

## MODULO 2 – AGUA EN LA ATMÓSFERA Y EN EL SUELO



**Edición 2023**  
**Agustín Menta**

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)  
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

[amenta@fing.edu.uy](mailto:amenta@fing.edu.uy) [lmartinez@fagro.edu.uy](mailto:lmartinez@fagro.edu.uy)

# INTRODUCCIÓN AL MÓDULO

- Tres módulos:
  - I. Flujo de agua superficial*
  - II. Hidráulica de ambientes costeros*
  - III. Agua en la atmósfera y el suelo*
- Talleres teórico-prácticos (clase y laboratorio)
- Salidas de campo (una por módulo)

## Metodología de evaluación:

- Informe de salidas de campo (grupal)
- Defensa oral del informe entregado (individual)

# INTRODUCCIÓN AL CURSO

		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
	Semana 1	31-Jul	<b>1-Aug</b>	2-Aug	3-Aug	<b>4-Aug</b>	Flujo de agua superficial
	Semana 2	7-Aug	<b>8-Aug</b>	9-Aug	10-Aug	<b>11-Aug</b>	
Salida de campo	Semana 3	14-Aug	15-Aug	16-Aug	17-Aug	18-Aug	
Consulta	Semana 4	21-Aug	<b>22-Aug</b>	23-Aug	24-Aug	<b>25-Aug</b>	Hidráulica de ambientes costeros
Defensa	Semana 5	28-Aug	29-Aug	30-Aug	31-Aug	1-Sep	
	Semana 6	4-Sep	<b>5-Sep</b>	6-Sep	7-Sep	<b>8-Sep</b>	
	Semana 7	11-Sep	<b>12-Sep</b>	13-Sep	14-Sep	<b>15-Sep</b>	Agua en la atmósfera y en el suelo
	Semana 8	<b>18-Sep</b>	<b>19-Sep</b>	<b>20-Sep</b>	<b>21-Sep</b>	<b>22-Sep</b>	
	Semana 9	<b>25-Sep</b>	<b>26-Sep</b>	<b>27-Sep</b>	<b>28-Sep</b>	<b>29-Sep</b>	
Salida de campo	Semana 10	2-Oct	3-Oct	4-Oct	5-Oct	6-Oct	Agua en la atmósfera y en el suelo
Consulta	Semana 11	9-Oct	<b>10-Oct</b>	11-Oct	12-Oct	<b>13-Oct</b>	
Defensa	Semana 12	<b>16-Oct</b>	17-Oct	18-Oct	19-Oct	20-Oct	
	Semana 13	23-Oct	<b>24-Oct</b>	25-Oct	26-Oct	<b>27-Oct</b>	Agua en la atmósfera y en el suelo
	Semana 14	30-Oct	<b>31-Oct</b>	1-Nov	<b>2-Nov</b>	<b>3-Nov</b>	
Salida de campo	Semana 15	6-Nov	7-Nov	8-Nov	9-Nov	10-Nov	
Consulta	Semana 16	13-Nov	<b>14-Nov</b>	15-Nov	16-Nov	<b>17-Nov</b>	Agua en la atmósfera y en el suelo
Defensa	Semana 17	<b>20-Nov</b>	<b>21-Nov</b>	<b>22-Nov</b>	<b>23-Nov</b>	<b>24-Nov</b>	
	Semana 18	<b>27-Nov</b>	<b>28-Nov</b>	<b>29-Nov</b>	<b>30-Nov</b>	<b>1-Dec</b>	

Parciales  
Feriados

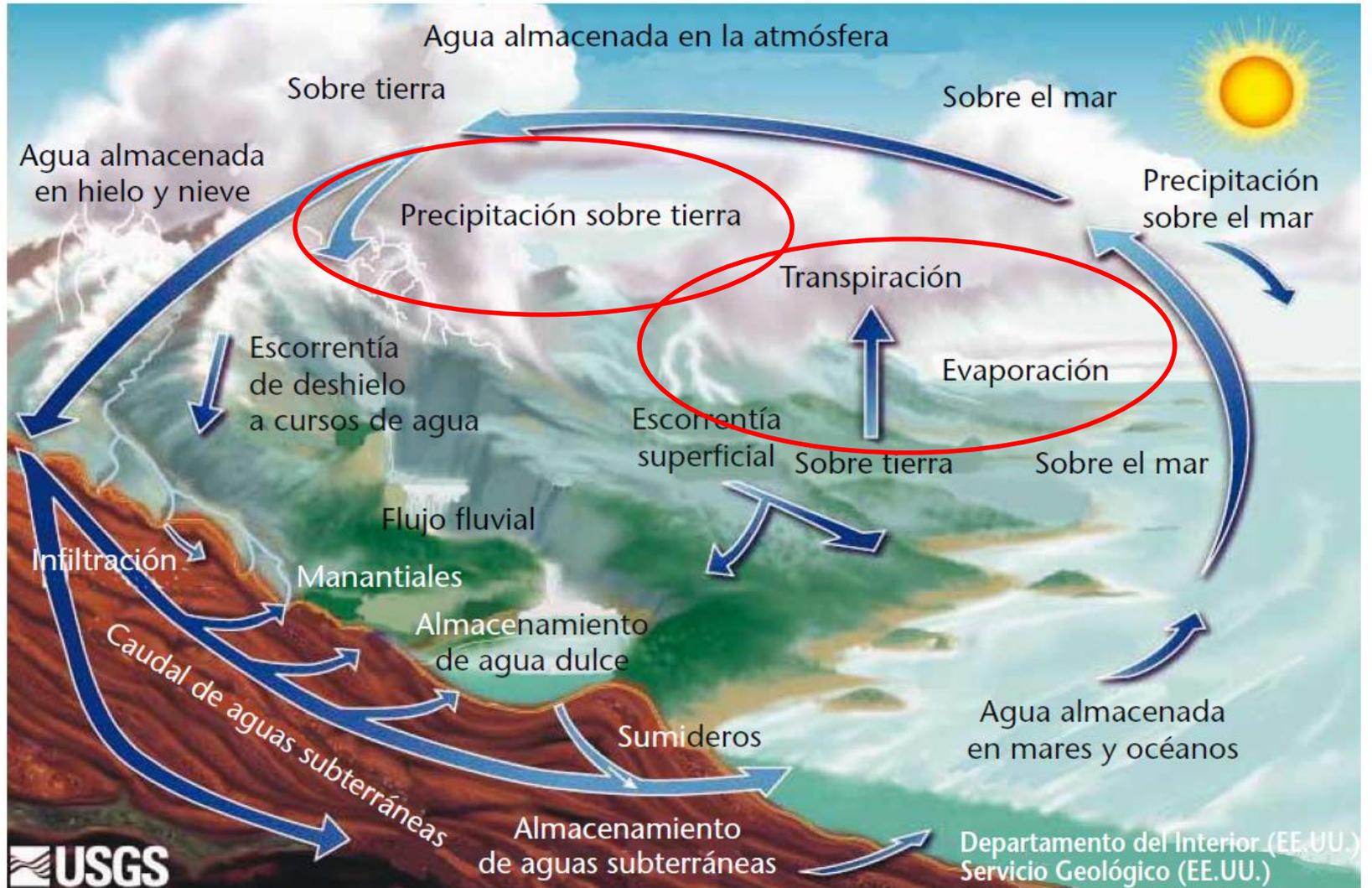
Visita a FAGRO

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Objetivos:

- ❑ Variables a medir. Ecuaciones asociadas.
- ❑ Técnicas correctas de medición.
- ❑ Métodos de Medición
- ❑ Consideraciones y posibles problemas en medición de Precipitación y ET.
- ❑ Ejemplos de problemas de Mediciones de variables
- ❑ Redes de medición y Fuentes de información nacional

# AGUA EN LA ATMÓSFERA



# AGUA EN LA ATMOSFERA

---

**Las observaciones hidrológicas sistemáticas son el punto de partida para la creación de bases de datos y de información y conocimientos necesarios para una gestión eficaz de los recursos hídricos**

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Características convenientes de Estaciones Meteorológicas

Requisitos más importantes son:

- Incertidumbre, según el requisito especificado para la variable de que se trate;
- Fiabilidad y estabilidad;

**Importante:** Mantener la incertidumbre conocida durante un largo período. Esto es mucho mejor que tener un alto nivel de confianza inicial que no puede mantenerse durante mucho tiempo en condiciones operativas

- Facilidad de funcionamiento, calibración y mantenimiento;
- Sencillez de diseño que sea coherente con los requisitos;
- Durabilidad;
- Nivel de costo aceptable de los instrumentos, los bienes fungibles y las piezas de recambio;
- Condiciones de seguridad para el personal y el entorno.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

---

**El objetivo principal de cualquier método de medición de la precipitación es obtener muestras representativas de la precipitación en la zona a que se refiera la medición.**

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

**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.**

Comprende:

- Lluvia
- Granizo
- Nieve
- Rocío
- Cencellada blanca o helada
- Precipitación de la niebla

Se expresa en **términos de profundidad vertical de agua** que cubriría una proyección horizontal de la superficie de la tierra. (mm o kg/m<sup>2</sup>)

La **intensidad de la precipitación** se define como la cantidad de precipitación recogida/unidad de tiempo (mm.h<sup>-1</sup>). Los datos de la intensidad de la precipitación pueden extraerse de la cantidad de precipitación medida con un medidor de precipitación normal o medirse directamente

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Consideraciones en la Medición

- Precipitación diaria debería leerse con una resolución de 0.2 mm (en lo posible 0.1 mm)
- Precipitación semanal o mensual debería leerse con una resolución de 1 mm (al menos).
- Precipitación diaria debería efectuarse a horas fijas comunes para toda la red (o redes) de interés.
- La precipitación inferior a 0.1 mm (INUMET) (0.2 mm en Estados Unidos de América) se denomina generalmente traza.
- La intensidad de la lluvia se mide o se calcula en intervalos de 1 minuto, debido a la gran variabilidad de la intensidad de un minuto al siguiente.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Consideraciones en la Medición

Es fundamental medir el valor exacto de las precipitaciones. Por lo tanto, es muy importante

- **Escoger cuidadosamente el emplazamiento**
- **Forma y exposición del pluviómetro.**
- Además, deben tomarse medidas para impedir las **pérdidas por:**
  - 1. Efectos del viento**
  - 2. Evaporación**
  - 3. Salpicaduras.**

Mas detalle sobre esto en: *Observación Meteorológicos (OMM-N° 8)*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Emplazamiento y Exposición del pluviómetro

- Evitar las pendientes y suelos fuertemente inclinados en una dirección, sobre todo si ésta coincide con la del viento predominante.
- Evitar depresiones del terreno
- El terreno circundante puede estar cubierto de césped, grava o ripio, pero superficies planas y duras como las de cemento originan salpicaduras excesivas.
- Rodeada de una cerca o estacas para impedir la entrada de personas no autorizadas y animales.
- Evitar suciedad generada por animales



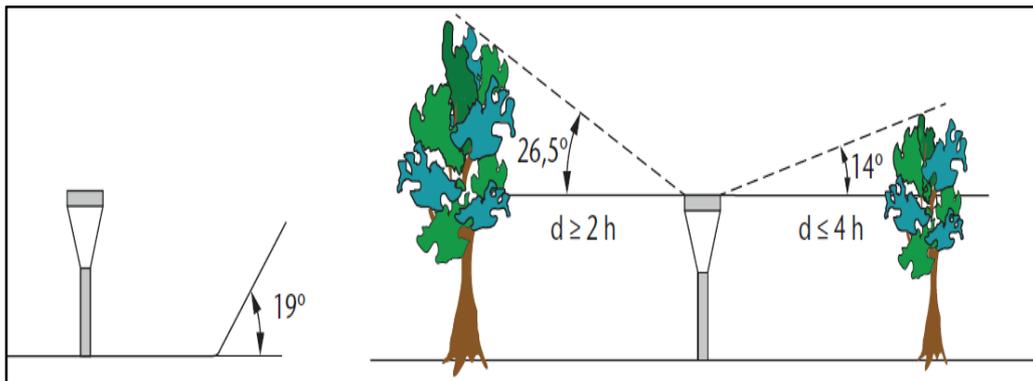
**EM INIA 33**



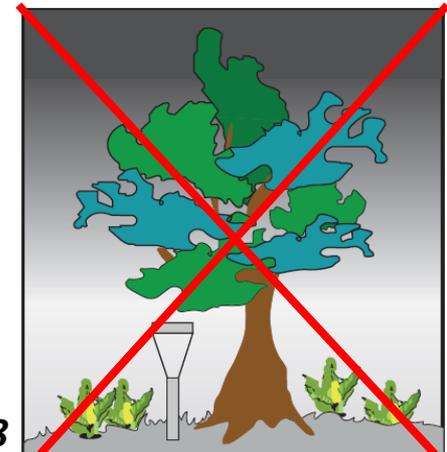
# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Emplazamiento y Exposición del pluviómetro

- El orificio del pluviómetro estará en posición horizontal sobre el nivel del suelo.
- El orificio del pluviómetro debería hallarse lo más bajo posible con relación al suelo, dado que la velocidad del viento aumenta con la altura, pero lo suficientemente elevado para evitar que el agua que cae al suelo salpique el pluviómetro. La elevación más común en más de 100 países varía **entre 0,5 m y 1,5 m** (OMM, 1989, citado por OMM N° 8 ).
- Si no se cumplen estas condiciones, las observaciones pueden presentar peculiaridades de importancia **únicamente local**.



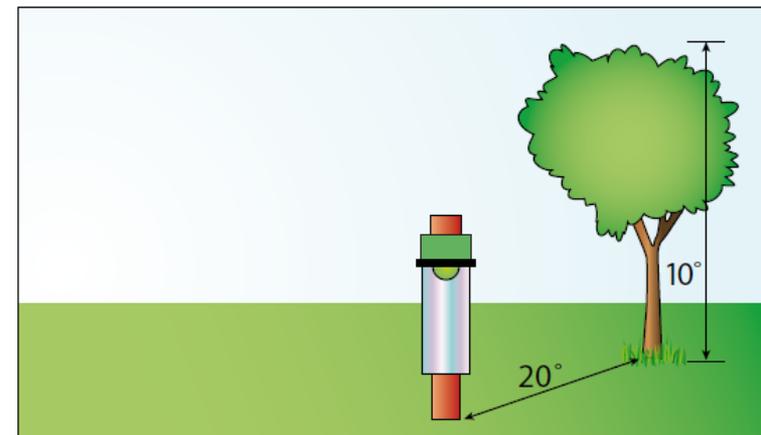
Extraído de OMM N° 8



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Emplazamiento y Exposición del pluviómetro

- Si el emplazamiento lo permitiera, el pluviómetro **estará protegido del viento en todas las direcciones** por barreras (árboles o arbustos, cuya altura será lo más uniforme posible).
- Los **emplazamientos muy abiertos**, que son adecuados para la mayoría de los instrumentos, **resultan inapropiados** para los pluviómetros. Reducción de lluvia
- El emplazamiento debería estar suficientemente alejado de árboles, edificios, muros u otros obstáculos.
- **Distancia NO debería ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato, y preferentemente debería cuadruplicar la altura.**

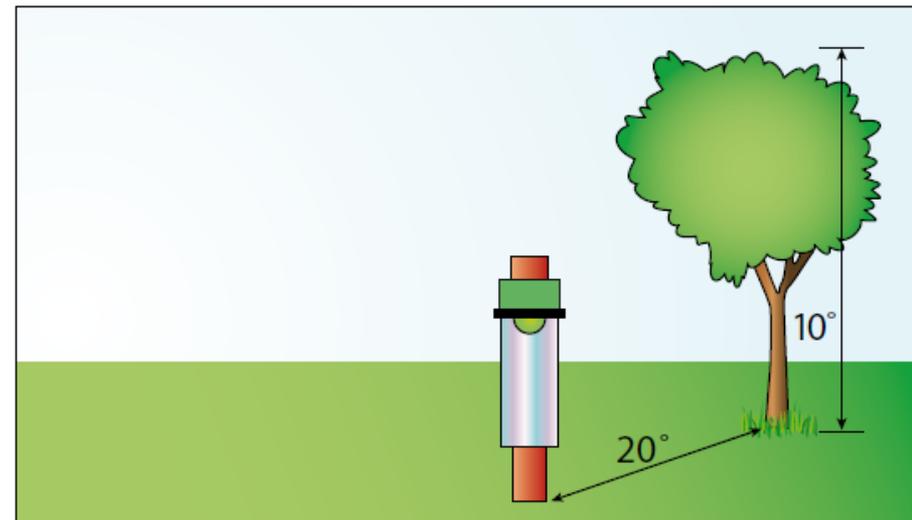


*Extraído de OMM N° 168*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Emplazamiento y Exposición del pluviómetro

- En las estaciones costeras, conviene que desde la estación pueda dominarse el mar abierto.
- NO debería estar demasiado cerca del borde de un acantilado porque los remolinos de viento afectan a las mediciones de la precipitación y el viento.



