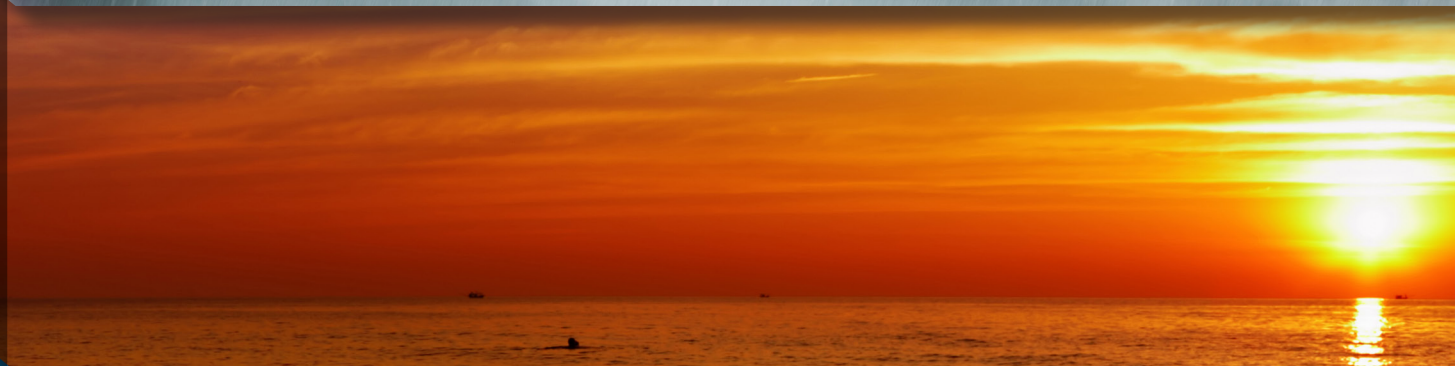



The IICA logo consists of the letters 'IICA' in a bold, white, sans-serif font, slanted to the right. It is positioned in the upper right quadrant of the cover, set against a background of a dark, stormy sky with a bright white lightning bolt striking down from the top left.

**Manual de buenas prácticas**  
para la generación, el almacenamiento y la  
**difusión de informática climática**  
en instituciones y organismos del MERCOSUR

Adriana B. Basualdo





**Manual de buenas prácticas  
para la generación, el almacenamiento  
y la difusión de informática climática en  
instituciones y organismos del MERCOSUR**

**Adriana B. Basualdo**

**Proyecto “Evaluación de riesgos climáticos y adaptación al cambio climático en la agricultura  
del MERCOSUR”, 2011-2013**



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2015



Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de informática climática en instituciones y organismos del MERCOSUR por IICA se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-Compartir igual 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>)

Creado a partir de la obra en [www.iica.int](http://www.iica.int).

El Instituto promueve el uso justo de este documento. Se solicita que sea citado apropiadamente cuando corresponda.

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional en <http://www.iica.int>

Coordinación editorial: David E. Hatch  
Corrección de estilo: Máximo Araya Sibaja y Olga Patricia Arce  
Diseño de portada: Carlos Umaña Carvajal  
Diagramación: Carlos Umaña Carvajal  
Impresión: Imprenta IICA

Basualdo, Adriana B.

Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR / Adriana B. Basualdo -- San José: C.R.: IICA, 2015.  
82 p.; 21,59 cm x 27,94 cm

ISBN: 978-92-9248-590-0

1. Clima 2. Agricultura 3. Agro meteorología 4. Empresas pequeñas y medianas 5. Gestión de la información 6. Brasil 7. Argentina 8. Paraguay 9. Uruguay I. IICA II. Título

AGRIS  
P40

DEWEY  
630.251.5

San José, Costa Rica  
2015

# Índice de contenidos

<b>Agradecimientos</b>	Pág.	7
<b>Presentación</b>		9
<b>Resumen ejecutivo</b>		11
<b>Capítulo 1</b>		
<i>Agrometeorología para la toma de decisiones en el sector agropecuario</i>		13
Agrometeorología aplicada		15
La toma de decisiones en el sector agropecuario		17
<b>Capítulo 2</b>		
<i>Buenas prácticas en la generación de datos agrometeorológicos</i>		23
Observar y medir		25
Medir la precipitación		27
Estaciones meteorológicas automáticas (EMA)		35
Redes de estaciones meteorológicas automáticas		39
<b>Capítulo 3</b>		
<i>Buenas prácticas en el control de calidad y almacenamiento de la información agrometeorológica</i>		43
Control de calidad		45
Metadatos		49
Almacenamiento de datos y metadatos		54
<b>Capítulo 4</b>		
<i>Buenas prácticas en generación y difusión de productos agrometeorológicos</i>		57
Generación de productos aplicados		58
Escala meteorológica en la toma de decisiones		61
Las probabilidades en la toma de decisiones		65
<b>Capítulo 5</b>		
<i>De la teoría a la práctica: algunos ejemplos de productos agrometeorológicos aplicados</i>		69
Ejemplos de productos agrometeorológicos		70
<b>Referencias</b>		79
<b>Autores de los epígrafes</b>		79

## Cuadros

Cuadro 1	Clasificación de las escalas horizontales de los fenómenos meteorológicos
Cuadro 2	Escalas meteorológicas y tipo de actividad agropecuaria asociada
Cuadro 3	Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation – OMM 8 (2008)
Cuadro 4	Ingreso de datos de entrada y resultados estimados en el producto CuantAgua

## Figuras

Figura 1	Esquema de emplazamiento correcto del pluviómetro
Figura 2	Esquema de pluviómetro convencional
Figura 3	Ejemplos de pluviómetros caseros construidos por alumnos del curso de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República de Uruguay
Figura 4	Interior de un pluviómetro automático de dos cangilones o cubetas basculantes
Figura 5	Estación meteorológica automática (EMA), Red Meteorológica Nacional, Honduras.
Figura 6	Estación meteorológica convencional o dotada de personal (EMC), Servicio Meteorológico Nacional, México.
Figura 7	Componentes de una estación meteorológica automática
Figura 8	Esquema de acciones coordinadas para la generación de productos meteorológicos aplicados
Figura 9	Esquema de factores que componen el riesgo agroclimático
Figura 10	Esquema de interacción entre requerimientos y oferta posible

# Abreviaturas

BP	Buenas prácticas
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
EMA	Estación meteorológica automática
EMC	Estación meteorológica convencional
ETP	Evapotranspiración potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FruTIC	Sistema para la gestión eficiente de la citricultura
FOMIN	Fondo Multilateral de Inversiones
FonCT	Fondo Concursable para la Cooperación Técnica (IICA)
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Uruguay)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina)
Kc	Coefficiente de cultivo
MERCOSUR	Mercado Común del Sur
MGAP	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (Uruguay)
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada
OMM	Organización Meteorológica Mundial
REMA	Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SM	Sistema de monitoreo
SMS	Mensajería de texto por celular
SMAT	Sistema de monitoreo y alerta temprana
SMN	Sistema Meteorológico Nacional
TIC	Tecnologías de información y comunicación
UTC	Tiempo universal coordinado





# Agradecimientos

El presente trabajo fue posible gracias al proyecto “Evaluación de riesgos climáticos y adaptaciones al cambio climático en la agricultura del MERCOSUR”, financiado por el Fondo Concursable para la Cooperación Técnica (FonCT) del IICA y ejecutado por la Oficina del IICA en Uruguay.

El tema fue consensado por el equipo de trabajo, pues permite analizar la disponibilidad de información meteorológica actual en el Mercado Común del Sur (MERCOSUR) desde un nuevo punto de vista, ordenar los conceptos principales para hacerlos más accesibles y realizar recomendaciones de procedimientos y alternativas técnicas viables en el contexto regional.

Se brinda un agradecimiento especial a Fernando Vila Petillo, coordinador técnico del Proyecto; a Antonio Donizeti, Representante de la Oficina del IICA en Uruguay, y a los colegas y amigos que han apoyado esta iniciativa y contribuido con información, referencias y lectura crítica del presente material.

*Adriana B. Basualdo*



# Presentación

La necesidad de información sobre el clima es cada vez más imperiosa, dada la complejidad de las formas productivas y la mayor vulnerabilidad climática, con su impacto sobre rendimientos y precios. Los usuarios potenciales de esta información son productores, asociaciones de productores, funcionarios y técnicos del sector público, universidades y organismos de investigación, empresas de seguros agropecuarios, bolsas de productos y otros.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) ha desarrollado, en el período 2011-2013, el proyecto “Evaluación de riesgos climáticos y adaptaciones al cambio climático en la agricultura del MERCOSUR”, financiado por el Fondo Concursable de Cooperación Técnica (FonCT) del IICA y enfocado en desarrollar estrategias para la generación y la sistematización de información agroclimática a disposición de los tomadores de decisiones, públicos y privados.

El objetivo de este proyecto fue mejorar la capacidad de los países integrantes para identificar y aplicar medidas de adaptación de los sistemas productivos a la variabilidad y al cambio climático, con base en el fortalecimiento de sus sistemas de evaluación de riesgos climáticos. Su coordinación estuvo a cargo de la Oficina del IICA en Uruguay.


El proyecto estuvo conformado por dos componentes, cuyos propósitos se indican a continuación:

- Componente 1: Mejorar el tratamiento de la información climática, de forma que permitiera su utilización en el proceso de toma de decisiones de los diferentes actores sectoriales.
- Componente 2: Desarrollar las capacidades de los actores sectoriales en los países de la región para viabilizar la utilización de la información climática en la toma de decisiones, tanto en las pequeñas y medianas empresas agropecuarias y agroindustriales como en los niveles sectorial y gubernamental.

Como parte de los resultados, se logró caracterizar y evaluar información climática actual relevada y difundida en Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay, con sus respectivas fortalezas, debilidades y oportunidades. De esta evaluación, surgió la intención inicial de generar un manual de recomendaciones de buenas prácticas (BP) para la generación y la difusión de la información climática en el MERCOSUR.

En el proyecto, técnicos de las áreas de agrometeorología, riesgo agropecuario y economía agraria de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay han puesto en común la situación en relación con el tema y han trabajado conjuntamente en el desarrollo de varios productos. Entre los productos desarrollados, se pueden mencionar los siguientes:

- Inventarios para los cuatro países participantes sobre las principales instituciones que relevan y difunden información climática en la región y sobre de los productos informativos más relevantes que generan esas instituciones.
- Curso virtual: Generación de información climática aplicada para el sector agropecuario.
- Curso virtual: Información climática para la gestión del riesgo en el sector agropecuario.
- Curso virtual: Análisis de series meteorológicas. Eventos extremos y su variabilidad climática.
- Curso virtual: Modelos de cultivos: potencialidades y limitaciones para cuantificar el riesgo climático en la agricultura.
- Prototipo de tablero de mando para la evaluación del impacto de diferentes factores de riesgo.
- Metodología aplicable en el MERCOSUR para la evaluación permanente del estado de la producción agropecuaria.
- Metodología aplicable en el MERCOSUR para la evaluación económica del impacto de eventos climáticos extremos en la producción agropecuaria del MERCOSUR.



El proyecto permitió el desarrollo de capacidades nacionales y regionales en el área de agrometeorología y gestión de riesgos climáticos, mediante la formación de recursos humanos para el fortalecimiento de la institucionalidad especializada. Se validaron metodologías que con los ajustes correspondientes podrían ser replicables en otros países del continente.

La elaboración del presente manual intenta favorecer las BP en la generación de información climática relacionada con la producción agropecuaria en el MERCOSUR, identificar BP en instituciones y evaluar las posibilidades de llevar al nivel de BP otra información disponible, mediante recomendaciones de mejoras viables.

