilizan con dificultad.
7	Viento fuerte	13,9-17,1	Todos los árboles se mueven es difícil caminar contra el viento.
8	Temporal	17,2-20,7	Se rompen las ramas delgadas de los árboles; generalmente no se puede andar contra el viento.
9	Temporal fuerte	20,8-24,4	Se producen pequeños daños en los edificios, (se caen los sombreros de las chimeneas, las tejas de los techos, etc.)
10	Temporal violento	24,5-28,4	Se experimenta raramente; se arrancan árboles; se producen considerables daños en los edificios.
11	Temporal muy violento	28,5-32,6	Se experimenta muy raras veces; ocasiona daños generales por doquier.
12	Huracán	32,7 y más	

## Dirección de viento

La dirección del viento corresponde al punto del horizonte desde donde se origina o “sopla”. Para distinguir uno de otro, se les aplica el nombre de los principales rumbos de la brújula, según la conocida “rosa de los vientos”. Los cuatro puntos principales corresponden a los cardinales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (W). Se consideran hasta 32, entre estos y los intermedios, aunque los primordiales y más usados son los siguientes con su equivalencia en grados del Azimuth (**Cuadro 2**).

La dirección y velocidad de viento pueden ser representandolos por un ángulo y una magnitud respectivamente, en un gráfico de coordenadas polares (**Figura 8**).

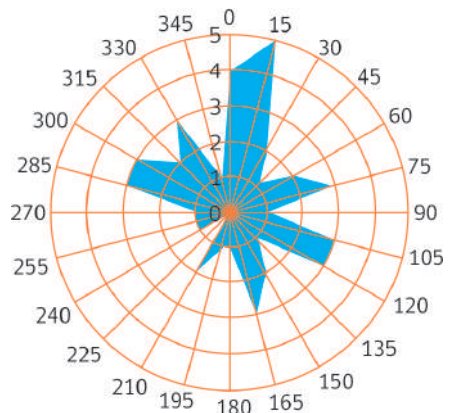
Unidades: Las unidades reconocidas por el Sistema Internacional son:

- Velocidad del viento: m/s.
- Dirección del viento: grados sexagesimales en la escala 0–360 donde 360 es el viento norte y 90 es el viento del este (giro en el mismo sentido de las agujas del reloj). También es frecuente la representación en rumbos.
- Ráfaga del viento: m/s.

**Cuadro 2.** Puntos cardinales con su equivalencia en grados de Azimuth.

Fuente: Maldonado, I. *et al.* 2010.

Rumbos	Nombre	Ángulo respecto del norte
NNE	Norte Noreste	22,50°
NE	Noreste	45,00°
ENE	Este Nordeste	67,50°
E	Este	90,00°
ESE	Este Sudeste	112,50°
SE	Sudeste	135,00°
SSE	Sur Sudeste	157,00°
S	Sur	180,00°
SSW	Sur Sudoeste	202,50°
SW	Sudoeste	225,00°
WSW	Oeste Sudeste	247,50°
W	Oeste	270,00°
WNW	Oeste Noroeste	292,50°
NW	Noroeste	315,00°
NNW	Norte Noroeste	337,50°
N	Norte	360,00°



**Figura 8.** Gráfico polar de dirección y magnitud de viento.

VARIABLES DERIVADAS: Del viento pueden distinguirse las siguientes variables:

- **Velocidad del viento:** La velocidad del viento es la velocidad horizontal del aire en metros por segundo, independiente de su dirección.
- **Promedio de la velocidad del viento:** Esta variable se refiere al promedio de la velocidad horizontal (independiente de su dirección) de los paquetes de aire pasando un punto geográfico dado durante un período previamente definido, por ejemplo 30 minutos.
- **Velocidad de ráfaga de viento máxima:** esto se refiere a la velocidad máxima del viento en un período de tiempo dado, por ejemplo 30 minutos.
- **Dirección del viento:** La dirección del viento desde un punto geográfico dado es la dirección de desplazamiento horizontal del aire. En términos de meteorología se define la dirección del viento como la dirección desde donde viene el viento.
- **Promedio de la dirección del viento:** promedio de las direcciones del viento incluyendo todos los vectores correspondientes, sin considerar las velocidades asociadas con esos vectores.
- **Velocidad del vector del viento:** es el promedio de velocidad o desplazamiento que se calcula no solo tomando en cuenta la velocidad normal del viento, sino también la dirección hacia donde el viento se desplaza.