*Extraído de OMM N° 168*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

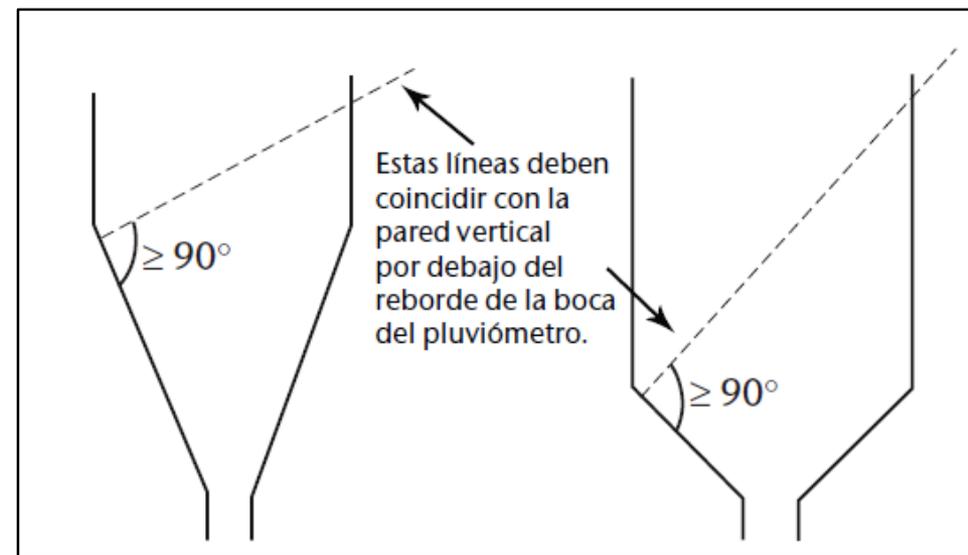
## Emplazamiento y Exposición del pluviómetro

- Las características de emplazamiento cambian con el transcurso del tiempo; (crecimiento de árboles o a la construcción de edificios).
- Minimizar los efectos de los **cambios de instrumentos** y/o de los **cambios de emplazamiento de instrumentos específicos**. Aunque se conozcan bien las características estáticas de los nuevos instrumentos, cuando estos se utilizan operativamente pueden introducir cambios aparentes en la climatología del emplazamiento.
- Las observaciones realizadas con nuevos instrumentos **deberían compararse durante un amplio período** (al menos un año, OMM, 2011a). antes de abandonar el sistema de medición previo.
- Lo mismo se aplica en caso de un cambio de emplazamiento.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Consideraciones en la Medición

- El reborde de la boca del colector debería ser afilado, con una vertiente interior completamente vertical.
- El área de la boca del medidor debe conocerse con una exactitud del 0.5%
- El colector debería diseñarse de modo que la lluvia no pudiera salpicar hacia dentro ni hacia fuera.
  - ✓ Pared vertical bastante profunda,
  - ✓ Pendiente del embudo suficientemente inclinada (al menos 45%).



*Extraído de OMM N° 8*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Consideraciones en la Medición

- Reducir al mínimo los errores por humidificación, material adecuado y reduciendo al mínimo la superficie interna total del colector.
- El depósito debería tener una entrada estrecha, suficientemente protegida de la radiación, para reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación.
- Los medidores de precipitación que se utilicen en lugares donde solo se hacen lecturas semanales o mensuales tendrían que disponer de un diseño análogo al utilizado para las mediciones diarias, pero con un depósito de mayor capacidad y una construcción más robusta.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Metadatos

- Deberían mantenerse **metadatos** (datos sobre datos) de (OMM, 2003):
  - ❖ establecimiento
  - ❖ mantenimiento de la estación
  - ❖ cambios que se producen
  - ❖ historial de la calibración
  - ❖ cambios en la exposición
  - ❖ personal
- Los metadatos son importantes sobre todo para los elementos particularmente sensibles a la exposición, como la **precipitación, el viento y la temperatura.**

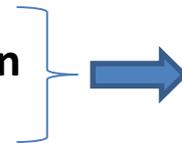
# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Metadatos

### • Identificación de la estación

Historial de la estación de recopilación de datos, convendría tener presentes dos aspectos:

- ❖ **Implantación de un sistema de identificación**
- ❖ **Archivado de la información descriptiva.**



Personas y Equipos  
**NO** son eternas

### • Identificación de las estaciones de recopilación de datos

Toda estación deberá tener un identificador único.

Pueden ser numéricos, alfanuméricos o algún sistema preestablecido.

<p><b>Parcela Meteorológica (DT-EM)</b> <u>Equipo de medición estación meteorológica Portlog Rainwise (ETW03)</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verificar si es el mismo equipo      ___(SI) ___(NO)</li><li>• Cambio de batería      ___(SI) ___(NO) Voltaje: _____</li><li>• Descarga de datos:      ___(OK) ___(Fail)</li><li>• Memoria hasta      ___/___/___ (No aplica)</li><li>• Observaciones: ( <i>eventos extraños, toma de muestras, pluv, tapado, etc</i> )</li></ul> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p><b>Parcela Meteorológica (DT-Plu)</b> <u>Equipo de medición pluviómetro Rainwise</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verificar si es el mismo equipo      ___(SI) ___(NO)</li><li>• Cambio de batería      ___(SI) ___(NO) Voltaje: _____</li><li>• Descarga de datos:      ___(OK) ___(Fail)</li><li>• Memoria hasta      ___/___/___ (No aplica)</li><li>• Observaciones: ( <i>eventos extraños, toma de muestras, pluv, tapado, etc</i> )</li></ul> <p>_____</p> <p>_____</p>

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Metadatos

- **Información descriptiva**

- Nombre de la estación
- Datos ubicación y elevación
- Tipo de estación y estaciones asociadas a ella
- Autoridades instaladoras, operadoras y propietarias
- Frecuencia de observación y Frecuencia de visita (mantenimiento y/o capacidad de almacenamiento).
- Períodos de utilización
- Información sobre el equipo instalado.
- Datos relativos al tipo de estación. (Manual, Registradora, etc.)
- En las estaciones climatológicas sería muy conveniente fomentar la observación a horas especificadas.
- **Nuevas tecnologías** : registradores cronológicos de datos y de transmisiones de datos por teléfono/satélite puede influir en las frecuencias de inspección/recopilación de datos en las estaciones. **OJO!!!**

**Importante!! Para asegurar la calidad de los datos, Mantenimiento regular de la estación.**

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## **Inspección y mantenimiento**

### **Inspección de las estaciones**

Todas las estaciones principales deberían inspeccionarse al menos una vez cada dos años. Estaciones meteorológicas agrícolas y especiales en intervalos menores

El principal objetivo de dichas inspecciones es cerciorarse de que:

- a) el emplazamiento y la exposición de los instrumentos sean conocidos, aceptables y estén debidamente documentados;
- b) los instrumentos sean del tipo autorizado, estén en buen estado y sean contrastados regularmente con sus instrumentos patrón;
- c) exista uniformidad en los métodos de observación y en los procedimientos para el cálculo de magnitudes derivadas de las observaciones;
- d) los observadores sean competentes para realizar sus tareas;
- e) los metadatos estén actualizados.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Inspección y mantenimiento

### Mantenimiento

El emplazamiento y los instrumentos de observación deberían recibir un mantenimiento regular para evitar un deterioro significativo de la calidad de las observaciones entre las distintas inspecciones de las estaciones. Los programas de mantenimiento periódico (preventivo) comprenden:

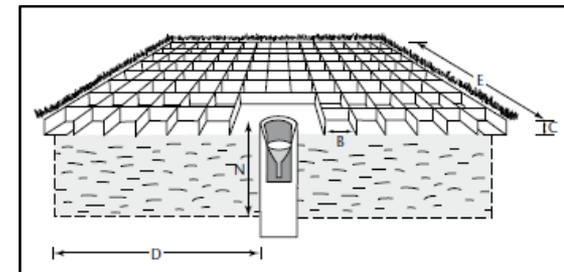
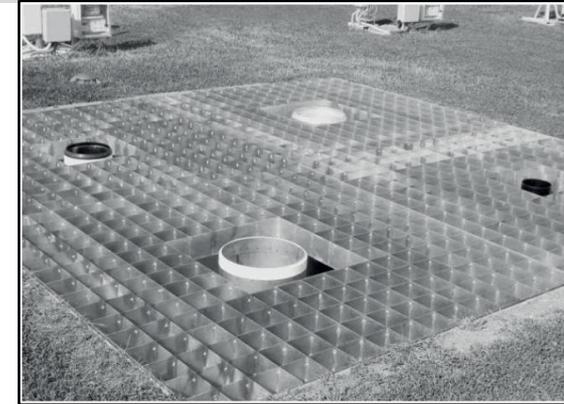
- a) Cuidado de los emplazamientos de observación (corte de la hierba y limpieza de los instrumentos)
- b) Verificación de los instrumentos automáticos recomendada por los fabricantes.
- c) Verificaciones rutinarias del control de la calidad realizadas en la estación o en un punto central para detectar averías del equipo lo antes posible.
- d) Según el tipo de avería y de estación, mantenimiento correctivo (sustitución o reparación de los instrumentos).
- e) Como **parte de los metadatos**, es especialmente importante llevar un registro de las averías de los instrumentos y de los cambios de exposición, y tomar medidas correctivas.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Medidores de Referencia e Intercomparaciones

- Los medidores a nivel del suelo se utilizan como pluviómetros de referencia para medir la precipitación líquida.
- Al no haber errores inducidos por el viento, generalmente muestran una **mayor precipitación** que cualquier pluviómetro elevado (OMM, 1984 y 2009).
- El pluviómetro se coloca en un hoyo, situando la boca al nivel del terreno, y a suficiente distancia del borde más próximo del hoyo para evitar salpicaduras.
- El hoyo debería estar cubierto por una fuerte red de plástico o de metal contra las salpicaduras, con una abertura central para la boca del pluviómetro.
- Es imprescindible prever un sistema que permita vaciar el agua del hoyo.



*Extraído de OMM N° 168*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Pluviómetros no registradores

- Receptáculos abiertos con lados verticales (cilindros rectos).
- Según el país, se utilizan diferentes alturas y tamaños de boca. Mediciones no son estrictamente comparables.
- Se mide por medio de una probeta o una varilla medidora graduadas.
- En los pluviómetros que no tienen paredes verticales, la medición se efectúa pesando o midiendo el volumen acumulado
- La probeta debería ser de vidrio o plástico transparente, con un coeficiente de dilatación térmica adecuado.
- Su diámetro debe ser inferior al 33% del diámetro del reborde del medidor; menor sea el diámetro relativo, mayor será la exactitud de la medición.
- Las graduaciones deberían ser marcas a intervalos de 0.2 mm y líneas claras que correspondan al milímetro entero.



*Pluviómetro INIA LB*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Pluviómetros no registradores

- Para mediciones pequeñas, diámetro interior de la probeta debería ir disminuyendo hacia la base.
- Probeta tiene que mantenerse en posición vertical para evitar errores de paralaje
- Líneas principales de graduación en la cara posterior de la probeta ayuda también a reducir estos errores.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

Los Cuadros, Tacuarembó

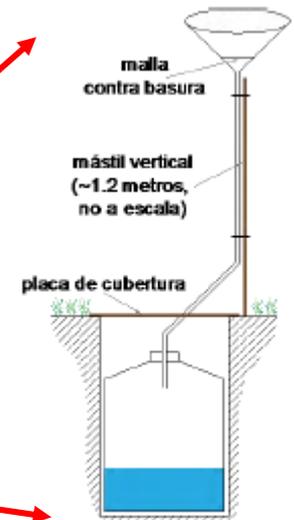
Estación Pluviométrica 1605 de INUMET



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Pluviómetros Totalizadores:

- Los pluviómetros totalizadores se utilizan para medir la precipitación estacional total en áreas apartadas o escasamente habitadas. Consisten en un colector situado encima de un embudo, que desemboca en un recipiente bastante amplio para captar las lluvias estacionales.
- Para evitar pérdidas de agua por evaporación se aplicará al pluviómetro una fina capa de aceite (8 mm) o sistema de sifón.



*Fuente: OIEA/GNIP (2016)*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

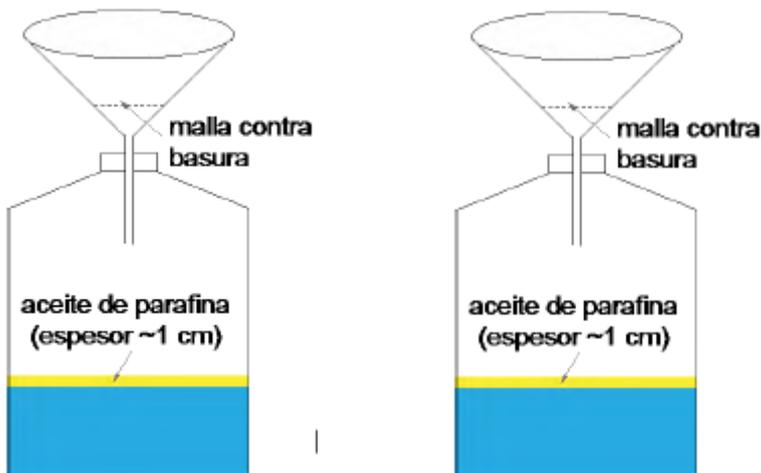
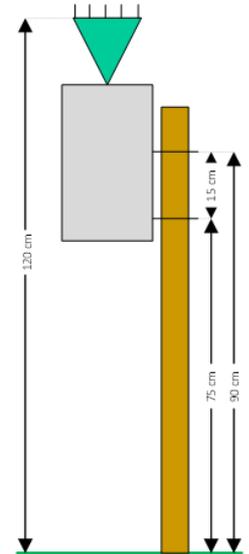
## Muestras para analizar la composición

- Contaminación
- Compuestos químicos con fines hidrológicos
- Isotopía ( $^{18}\text{O}$  y  $^3\text{H}$ )

Generalmente se muestrea deposición húmeda y/o seca

## Se pueden utilizar diversos mecanismos:

- Recipientes de plásticos, metálicos, acero inoxidable.
- Muestreadores secuenciales para tomar muestras automáticas



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Pluviómetros Registradores

El registro automático de la precipitación tiene las ventajas de:

- mejor resolución temporal
- reducir las pérdidas por evaporación y por humectación.