La presente publicación es el resultado de uno de los trabajos de consultoría del proyecto, realizado por Adriana Basualdo, quien contó con la colaboración de Fernando Vila de la Oficina del IICA en Uruguay.

# Resumen ejecutivo

El “Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de información climática en instituciones y organismos del MERCOSUR” se enmarca dentro del proyecto “Evaluación de riesgos climáticos y adaptación al cambio climático en la agricultura del MERCOSUR”, financiado por el IICA mediante el Fondo Concursable de Cooperación Técnica (FonCT), 2011-2013.

El objetivo general del proyecto es mejorar la capacidad de los países del MERCOSUR para identificar y aplicar medidas de adaptación de los sistemas productivos a la variabilidad y al cambio climático con base en el fortalecimiento de sus sistemas de evaluación de riesgos climáticos.

Con la elaboración del presente manual, se espera favorecer las buenas prácticas (BP) en la generación de información climática relacionada con la producción agropecuaria en el Mercado Común del Sur (MERCOSUR). Se basa en las sugerencias difundidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través de sus distintos manuales, guías y comunicaciones. Estas sugerencias tienen carácter internacional y apuntan a estandarizar las mediciones meteorológicas para la posible integración en bases de datos unificadas, normalizadas y de calidad.


Además de las recomendaciones para la correcta generación de datos climáticos (medición, comunicación, almacenamiento, control de calidad), este manual incluye otras sobre información climática para los usuarios, en particular las instituciones y organismos oficiales, con el fin de fomentar y optimizar su uso. Es importante que las instituciones del MERCOSUR, tanto públicas como privadas, se concienticen sobre la importancia de la información meteorológica a la hora de tomar decisiones y que esta se obtenga y difunda en un contexto de BP.

En los países del MERCOSUR, existen emprendimientos públicos locales y también privados en el sector agropecuario que realizan un considerable esfuerzo para suplementar la escasa información meteorológica de la que disponen los organismos nacionales, en general vinculada con la falta de presupuesto. Si estos loables emprendimientos logran enmarcarse dentro de los protocolos de BP, la información adicional podrá conformar redes e incorporarse a bases de datos nacionales.

Este manual intenta describir de qué forma la incorporación de BP no reviste necesariamente un esfuerzo económico adicional significativo y reporta, pero sí representa importantes beneficios para los propietarios de los registros, a través de los productos que podrán obtenerse a partir de sus datos y para los generadores de pronósticos y productos agroclimáticos, mediante la mayor cantidad de datos disponibles.

El capítulo 1 trata de la agrometeorología y sus aplicaciones, del valor de los servicios agrometeorológicos y la necesidad de disponer de productos agrometeorológicos adecuados para la toma de decisiones en el sector agropecuario.

En el capítulo 2 se desarrollan conceptos relacionados con la necesidad de observar y medir parámetros físicos y biológicos del medio ambiente rural, en especial la variable precipitación. Se describen, además, las principales características de las estaciones meteorológicas automáticas, cuya instalación es cada vez más difundida gracias a su ventaja de reunir la información en redes automatizadas, lo cual permite la generación de mejores productos agroclimáticos, con mayores beneficios para todos los miembros.



El capítulo 3 describe algunas recomendaciones de buenas prácticas en el control de calidad y almacenamiento de la información agrometeorológica. La información registrada, si no es revisada y controlada, puede contener errores y afectar los resultados. Se muestra la importancia de los metadatos para el uso práctico de la información.

En el capítulo 4 se aborda el tema de los productos agroclimáticos aplicados y las recomendaciones para que estos puedan ser utilizados eficientemente en la toma de decisiones. Para ello estos productos deben cumplir con algunos requisitos indispensables. Además, los tomadores de decisiones deberán ser capaces de identificar las distintas escalas meteorológicas, conocer las limitaciones de la oferta posible y manejar correctamente el concepto de probabilidad.

El capítulo 5 muestra tres ejemplos de productos agroclimáticos generados por instituciones públicas y dirigidos a productores y asesores. Los tres ejemplos son muy diferentes entre sí y podrían ser reproducidos, con ajustes locales, a cualquier país o región productiva.

# Capítulo 1

## Agrometeorología para la toma de decisiones en el sector agropecuario

### **Agrometeorología aplicada**

- ¿Qué es la agrometeorología?
- ¿Por qué es importante?
- ¿En qué se aplica?
- Agrometeorología en el MERCOSUR

### **La toma de decisiones en el sector agropecuario**

- ¿Qué son los servicios agroclimáticos?
- ¿Cuál es el camino del dato a la información?
- ¿Qué se necesita para que la información se aplique?
- Asesoramiento agrometeorológico para el manejo del agua
- ¿Qué variables medir?





# Agrometeorología aplicada

La naturaleza  
para ser gobernada  
debe ser obedecida.

*Francis Bacon*

## ¿Qué es la agrometeorología?

La meteorología agrícola o agrometeorología se ocupa de los factores atmosféricos que afectan a la producción agropecuaria y de la interacción entre la agricultura y el ambiente. Su objetivo es comprender esta interacción y asistir al sector agropecuario, mediante información de soporte útil para la toma de decisiones del mismo, a través de servicios o productos agrometeorológicos.

## ¿Por qué es importante?

La producción agropecuaria está directamente influenciada por el tiempo y el clima, aún con el avance tecnológico de las últimas décadas. Incluso los servicios agrometeorológicos han cobrado actualmente mayor relevancia debido a los nuevos desafíos de la actividad: amenazas como el aumento de eventos climáticos extremos y el cambio climático, mayor vulnerabilidad alimentaria de una población creciente y la variabilidad socioeconómica típica de los países en desarrollo.

El conocimiento sobre de las interacciones que ocurren entre el subsuelo, la interfase suelo-atmósfera, las capas bajas de la atmósfera, la cobertura vegetal, el confort animal, entre otros, es esencial para la planificación estratégica y las decisiones agrometeorológicas en distintas escalas temporales: desde las decisiones de corto plazo (las actividades de la semana, la conveniencia o no de sembrar, cosechar, fertilizar, fumigar, regar, reubicar el ganado, entre otras), hasta la planificación a mediano o largo plazo (diseño de sistemas de riego, de drenaje, de cosecha de agua, selección de cultivos, animales o sistema productivo, contratación de seguro agropecuario y otras).

Las decisiones operativas de corto plazo relacionadas con la planificación agropecuaria pueden ser más objetivas si se dispone de información agrometeorológica, con observaciones que correspondan al detalle requerido (escala geográfica adecuada), que permita monitorear las condiciones agrometeorológicas, generar productos y servicios, emitir avisos y alertas.

Cualquiera que sea el tipo de medida elegida por los tomadores de decisión (productores agropecuarios, profesionales asesores, organizaciones del sector) conviene que continuamente mejoren su conocimiento acerca de los efectos del tiempo y el clima en el suelo, las plantas, los animales, los árboles. Este conocimiento no solo corresponde a temas de producción, sino también a otros aspectos del sistema agropecuario, como el pertinente arrendamiento de maquinaria agrícola, el transporte de mercaderías, el precio de los commodities y el seguro agropecuario. Para esto es necesario que la información agrometeorológica sea eficiente y esté disponible en el tiempo oportuno y en la forma adecuada.

### *¿En qué se aplica?*

Las posibles aplicaciones prácticas de los conocimientos agrometeorológicos están directamente relacionadas con la disponibilidad de datos, su calidad, la oferta de pronósticos del tiempo o de previsiones de patrones climáticos y el conocimiento de la interacción de las condiciones atmosféricas con cada actividad.

Algunas de las aplicaciones posibles de la agrometeorología se relacionan con los siguientes temas:

- Preparación para la mitigación del riesgo ambiental, que aumente la protección y disminuya la vulnerabilidad.
- Predicción de los eventos El Niño o La Niña y otras fuentes de variabilidad climática, con el fin de considerar sus consecuencias sobre la actividad agropecuaria.
- Información meteorológica para la aplicación de pesticidas e insecticidas.
- Servicios agrometeorológicos para los productores agropecuarios, en lenguaje y formato adecuado y comprensible para los usuarios.
- Modelos climáticos con especial énfasis en aquellos aplicados a la simulación de rendimientos de cultivos.
- Pronóstico de fenómenos meteorológicos significativos, que deriven en avisos o alertas con suficiente antelación.
- Planificación del uso del suelo y zonificación de cultivos.
- Pronóstico y manejo estratégico de sequías e inundaciones.

### *Agrometeorología en el MERCOSUR*

En los países desarrollados, los servicios agrometeorológicos soportan una gran responsabilidad derivada de la presión en la demanda de productos efectivos y confiables, debido a los cambios tecnológicos y al modo de trabajo del sector agropecuario. Es de esperar que en los países en desarrollo la demanda de información, productos y servicios agrometeorológicos vaya en aumento en el futuro, de la mano del progreso tecnológico, la modernización de los sistemas agropecuarios y la necesidad de optimizar el manejo del agua, el control de plagas y decesos de animales. El desafío futuro en los países del MERCOSUR es que los pronósticos, avisos especiales y recomendaciones de prácticas ante determinados eventos adversos lleguen a los productores, aun los más pequeños, y que estos adquieran la habilidad de usar esta información para planificar estratégicamente sus actividades.

- Avisos especiales y recomendaciones
- Que éstos lleguen a los productores, aún a los más pequeños
- Habilidad para el uso eficiente de la información

Más allá de la ocurrencia de eventos climáticos favorables o adversos, con el tiempo la provisión de alimentos para la población será insuficiente: los cambios severos en los patrones climáticos constituirán las principales condiciones que limitarán la producción de alimentos. Esta carencia se verá agravada en un inicio por el crecimiento de la población. El escenario futuro solo podrá modificarse si mejora la tecnología aplicada al agro, si los recursos naturales son usados de forma más eficiente y si las agencias nacionales e internacionales responsables de la planificación y el manejo de la provisión alimentaria disponen de información adecuada y actualizada acerca de las condiciones de los cultivos y de potenciales mermas en la producción de alimentos como base para sus decisiones.

El rol principal de la agrometeorología actual a escala mundial es asegurar el acceso a los datos agrometeorológicos adecuados y útiles, así como a herramientas y entrenamiento para el uso de la información, de manera que se pueda afrontar más eficientemente la variedad de problemas que afectan la producción agropecuaria.

Sin embargo, en amplias extensiones de los países del MERCOSUR, las observaciones agrometeorológicas son escasas y la densidad geográfica de estaciones de medición está lejos de ser la recomendada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esto se debe principalmente a la limitada disponibilidad de presupuesto para la observación del ambiente, entre otros factores.

Durante mucho tiempo las instituciones y empresas privadas han dejado a cargo del sector público la responsabilidad de la medición del medio ambiente (ministerios, servicios meteorológicos e hidrológicos, institutos de tecnología agropecuaria, entre otros). En la mayoría de los casos, estas entidades han funcionado solo como usuarios de la información recopilada y, dado que esta resultaba insuficiente o de mala calidad (por falta de presupuesto, de recursos humanos o de interés de las autoridades), las aplicaciones de la meteorología al agro en el sector privado han sido muy escasas.

En el último período, con la aparición de técnicas más económicas para obtener datos, básicamente estaciones meteorológicas automáticas (EMA), se han desarrollado o ampliado algunas redes públicas. También se ha evidenciado una prolífica multiplicación de redes privadas, pertenecientes a instituciones o empresas, además de la instalación de EMA en muchos establecimientos o fincas particulares que no pertenecen a ninguna red.