## Barómetro

**Definición:** *La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la atmósfera por unidad de superficie. Esta presión es igual al peso de la columna vertical total de aire, sobre la unidad de superficie (OMM N°. 8, 1996, 3.1.1.).*

**Unidades:** La unidad estándar válida para el Sistema Internacional es el



**Figura 9.** Barómetro. Fuente: [campbellsci.es/](http://campbellsci.es/)

Pascal (**Pa**) que es equivalente a un newton por metro cuadrado. Es importante mencionar que muchos de los barómetros manuales vienen graduados en milibares, un milibar es equivalente a cien **Pa**, que es lo mismo que un hectopascal (**hPa**).

Variables Derivadas: La variable derivada es la presión atmosférica efectiva, la cual se refiere exclusivamente a la presión del aire en un momento específico. Otra variable derivada, es la presión atmosférica corregida a nivel del mar, la cual es una corrección que se hace para considerar el efecto que tiene la elevación (altura desde el nivel del mar) que tiene la estación.

## Temperatura del suelo

**Definición:** *Durante el día, la superficie del suelo aumenta su temperatura y transfiere calor hacia abajo por conducción. Como cada capa recibe la energía calórica, su temperatura aumenta dependiendo de la profundidad, creando un perfil de temperaturas en relación a la profundidad. La temperatura del suelo también depende de la hora del día, la nubosidad y de las precipitaciones.*

La temperatura del suelo se constituye en uno de los parámetros relevantes en la estimación de diversas variables de interés ambiental, afectando la selección de la fecha de siembra, el crecimiento de las plantas y los microorganismos y las propiedades del suelo a través de su grado de meteorización.

Unidades: Al igual que en la temperatura del aire, la temperatura del suelo se mide, casi siempre, en grados Celsius (°C).



**Figura 10.** Sensor Campbell Scientific L107.  
Fuente: [campbellsci.es/](http://campbellsci.es/)

Variables derivadas: En agrometeorología se requieren temperaturas de suelo a ciertas profundidades normalizadas, de 5, 10, 20, 50 y 100 cm. Generalmente el suelo está cubierto de césped, pero es recomendable realizar mediciones del suelo con cubierta vegetal y sin ella. Además del suelo, también es posible medir la temperatura superficial, la cual es muy importante para entender el balance de energía entre la superficie y las capas de aire superiores. En el caso de las EMAs, esta medición se realiza con un termómetro ubicado a 5 cm sobre el suelo cubierto con una pagoda para evitar el efecto de la radiación directa (**Figura 11**).



**Figura 11.** Caseta o pagoda (blanca) para cubrir sensor de temperatura de superficie. EMA El Asiento, comuna de Villa Alhué, región Metropolitana.

## Fórmulas

### Grados día

Una planta, para completar su ciclo vegetativo, depende estrechamente de la temperatura. Muchos cultivos, una vez que han completado sus requerimientos en frío, precisan de temperaturas relativamente altas para completar su desarrollo. Cada cultivo requiere que la temperatura se eleve por encima de cierto límite para poder desarrollarse. Cada grado que se eleve la temperatura media diaria por sobre dicho límite, corresponde a un grado día.

Un estudio en detalle de los requerimientos térmicos de los diferentes cultivos, puede ser un buen procedimiento para establecer las distintas fases por las que atraviesa un cultivo hasta llegar a la madurez y cosecha con el fin de obtener altos rendimientos.