Se utilizan por lo general tres (cinco) tipos de registradores:

- de pesada
- de flotador
- de cubeta basculante
- Otros (distrómetro y acústicos)

Los únicos instrumentos que permiten medir todo tipo de precipitación (sólida y líquida) son los **de pesada**.

Los demás se utilizan para medir la precipitación de lluvia.



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores- De pesada

- ✓ Registra de manera continua, mediante un mecanismo de resorte o un sistema de pesas (recipiente + precipitación).
- ✓ La precipitación se registra a medida que va depositándose.
- ✓ Sirve sobre todo para registrar precipitaciones de nieve, granizo y aguanieve, sin tener que esperar a que éstas se derritan.



Fuente: <https://www.geonica.com/datarain-4000.php>

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores-De pesada

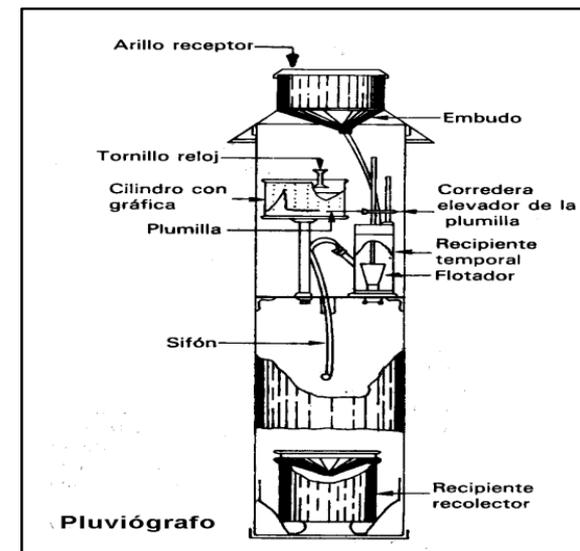
- ✓ Acción del viento. Causan oscilaciones en el mecanismo de pesaje.
- ✓ Sensibilidad a la temperatura en el mecanismo de pesaje que añade a los datos registrados un componente proporcional al ciclo de temperatura diurna.
- ✓ El problema de no contabilizar la traza se minimiza con los medidores de pesaje. Con el tiempo se acumularán incluso pequeñas cantidades de precipitación.
- ✓ Retardo sistemático en los tiempos de respuesta.
- ✓ Un importante problema la lluvia engelante o la nieve húmeda, puede adherirse al interior de la boca del pluviómetro y no caer en la cubeta hasta después. Esto limita el momento preciso de los fenómenos de precipitación.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores-De Flotador

- La lluvia pasa a un recipiente (cámara con un flotador). A medida que el nivel del agua de la cámara aumenta, el movimiento vertical del flotador se transmite a un registrador.
- Para poder registrar la precipitación caída durante un período adecuado (en general, de 24 horas), la cámara del flotador:
  - ✓ ha de ser muy grande
  - ✓ o mecanismo de vaciado automático y rápido de la cámara del flotador (sifón o cuchillas).



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores-De Cubeta Basculante o Balancín

- Sirve para medir la intensidad de lluvia y totales acumulados.
- Consiste en un recipiente, dividido en dos compartimentos, en equilibrio inestable en torno a un eje horizontal.
- El movimiento de la cubeta al volcarse acciona un relé de contacto e inscribe un registro a trazos discontinuos.
- Si fuera necesario un registro detallado, esta cantidad no debería exceder de 0.2 mm. Regiones de lluvia abundante y con sistemas de aviso de crecida, bastará con cubetas de 0.5 a 1.0 mm.



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores-De Cubeta Basculante o Balancín

- La masa de agua que contiene la cubeta es constante ( $m$  [g]). Por tanto, mediante la densidad de agua ( $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ ), se calcula el volumen correspondiente ( $V$  [ $\text{cm}^3$ ]) al peso del agua, lo que permite obtener la altura de acumulación correspondiente ( $h$  [mm]) utilizando la superficie del colector ( $S$  [ $\text{cm}^2$ ]). La ecuación es la siguiente:

$$V = \frac{m}{\rho} = h * S$$

- **La principal ventaja de este tipo de instrumento** radica en que genera impulsos electrónicos (registros a distancia, o registro simultáneo de la lluvia y de la altura fluvial en un limnógrafo).



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## **Métodos de registro de datos**

El medio más simple de obtener un registro gráfico consiste en:

- Desplazar una cinta cronológicamente pautada mediante un reloj de resorte o eléctrico bajo una plumilla.
  - gráfica de tambor
  - gráfica continua
- Los datos registrados pueden ser también convertidos por medios mecánicos o electrónicos en forma digital, o en soporte magnético a intervalos de tiempo uniformes.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores-De Cubeta Basculante o Balancín

#### Sus inconvenientes son:

- La cubeta tarda un tiempo en bascular y durante la primera mitad de su movimiento, la lluvia cae en el compartimiento que contiene la lluvia ya contabilizada (perceptible en casos de precipitación intensa (Parsons, 1941));  
Error mecánico sistemático. Corrección mediante procedimiento de calibración
- Superficie de agua expuesta relativamente grande. Se pueden producir pérdidas por evaporación considerables en regiones cálidas y condiciones de lluvia escasa.
- Debido al registro discontinuo, este instrumento no dará resultados satisfactorios en casos de llovizna o de lluvia muy tenue. No será posible determinar con exactitud el momento en que comienzan o acaban las precipitaciones.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Métodos de medición

### Registadores-De Cubeta Basculante o Balancín

#### Sus inconvenientes son:

- Desplazamiento y obstrucción del balancín
- Incorrecta nivelación
- Incorrecto funcionamiento del relé de contacto (imán/reswitch)

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Sistemas Satelitales

Se dará una presentación por parte de la docente Alejandra de Vera

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Errores de Medición

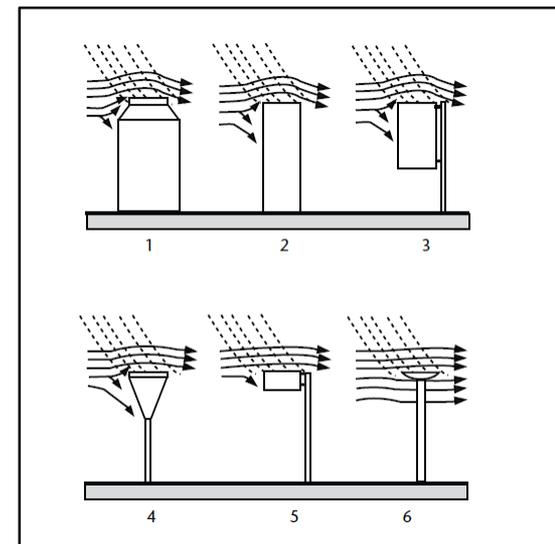
- La cantidad de precipitación medida puede ser hasta un 30% menor a la que realmente llega al suelo.

Fuentes de error:

- **Acción del viento (2% a 10% de la lluvia)**
- **Humectación de las paredes del pluviómetro**
- **Evaporación (0% a 4%), incide más en climas cálidos**
- **Salpicaduras (más de carácter aleatorio, del 1% al 2%)**
- **Funcionamiento equipo (mecánicos, retardo de muestreo). Incide en mayor medida en la intensidad de la lluvia.**

## Corrección de errores

- **Aspectos meteorológicos**
  - Factores de corrección y ecuaciones de referencia**
- **Aspectos de funcionamiento**
  - Calibración previa**
  - Relleno con datos de Estación de referencia**



*Extraído de OMM N° 8*

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

<i>Símbolo</i>	<i>Componente de error</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Factores meteorológicos</i>	<i>Factores instrumentales</i>
$k$	Pérdida debida a la deformación del campo de viento sobre el orificio de medición	2 a 10% 10 a 50% <sup>a</sup>	Velocidad del viento en el borde del dispositivo durante la precipitación, y estructura de la precipitación	Forma, superficie del orificio y profundidad del borde del dispositivo y del colector
$\Delta P_1 + \Delta P_2$	Pérdidas por humedecimiento de las paredes internas del colector, y del recipiente al vaciarlo	2 a 10%	Frecuencia, tipo y cantidad de precipitación, tiempo de secado del dispositivo y frecuencia de vaciado del recipiente	Como en el apartado anterior, más el tipo de material, el color y la edad del colector y del recipiente
$\Delta P_3$	Pérdidas por evaporación en el recipiente	0 a 4%	Tipo de precipitación, déficit de saturación y velocidad del viento en el borde del dispositivo, entre la finalización de la precipitación y su medición	Área del orificio y aislamiento del recipiente, color y, en algunos casos, edad del colector, o tipo de embudo (rígido o amovible)
$\Delta P_4$	Salpicaduras entrantes y salientes	1 a 2%	Intensidad de lluvia y velocidad del viento	Forma y profundidad del colector y tipo de instalación de medidor
$\Delta P_5$	Ventisca de nieve		Intensidad y duración de la tormenta de nieve, velocidad del viento y estado de la capa de nieve	Forma, área del orificio y profundidad del borde del medidor y del colector

<sup>a</sup> Nieve

**Tabla 1.2.1 Extraído de OMM N° 168**

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Corrección de errores

- Aspectos meteorológicos

### Factores de corrección y ecuaciones de referencia

$$P_k = kP_c = k(P_g + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3)$$

Donde:

$P_k$  Precipitación ajustada

K factor de corrección debido al viento

$P_c$  precipitación captada por el colector

$P_g$  precipitación medida en el dispositivo

$\Delta P_1 + \Delta P_2$  pérdidas por humedecimiento

$\Delta P_3$  perdidas por evaporación

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Corrección de errores

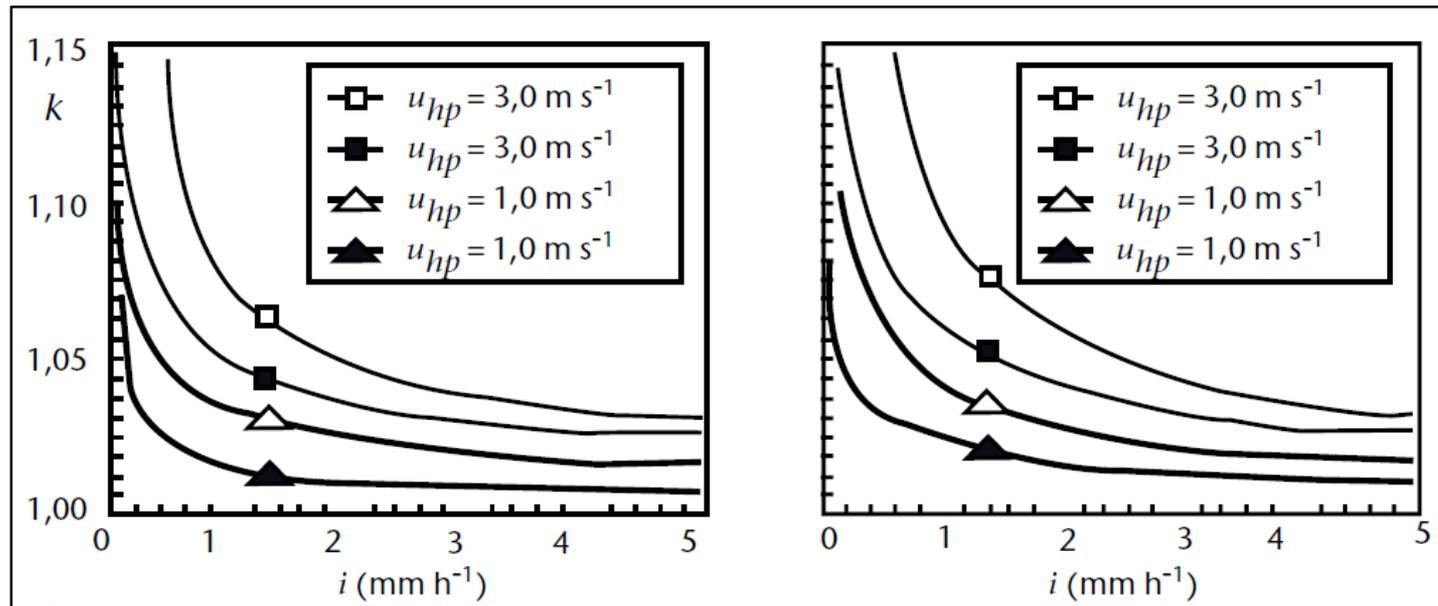
- **Aspectos meteorológicos**

- Para hacer ajustes relacionados con las condiciones meteorológicas son la **velocidad del viento** en la boca del medidor durante la precipitación, el tamaño de las gotas, la intensidad de la precipitación, la temperatura y la humedad del aire, y las características del emplazamiento del medidor.
- Aunque la temperatura pueda afectar en algo al medidor, se trata de un efecto considerablemente menos importante que el de la velocidad del viento
- La velocidad del viento y el tipo o la intensidad de la precipitación pueden ser variables suficientes para determinar las correcciones.
- **A veces se utiliza la velocidad del viento solamente.**

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Corrección de errores

- Aspectos meteorológicos **Ecuaciones de referencia**



**Tabla 1.2.1** Extraído de OMM N° 8 Factor de conversión  $k$  —definido como el cociente entre la precipitación “correcta” y la medida para lluvia, para dos medidores no protegidos, en función de la velocidad del viento  $u_{hp}$ , la intensidad  $i$  y el tipo de situación meteorológica (hueco, lluvia orográficas; relleno, chaparrones), según Nespor y Sevruc (1999).

A la izquierda pluviómetro normalizado manual alemán de Hellmann, y a la derecha el pluviómetro registrador de cubeta basculante de Lambrecht

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Corrección de errores

- Aspectos meteorológicos-**Ecuaciones de referencia**

## Corrección de la medida de viento a la altura del pluviómetro

$$u_{hp} = \left( \log h z_0^{-1} \right) \cdot \left( \log H z_0^{-1} \right)^{-1} \cdot (1 - 0,024\alpha) u_H$$

## Donde:

- $u_{hp}$  es la velocidad del viento al nivel del orificio del pluviómetro;
- $h$  es la altura del orificio del pluviómetro sobre el suelo;
- $z_0$  es la longitud de rugosidad (0,01 m para el invierno y 0,03 m para el verano);
- $H$  es la altura del instrumento de medición de la velocidad del viento sobre el suelo;
- $u_H$  es la velocidad del viento medida a la altura  $H$  sobre el suelo;
- $\alpha$  es el ángulo vertical medio de los obstáculos que circundan el medidor de precipitación.

# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Corrección de errores

- Aspectos de funcionamiento **Relleno con datos de estaciones de referencia**

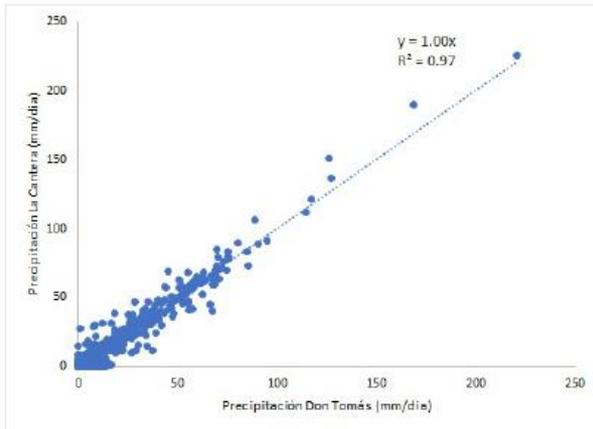


Figura A.1.6: Correlación Precipitación: DTf y LCP

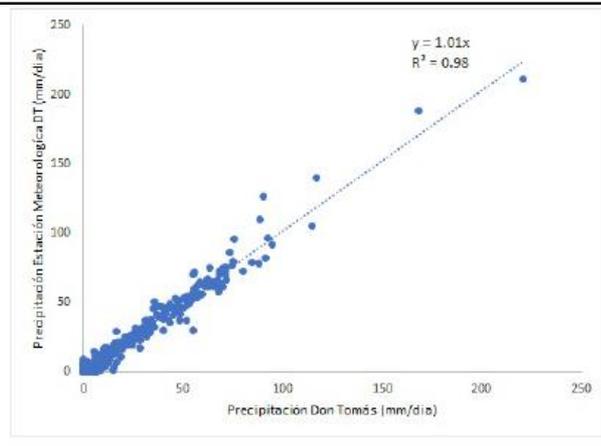
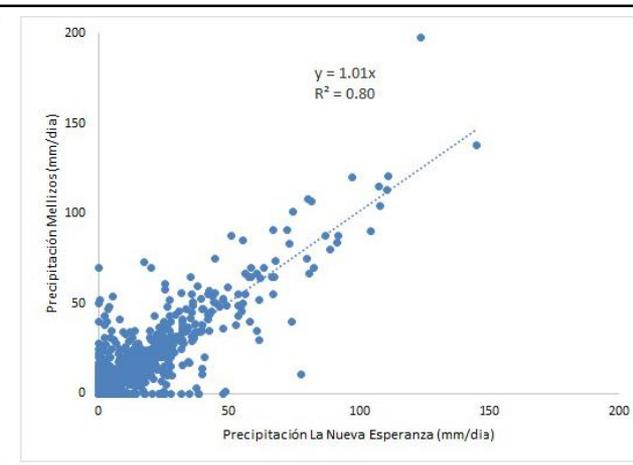
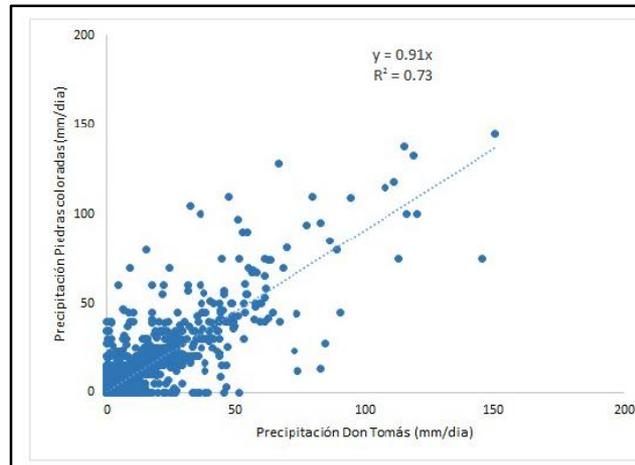


Figura A.1.7: Correlación Precipitación: DTf y Estación Pluviómetrica DT



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Definición:

- **Evaporación (real)**: cantidad de agua que se evapora de una superficie de agua libre o del terreno.
- **Transpiración**: proceso por el que el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor.
- **Evaporación potencial (o evaporatividad)**: cantidad de vapor de agua que puede ser emitida por una superficie de agua pura, por unidad de superficie y por unidad de tiempo, en las condiciones existentes.
- **Evapotranspiración potencial**: cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado por una cubierta vegetal continua bien dotada de agua. Incluye la evaporación del suelo y la transpiración vegetal en una región determinada y en un intervalo de tiempo dado, expresada en altura de agua.
- **Evapotranspiración real** (o evapotranspiración efectiva): cantidad de agua evaporada del suelo y de las plantas cuando el terreno se encuentra con su contenido natural de humedad.

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Importancia de la medición de Evaporación y Evapotranspiración:

- Modelización hidrológica
- Estudios hidrometeorológicos
- Estudios agrícolas
- Explotación embalses
- Redes de riego
- Redes de drenaje

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

- La **tasa de evaporación** se define como la cantidad de agua que se evapora de una unidad de superficie por unidad de tiempo. Puede expresarse como la masa o el volumen de agua líquida que se evapora de esta forma.
- Altura del agua líquida que vuelve a la atmósfera por unidad de tiempo, evaporándose desde toda la superficie que se examina. (OMM, 2010, extraído de OMM N°8).
- La unidad de tiempo es normalmente el día, y la cantidad de evaporación debería expresarse en mm (OMM, 2010, extraído de OMM N°8).
- Según el tipo de instrumento, la resolución de las medidas varía generalmente de 0.1 a 0.01 mm.

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

Factores que influyen en la evaporación:

- Meteorológicos
  - ✓ Energéticas (radiación solar y terrestre).
  - ✓ Aerodinámicas (velocidad del viento a nivel de la superficie y la diferencia de la presión de vapor entre la superficie y la atmósfera).
- Propios de la superficie
  - ✓ Rugosidad de la superficie
  - ✓ Calor acumulado en la masa de agua

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Transpiración

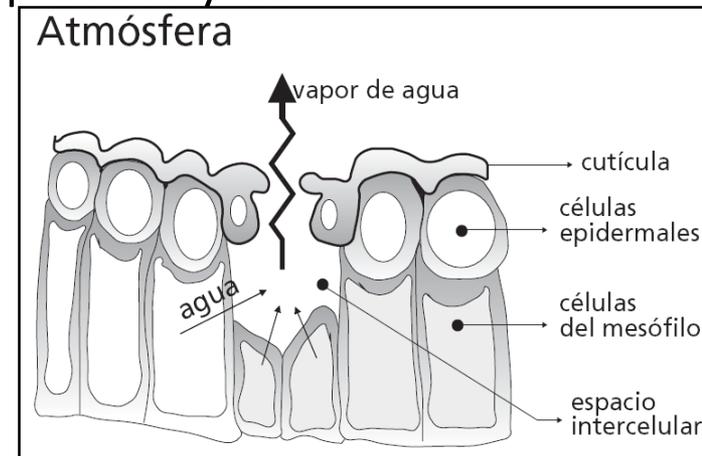
Vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y posterior remoción hacia la atmósfera. (Allen et al, 1998)

Factores principales para la Transpiración:

- Suministro de energía
- Transporte del vapor

Además se agregan:

- Características del suelo: contenido de agua; capacidad de conducir el agua; salinidad.
- Características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo.



*Fuente: Allen et al, 1998*

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Evapotranspiración

Es la combinación de **Evaporación desde la superficie del suelo y la Transpiración de la vegetación.**

#### **Factores influyentes:**

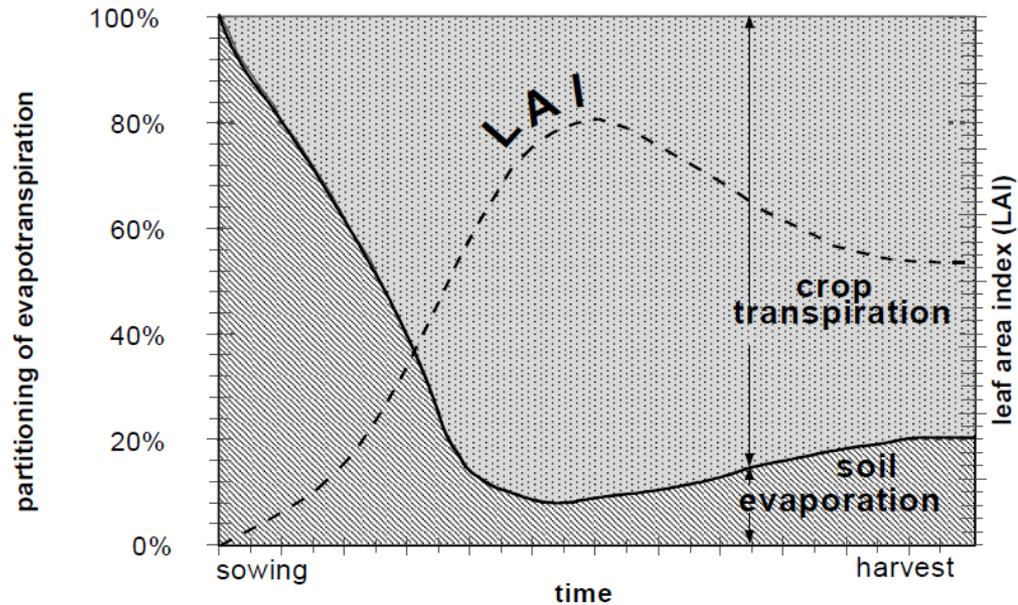
- **Variables climáticas** que inciden en el suministro de energía y en el transporte de vapor: radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.
- **Factores de cultivo:** tipo de cultivo, variedad y etapa del desarrollo, debido a las diferencias en resistencia a la transpiración, altura del cultivo, rugosidad del cultivo, reflejo, cobertura del suelo y características radicales.
- **Manejo y condiciones ambientales:** condiciones que limiten el desarrollo de la vegetación (salinidad del suelo, baja fertilidad, uso limitado de fertilizantes, enfermedades o parásitos y mal manejo del suelo); densidad del cultivo, prácticas de manejo y contenido de agua en el suelo.

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Evapotranspiración

The partitioning of evapotranspiration into evaporation and transpiration over the growing period for an annual field crop



Fuente: Allen et al, 1998

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

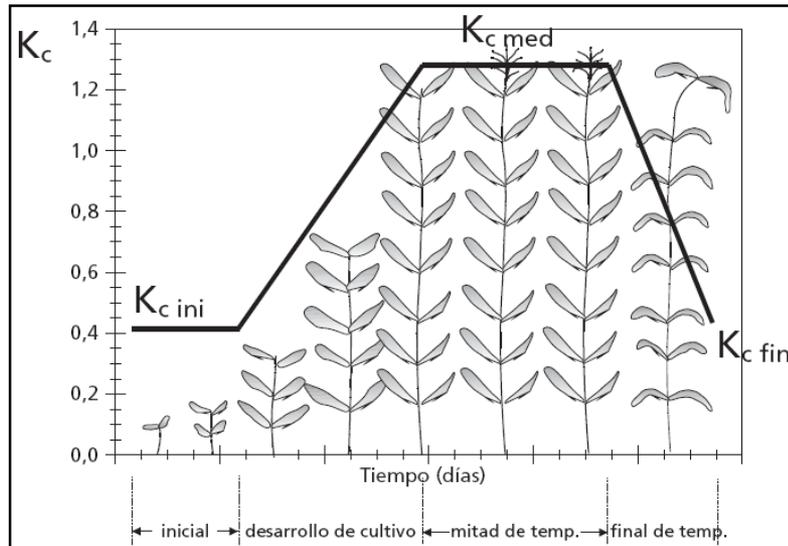
### Evapotranspiración

- **Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>)**

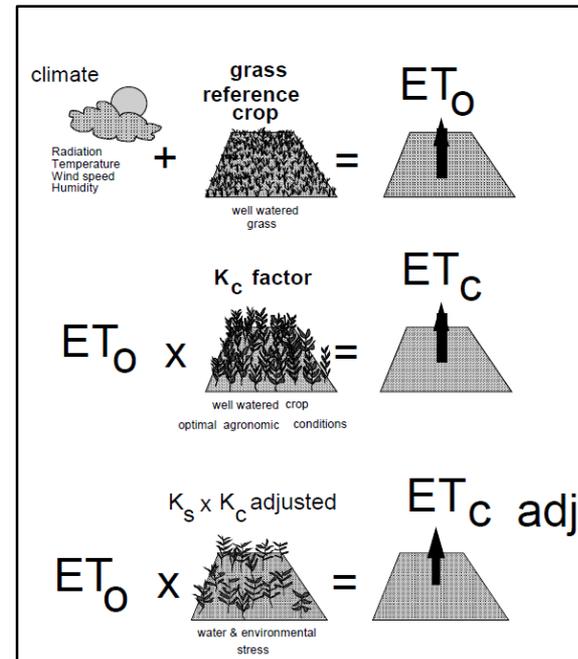
Cuando el suministro de agua es ilimitado. Es frecuente que la referencia sea césped que sombrea totalmente el terreno, de 10-15 cm de altura y en fase de crecimiento, sin estrés hídrico. Típicamente es césped de 12 cm de altura, con un albedo de 0.23 y una resistencia superficial de  $r_c = 69$  s/m.

- **Evapotranspiración cultivo de referencia bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>)**

$$ET_c = K_c * ET_0$$



Fuente: Allen et al, 1998



$K_s$  déficit hídrico  
 $K_c$  ajustado incluye todos los otros factores

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

En general, para **estimar la evaporación y la evapotranspiración** se aplican métodos indirectos, ya sea efectuando **mediciones puntuales con un instrumento o medidor**, o realizando cálculos a partir de **otras variables meteorológicas cuantificadas** (OMM, 1997, extraído de OMM N°8).

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Medición

- Métodos de balance de energía y microclimáticos
- Balance de agua en el suelo
- **Lisímetros**
- **Estimación con tanque evaporímetro**

$$E_{emb} = 0.7 * E_{tanque}$$

$$ET_o = C_{ET} * E_{tanque}$$

$C_{ET}$  definido para cada estación INIA (Chiara, 1990, extraído de Notas HHA)

- Medición de flujo de savia (Barbour et al., 2005)
- Calculo a partir de información meteorológica
  - Thornwaite (Thornthwaite y Mather, 1957),
  - Penman (1948)
  - **Penman-Monteith (1965)**



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Métodos de Medición

#### Evaporímetros

- Atmómetros
- Cubetas o tanques de evaporación
- Lisímetros o Evapotranspirómetros
  - ✓ ETP real, ETP potencial o Evaporación.

*Término intermedio entre método de medición y balance.*

Valores obtenidos deberán corregirse para obtener estimaciones fiables

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN

### Atmómetros

Instrumentos que mide la pérdida de agua de una superficie porosa mojada, **siempre a nivel de saturación**. Las medidas sucesivas del volumen de agua que queda en el tubo indican la cantidad de agua perdida por evaporación en un momento dado.

#### **Tipos:**

- Livingstone
- Bellani
- Piche

Útiles a pequeña escala, no recomendados para balance hídricos.

Fuentes de error:

- Suciedad en la superficie
- Exposición



*Atmómetro Piche. INIA*

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN

### Tanques de Evaporación

Hay varios tipos de tanques:

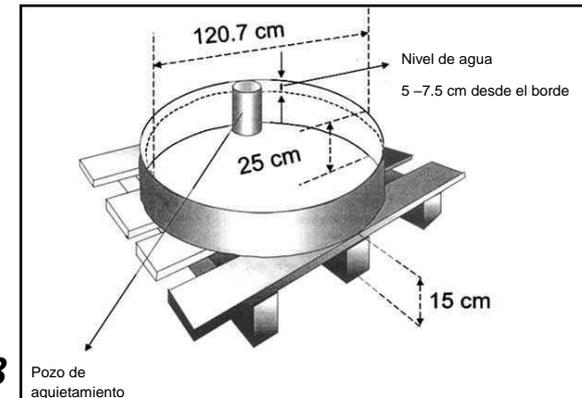
- Tanque estadounidense A (Más difundido en Uruguay)
- Cubeta rusa
- Tanque ruso de 20 m<sup>2</sup> (Tanque de referencia internacional)

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN

### Tanques de Evaporación-Tanque A

- Cilindro de 25.4 cm de profundidad por 120.7 cm de diámetro.
- Fondo del tanque se coloca a una altura de 3 a 5 cm por encima del nivel del terreno, sobre un marco de madera (circulación de aire)
- La cubeta tiene 0.8 mm de espesor
- Fabricada con hierro galvanizado, cobre o metal monel, y sin pintar.
- La cubeta se llena de agua hasta 5 cm del borde (nivel de referencia).