Además de la disminución en los costos, esta explosión se debe al mayor interés por monitorear el ambiente en el sector agropecuario, dado el importante avance tecnológico, el gran capital en juego y, sobre todo, el nuevo perfil de la empresa agropecuaria, moderna y tecnificada. Todavía queda un importante camino por recorrer en la incorporación de BP en estas nuevas redes, en su sostenibilidad en el tiempo y en la elaboración de productos agroclimáticos derivados de la nueva información disponible.

## La toma de decisiones en el sector agropecuario

El clima es lo que se espera,  
el tiempo es lo que sucede.

*Bruce Stewart*

### *¿Qué son los servicios agroclimáticos?*

Recientemente la Comisión de Meteorología Agrícola de la Organización Meteorológica Mundial (2006) presentó una definición de los servicios agroclimáticos. Los aportes de esta comisión han contribuido de manera significativa al manejo operacional de las tareas agropecuarias, mediante la aplicación de sistemas de decisión basados en aspectos del tiempo y el clima, dirigidos al desarrollo sustentable de esta actividad.

Los servicios climáticos se refieren a la producción y disseminación de datos, información y conocimiento sobre el clima que sea útil y relevante para apoyar la toma de decisiones y la formulación de políticas en sectores sensibles a la variabilidad y el cambio climático. Dentro de ellos, se encuentran los servicios agroclimáticos, que particularmente se refieren al asesoramiento del sector agropecuario.

Los tomadores de decisiones deben contar con herramientas para poder identificar cuándo algún producto o servicio agroclimático es útil: esto se logra más fácilmente si el aporte del producto o servicio se puede traducir a valores económicos en la actividad específica del usuario. Sin embargo, esta conversión a valores económicos no es tan sencilla en los países en desarrollo, ya que los efectos deben ser cuantificados y rara vez se puede disponer de la información necesaria para realizar un análisis sobre el costo-beneficio.

La información agrometeorológica, de productos y servicios debe generarse con el objetivo principal de atender las necesidades de los usuarios. Sin embargo, esto no garantiza que el producto finalmente desarrollado sea útil, ya que su uso eficiente dependerá también de las capacidades del usuario en dos aspectos: la factibilidad de disponer de alternativas para decidir y la capacitación sobre la correcta interpretación de la información climática disponible. Por ello es fundamental que los tomadores de decisiones del sector agropecuario se capaciten en el uso de la información climática.

Más adelante se indica que tanto el producto generado como su usuario deben cumplir con requisitos mínimos para que el dato, convertido en información, se utilice adecuadamente en la toma de decisiones.

### *¿Cuál es el camino del dato a la información?*

Sin datos provenientes de la medición de las variables ambientales, no es posible disponer de la información necesaria para tomar decisiones eficientes. No obstante, el dato agrometeorológico, para convertirse en información, debe utilizarse en la generación de un producto que sirva para la toma de decisiones de los distintos agentes dentro del sector agropecuario: productores, asesores, acopiadores, semilleros, transportistas, aseguradoras, exportadores, funcionarios, entre otros.

Una serie de datos no se convierte en información útil hasta que los mismos no sean utilizados para generar un beneficio.

Para que esta cadena “dato – información/producto – toma de decisiones” pueda concretarse, deben incorporarse BP. La finalidad de estas BP es sistematizar, de la mejor manera posible, varios procesos incluidos en el camino que sugiere esta cadena. Algunos de estos procesos son:

- Diseño eficiente de una red agrometeorológica.
- Instalación de instrumentos y observación de variables agrometeorológicas.
- Implementación de un sistema de comunicaciones.
- Implementación de un sistema de mantenimiento técnico.
- Evaluación de la sostenibilidad del sistema de observación en el tiempo.
- Control de calidad de datos.
- Almacenamiento de datos.
- Diseño de productos aplicados.
- Comunicación y accesibilidad de los productos.
- Capacitación para el aprovechamiento de la información en la toma de decisiones.

En todos estos pasos intervienen los usuarios, quienes conocen mejor sus propias necesidades, junto con agrónomos, meteorólogos, informáticos y otros profesionales. Por supuesto, un productor particular no se hará cargo de toda esta cadena de actividades, sino que interactuará con instituciones que conforman redes y generan productos de los cuales podría beneficiarse.

### *¿Qué se necesita para que la información se aplique?*

La observación y medición de parámetros agrometeorológicos con la suficiente densidad geográfica y frecuencia temporal permiten crear sistemas de monitoreo (SM) que pueden ser utilizados como herramientas de desarrollo y, donde sea necesario, emisión de alertas. En este caso se denomina un “sistema de monitoreo y alerta temprana” (SMAT). Un SM solo se convierte en un servicio si los resultados o productos son accesibles a los usuarios/beneficiarios, si la información implícita puede ser absorbida por ellos y si puede ser aplicada en la toma de decisiones, todo esto sin asistencia adicional o con alguna asistencia específica que le indique al usuario cómo reaccionar o le enseñe a decidir cómo le conviene actuar.

Existen algunos requisitos que la información agrometeorológica debe cumplir para ser considerada un producto aplicable en la toma de decisiones:

- La información debe responder a un requerimiento real de los usuarios.
- El usuario debe poder acceder a la información con facilidad y que el lenguaje sea adecuado para interpretarla con eficacia.
- Una vez comprendida la información, el usuario debe hallarse en un nivel de incerteza menor al previo y ser capaz de tomar una decisión con mayor probabilidad de acierto, aunque nunca llegue a ser del 100 %.

Estos productos pueden generarse con los datos provenientes de una sola estación (por ejemplo: en un establecimiento agropecuario), pero son más ricos cuando se combinan los datos de varias estaciones que conforman una red local o regional, con beneficios adicionales para todos los integrantes, sin aumentar los gastos individuales.

Otro requisito importante para el aprovechamiento real de los productos agrometeorológicos es que los tomadores de decisiones (desde un productor de la agricultura familiar hasta un ministro de agricultura) puedan contar con las capacidades adecuadas, según su ámbito de trabajo, para interpretar la información e identificar alternativas de decisión ante las diferentes situaciones informadas.

### *Asesoramiento agrometeorológico para el manejo del agua*

Actualmente se desarrollan políticas mundiales, regionales y nacionales para incrementar la conciencia del almacenamiento del agua, promover la conservación y cosecha de agua, revertir el mal manejo del agua subterránea, aumentar la eficiencia de su uso (y la elección de variedades más eficientes y rotaciones adecuadas) y reciclado. Incluso en zonas húmedas y de alto potencial agropecuario, como las que existen en los países del MERCOSUR, los pulsos de sequía generan serios problemas productivos. El aumento evidenciado en la variabilidad climática en el sur de Sudamérica fuerza a todas las actividades dependientes de la disponibilidad de agua a adoptar y promover su uso más eficiente y mejores técnicas de manejo.

La instalación de un pluviómetro convencional (estación pluviométrica) y el registro de los cambios en el uso del suelo y los resultados productivos del establecimiento ya constituyen un paso significativo en el relevamiento de las condiciones del entorno rural y posibilitan la elaboración de productos agroclimáticos, escenarios a futuro y recomendaciones de BP agropecuarias.

inundaciones y sequías, en el diseño de sistemas de irrigación y drenaje apropiados para la agricultura y en el desarrollo de planes de contingencia y recomendaciones agronómicas para cada contexto climático, zona y actividad. La modelización del consumo del agua, basado en factores físicos y fisiológicos, y la estimación del contenido de agua en el suelo son herramientas aplicadas ampliamente en la determinación de políticas de planificación de uso del agua en agricultura y ganadería. En los países no industrializados, el uso de estas herramientas en la toma de decisiones ha sido muy poco difundido.

Para contar con este tipo de herramientas, es imprescindible disponer de información básica (datos meteorológicos, agronómicos y edáficos), además de investigación científica y metodologías adecuadas aplicables a cada actividad y contexto socioeconómico. Nuevamente llegamos a la cadena “dato - información / producto - toma de decisiones”, esencial para optimizar el uso de los recursos y mejorar los resultados económicos y sociales. Comencemos por medir.

¿Qué variables medir?

Las observaciones agrometeorológicas incluyen variables físicas (climáticas), biológicas y edáficas. Esto se debe a que el crecimiento y desarrollo de plantas y animales es el resultado de la combinación de su genética y su respuesta al ambiente. Sin datos cuantitativos, el planeamiento, pronóstico, investigación y servicios agroclimáticos no podrán asistir adecuadamente a la producción agropecuaria. Estos datos son necesarios no solo para comprender cómo el ambiente afecta la actividad agropecuaria, sino también para determinar cómo esta impacta el ambiente.

Los datos requeridos dependen del propósito para el que serán utilizadas (aplicación): pronóstico del tiempo, caracterización y zonificación agroclimáticas, monitoreo y predicción de la producción, recomendaciones de manejo a campo, determinación de alertas tempranas (de sequía, inundaciones, pestes, mortandad de animales), identificación prácticas agropecuarias recomendadas, manejo de recursos naturales, toma de decisiones de corto plazo sobre las actividades de los productores y otros posibles. Es decir, desde el momento de la planificación de una red de estaciones (o la adquisición de una EMA para una finca particular), se debe tener en cuenta la finalidad de los registros que se pretenden obtener.

Las mediciones de variables físicas recomendadas en las estaciones agrometeorológicas son:

- Precipitación.
- Radiación o heliofanía\* (duración del día).
- Temperatura del aire.\*
- Temperatura del suelo.
- Presión atmosférica.
- Viento\* (dirección y velocidad).
- Humedad del aire.\*
- Humedad del suelo.
- Duración de hoja mojada.
- Profundidad de la capa freática.

Las señaladas con asterisco (\*) se utilizan para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), esencial para de la necesidad de agua de los cultivos, por ejemplo.

Las observaciones biológicas corresponden al registro de fenómenos naturales, uso del suelo (rotaciones), duración de las etapas fenológicas, daños ocasionados directa o indirectamente por las condiciones del tiempo y actividades del quehacer productivo (fechas de siembra y cosecha, fumigaciones, carga animal, entre otros).

El seguimiento descrito es muy completo y factible en países desarrollados, pero en muchos casos es inviable en países con menores recursos o simplemente excede el objetivo de utilización planteado. Existe una gama de posibilidades intermedias entre el modelo recomendado y la carencia absoluta de datos, que evidentemente es la situación no deseada.

La instalación de una EMA que mida la precipitación y la temperatura (estación termopluviométrica), acompañada de observaciones agronómicas sencillas, implica un avance importante. Y si las EMA permiten la conformación de una red de estaciones, las ventajas serán aún mayores. Paulatinamente se puede ir pasando de la condición más sencilla a una más completa.

Aun para la instalación de un pluviómetro convencional y el registro de datos de lluvia, existen normas sencillas y BP establecidas de bajo costo, pero generalmente no se consideran por falta de información. Estas normativas obedecen a la necesidad de unificar los registros y realizar adecuadamente las mediciones.





# Capítulo 2

## Buenas prácticas en la generación de datos agrometeorológicos

### **Observar y medir**

- ¿Por qué el dato medido es irremplazable?
- ¿Cuál es la representatividad geográfica de las mediciones?
- ¿Por qué la lluvia es la variable que más se mide?

### **Medir la precipitación**

- ¿Cómo se mide la precipitación?
- ¿Cuáles son los errores más comunes en la medición de la precipitación?
- ¿Se puede automatizar?

### **Estaciones meteorológicas automáticas (EMA)**

- ¿Qué son las EMA?
- ¿Cuándo se elige instalar una EMA?
- ¿Qué debe considerarse antes de elegir?
- ¿Qué gastos genera una EMA?

### **Redes de estaciones meteorológicas automáticas**

- ¿Cuáles son las ventajas de pertenecer a una red?
- ¿Qué debe tenerse en cuenta al diseñar una red?
- ¿Qué debe considerarse al elegir los emplazamientos?
- ¿Qué debe tenerse en cuenta al elegir las variables de medición?