La acumulación de calor durante la etapa vegetativa es variable para lugares diferentes y en un mismo lugar para años diferentes y para distintas fechas de siembra (**Ecuación 1**).

$$GD = \frac{TM - PC}{12}$$

Donde:

**GD**: Unidades de grados día

**TM**: Temperatura media (°C)

**PC**: Punto crítico, se considera un valor de 10 (°C)

Con: (**Ecuación 2**)

$$TM = \frac{Tmax + Tmin}{2}$$

Donde:

**Tmax**: Temperatura máxima del día (°C)

**Tmin**: Temperatura mínima del día (°C)

Se debe considerar también que todo el proceso fisiológico en las plantas se desarrolla dentro de límites de tolerancia muy bien definidos. Para la temperatura existe un mínimo, un óptimo y un máximo en las que se inicia, alcanza el máximo o bien cesa la actividad, respectivamente. Estos valores pueden variar con la edad o estado de desarrollo de la planta y con las especies.

## Horas frío

En regiones templadas es necesario que se acumulen horas frío para iniciar o acelerar la floración de algunos cultivos, sobre todo en árboles frutales. El acumular horas de frío favorece los cambios fisiológicos responsables de la floración y fructificación normal del cultivo. El efecto positivo depende de la cantidad de horas, en un rango determinado de tiempo en donde las temperaturas son inferiores a una cierta cantidad de grados. Este límite en la temperatura es llamado "temperatura base" y generalmente son 7°C (OMM, 1990). Así cada hora que pasa con temperatura menor que 7°C se cuenta como 1 hora frío.



En el **Cuadro 3**, se puede apreciar un cuadro con los requerimientos de horas frío (base 7° C) de algunas especies de hoja caduca.

Existen otras fórmulas, pero debido a su importancia, se tratarán en capítulos aparte: evapotranspiración e índice de stress térmico.

**Cuadro 3.** Requerimientos de horas frío de algunas especies de hoja caduca.  
Fuente: Maldonado, I. *et al.* 2010.

Especie	Horas frío	
	Normales	Máximas
Almendro	0-100	500
Arándano	700	1.200
Avellano	800	1.600
Damasco	200-500	900
Durazno	100-400	1.100
Frambueso	800	1.600
Grosellero	800	1.500
Guindo	600	1.400
Kiwi	800	1.400
Manzano	200-800	1.700
Membrillo	100	500
Morera	200	700
Nogal	400	1.500
Peral	500	1.500
Vid	100-500	1.400

## Accesorios

- Trípode de acero galvanizado para montar la estación.
- Cerco con candado y malla acma u otra de acero galvanizado para proteger la estación.
- Conexión a tierra para el *datalogger*.
- Tubos de PVC o similares para proteger los sensores de temperatura de suelo y pluviómetro.
- Gabinete eléctrico con placa para montar el *datalogger*, batería, barómetro y cables de sensores en un ambiente protegido.

- Panel solar de 20 hasta 50 watts dependiendo del lugar de instalación de la estación.
- Plan de datos M2M para transmisión automática de registros.
- Software Loggernet de Campbell Scientific para programar el *datalogger* o para ver y descargar datos.
- Reflectómetro es un sensor opcional para medir cantidad de agua, temperatura y conductividad del suelo.
- Sensor opcional para medir la altura de nieve (nivómetro).
- Amarra cables plásticos para ordenar los cables de los sensores.

## Herramientas

- Atornilladores CS de precisión para instalar sensores al *datalogger*.
- Combo para enterrar la barra de cobre a tierra.
- Escalera para instalar y hacer mantenimiento a piranómetro y anemómetro.
- Brújula para orientar el anemómetro y panel solar.
- Nivel para revisar la nivelación de los sensores.
- Teclado CR1000KD para ver los registros y configuración del *datalogger* sin un PC.
- Voltímetro para medir energía del panel solar, regulador de voltaje, baterías y *datalogger*.
- Cortador de amarra cables.
- Brochas de diferentes tamaños y sensibilidad para limpiar sensores y panel solar.
- Silicona y pistola calafatera adecuada para sellar tuberías.



**Figura 12.** CR100KD, caja de herramientas y panel solar. Fuente: campbellsci.es/