*Extraído de OMM N° 8*

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN

### Tanques de Evaporación-Tanque A

- Nivel del agua se mide mediante un instrumento en forma de gancho, o con un punto fijo de referencia. Escala móvil y un calibrador dotado de un gancho, cuyo extremo toca la superficie del agua
- Se utiliza un tubo estabilizador, de unos 10 cm de diámetro y 30 cm de profundidad, dotado de un orificio en el fondo, para eliminar ondulación que pueda formarse en la cubeta y sirve también de soporte al instrumento en forma de gancho durante las observaciones.
- La cubeta se llena cuando la escala indica que el nivel de agua ha bajado más de 2.5 cm con respecto al nivel de referencia.

*Tanque A. INIA Treinta y Tres*



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN

### Tanques de Evaporación

#### Condiciones generales para la medición

Tanques pueden estar:

- Enterrados, expuestos o en superficies flotantes
- Superficies planas y libre de obstáculos (alejados 5 a 10 veces su altura)
- Cerca para evitar ingreso de animales y bebedero
- Capa de suelo se mantenga similar al entorno
- **NUNCA** sobre hormigón, grava y a la sombra



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPORACIÓN

### Tanques de Evaporación

#### Condiciones generales para la medición

¿Condiciones o cambios según el tipo de tanque?

Elevados:

- Evaporan mas que los enterrados por las paredes
- Permiten detectar perdidas
- Mas económicos y no entran salpicaduras

Nivel del agua:

- Muy elevado puede desbordar en una lluvia
- Muy bajo subestima evaporación por exceso de sombra por las paredes

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Lisímetros

- Consiste en un recipiente interior lleno de una muestra de suelo, y con paredes de retención, o en un recipiente exterior, así como en dispositivos especiales que permiten medir la percolación o las variaciones del contenido en agua del suelo.
- NO existe un lisímetro estandarizado y su tipo y dimensiones dependerá del problema a estudiar.
- Tipos:
  - ✓ De balanza (Valores a corto plazo y fiables de ETP)
  - ✓ De percolación (Valores a largo plazo de ETP)

*Lisímetro UNAM/Lisímetro INIA LB*



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

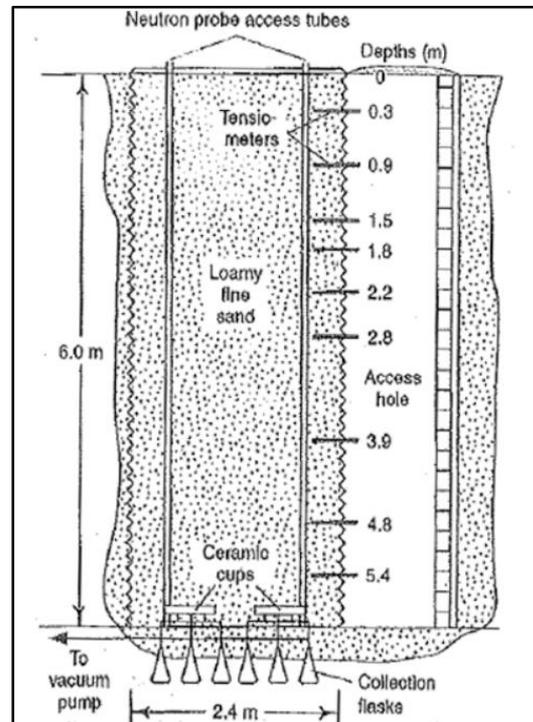
### Lisímetros

- La tasa de evapotranspiración puede estimarse mediante la ecuación general del balance hídrico aplicada a sus recipientes.

$$ETP = P/Riego - Perc - \Delta H$$



**Lisímetro UNAM**



**Extraído de Custodio 2019**



**Lisímetro INIA LB**

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Lisímetros

#### Condiciones generales para la medición

- Muestras imperturbadas de suelo y un único bloque.
- Libertad de drenaje en el fondo del recipiente
- Alejados de estructuras importantes

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Datos Requeridos para cálculo a partir de información meteorológica

Son los parámetros meteorológicos que proveen **energía para la vaporización del agua y para remover el vapor del agua desde la superficie evaporante**

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Metodologías ETo-Datos requeridos

Clasificación	Designación común	Datos necesarios	Referencia
Simple asociación de variables meteorológicas	ETP & Tmax	T	
	ETP & Tmin	T	
	ETP & T	T	
	ETP & U	U	
	ETP & D	D	
	ETP % Re	Re	
	ETP & TD	T, D	
	ETP & (1 - HR)	HR	
	ETP & (1 - HR)U	HR, U	
	ETP & (1 - HR)UD	HR, U, D	
Combinación	Penman	HR, T, U, D	Penman (1948)
	Penman-Monteith	D	Monteith (1965)
	Priestley-Taylor	HR, T, U, D	Priestley y Taylor (1972)
	Kimberly	T, D	Wright (1982)
	Penman-Thom-Oliver	HR, T, U, D	Thom y Oliver (1977)
		HR, T, U, D	
Temperatura	Thornthwaite	T	Thornthwaite (1948)
	Blaney-Criddle	T, D	Blaney y Criddle (1951)
	Hamon	T, D	Hamon (1961)
	Romanenko	HR, T	Xu y Singh (2001)
	Linacre	HR, T	Linacre (1977)
Radiación	Turc	HR, T, D	Xu y Singh (2001)
	Jensen-Haise	T	Jensen y Haise (1963)
	McGuinness-Bordne	T	McGuinness y Bordne (1972)
	Hargreaves	T	Hargreaves y Samani (1982)
	Doorenbos-Pruitt (FAO-24)	HR, T, U, D	Jensen et al. (1990)
	Abtew	HR, T, D	Abtew (1996)
	Makkink	T	Makkink (1957)

*Extraído de Custodio (2019).  
Oudin et al., (2005b)*

ETP = evapotranspiración potencial; T = temperatura; U = velocidad del viento; D = insolación/radiación; HR = humedad relativa; Re = radiación extraterrestre que depende del día juliano y la latitud

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Datos Requeridos para cálculo a partir de información meteorológica

**Thornwaite (Thornthwaite y Mather, 1957),**

Valores mensuales de ETP.

Solo requiere datos de Temperatura diaria

$$E = K \cdot \varepsilon \quad \text{siendo} \quad K = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{d}{30}\right) \quad \text{y} \quad \varepsilon = 1,6(10T/I)^2$$

N = número máximo de horas de sol en el mes

d = número de días del mes

T = temperatura media mensual de las medias diarias en °C

$a = 0,675 \cdot 10^{-6} \cdot I^3 - 0,771 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 0,1792 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$

I = índice de calor anual =  $\sum i$  para los 12 meses

i = índice de calor mensual  $(T/5)^{1,514}$

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### Estimación FAO Penman-Monteith (1965)

Para el cultivo de referencia:

$$ET = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

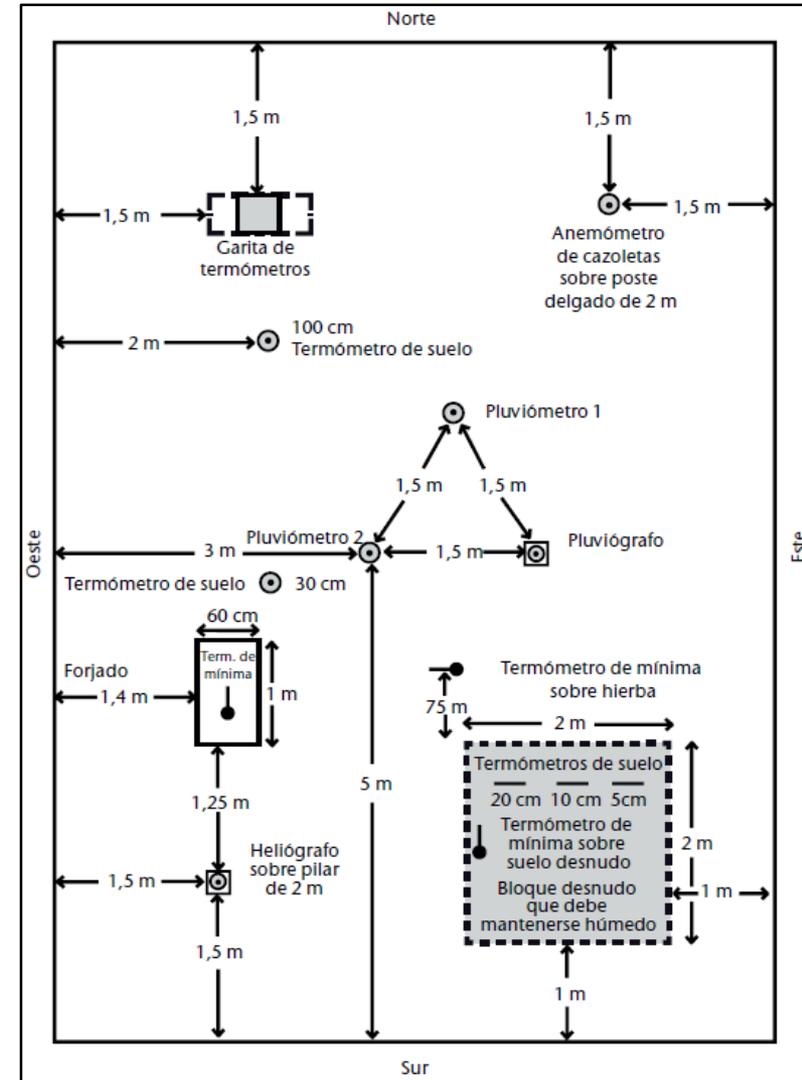
Donde:  $E_T$  evapotranspiración de referencia ( $\text{mm día}^{-1}$ );  $R_n$  radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ.m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ );  $R_a$  radiación extraterrestre ( $\text{mm.día}^{-1}$ );  $G$  flujo del calor de suelo ( $\text{MJ.m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ );  $T$  temperatura media del aire a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $u_2$  velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );  $e_s$  presión de vapor de saturación (kPa);  $e_a$  presión real de vapor (kPa);  $(e_s - e_a)$  déficit de presión de vapor (kPa);  $\Delta$  pendiente de la curva de presión de vapor ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  constante psicrométrica ( $0.665 \times 10^{-3} \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ). **Unidades del SI**

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## ESTACIONES METEOROLÓGICAS

### Emplazamiento y Exposición de Mediciones Meteorológicas

- Deberían instalarse en terreno llano
- Dimensión no inferior a 25 m x 25 m (10 m x 7 m si hay pocos equipos).



Extraído de OMM N° 168

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## ESTACIONES METEOROLÓGICAS

### **Emplazamiento y Exposición de Mediciones Meteorológicas**

1. El registrador de luz solar, el pluviómetro y el anemómetro han de exponerse de manera que satisfagan sus requisitos, y, preferentemente, en el mismo lugar que los demás instrumentos.
2. Cabe señalar que el recinto tal vez no sea el mejor lugar para estimar la velocidad y dirección del viento, por lo que quizás convenga elegir un punto de observación más expuesto al viento.
3. Cuando haya árboles o edificios a cierta distancia del entorno del recinto de instrumentos que impidan divisar con suficiente amplitud el horizonte, deberían elegirse otros puntos para las observaciones de luz solar o radiación.
4. El lugar desde donde se realice la observación de las nubes y de la visibilidad debería ser lo más despejado posible y permitir la visión más amplia posible del cielo y del paraje circundante.

Es obvio que algunas de las consideraciones antes señaladas son en cierto **modo contradictorias y requieren soluciones intermedias.**

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

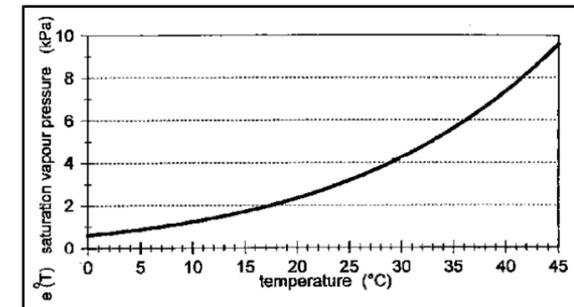
- Temperatura diaria, máxima y mínima
- Radiación Solar
- Humedad del aire
- Viento a 2 m sobre el nivel del terreno

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Temperatura del aire (K o °C) ( $T(K)=T(^{\circ}C)+273.15$ )
  - **Generada por la radiación solar absorbida por la atmosfera y el calor emitido por la tierra.**
  - OMM (1992) define la temperatura como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico.
  - Se emplea la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)
  - OMM (1992) define la temperatura del aire como “la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa”
  - La temperatura media diaria del aire se emplea para calcular la pendiente de presión de saturación de vapor y en la densidad del aire. Incide en la Humedad Relativa
  - Se considera la **Tmedia diaria** como:  $\frac{T_{max}+T_{min}}{2}$



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Temperatura del aire
  - Afectada por: vegetación, edificios, cubierta del suelo, diseño del escudo o **pantalla contra las radiaciones**.
  - Las propiedades utilizadas generalmente en los termómetros meteorológicos son la **dilatación térmica (mercurio)** y la **variación de la resistencia eléctrica con la temperatura**.
  - Termómetro patrón: termómetro de resistencia de platino de gran pureza o psicrómetro de referencia de la OMM (OMM, 1992).
  - Están los termómetros ordinarios y los de máxima/mínima
  - Exposición:
    - Termómetro a temperatura verdadera del aire, necesario protegerlo de la radiación mediante una **garita**
    - Lo protegerá también de las precipitaciones, permitirá al aire circular libremente a su alrededor e impedirá que se dañe accidentalmente
    - Entre 1.25 y 2 m de altura