## Observar y medir

(...) pero si podemos saberlo,  
ciertamente sería intolerable  
no saberlo

*Eduard C. Titchmarsh*

### ***¿Por qué el dato medido es irremplazable?***

Es necesario combinar observaciones agronómicas y meteorológicas para toda aplicación agrometeorológica, con el fin de generar información disponible para asistir a los productores en su predio en el momento que se requiera y preparar avisos o para permitir la planificación a largo plazo. En la actualidad existe la tendencia de considerar que los modelos numéricos (computacionales) o las imágenes satelitales pueden reemplazar los datos medidos con instrumentos. Esto se halla lejos de ser una realidad: los modelos numéricos, por ejemplo, necesitan como datos de entrada (inputs) observaciones reales, medidas, más otra información adicional para chequear los resultados (outputs).

Los productos satelitales —como los que estiman precipitación, humedad del suelo, índices de sequía o rendimientos esperados— se vuelven cada vez más populares. También estos productos se generan a partir de algoritmos que incorporan como datos de entrada valores medidos u observados: para los productos mencionados como ejemplo, se utilizan datos pluviométricos y supervisión a campo de uso del suelo, entre otros. Existen productos basados puramente en información satelital, pero incluso estos, en su etapa de desarrollo, debieron ser comparados con datos medidos o con otros productos que utilizan datos medidos para evaluar su rendimiento.

Nada reemplaza a un dato medido: toda estimación del valor de una variable meteorológica o agronómica, ya sea por interpolación de valores cercanos o mediante el uso de imágenes satelitales u otro método, será inferior a una medición directa efectuada correctamente. Contrariamente, una medición realizada mediante un instrumento inadecuado, mal instalado, sin mantenimiento, sin control de calidad, en cualquier horario, entre otros errores comunes, no tiene ningún valor.

### ***¿Cuál es la representatividad geográfica de las mediciones?***

Las necesidades de datos de observación siempre dependen del fin que se persiga y cambian con el tiempo al evolucionar las técnicas agrícolas y la tecnología: el advenimiento de la agricultura de precisión, por un lado, y el aumento en la capacidad de los ordenadores para manejar gran cantidad de datos, por otro, demandan y permiten el uso de modelos numéricos capaces de representar mejor los fenómenos de escala local.

En la atmósfera pueden coexistir varios fenómenos meteorológicos de distintas escalas a la vez. Por ejemplo, un núcleo de tormenta puede extenderse solo unos pocos kilómetros en la escala horizontal, con una duración de menos de una hora, mientras que un ciclón tropical puede tener unos mil kilómetros de longitud, con

una duración de diez días o más; muchos núcleos tormentosos aparecen y desaparecen en el tiempo que dura un ciclón tropical. Por consiguiente, la frecuencia y separación geográfica de las observaciones deben ser adecuadas para obtener datos que describan los cambios en el tiempo y en el espacio del fenómeno meteorológico de interés, con suficiente resolución como para satisfacer las necesidades de los usuarios. Si la separación entre las observaciones es superior a 100 km, los fenómenos meteorológicos que tengan menos de esta distancia en la escala horizontal en general no podrán ser detectados.

La clasificación de las escalas horizontales de los fenómenos meteorológicos se puede observar en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Clasificación de las escalas horizontales de los fenómenos meteorológicos.**

Escala	Extensión horizontal característica	Ejemplos de fenómenos meteorológicos
Microescala	Menos de 100 m	Pequeños remolinos
Topoescala o escala local	100 m a 3 km	Contaminación del aire, tornados
Mesoescala	3 km a 100 km	Tormentas, brisa de mar y de montaña
Escala sinóptica o gran escala	100 km a 3000 km	Frentes, ciclones, huracanes
Escala planetaria	Más de 3000 km	El Niño / La Niña, cambio climático, calentamiento global

Fuente: OMM 2010.

El requerimiento de información de microescala en relación con las actividades agrícolas es muy exigente y en la práctica solo tiene sentido en agricultura de precisión. La topoescala (o escala local) es adecuada para monitorear las condiciones meteorológicas en predios agrícolas y en áreas geográficas irregulares. Incluso la información de mesoescala resulta suficiente para la estimación de las condiciones generales de una zona homogénea y permite la operatividad de sistemas de alerta temprana y de sistemas de seguro de índice.

Las distintas escalas meteorológicas se relacionan con diferentes tipos de actividad productiva en el sector agropecuario. Si se desea incorporar información climática en la agricultura de precisión, se debería hacer a escala de parcela. La producción intensiva necesita mayor densidad de información climática por unidad de área que la extensiva. La producción nacional puede monitorearse o estimarse con una densidad de información correspondiente a la escala sinóptica.

**Cuadro 2. Escalas meteorológicas y tipo de actividad agropecuaria asociada.**

Escala	Extensión horizontal característica	Actividad agropecuaria
Microescala	< 100 m	Agricultura de precisión
Topoescala o escala local	100 m – 3 km	Producción intensiva
Mesoescala	3 km – 100 km	Producción extensiva
Escala sinóptica o gran escala	100 km – 3000 km	Producción nacional o regional
Escala planetaria	> 3000 km	Seguridad alimentaria

Fuente: OMM 2010.

Las escalas horizontales están estrechamente relacionadas con las escalas de tiempo de los fenómenos: cuanto mayor sea la extensión horizontal del fenómeno, mayor será la probabilidad de que duren un período más largo. Si la orografía local es irregular, estas distancias se verán reducidas, ya que deben poder representarse los distintos microclimas (en valles o a diferentes alturas).

### *¿Por qué la lluvia es la variable que más se mide?*

En el ambiente agropecuario, existe un consenso generalizado acerca de la importancia de la precipitación sobre los resultados productivos como principal factor. Además, resulta económica la instalación de un pluviómetro convencional y el seguimiento periódico de esta variable. La medición de la precipitación es bastante común en los establecimientos agropecuarios del MERCOSUR, aunque no siempre se realiza de forma adecuada.

En casi la totalidad de la extensa zona agrícola del MERCOSUR, se registran precipitaciones de tipo convectiva, en especial en la época estival. Son las típicas tormentas que se dan con mayor frecuencia por la tarde, acompañadas de actividad eléctrica. Las lluvias convectivas se generan a partir de corrientes ascendentes de aire cálido: el aire comienza a elevarse desde niveles bajos como una burbuja, al ascender se va enfriando y, si contiene humedad suficiente, comienza la condensación, se forma una nube y probablemente llueve.

Estas tormentas convectivas aportan precipitaciones con gran variabilidad espacial, es decir, con montos acumulados muy diferentes en puntos geográficos cercanos. Debido a la gran variabilidad espacial que suele evidenciar la precipitación y su importancia sobre los resultados productivos, los pluviómetros en general deberán estar menos distanciados entre sí que los instrumentos que miden otras variables.

## **Medir la precipitación**

Ahorita comenzó a lloviznar.  
Eso quiere decir que son  
como las tres de la tarde.

*Juan Rulfo*

### *¿Cómo se mide la precipitación?*

El objetivo principal de cualquier método de medición de las precipitaciones es obtener muestras representativas de este fenómeno en la zona y su valor exacto. Por lo tanto, se deben considerar la elección del emplazamiento y la forma y exposición del pluviómetro; además, deben tomarse medidas para impedir las pérdidas por evaporación, efectos del viento y salpicaduras. Algunas BP para la medición de la precipitación se resumen a continuación:

#### *1. Emplazamiento del pluviómetro*

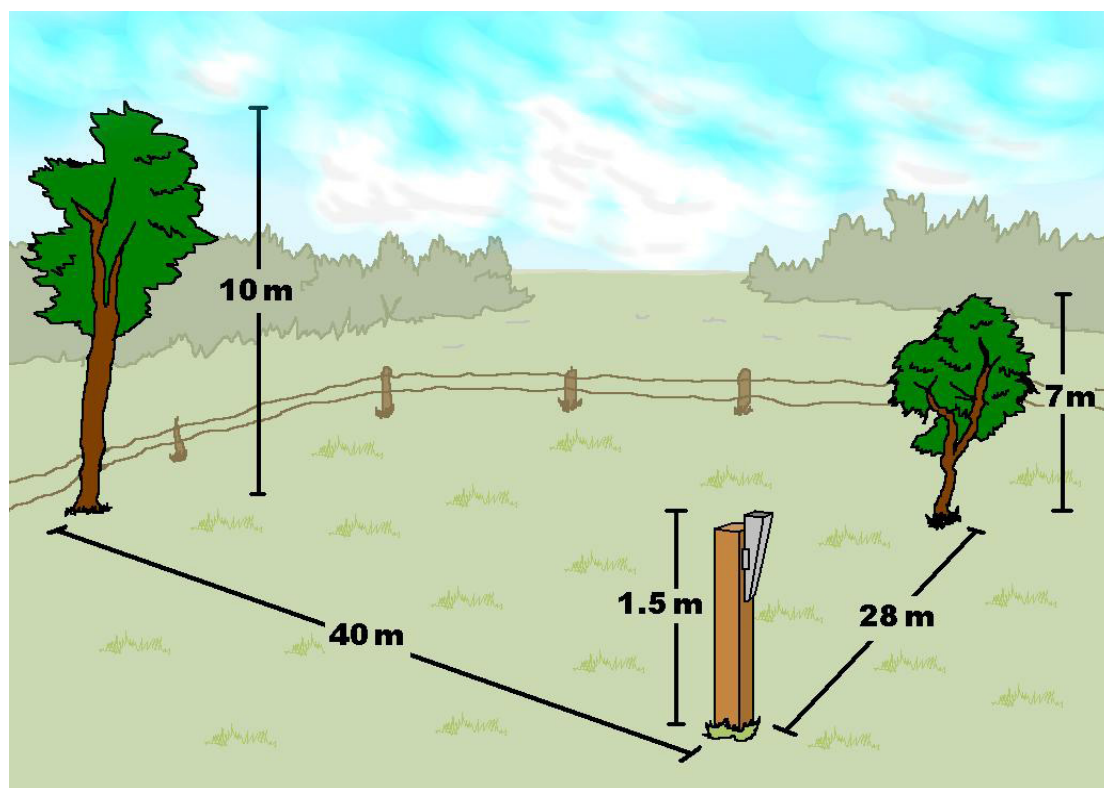
En una instalación ideal, el agua recogida en un pluviómetro representará las precipitaciones que se hayan producido en la zona circundante. Sin embargo, en la práctica es difícil crear estas condiciones debido a los efectos del viento, por lo que habrá que prestar gran atención a la elección del emplazamiento.

Los efectos del viento se pueden considerar desde dos aspectos:

- a. Efectos sobre el mismo instrumento, que en general reducen la cantidad de agua recogida
- b. Efectos producidos por la proximidad de obstáculos —a menudo más importantes— que pueden dar resultados superiores o inferiores a la precipitación medida. Las perturbaciones creadas por un obstáculo se reducen, aunque no se eliminan del todo, al elegir el emplazamiento, de modo que la lluvia no sea detenida por objetos circundantes.

Todos los pluviómetros de una región o país deben estar instalados de manera similar y en las mismas condiciones. El pluviómetro se debe exponer con su boca en posición horizontal sobre el nivel del suelo. La altura recomendada para la instalación de la boca del pluviómetro es de 1,5 m. En este caso, la altura de los objetos más cercanos (árboles, infraestructuras, postes de alumbrado y otros) no deberá superar la cuarta parte de la distancia entre el objeto y el pluviómetro. Por ejemplo, si en las inmediaciones hubiera árboles de 10 m de altura, el pluviómetro deberá instalarse por lo menos a 40 m de esta barrera. Si se halla cerca una edificación de 5 m de altura, el instrumento debe instalarse a más de 20 m de distancia.

**Figura 1. Esquema de emplazamiento correcto del pluviómetro.**



Fuente: Proyecto SALLJEX, South American Low Level Jet Experiment, National Oceanic and Atmospheric Administration 2002.

Deben evitarse, como protección para el pluviómetro, objetos como rompevientos consistentes en una sola hilera de árboles, pues tienden a aumentar la turbulencia en el sitio del pluviómetro. También se recomienda evitar la cercanía de objetos aislados, debido a los efectos variables e impredecibles que

puedan tener sobre lo que este capte. Por ello es mejor suprimir todos los obstáculos situados a una distancia del instrumento igual a cuatro veces sus respectivas alturas.

Asimismo, convendrá evitar las pendientes y los suelos fuertemente inclinados en una dirección (sobre todo si esta coincide con la del viento predominante). El terreno circundante puede estar cubierto de césped, grava o ripio, pero una superficie plana y dura como la de cemento posiblemente origine salpicaduras excesivas.

El pluviómetro puede instalarse a menor altura, pero la boca nunca debe quedar a menos de 1 m sobre el suelo. De todas formas, es preferible respetar la altura estándar de 1,5 m. Si fuera necesario, también puede instalarse el pluviómetro por encima de 1,5 m para evitar que sea tumbado por animales, aunque su manipulación y lectura serán más difíciles.

En resumen, es importante considerar lo siguiente cuando se busque el emplazamiento para el pluviómetro:

- Ningún objeto debe gotear sobre el pluviómetro (hojas, cables).
- Ningún obstáculo debe modificar la caída de lluvia en el pluviómetro: debe instalarse lejos de árboles altos y edificaciones.
- El pluviómetro no debe estar expuesto a golpes de animales.

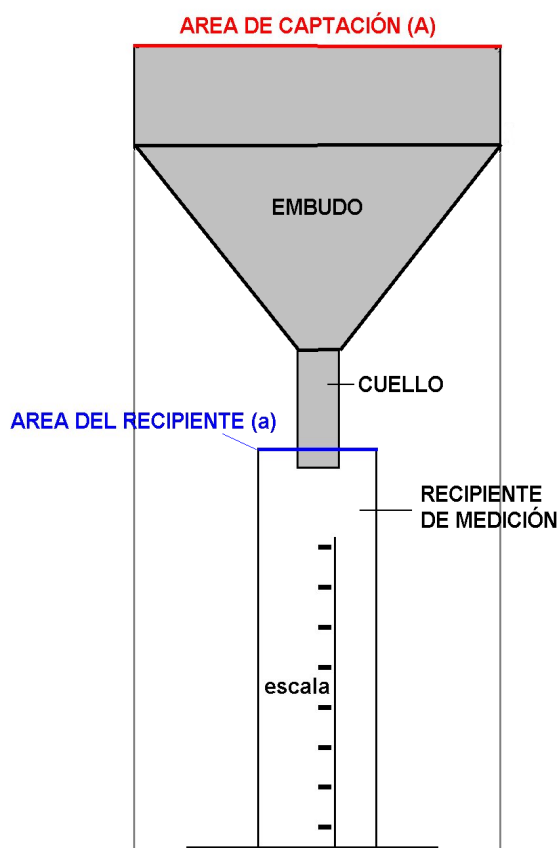
## *2. Características del pluviómetro*

Para que las mediciones en diferentes pluviómetros sean comparables, los instrumentos deben estar normalizados; es decir, tienen que respetar mínimas características comunes.

El pluviómetro convencional tiene, con frecuencia, la forma de un tubo o embudo colector que desemboca en un recipiente graduado para la medición (figura 2). El diámetro de la boca del tubo o embudo colector puede variar, pero se recomienda una superficie de recepción de 200 cm<sup>2</sup>.

Cualquiera que sea el diámetro del área de captación elegida, la graduación del recipiente de medición debe estar en relación con este (el recipiente de medición es un accesorio que trae el pluviómetro). Si se reemplaza el embudo de captación por otro de área diferente, ya no podrá utilizarse el mismo recipiente de medición.

**Figura 2: Esquema de pluviómetro convencional.**



Fuente: Elaboración propia.

$$A = 3,14 * 0,25 * D * D$$

A = área de captación en cm<sup>2</sup>

D = diámetro del embudo colector en cm

Por ejemplo, si el diámetro del embudo colector es de 15 cm, entonces el área A será de aproximadamente 177 cm<sup>2</sup>.

Luego se debe calcular el factor de conversión (FC) para ese valor específico de área de captación:

$$FC = 10 / A$$

FC = factor de conversión

Siguiendo el ejemplo, para un área A = 177 cm<sup>2</sup>, el factor de conversión será FC = 0,056 mm/cm<sup>3</sup>.

El agua recogida en el recipiente colector (que puede ser una botella plástica, un bidón, entre otros) deberá ser traspasada a una probeta común para medir en cm<sup>3</sup>. Si llamamos V a la medición en cm<sup>3</sup> que se realiza en la probeta, este valor deberá multiplicarse por el factor de conversión para obtener el monto de la precipitación en milímetros (P):

La medición de la precipitación se realiza midiendo el agua almacenada en el recipiente especialmente graduado para este fin. Como la probeta de captación tiene un diámetro menor que la boca del pluviómetro, al mismo volumen de lluvia le corresponde una altura mayor. En la probeta, la graduación ya está expresada en una escala en milímetros y décimas de milímetro ampliados, lo que facilita su apreciación.

Es importante recordar que la escala del recipiente de medición corresponde al área de captación del embudo o tubo y no se puede utilizar el mismo recipiente graduado con otro embudo ni medir el agua colectada con el embudo en cualquier probeta.

Si solo se dispone de un dispositivo casero para colectar la lluvia, es necesario calcular el área de captación (A). Esta se calcula a partir de la medición lo más exacta posible del diámetro del embudo colector (D) en centímetros:



$$P = V * FC$$

P = precipitación en milímetros

V = volumen medido en la probeta en cm<sup>3</sup>

En el ejemplo, si el agua colectada se trasvasa a la probeta y se miden allí 500 cm<sup>3</sup>, la medida de la precipitación será  $P = 500 * 0,056 = 28,2$  mm.

**Figura 3: Ejemplos de pluviómetros caseros construidos por alumnos del curso de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República de Uruguay.**



*Crédito: Profesor Juan Pablo Chiara, curso de Agrometeorología, Facultad de Agronomía, Universidad de la República.*

A continuación se detallan las características más importantes de un pluviómetro, las cuales deben ser consideradas incluso en los de diseño casero:

- a) El borde del colector debe tener una arista cortante, descender verticalmente en la parte interior y estar biselado en pendiente rápida en el exterior.
- b) La superficie de la boca debe conocerse con buena precisión. Para la construcción del dispositivo, se debe cuidar que la superficie no se deforme.
- c) El colector (embudo) debe estar diseñado de modo que se evite toda clase de salpicadura. Esto puede lograrse dando profundidad a la pared vertical y una inclinación bastante pronunciada al embudo (como mínimo 45°).
- d) El cuello del embudo colector debe ser estrecho y estar bien protegido de la radiación para minimizar las pérdidas de agua por evaporación.
- e) Se debe recordar que la graduación del recipiente de medición corresponde al área de captación del embudo colector: el embudo no puede reemplazarse por otro de otra área ni el recipiente colector por otro diferente.

### 3. *Métodos de medición y anotación*

Para lograr exactitud con pequeñas cantidades de lluvia, el interior de la probeta que forma parte del pluviómetro industrial tiene por lo general una base de forma cónica. En todas las mediciones, se debe tomar como línea básica el punto inferior del menisco de agua. Cuando es poca, el agua presentará una superficie curvada dentro de la probeta, que se denomina menisco. Es importante mantener verticalmente la probeta y evitar los errores de paralaje.

La medición de la precipitación en estaciones pertenecientes a las redes nacionales o internacionales debe efectuarse por lo menos cuatro veces al día, en las denominadas “horas principales”, que corresponden a las 0, 6, 12 y 18 h en el meridiano de Greenwich. En los países del MERCOSUR, existe una diferencia horaria de dos o tres horas con respecto al meridiano citado, lo cual depende de los cambios de horario de verano o invierno. Se aconseja realizar la medición diaria de la precipitación a las 9:00 am. Como pueden efectuarse cambios en el huso horario, debe mantenerse la hora de observación a las 12 am del meridiano de Greenwich, llamada “hora UTC” u “hora Z”. En el sitio web <http://www.worldtimeserver.com/hora-exacta-UTC.aspx> se puede ver la hora UTC actual.

Las estaciones pluviométricas (que solo miden lluvia) realizan en general mediciones de acumulados diarios; es decir, miden cada 24 horas el valor de lluvia acumulada en el día. Para la unificación de los valores medidos, es importante que esta observación se realice siempre a la misma hora y se ignoren los cambios de horario nacionales que se disponen en determinados períodos del año por ahorro energético.

Una vez realizada la medición, el valor debe ser consignado en una libreta y luego ingresado a un formato digital para ser controlado, almacenado o reportado por algún medio (correo electrónico, celular, radio, entre otros) a algún centro de integración de información agrometeorológica. Junto a cada medición, deberá consignarse el día pluviométrico al que corresponde. Por ejemplo: si la medición se efectuó a las 9:00 am del día 5 de abril, corresponderá a la lluvia acumulada entre las 9:00 am del 4 de abril y las 9:00 am del 5 de abril, lo que se designa como “día pluviométrico 4 de abril”, por hallarse dentro de ese día la mayor cantidad de horas del período observado.

- Las observaciones en todos los pluviómetros deben hacerse siempre a la misma hora.
- Si se ha omitido la medición por algún motivo, es importante dejarlo asentado.

Conviene consignar también en la libreta la hora exacta de la medición, el nombre de la persona que la ha realizado y, de ser posible, una breve descripción del tiempo presente, es decir, de las condiciones del tiempo observadas a simple vista, como “despejado y sin viento”, “niebla” o “nublado hacia el sur”, entre otros. Si se ha omitido la medición de ese día, es importante dejarlo asentado en la libreta, donde se consigne, por ejemplo, S/D (sin dato). Esto hará que no se confundan los días sin precipitación con los días con falta de medición. De ser posible, se anotará la razón de la falta de medición.