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Temperatura del aire



*Extraído de INIA*



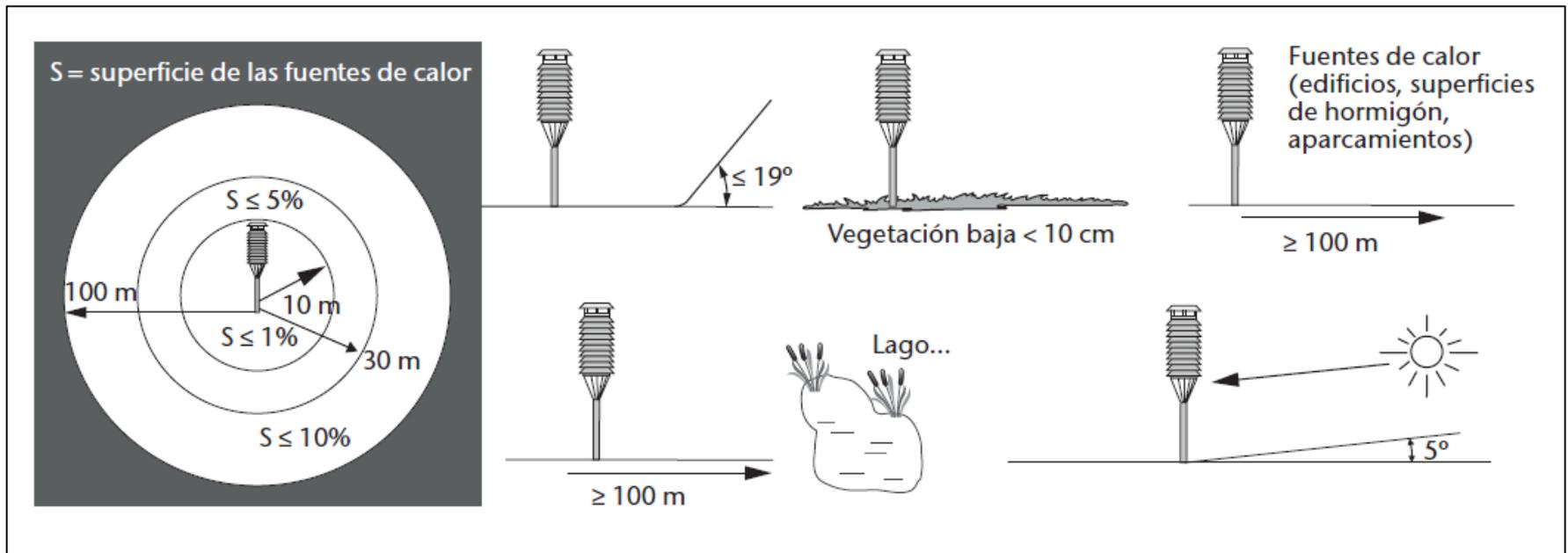
*Extraído de INIA*

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Temperatura del aire



Extraído de OMM N° 8

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Temperatura del aire
  - Termómetros ordinarios
    - Termómetros de mercurio en cápsulas de vidrio
  - Termómetros de máxima
    - Termómetros de mercurio en cápsulas de vidrio con estrechamiento inferior para evitar el descenso a pesar del descenso de temperatura. Se debe reiniciar. (2° respecto a la horizontal)
  - Termómetros de mínima
    - Termómetro de alcohol con un índice de vidrio oscuro, de unos 2 cm de longitud, sumergido en el alcohol. (2° respecto a la horizontal)



*Extraído de INIA*

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Temperatura del aire
  - Termómetros eléctricos
    - Más utilizados actualmente en EM
    - Pueden ser del tipo de: resistencias eléctricas (medir la resistencia eléctrica de un material cuando esta varía de forma conocida con la temperatura de dicho material), termómetros de semiconductor (termistores) y los termopares.

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Humedad Relativa
  - **La diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evapotranspirante y la del aire es determinante en la remoción del vapor de agua.** Se puede medir como Presión de vapor, Temperatura de punto de rocío o Humedad relativa
  - La humedad relativa expresa el grado de saturación del aire como la relación entre la presión vapor actual ( $e_a$ ) a la de saturación ( $e^{\circ}$ ) a la misma temperatura y presión.

$$RH = 100 * \frac{e_a}{e^{\circ}(T)}$$

$e_a$  no se puede medir directamente sino que se calcula a partir de Psicrómetros, humedad relativa o temperatura de punto de rocío  
 $e^{\circ}$  se puede calcular a partir de la temperatura del aire  
RH se hace máxima al amanecer y mínima temprana en la tarde

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Humedad Relativa
  - La humedad relativa se mide directamente con **Higrómetros**
  - La medición de higrómetros se basa en las propiedades de algunos materiales (como el pelo) en cambiar su longitud en función de la humedad del aire. También se puede usar el fenómeno de capacitancia.
  - Las condiciones generales para la exposición de los sensores de humedad son similares a las de los sensores de temperatura
  - Evitar radiación solar directa, lluvia, viento y microclima dentro de la garita

*Termohigrógrafo Extraído de INIA*



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Humedad Relativa
  - Metodologías de medición:
    - **Higrómetros gravimétricos**: absorción, por un desecante, del vapor de agua contenido en un volumen de aire conocido y por diferencia de peso se calcula el volumen de agua absorbido
    - **Métodos basados en la condensación**
      - Espejo enfriado (mide el punto de rocío o de escarha)
      - Solución salina calentada
      - Psicrométrico (dos termómetros juntos; uno de los termómetros está cubierto de una fina capa de agua o de hielo, (húmedo). El segundo termómetro está simplemente expuesto al aire (seco). Diferencia de temperatura y evaporación desde el húmedo.
    - **Métodos de sorción** Ciertos materiales interactúan con el vapor de agua y sufren, en sus propiedades químicas o físicas un cambio suficientemente reversible para ser utilizado como sensor de la humedad. Adsorción-Absorción en función de la humedad ambiente

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Radiación Neta ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ )
  - La radiación neta  $R_n$  es la diferencia entre la radiación de onda corta y larga entrante y saliente.
  - Generalmente  $R_n$  es positivo para un período de un día, excepto en altas latitudes
  - Radiación neta y albedo:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s$$

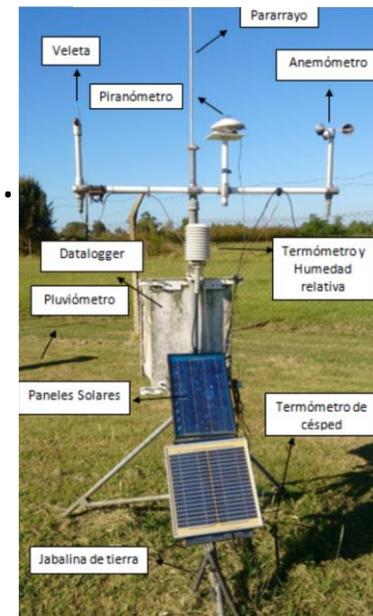
- ❖ El albedo es la fracción de radiación solar reflejada por la superficie (0.95 nieve, 0.05 suelo desnudo mojado, vegetación de referencia 0.23)
- ❖  $R_{ns}$  es la fracción de la radiación solar  $R_s$  que no es reflejada por la superficie

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Radiación Neta ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ )
  - Definida por la ubicación y época del año.
  - No toda la radiación genera vaporización del agua, parte se emplea para calentar la atmosfera y el suelo
  - La radiación neta se puede medir con
    - Pirheliómetro (radiación solar directa)
    - **Piranómetros** (radiación recibida directamente del ángulo sólido del disco solar, así como la radiación celeste difusa dispersada al atravesar la atmósfera). Se pueden medir de forma independiente.
    - Radiómetros
    - Solarímetros.



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Radiación Neta ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ )
  - Los piranómetros consisten en un sensor que se coloca en una superficie horizontal y mide la intensidad de la radiación total (difusa y directa en conjunto).
  - El sensor se coloca en una atmósfera controlada dentro de un domo de vidrio que debe ser **limpiado regularmente**.
  - El sensor debe estar horizontal
  - No debe recibir sombra de objetos, ni cercano a superficies que reflejen sobre él energía solar.

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Radiación Neta ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ )

Clasificación del instrumento	Parámetro que se desea medir	Uso principal	Angulo de visión (estereorradianes) (véase la figura 7.1)
Pirheliómetro absoluto	Radiación solar directa	Patrón primario	$5 \times 10^{-3}$ (aprox. $2,5^\circ$ de semiángulo)
Pirheliómetro	Radiación solar directa	a) Patrón secundario para calibraciones b) Red	$5 \times 10^{-3}$ a $2,5 \times 10^{-2}$
Pirheliómetro espectral	Radiación solar directa en bandas espectrales anchas (p. ej. con filtros OG 530, RG 630, etc.)	Red	$5 \times 10^{-3}$ a $2,5 \times 10^{-2}$
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales estrechas (p. ej. a $500 \pm 2,5 \text{ nm}$ , $368 \pm 2,5 \text{ nm}$ )	a) Patrón b) Red	$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-2}$ (aprox. $2,3^\circ$ de ángulo total)
Piranómetro	a) Radiación (solar) global b) Radiación (solar) celeste difusa c) Radiación solar reflejada	a) Patrón de trabajo b) Red	$2\pi$
Piranómetro espectral	Radiación (solar) global en intervalos espectrales de banda ancha (p. ej. con filtros OG 530, RG 630, etc.)	Red	$2\pi$
Piranómetro diferencial	Radiación (solar) global neta	a) Patrón de trabajo b) Red	$4\pi$
Pirgeómetro	a) Radiación de onda larga ascendente (sensor hacia abajo) b) Radiación de onda larga descendente (sensor hacia arriba)	Red	$2\pi$
Pirradiómetro	Radiación total	Patrón de trabajo	$2\pi$
Pirradiómetro	Radiación total neta	Red	$4\pi$

Extraído de OMM N° 8

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Insolación (h)
  - Se define la duración de la insolación correspondiente a un período determinado como la suma del tiempo durante el cual la irradiancia solar directa supera  $120 \text{ W m}^{-2}$ . (OMM 2010).
  - Se mide mediante
    - Pirheliómetro
    - Piranómetro
    - **Heliógrafos (de Campbell Stokes)**
  - Permite calcular la radiación solar global mediante la fórmula de Ångström si no se cuenta con un Piranómetro.

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Insolación (h)

  - **Heliógrafos (de Campbell Stokes)**

    - Se compone esencialmente de una superficie esférica de vidrio montada concéntricamente en una sección de un recipiente esférico cuyo diámetro es tal que los rayos del Sol caen perfectamente enfocados sobre una banda sujeta a las ranuras del recipiente y se va quemando una banda que debe ser removida en cada plazo definido.



Características del heliógrafo de Campbell-Stokes (versión HRP)

<i>Esfera de vidrio</i>	<i>Segmento esférico</i>	<i>Bandas de registro</i>
Forma: uniforme	Material: bronce industrial o metal de durabilidad equivalente	Material: cartulina de buena calidad, no muy sensible a la humedad
Diámetro: 10 cm	Radio: 73 mm	Ancho: ajustado, dentro de 0,3 mm
Color: muy tenue o incoloro	Características adicionales:	Grosor: $0,4 \pm 0,05$ mm
Índice de refracción: $1,52 \pm 0,02$	a) Línea de mediodía central grabada transversalmente por la cara interior	Efecto de la humedad: dentro del 2%
Distancia focal: 75 mm para la luz "D" del sodio	b) Ajuste de la inclinación del segmento a la horizontal, según la latitud	Color: oscuro, homogéneo, no se notan diferencias con luz diurna difusa
	c) Base doble con dispositivos para nivelación y ajuste del acimut	Graduaciones: líneas horarias impresas en negro

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Velocidad del viento (m/s o km/d)
  - **Variable relevante en la remoción del vapor de agua.**
  - Velocidad del viento es una magnitud vectorial tridimensional, a efectos meteorológicos se considera una magnitud bidimensional y solo interesa la dirección y magnitud.
  - La velocidad del viento es medida con **anemómetros**
  - Debido al perfil de velocidad del viento (menor en superficie y aumenta en altura. Los anemómetros se colocan a una altura de 2m o 10m. Para el calculo de ETP se requiere a 2m.
  - El aspecto más delicado de la observación del viento es la **exposición del anemómetro**. Dado que es casi imposible encontrar un lugar en que la velocidad del viento sea representativa de un área extensa, **estimar errores de exposición**.
  - Se puede ajustar la altura considerando el perfil logarítmico

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Velocidad del viento (m/s o km/d)
  - Se suele presentar como un promedio en un período de 10 minutos
  - El viento de superficie suele medirse utilizando:
    - ❖ Veleta + anemómetro de cazoletas
    - ❖ Veleta + anemómetro de hélice.
    - ❖ Otros (Pitot, sónicos, disco caliente, hilo caliente, teledetección)



*Extraído de INIA*

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Velocidad del viento (m/s o km/d)
  - Colocarlos a una distancia de 10 veces la altura de los obstáculos.
  - Cuando la distancia no cumple los requisitos, se puede aplicar correcciones pero comienza a tener mayor incertidumbre.
  - Si se coloca en un mástil, colocarlo en la punta y que su altura sea mayor a 3 veces el ancho. Arriba de edificios a una altura mayor respecto al edificio, del ancho del edificio.

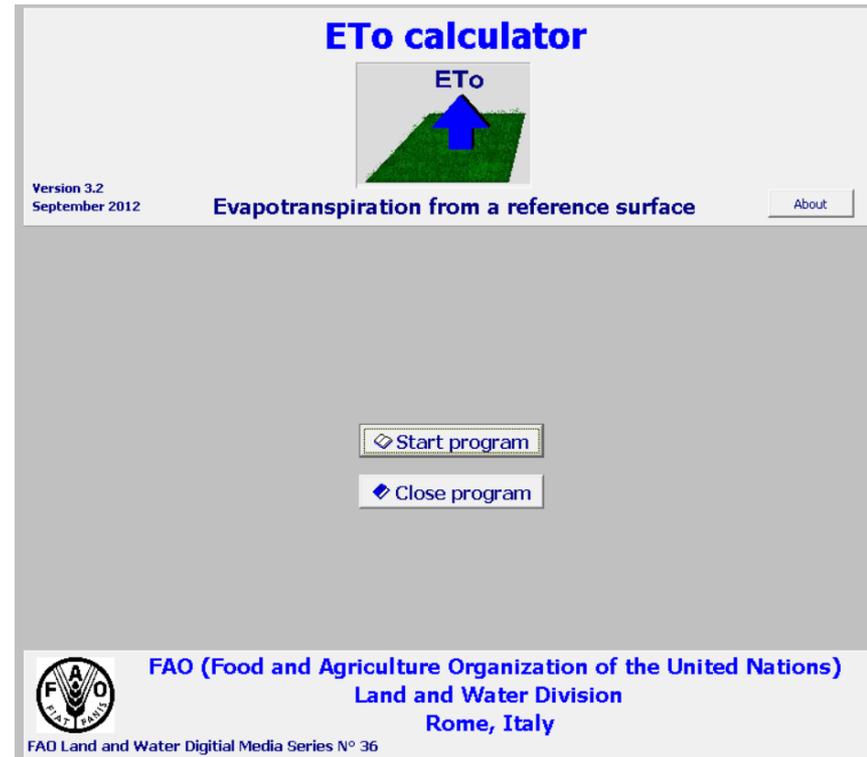


# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

El calculo de la ETo requiere de medias diarias, máximas y mínimas de T aire, radiación neta Rn, Humedad relativa RH y velocidad del viento a 2m.



**ETo calculator**

Version 3.2  
September 2012

Evapotranspiration from a reference surface

About

Start program

Close program

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)  
Land and Water Division  
Rome, Italy

FAO Land and Water Digital Media Series N° 36

*Fuente: Manual FAO (2012)*

<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>

# AGUA EN LA ATMOSFERA

Tabla de Unidades OMM N°8. Esquema referencia.