#### ***¿Cuáles son los errores más comunes en la medición de la precipitación?***

En muchas ocasiones, algunos procedimientos provocan que las series de datos de precipitación relevadas en estancias u otros establecimientos agropecuarios no sean de utilidad. A continuación se detallan las causas de estos hechos:

- El pluviómetro no cumple con las normas mínimas requeridas, lo que hace que las mediciones no sean confiables o no puedan integrarse con datos de otras fuentes.  
Las normas descritas anteriormente obedecen al objetivo de realizar una medición más exacta y unificada, para poder utilizar los datos de distintos pluviómetros de forma conjunta.
- El pluviómetro no se ha instalado correctamente, se halla a una altura incorrecta o en un sitio inadecuado para medir la lluvia.  
Como se ha indicado, existen normas para la altura del pluviómetro y, más importante, para las distancias mínimas que deben respetarse entre el instrumento y los obstáculos cercanos, con el fin de evitar que la cantidad de lluvia que ingresa por la boca de este sea modificada por corrientes locales de aire.
- Los registros diarios se toman a cualquier hora del día y no se lleva registro de la hora de la medición.  
La hora de la medición debe ser siempre la misma para asegurarse de que sea el monto acumulado en 24 horas. Se recomienda que este horario sea a las 9:00 am u otro no muy alejado de este momento. Si se modifica la hora local, debe respetarse el horario de las 12:00 am del meridiano de Greenwich.
- No quedan registradas las lluvias de escasos milímetros o décimas de milímetros, por considerarse que no tienen importancia.  
Todos los montos de lluvia son importantes, por pequeños que sean. Las lluvias pequeñas no registradas modifican el cálculo de algunos parámetros agrometeorológicos, como “días consecutivos sin precipitación” o “humedad de la capa superficial del suelo”.
- Si se dan dos o más días seguidos con precipitaciones, se consigna solo el valor total acumulado y no los parciales diarios.  
Resulta a veces incómodo realizar la medición a la hora prevista si en ese momento está lloviendo: esto hace que muchas veces la medición se acumule con la del día siguiente. Es recomendable realizar el esfuerzo de medir de todas formas en el momento indicado, ya que los valores acumulados distorsionan luego algunos cálculos, como “lluvia máxima diaria”, “días con lluvia en el mes” o “contenido de agua en el suelo” (para el balance hídrico no es lo mismo el saldo de una lluvia de 100 mm en un día, que el aporte de dos días con 50 mm cada uno).
- Se omiten las mediciones en los días domingos o feriados y se acumula la lluvia de estos días en el total del día hábil siguiente.  
Estos valores acumulados generan los mismos inconvenientes o resultados erróneos en las aplicaciones (productos) que los descritos en el párrafo anterior.
- No se deja constancia de los días en que no se han tomado mediciones, lo cual genera dudas a la hora de diferenciar los días sin precipitaciones de los días con dato faltante.  
Siempre se prefiere que no falten datos. Sin embargo, en caso de que así sea, debe consignarse claramente la causa por la que no se tomaron las mediciones, de forma que quede clara la diferencia entre “sin dato” y “sin lluvia”.

Más adelante se trata el tema de control de calidad de los datos agrometeorológicos. Aquí se presentan ejemplos de cómo quedan en evidencia este tipo de errores al realizar una inspección rápida de las series pluviométricas.

### *¿Se puede automatizar?*

El pluviómetro convencional permite medir la precipitación acumulada en un intervalo de tiempo dado, que es el que transcurre entre dos observaciones sucesivas (por ejemplo, 24 horas). Si lo que se desea es conocer cómo se distribuyó la precipitación durante ese período, es decir, en qué momento se registró la intensidad máxima, durante cuánto tiempo u otro, deberá utilizarse algún dispositivo de registro automático.

En algunas estaciones meteorológicas convencionales, se dispone de pluviógrafo, que es un instrumento mecánico que permite dejar registro de la intensidad de la lluvia sobre una cinta de papel cuadrículado. Una alternativa más moderna es el pluviómetro automático, que permite tener registro de los montos de precipitación en períodos muy cortos, los cuales se computan y almacenan por medios electrónicos.

El pluviómetro automático consiste en un sistema de conteo de la cantidad de veces en que una pequeña cubeta se llena y vuelca su contenido. En general, cada pluviómetro dispone de dos cubetas basculantes, llamadas cangilones (figura 4). El embudo colector conduce el agua a los cangilones, que poseen una bisagra en su punto medio. Cuando un cangilón se llena, vuelca su contenido completo y genera un pulso eléctrico, mientras se llena el otro. Cada pulso eléctrico corresponde a un cangilón lleno, cuyo contenido es conocido (entre 0,1 y 0,4 mm es lo más común).

Los pluviómetros digitales disponibles en el mercado registran el movimiento de las cubetas por medio del sistema mecánico-electrónico descrito y se conectan con un servidor central (un ordenador común) que almacena todos los datos recogidos. En los lugares donde nieva, los embudos disponen de una resistencia térmica que disuelve la nieve.

El pluviómetro automático puede instalarse independientemente o formando parte de una EMA que mida, además, otras variables meteorológicas.

**Figura 4: Interior de un pluviómetro automático de dos cangilones o cubetas basculantes.**



*Crédito: Estación Meteorológica de Ojáz-Peñacastillo.*



# Estaciones meteorológicas automáticas (EMA)

Vivimos en una sociedad profundamente dependiente de la ciencia y la tecnología, y en la que nadie sabe nada de estos temas.

*Carl Sagan*

## *¿Qué son las EMA?*

Una EMA se define como una estación meteorológica en la que se realizan y transmiten observaciones meteorológicas automáticamente.

Actualmente existe un gran auge en la instalación de este tipo de estaciones, de las que el propietario (un particular, una empresa, una institución pública) espera obtener un beneficio. Para que esto resulte, las estaciones deberán cumplir también con normas de estandarización, adecuada alimentación de energía y sistema de comunicación, mantenimiento y calibración periódica, control de calidad de datos. Sobre todo, deben aportar datos con alguna finalidad concreta; es decir, su existencia y funcionamiento deben obedecer a un propósito específico predeterminado.

Las EMA pueden realizar observaciones de los elementos de la lista siguiente, entre otros. Se consigna entre paréntesis el nombre del instrumento que realiza la medición correspondiente:

- a) Presión atmosférica (barómetro).
- b) Dirección y velocidad del viento (veleta y anemómetro, respectivamente).
- c) Temperatura del aire (termómetro).
- d) Humedad del aire (higrómetro).
- e) Precipitación (pluviómetro).
- f) Radiación solar directa y difusa (piranómetro).
- g) Duración del día, horas de luz (heliofanógrafo).
- h) Altura de las nubes sobre el sitio de observación (nefobasímetro).

**Figura 5. Estación meteorológica automática (EMA), Red Meteorológica Nacional, Honduras.**



**Figura 6. Estación meteorológica convencional (EMC), Servicio Meteorológico Nacional, México.**



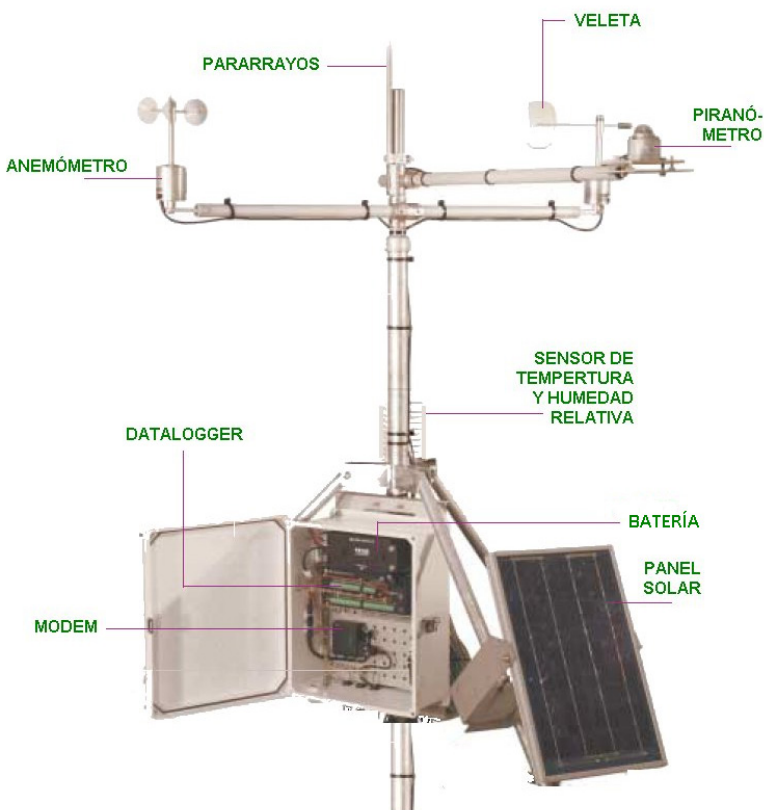
La temperatura del aire a lo largo del día y sus valores extremos (temperatura máxima y mínima) se definen para uso meteorológico como la temperatura indicada por el termómetro (ya sea de líquido en vidrio o electrónico) expuesto al aire, de forma que se halle protegido de la radiación solar directa. Se recomienda la instalación del termómetro a 1 a 1,5 m de altura con respecto al suelo.

El barómetro debe estar instalado en un entorno donde los efectos externos no produzcan errores en la medición. Estos efectos incluyen: viento, radiación, temperatura, golpes, vibraciones o fluctuaciones eléctricas.

El viento es un elemento que varía sensiblemente con la altura. Según las normas internacionales de estandarización, los sensores de viento (velocidad y dirección) deben instalarse sobre una torre a 10 m de altura. En muchos casos esto es impracticable, por lo que se recomienda una altura de 2 m como mínimo para uso agrometeorológico.

La medición del piranómetro incluye el efecto combinado de la radiación solar directa, la radiación difusa proveniente del cielo (queda en evidencia con cielo cubierto) y la radiación reflejada por distintas superficies aledañas. Los valores de radiación pueden utilizarse para calcular la heliofanía, ya que el sensor que mide directamente esta variable es más costoso.

**Figura 7. Componentes de una estación meteorológica automática.**



*Fuente: Colaboración de los autores.*

Además de estas observaciones automáticas, un observador puede agregar otro tipo de información relacionada con: visibilidad, altura general de las nubes, condiciones de tiempo presente y pasado.

Los datos registrados por la EMA se transmiten a un receptor (puede ser una PC de escritorio) por diferentes medios: un cable subterráneo, telefonía celular o interrogación satelital (captura de datos vía satélite). En otros casos, los datos solo se almacenan y deben ser descargados in situ (a un ordenador portátil, por ejemplo) antes de que se supere la capacidad máxima de almacenamiento de información.

### *¿Cuándo se elige instalar una EMA?*

En un establecimiento agropecuario, si se desea disponer de otro tipo de información meteorológica además de la de precipitación, la alternativa más común es instalar una EMA. Esto permite contar con registros de varios parámetros a tiempo real en forma automática y su implementación se halla bastante difundida entre los productores más tecnificados del MERCOSUR.

En las instituciones privadas o públicas, las estaciones automáticas pueden elegirse como alternativa por diversos motivos, incluso en los servicios meteorológicos nacionales e institutos de tecnología agropecuaria. Entre los principales motivos, se citan los siguientes:

- a) Facilitar datos de lugares de difícil acceso o inhóspitos, donde es complicado contar con personal.
- b) Incrementar la seguridad de los datos y normalizar los métodos y horarios de las observaciones en todas las estaciones de una misma red.
- c) Reducir los gastos disminuyendo el número de estaciones dotadas de personal, es decir, la cantidad de observadores meteorológicos.

- Provisión de energía adecuada.
- Sistema de comunicación eficiente.
- Mantenimiento periódico.
- Disponibilidad de piezas de repuesto.

Debido a la diversidad de aspectos meteorológicos de posible interés, la planificación de una red de EMA no debe incumbir solamente a los ingenieros o constructores de los sistemas automáticos de medición, que con frecuencia no saben cuáles son los problemas reales de los usuarios. Durante la fase de planificación, el futuro usuario debe dedicar tiempo y aportar su experiencia con el objeto de evitar los decepcionantes resultados que daría un sistema inadecuado.

### *¿Qué debe considerarse antes de elegir?*

Las EMA deben estar preparadas para resistir las condiciones meteorológicas más extremas. Por consiguiente, es esencial analizar el futuro entorno de la estación antes de especificar o elegir un sistema. Las influencias negativas principales son: el elevado grado de humedad, las temperaturas muy bajas o muy altas, el polvo, los insectos, los rayos y los ambientes corrosivos.

El porcentaje de observaciones meteorológicas útiles que son registradas y llegan al usuario a tiempo constituye un factor crítico de calidad en la evaluación de la estación (o del sistema automático operativo instalado). Generalmente, las pérdidas más importantes de fiabilidad están relacionadas con las interrupciones de la transmisión de datos, más que con el deterioro de los sensores. Por eso es tan importante contar con la provisión de energía adecuada y el sistema de comunicaciones más eficiente posible.