Tabla I.2.2. Símbolos, unidades y factores de conversión recomendados						
I Concepto	II Elemento	III Símbolo	IV Unidades		VI Factor de conversión*	VII Observaciones
			Recomendadas	También utilizadas		
1	Aceleración debida a la gravedad	<i>g</i>	m s <sup>-2</sup>	ft s <sup>-2</sup>	0,305	ISO
2	Albedo	<i>r</i>		Expresado en forma decimal		
3	Área (sección transversal) (cuena de drenaje)	<i>A</i>	m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	0,0929	ISO
			km <sup>2</sup>	acres ha millas <sup>2</sup>	0,00405 0,01 2,59	ISO
4	Calidad química		mg l <sup>-1</sup>	ppm	~ 1	Para soluciones diluidas
5	Coefficiente de Chezy [ $v (R_f S)^{-1/2}$ ]	<i>C</i>	m <sup>1/2</sup> s <sup>-1</sup>	ft <sup>1/2</sup> s <sup>-1</sup>	0,552	ISO
6	Capacidad hidráulica	<i>K</i>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	ft <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	0,0283	ISO
7	Grado-día	<i>D</i>	Grado-día	Grado-día	Fórmula de conversión °C = 5/9 (°F-32)	La columna IV está basada en la escala °C y la columna V, en °F
8	Densidad	<i>p</i>	kg m <sup>-3</sup>	lb ft <sup>-3</sup>	16,0185	ISO

# AGUA EN LA ATMOSFERA

Para ETo, la FAO (Allen et al., 1994, Extraído de Custodio (2019)) recomienda utilizar el SI.

En resumen para Evapotranspiración:

- longitud [L] el metro (m),
- de masa [M] el kilogramo (kg)
- tiempo [T] el segundo (s).

Además

- unidad de fuerza F [MLT<sup>-2</sup>] el newton (N)
- presión P [ML<sup>-1</sup>T<sup>-2</sup>] el pascal (Pa)
- energía interna U [ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>]
- trabajo W [ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>]
- calor Q [ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>] el julio (J)
- potencia Pot [ML<sup>2</sup>T<sup>-3</sup>] el watio (W)
- temperatura T [Θ] el grado Kelvin (K), aunque también se utiliza con frecuencia el grado centígrado (°C) ( $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) + 273,16$ )

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Datos Faltantes

Si alguno de los datos son faltantes se pueden calcular las variables:

- Ecuaciones de referencia
- Estaciones de referencia

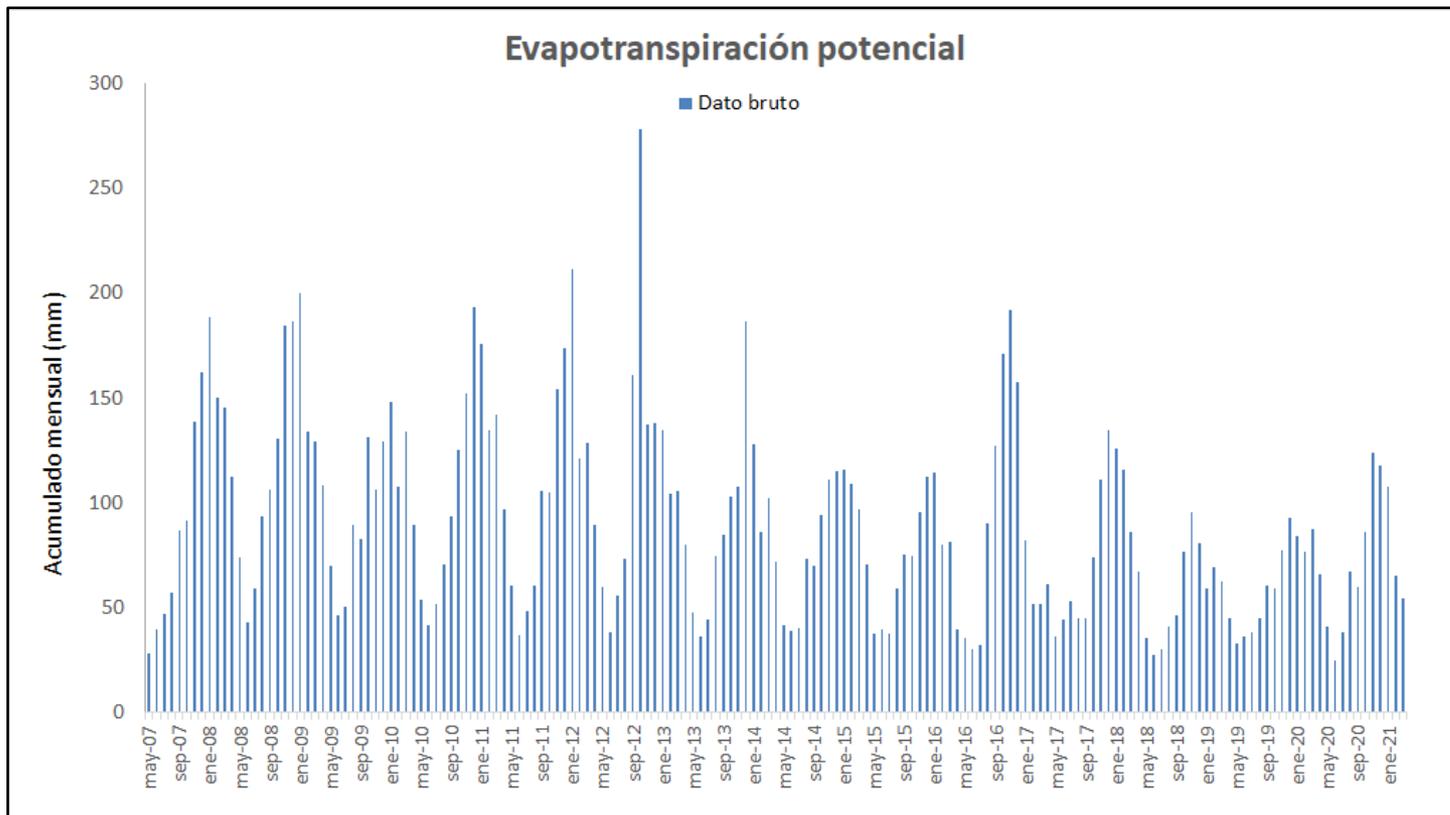
**Dependerá de la variable a calcular**

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Problemas de monitoreo

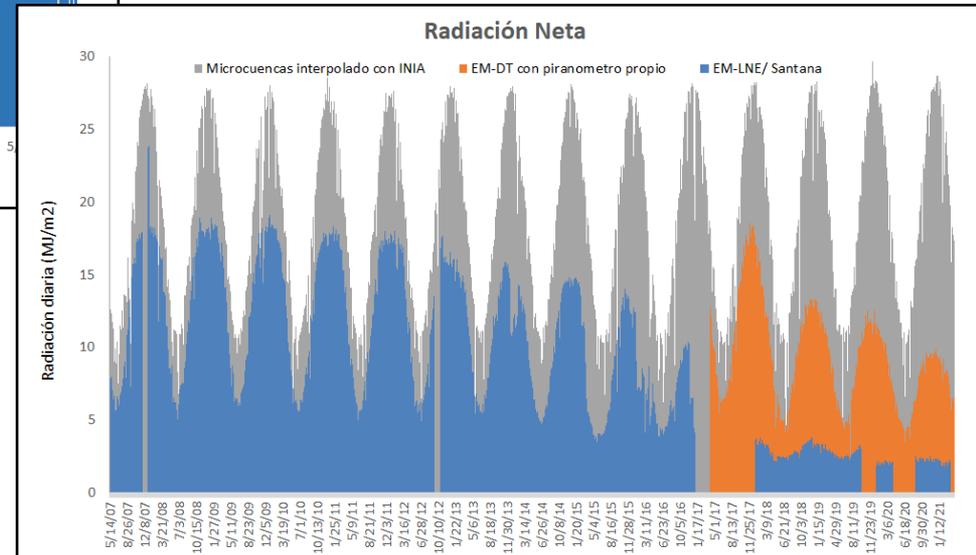
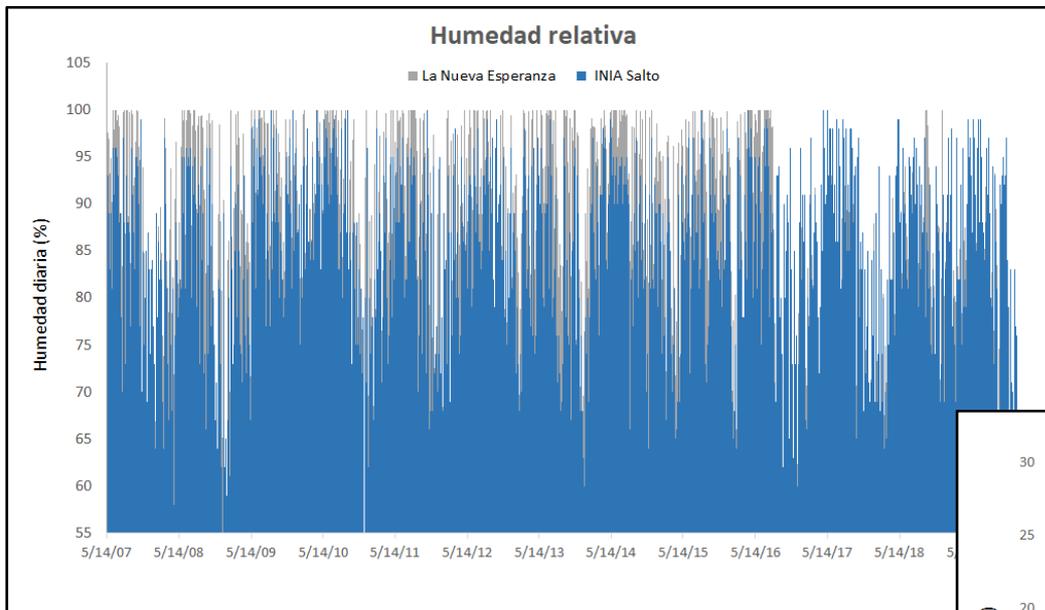


# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Problemas de monitoreo

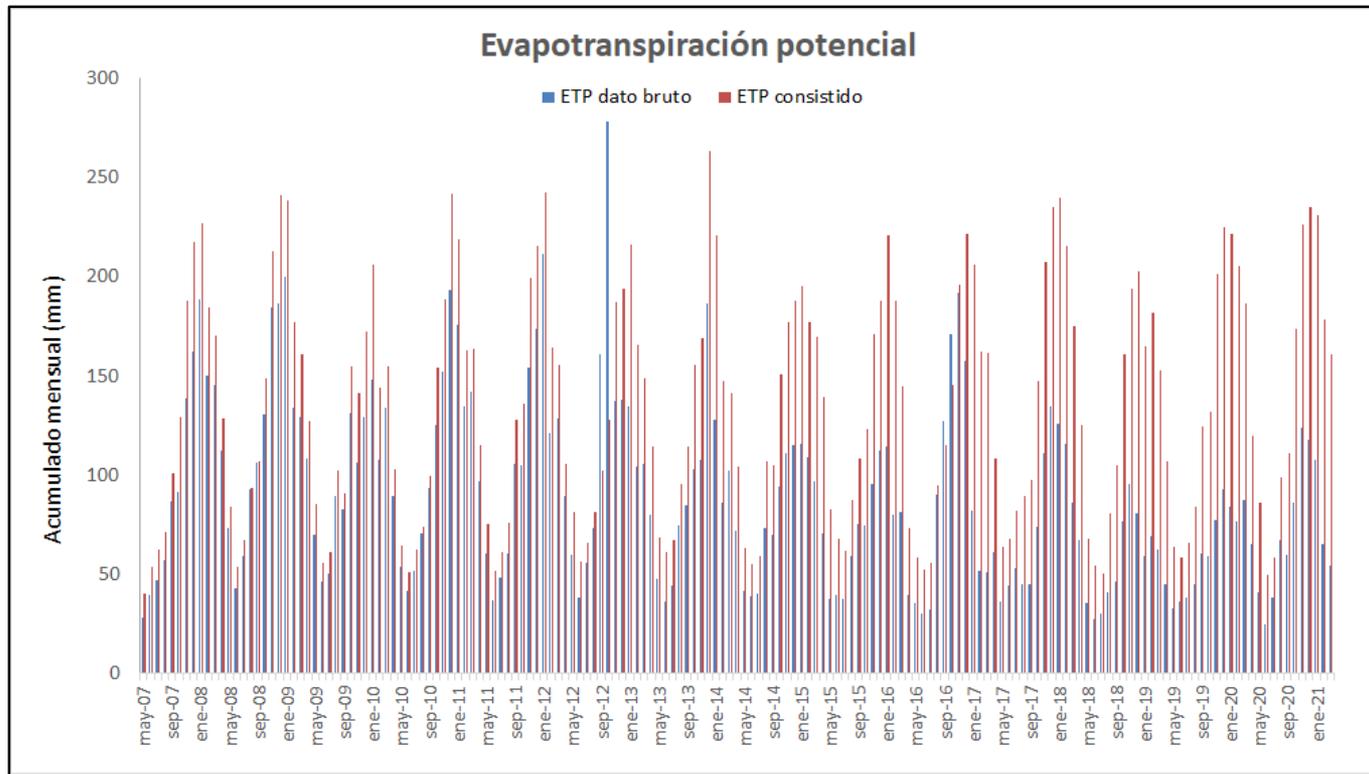


# AGUA EN LA ATMOSFERA

## EVAPOTRANSPIRACIÓN

### ETo Penman-Monteith- Datos Meteorológicos Requeridos

- Problemas de monitoreo



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Redes de Medición

Las redes buscan cubrir la variación espacial

**Precipitación tiene gran variabilidad espacial:**

- Distancia
- Altitud (Generalmente, mayor altitud, mayor P)

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Redes de Medición

Tabla I.2.6. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km<sup>2</sup> por estación)

<i>Unidad fisiográfica</i>	<i>Precipitación</i>		<i>Evaporación</i>	<i>Flujo fluvial</i>	<i>Sedimentos</i>	<i>Calidad del agua</i>
	<i>No registradoras</i>	<i>Registradoras</i>				
Costa	900	9 000	50 000	2 750	18 300	55 000
Montaña	250	2 500	50 000	1 000	6 700	20 000
Planicie interior	575	5 750	5 000	1 875	12 500	37 500
Montes/ ondulaciones	575	5 750	50 000	1 875	12 500	47 500
Islas pequeñas	25	250	50 000	300	2 000	6 000
Áreas urbanas	–	10 a 20	–	–	–	–
Polos/ tierras áridas	10 000	100 000	100 000	20 000	200 000	200 000

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## **Redes de Medición Nacionales**

- **Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET)**
- **Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)**
- **UTE**
- **CTM**
- **Intendencias**
- **Particulares**



# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Redes de Medición Nacionales- INUMET Estaciones Pluviométricas Básicas

		Código	Tipo	Datos desde	X	Y
1	Bella Unión	1013	AFE	1925	327	6652
2	Bernabe Rivera	1019	MI	1914	387.5	6648.5
3	Tomás Gomensoro	1040	AFE	1910	343	6633
4	Artigas Cd.	1050	AFE	1931	431.5	6637.5
5	Ricardiño	1086	MI	1914	463.9	6611
6	Baltasar Brum	1092	AFE	1914	353.9	6601.5
7	Belén	1105	MI	1914	310.7	6592.9
8	Rivera Cd.	1147	AFE	1906	525.3	6582
9	Sequeira	1159	MI	1914	397.1	6570.6
10	Palomas(Salto)	1176	AFE	1908	327.4	6560.8
11	Colonia Lavalleja	1182	MI	1914	383.2	6560

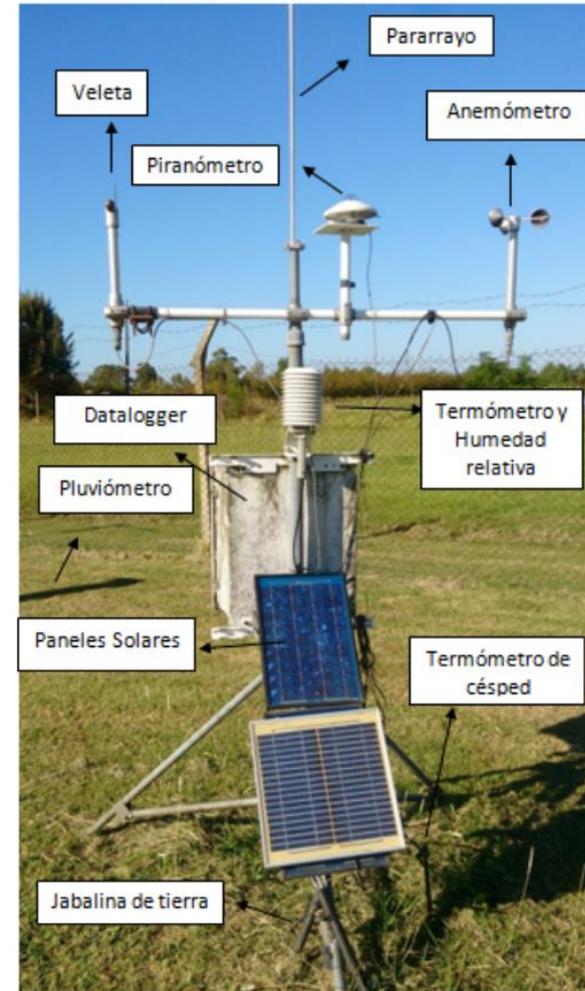
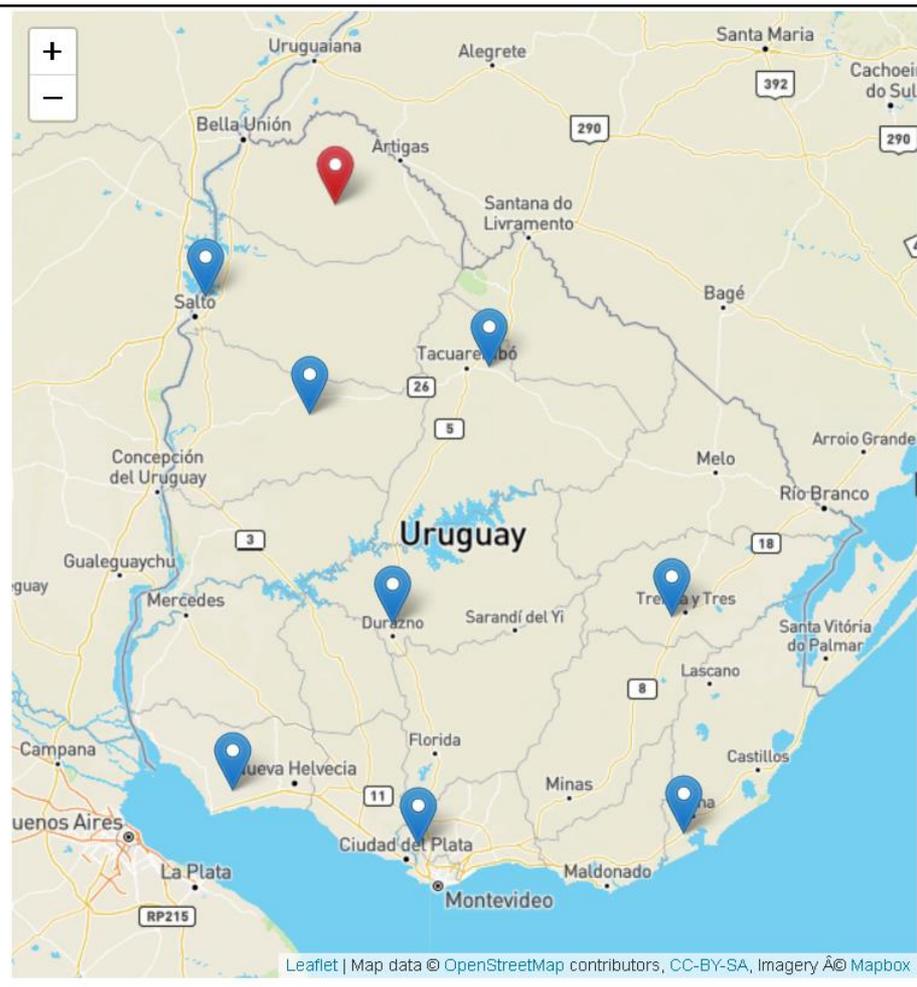
# AGUA EN LA ATMOSFERA-PRECIPITACIÓN

## Redes de Medición Nacionales- INUMET Estaciones Meteorológicas

		Codigo	Datos desde
1	Artigas Cd.	330	1977
2	Salto Cd.	360	1978
3	Paso de los Toros	460	1977
4	Treinta y Tres	500	1977
5	Colonia	560	1977
6	Rocha	565	1979
7	Bella Unión	315	1981
8	Rivera	350	1977
9	Tacuarembó	370	1978
10	Paysandú	430	1985
11	Melo	440	1977
12	Young	450	1978
....			

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Redes de Medición Nacionales- INIA Estaciones Meteorológicas



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Redes de Medición Nacionales- INIA Estaciones Meteorológicas

<http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>

The screenshot shows a web interface for the INIA agroclimatic data bank. At the top, there is a breadcrumb trail: Home > GRAS > Clima > Banco datos agroclimático. Below this, there is a section titled 'Acerca de los datos' which contains a paragraph of text explaining the database's purpose and a note that the page is still loading. To the right of this section is a vertical list of links for different stations: Gráficas Las Brujas, Gráficas La Estanzuela, Gráficas Tacuarembó, Gráficas Treinta y Tres, Gráficas Salto Grande, and a link to 'Acerca de las variables agroclimáticas'. The main content area is titled 'Seleccionar por estación y periodos de tiempo:'. It has two radio buttons for 'Tipo de consulta': 'Datos diarios' (selected) and 'Estadísticas'. Below this, there are three numbered steps: 1) 'Selección una Estación' with a dropdown menu; 2) 'Selección un periodo de tiempo' with fields for 'Desde' and 'Hasta' and dropdowns for 'Día', 'Mes', and 'Año'; 3) 'Selección hasta 5 variables' with a list of variables including 'Amplitud Térmica °C', 'Evaporación Piche mm', 'Evaporación Tarque "M" mm', 'Evapotranspiración "Penman" mm', 'Grados Días 4.5', 'Grados Días 6.0', and 'Grados Días 7.0'. A note at the bottom says 'Puede seleccionar más de una variable presionando la tecla Ctrl' and there is a '>>' button.

## Visualizador como gráficos

[http://iniane.inia.org.uy/gras/agroclima/Carlos\\_Pruebas/Gras/Editar3.html?est=1](http://iniane.inia.org.uy/gras/agroclima/Carlos_Pruebas/Gras/Editar3.html?est=1)

# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Redes de Medición Nacionales- INIA

### Estaciones Meteorológicas-Metadatos

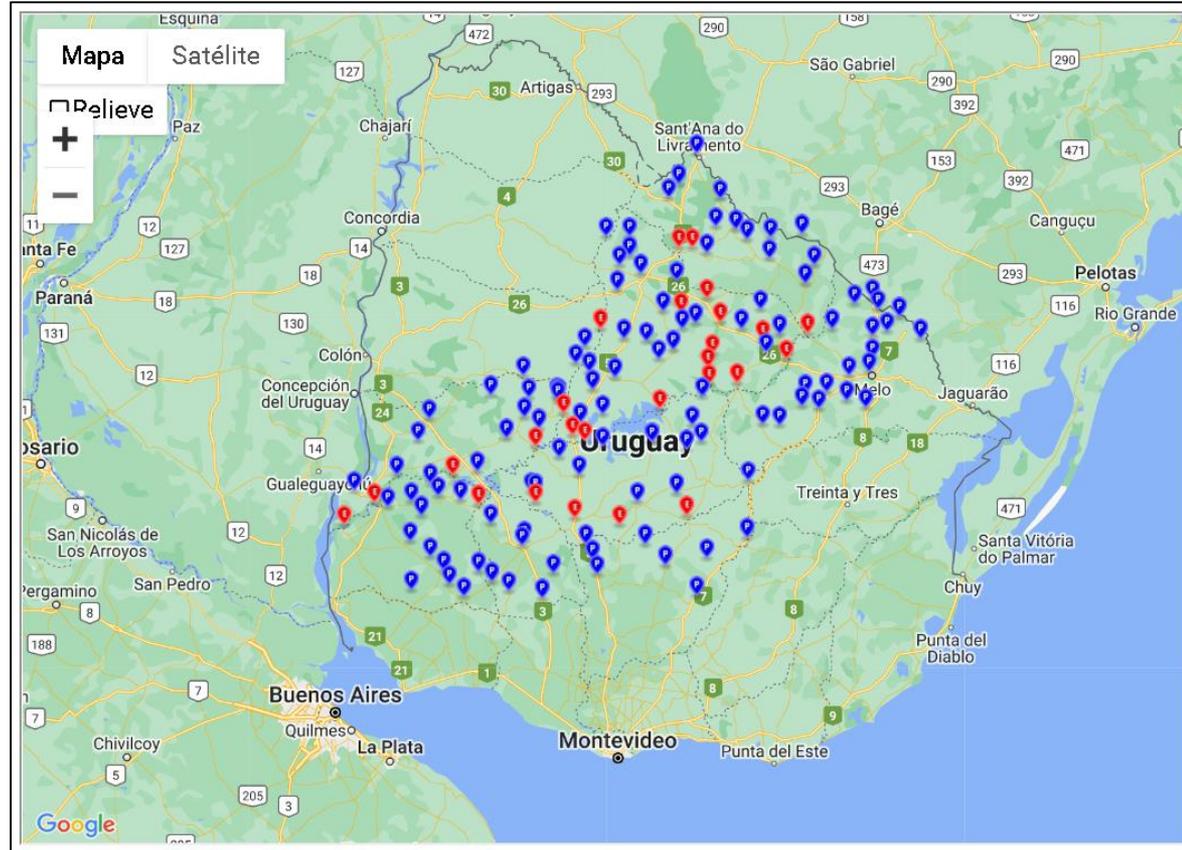
- <http://www.inia.uy/gras/Clima/Estaciones-agroclim%C3%A1ticas-INIA/Ubicaci%C3%B3n-e-informaci%C3%B3n/Como-tomamos-los-registros>
- <http://www.inia.uy/Documentos/Privados/GRAS/Sistemas-informacion-teledeteccion/Variables%20en%20Banco%20de%20datos%20Agroclim%C3%A1ticos%20-%20Detalle.pdf>

# AGUA EN LA ATMOSFERA

Redes de Medición Nacionales- UTE

Estaciones Meteorológicas

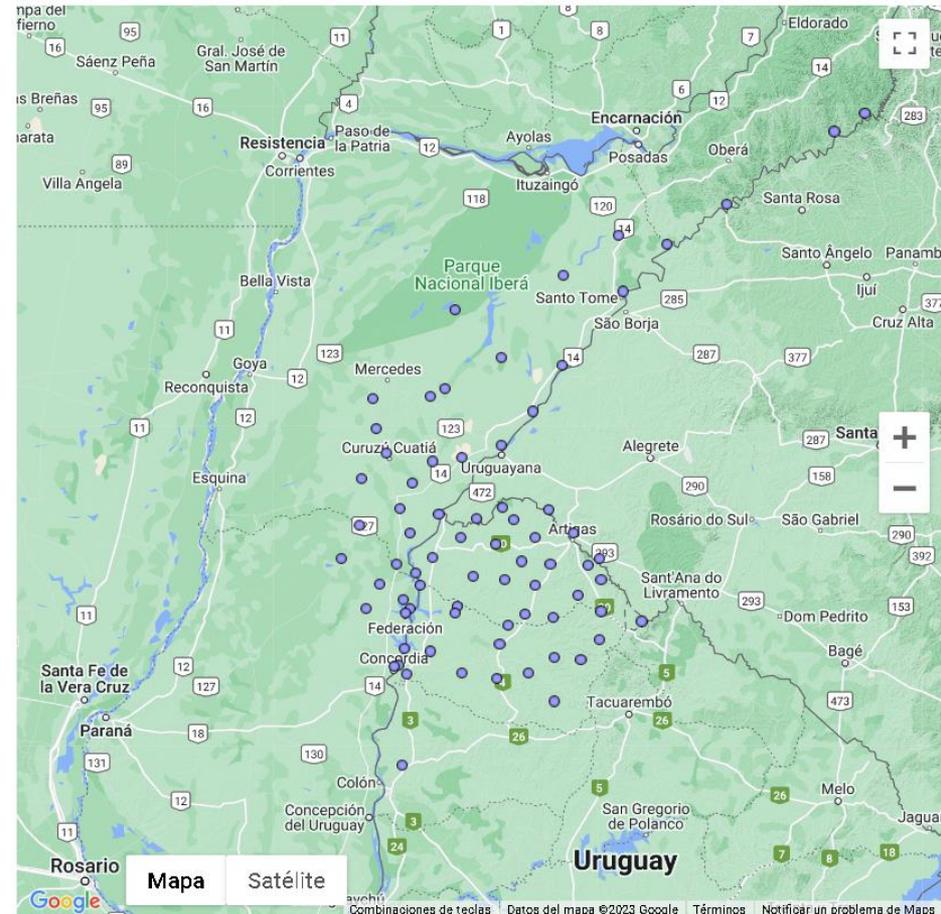
<https://www.ute.com.uy/institucional/ute/utei/precipitacion-niveles>



# AGUA EN LA ATMOSFERA

## Redes de Medición Nacionales- CTM Estaciones Meteorológicas

[https://www.saltogrande.org/mapa\\_estacion.php](https://www.saltogrande.org/mapa_estacion.php)



# AGUA EN LA ATMOSFERA

Redes de Medición Nacionales  
Intendencias Departamentales IMM

<https://ambiental.montevideo.gub.uy/red-hidrometeorologica-de-montevideo-rhm>

## Red Hidrometeorológica de Montevideo (RHM)

La Red Hidrometeorológica de Montevideo está compuesta por 18 equipos, entre pluviómetros y estaciones meteorológicas, ubicados en distintos puntos de Montevideo.



## Referencias Bibliográficas

- **Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.***
- **Barbour, M.M., Hunt, J.E., Walcroft, A.S., Rogers, G.N.D., McSeveny, T.M., Whitehead, D. 2005. *Components of ecosystem evaporation in a temperate coniferous rainforest, with canopy transpiration scaled using sapwood density, New Phytologist, 165: 549–558.***
- **Custodio Gimena, E. (2019). *Recarga natural a los acuíferos, metodología y soporte de la isotopía del agua: aplicación a la planificación hidrológica y conocimiento de las aguas subterráneas en España: informe RAEMIA. Iniciativa Digital Politècnica. Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC.***
- ***Installation and Operation of the Rainew Tipping Bucket Rain Gauge.***
- ***Notas Curso HHA. IMFIA***
- ***Manual Datarain 4000. Doc N° 9735 0015***
- ***OIEA/GNIP Guía de Muestreo de Precipitación v 2.1, Setiembre 2016***
- ***OMM. (2014). Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos. Actualización 2017***
- ***OMM N° 168. Volumen I. DE DATOS, A. Y. P. PRÁCTICAS HIDROLÓGICAS.. Actualización 2020.***
- ***Reference Manual FAO Versión 3.2. Setiembre 2012***