En algunos casos, el período de vida activa de un sistema queda limitado por el rápido progreso de la tecnología. La disponibilidad de piezas de repuesto, por ejemplo, pasa a ser un grave problema. Por consiguiente, es mejor elegir sensores que ya han sido utilizados con éxito en otros países u otros emprendimientos nacionales y de los que se pueda disponer de repuestos en breve tiempo. La garantía de duración mínima de los sensores y la disponibilidad de piezas de repuesto deben figurar en el contrato que se firme con el fabricante.

### *¿Qué gastos genera una EMA?*

Para una institución, la creación de una red de observación automática exige considerables recursos materiales. Además de la calidad y cantidad de los datos adquiridos automáticamente, la creación de una red automática siempre será ventajosa desde el punto de vista financiero, ya que sustituye a numerosas estaciones dotadas de personal, que realizan observaciones las 24 horas del día, por estaciones exentas completamente de personal o solo parcialmente dotadas de él, que solo exigen la presencia reducida de observadores o técnicos de mantenimiento.

Una estación meteorológica convencional que realiza observaciones las 24 horas deberá contar con un personal permanente, compuesto por cinco a ocho observadores, mientras que una estación automática puede mantenerse con solo un técnico con dedicación parcial, siempre que cuente con la capacitación requerida. Nótese que no se dice “sin personal”, ya que en toda red es imprescindible que existan encargados de la inspección, el mantenimiento y el chequeo de la transmisión de los datos, además de algún encargado del control de calidad de los datos.

Los gastos totales generados por la incorporación de una EMA (o de una red de EMA) se componen de gastos iniciales y de gastos de funcionamiento. Los primeros corresponden a los costos de creación, adquisición, instalación, pruebas de eficacia, documentación y programas informáticos. Los gastos de funcionamiento incluyen los pagos al personal técnico de mantenimiento, de transmisión de datos (comunicaciones), costos por reparaciones o eventualmente sustitución de parte del equipo y consumo de electricidad.

Los gastos anuales de funcionamiento de una EMA bien mantenida representan aproximadamente del 10 % al 20 % de los gastos iniciales. En general, las marcas o modelos más costosos generan proporcionalmente menores gastos de mantenimiento, debido a la mejor calidad de sus componentes. Los gastos de funcionamiento rara vez quedan incluidos de manera realista en las ofertas de los fabricantes y, por consiguiente, suelen estar subestimados por el comprador.

Para minimizar el costo del reemplazo de piezas por mal funcionamiento, se recomienda el mantenimiento preventivo. Este procedimiento incluye la limpieza y lubricación de las piezas mecánicas y el mantenimiento técnico de la electrónica y calibración periódica de los instrumentos. Es deseable que la EMA permita realizar un autodiagnóstico y luego se informen los resultados para detectar fallas rápidamente. La estructura modular de las EMA modernas permite, además, el reemplazo de los sensores u otros componentes en el sitio de emplazamiento.



## Redes de estaciones meteorológicas automáticas

El todo es más  
que la suma de las partes.

*Aristóteles*

### *¿Cuáles son las ventajas de pertenecer a una red?*

Actualmente en el MERCOSUR existen numerosos emprendimientos particulares de establecimientos agropecuarios y de instituciones del sector, cuyo objetivo principal es la instalación de EMA. Si bien se pone de manifiesto el creciente interés en el monitoreo del ambiente y en las aplicaciones resultantes de la mayor disponibilidad de datos, en general estos esfuerzos se hallan subaprovechados, debido al escaso desarrollo de productos derivados de esta información.

Si una EMA correctamente instalada y mantenida puede brindar información para la generación de productos agroclimáticos de utilidad, una red de EMA permite ir más allá, ya que permite algunas de las siguientes acciones, entre otras muchas posibles:

- Mejorar el control de calidad de los datos y la estimación de faltantes.
- Generar mapas de toda la zona o región de distintas variables meteorológicas, estimaciones de contenido de agua en el suelo y otras.
- Identificar diferencias entre las distintas áreas dentro de la misma zona o región, zonificación para recomendaciones de uso del suelo, de BP, elaboración de mapas de riesgo y otras.
- Mejorar el pronóstico del tiempo, especialmente si la red se integra a la del servicio meteorológico.

El tema de cómo la interacción de distintas EMA en una red mejora las posibilidades de control de calidad de datos será desarrollado en el capítulo 3. Esto se relaciona con la posibilidad de comparación de los valores registrados en una EMA con las estaciones vecinas, lo cual permite identificar diferencias sospechosas vinculadas frecuentemente con la falla de algún sensor o la falta de calibración o mantenimiento.

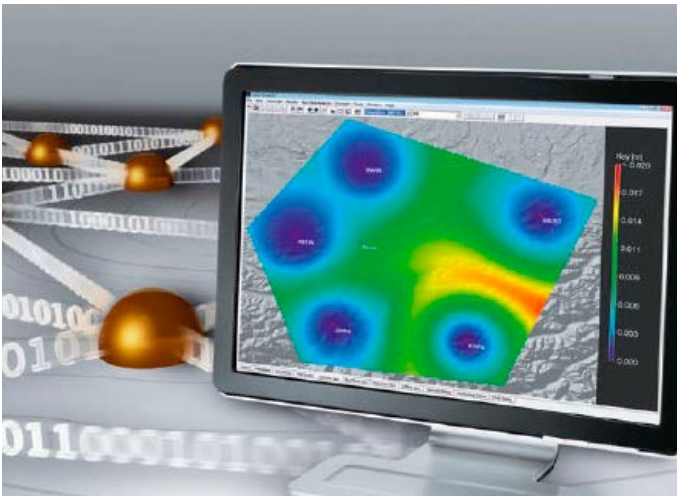
La unificación de las EMA y la reunión de toda la información de la zona en una misma base de datos es la única manera de generar mapas. Sin esta cooperación, solo se conocen las condiciones en un punto y no podrá conocerse el patrón zonal o las diferencias entre distintos sectores de la misma zona. Los mapas podrán integrar solo variables meteorológicas (precipitación, temperaturas mínimas, viento máximo y otros) o variables agrometeorológicas (contenido de agua en el suelo, índice de confort animal, grados día, índice de peligrosidad de incendios, entre otros).

Los mapas que se constituyan a partir de la acción mancomunada dentro de la red pueden estar relacionados con el monitoreo de las condiciones actuales, ya que la velocidad de transmisión de los datos permitirá la elaboración de productos agroclimáticos en tiempo real. Del monitoreo areal, que favorece la toma de decisiones, pueden desprenderse sistemas de alerta temprana, de estimación de producción, de detección de condiciones favorables para la aparición de plagas y enfermedades, entre otros.

Si las EMA de una red se han instalado y se mantienen de acuerdo con las recomendaciones de BP, podrán ser incorporadas a las redes regionales o nacionales oficiales, lo cual implicará para los propietarios (empresas

privadas o instituciones públicas) importantes ventajas adicionales. En principio, se contará con el control oficial de calidad de datos, que cumple con las normas internacionales establecidas. Esto es muy importante, ya que garantiza la buena calidad de los productos derivados de estos datos controlados.

Otra ventaja es que los datos provenientes de esta red podrán ser incorporados a la elaboración del pronóstico meteorológico regional. Con mayor cantidad de datos de entrada, el pronóstico tendrá localmente mejores niveles de acierto, con los consecuentes beneficios en la toma de decisiones a corto plazo. Si bien en los modelos de pronóstico actuales se incorpora información satelital, el nivel de acierto de los pronósticos sigue dependiendo fuertemente de la disponibilidad de datos de entrada medidos en estaciones meteorológicas.



#### *¿Qué debe tenerse en cuenta al diseñar una red?*

Las redes de estaciones meteorológicas son más que un conjunto de estaciones. Muchas veces las redes surgen de la reunión de EMA preexistentes, instaladas con distinta finalidad, que corresponden a modelos o fabricantes diferentes, con sistemas de comunicación disímiles. En este caso, se debe trabajar arduamente en su integración. En cambio, si se planifica una red desde el comienzo, se pueden proyectar los lugares de emplazamiento y la cantidad de EMA por instalar, entre otros factores importantes, de forma que la red resulte óptima.

Para el diseño de toda red de observación, se aplican los siguientes criterios:

- a) El emplazamiento de cada estación debe ser representativo de las condiciones existentes, tanto en el terreno como en el tiempo.
- b) La separación de las estaciones y los intervalos entre las observaciones deben corresponder con la resolución espacial y temporal deseada de las variables meteorológicas que han de medirse u observarse.
- c) El número total de estaciones debe ser tan pequeño como sea posible, por razones de economía, pero tan grande como se precise para satisfacer las necesidades de detalle.

Las variaciones en el espacio (terreno) y en el tiempo difieren de una variable meteorológica a otra y dependen de la topografía de la zona. Ciertas variables, tales como la precipitación, pueden requerir entre estaciones una separación de 10 km en ciertas zonas, por varias razones. Cuando se trata de variables tales como la presión, por ejemplo, será suficiente una separación de 100 km entre las estaciones. Esto permite pensar en la posibilidad de combinar EMA (que midan distintas variables) con pluviómetros automáticos (que aseguren una mejor representatividad de la variable precipitación).

La homogénea distribución de las estaciones de observación por lo general resulta adecuada para los análisis y predicciones numéricas. Sin embargo, puede ser necesaria una densidad de estaciones ligeramente superior para los efectos de la predicción local o zonal, es decir, para reflejar las diferencias

que existen entre las condiciones costeras y las condiciones terrestres, o entre el tiempo en los valles y el tiempo en las laderas montañosas. Inversamente, una densidad menor en zonas de poca variación topográfica podría ser suficiente.

La separación entre las estaciones debe permitir obtener valores suficientemente precisos de las variables meteorológicas requeridas en cualquier punto situado entre dos estaciones mediante una interpolación visual o numérica. Para ello se deben tener en cuenta los efectos que la topografía ejerce en la variación de las variables de interés. Es decir, si las estaciones son innecesariamente numerosas, el aspecto económico se verá perjudicado, pero si se hallan excesivamente separadas, la red no podrá representar en forma correcta las situaciones locales.

### *¿Qué debe considerarse al elegir los emplazamientos?*

Antes de elegir el lugar de emplazamiento de una nueva EMA y si existen diferentes opciones, las siguientes preguntas ayudarán a tomar una decisión correcta:

- a) ¿Cumple el sitio elegido con las recomendaciones de BP para la instalación de una estación meteorológica?  
Estos requisitos son los mismos que se describieron anteriormente para la instalación de un pluviómetro convencional o automático y para otros sensores.
- b) ¿Es el emplazamiento representativo de los datos meteorológicos que se van a medir?  
Por ejemplo, si se trata de una pendiente de terreno o una loma, tal vez las temperaturas mínimas registradas por la EMA no serán representativas de toda el área que se desea caracterizar.
- c) ¿Continuará siendo representativo el emplazamiento, de acuerdo con los planes existentes o previstos de construcción o de cambio de vegetación, por ejemplo?  
En lo posible, deben evitarse los traslados de una EMA a otro sitio. Por ello es importante efectuar una evaluación previa si no se prevé la construcción de una infraestructura en las inmediaciones o si la parcela podría llegar a arrendarse o venderse.
- d) ¿Existen servicios como energía eléctrica o telecomunicaciones?  
La EMA puede funcionar con energía provista por la red eléctrica o poseer baterías que se recargan por medio de paneles solares. La comunicación con el equipo receptor puede tomarse de un cable enterrado o de forma inalámbrica, según la disponibilidad de distintas señales de telefonía.
- e) ¿Hasta qué punto se necesitan medidas de seguridad contra rayos, inundaciones, vandalismo, robo u otras incidencias y cómo pueden tomarse estas medidas?  
Estos hechos pueden generar un desembolso imprevisto y la discontinuidad en las mediciones por algún tiempo. También puede considerarse la opción de asegurar los equipos, lo cual no evitará la irremediable pérdida de datos.

Existe una comprensible tendencia a elegir emplazamientos para las estaciones en terrenos que no se pueden utilizar para otra cosa (zonas áridas, inundables, con importante pendiente del terreno). Solo en muy pocas ocasiones estos terrenos coinciden con los intereses meteorológicos, que son los que deben determinar en primer lugar si el emplazamiento es o no adecuado. Debe considerarse, además, que son más costosas y frustrantes las largas listas de observaciones para demostrar que dichos terrenos no son apropiados para los emplazamientos.

### *¿Qué debe tenerse en cuenta para elegir variables de medición?*

Durante la fase de planificación de una nueva EMA o de una red, se deben considerar varios aspectos relacionados con el tipo de estación y sus componentes, es decir, los sensores que se incluirán. Es mejor comenzar con menos sensores y asegurarse de que las EMA adquiridas posibilitarán la incorporación posterior de otros, si fuera necesario. Durante esta fase, las personas responsables del desarrollo de la red de observación deben reflexionar sobre estas preguntas:

- a) ¿Cuál es el propósito de la red? ¿Qué productos se espera obtener y qué variables se deben medir?  
Para uso agroclimático, se ha señalado que la precipitación, debido a su impacto en los resultados y su gran variabilidad, es en general la primera variable por considerar. Una opción económica es la EMA que mide precipitación, temperatura y humedad relativa. Es deseable también la inclusión de sensores para medir radiación y viento.
- b) ¿Cuáles son las normas y definiciones para las mediciones que se desean tomar?  
Cuanto más se acerquen estas normas a las recomendaciones de BP, mayor será la garantía de utilidad de los datos en la generación de productos y la posibilidad de incorporación a una red nacional, con los beneficios que esto implica.
- c) ¿Cuáles son las necesidades generales de la red, relativas a la inspección y el mantenimiento, la supervisión de las prestaciones del sistema y el control de calidad de los datos?  
Como se señaló anteriormente, la mayor inversión inicial implicará después menos gastos de mantenimiento. Se recomienda que la supervisión y el control de calidad de datos estén a cargo de un profesional competente (meteorólogo) o no se podrá garantizar la eficacia de los productos generados.

# Capítulo 3

## Buenas prácticas en la generación de datos agrometeorológicos

### **Control de calidad**

- ¿Qué significa que un dato sea de calidad?
- ¿Cuáles son los pasos para establecer un sistema de control de calidad?
- ¿Cómo se controla la calidad de datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas?
- ¿Cómo se controla la calidad del hardware de una estación meteorológica automática?
- ¿Cómo se controla la calidad de las series de datos de lluvia?

### **Metadatos**

- ¿Qué es un metadato?
- ¿Qué tipo de metadatos deben registrarse?

### **Almacenamiento de los datos y metadatos**

- Almacenamiento de datos pluviométricos
- Almacenamiento de datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas
- Acceso a los metadatos



# Control de calidad

Calidad significa hacer lo correcto cuando nadie está mirando.

*Henry Ford*

## *¿Qué significa que un dato sea de calidad?*

La calidad de los datos corresponde a la medida en que cumplen con la finalidad para la que se produjeron. Está directamente vinculada con su capacidad de satisfacer esta finalidad.

Ante la pregunta: ¿este conjunto de datos posee buena calidad?, existen dos respuestas:

- Sí, porque sirven.
- No, porque provienen de un instrumento que no cumple con las normas recomendadas o porque algunos datos son dudosos, presentan errores, faltan muchos datos, entre otras razones.

Un conjunto de datos no confiables o que no se está disponible cuando se necesita, no sirve para ningún propósito. Tener datos “malos”, es decir, de mala calidad, es como carecer por completo de información. O peor, sin control de calidad, los errores podrían pasar desapercibidos y dar como resultado productos erróneos que podrán generar decisiones equivocadas.

Para ello conviene efectuar una adecuada elección de los métodos de control. De esto depende en gran manera el control de calidad y los datos disponibles en el momento de la comprobación. Casi todos los métodos de control de calidad de las observaciones meteorológicas tienen carácter estadístico y siempre habrá cierto riesgo de rechazar valores correctos (y de aceptar valores erróneos). Por ello es necesario que el control de calidad sea ejecutado por un experto, que pueda evaluar cada caso donde el sistema de control automático detecte un dato “dudoso”. El procedimiento de verificación deberá ser realizado por un técnico que conozca con detalle el comportamiento de las variables meteorológicas y sus relaciones físicas. Lo más recomendable es establecer alguna cooperación con alguna institución oficial idónea que ya posea un sistema operativo de control de calidad de datos meteorológicos.

## *¿Cuáles son los pasos para establecer un sistema de control de calidad?*

El objetivo de estas recomendaciones es establecer un sistema de verificación de la calidad, en el que se suman distintos métodos de control. Es necesario comenzar con las verificaciones básicas, para identificar si los datos se sitúan entre los límites determinados. Los métodos de verificación de la coherencia interna y de la coherencia temporal pueden parecer más complejos, pero no resultan laboriosos una vez automatizados.



Cada uno de los pasos se describe a continuación:

### *1. Verificaciones de los límites para detectar errores graves*

Se verifica que los valores reportados no salgan de un intervalo dado, que teóricamente contiene todo el rango posible de observaciones. Se aconseja que estos límites se definan mensualmente o como mínimo cada estación del año. Por ejemplo, para cierta localidad, se puede establecer que en verano los valores de temperatura no pueden estar por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$  ni por encima de  $50^{\circ}\text{C}$ .

Las comparaciones con límites que dependen de la zona y del momento del año pueden realizarse para la velocidad del viento, la temperatura del aire, la temperatura del punto de rocío, la presión en la estación, entre otras. Los límites pueden modificarse y tal vez reducirse sobre la base de estadísticas climatológicas mejores o de la experiencia del técnico a cargo.

Estas verificaciones de límites solo permiten detectar errores de observación muy toscos. Sin embargo, ofrecen la ventaja de que requieren recursos limitados. El resultado de estas verificaciones puede ser una clasificación en valores correctos, sospechosos o erróneos.

### *2. Verificaciones de la coherencia interna*

Se realizan a partir de la comparación entre datos del mismo reporte (momento) de una estación. Los distintos parámetros o valores de los datos reportados por las estaciones se verifican entre sí y se consideran sospechosos o erróneos los que no concuerdan con el resto de la información. Por ejemplo, es sospechoso que, al estar lloviendo, la humedad relativa sea del 50 %. O es erróneo que la temperatura máxima de la última hora sea menor que la mínima.

### *3. Verificaciones de la coherencia temporal*

Para verificar la coherencia en relación con el tiempo, se utiliza la información de reportes consecutivos procedentes de la misma fuente. Se establece una tolerancia para la diferencia entre el valor de una variable en un momento de observación y el valor de esta en la observación siguiente. Si la diferencia es demasiado grande, el dato se considera sospechoso. Por ejemplo, será sospechoso si en un reporte dado la temperatura es de  $22^{\circ}\text{C}$  y en el reporte de la hora siguiente es de  $38^{\circ}\text{C}$ .

### *4. Verificaciones de la coherencia espacial (prueba de contigüidad)*

La información de estaciones meteorológicas cercanas puede utilizarse para realizar comparaciones. Se compara cada par de observaciones próximas: si son similares, es probable que sean ambas correctas o ambas erróneas; si difieren mucho, una de ellas es probablemente correcta y la otra errónea.

En los métodos de interpolación estadística, es posible interpolar o analizar cada una de las observaciones de una zona utilizando las observaciones del resto del área. En el procedimiento de interpolación se excluye la observación por analizar y se obtiene un valor interpolado. Este valor preliminar debería ser similar a la observación. Si no, es muy probable que la observación sea errónea.



¿Cómo se controla la calidad de datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas?

El propósito del control de calidad en una EMA es minimizar automáticamente el número de observaciones inexactas y el número de observaciones faltantes, utilizando para ello hardware y software apropiados. Los archivos controlados aseguran la calidad y consistencia de los datos. El control de calidad de datos es el último eslabón de la cadena que asegura una información básica confiable: BP de instalación, comunicación, mantenimiento, reparación y calibración de instrumentos, seguidas de BP de control de calidad de datos.

El control de calidad de los datos registrados es el último eslabón de la cadena que asegura una información básica confiable.

En las EMA modernas, el resultado de los procesos de control de calidad de datos puede revelar que una medición es sospechosa o errónea. Esta notificación se suma al reporte de autoexamen que chequea el funcionamiento del equipo y mejora la posibilidad de detectar un mal funcionamiento de los sensores.

Las distintas alternativas o pasos para el control de calidad de datos provenientes de una EMA son equivalentes a los descritos anteriormente para una variable meteorológica en general:

- Verificaciones de los límites (intra-sensor check)  
La señal del sensor es chequeada al inicio del proceso, comparando la medición con el rango de valores probables. Si se sale de rango, se considera un dato sospechoso y deberá verificarse.
- Verificaciones de coherencia interna (inter-sensor check)  
Es posible detectar errores en un sensor al comparar la medición con las de sensores de otras variables relacionadas físicamente. Por ejemplo, si la velocidad del viento es cero (calma) en un período dado, pero durante este la dirección del viento cambia, es posible que esté fallando el anemómetro.
- Verificaciones de la coherencia temporal  
Se compara cada medición con la anterior con el fin de identificar “saltos” o variaciones temporales que superen el rango esperado, como por ejemplo un aumento de la temperatura del aire de 5°C en 10 minutos. Este tipo de error es más fácil de detectar en las estaciones automáticas, que registran mediciones en intervalos temporales menores. También se deben identificar casos donde la medición comienza a ser constante en el tiempo, lo que representa una señal de que algo puede estar fallando.
- Verificaciones de la coherencia espacial  
La posibilidad de reunir los datos de la EMA con los de otras estaciones (red) ofrece la ventaja adicional de comparar los valores medidos por un sensor determinado con los equivalentes en otros equipos, con lo cual se pueden detectar errores sistemáticos que no podrían ser determinados de otra manera.

Es importante volver a destacar que si la EMA reporta a una red oficial (servicio meteorológico del país), se tendrá la seguridad de que los datos registrados serán sometidos a estos controles de calidad, recomendados por la Organización Meteorológica Mundial.

### ***¿Cómo se controla la calidad del hardware de una estación meteorológica automática?***

Como se mencionó antes, existe una cadena de BP que asegura la confiabilidad de la información relevada. Incluye el autoexamen periódico que efectúa la EMA, la calibración periódica de los sensores y el análisis de la calidad de los datos. Ahora se hará referencia a la calibración.

Las mediciones que realizan los sensores de una EMA pueden variar su exactitud con el tiempo y, consecuentemente, necesitan inspecciones y calibraciones regulares. En principio, la frecuencia de calibración es una de las especificaciones recomendadas por el fabricante. El análisis de calidad de datos también pondrá en evidencia si es recomendable una calibración de los instrumentos. También los módulos de transmisión de datos, conectores, entre otros, forman parte del proceso de adquisición de datos y deberán chequearse periódicamente. A continuación se detallan los momentos en que se realizan las calibraciones:

#### ***1. Calibración inicial***

Se recomienda la comunicación con el fabricante para verificar si se ha realizado una calibración inicial en laboratorio, anterior al procedimiento de instalación de la EMA, para asegurarse de que el transporte de los sensores y otros elementos hasta el sitio de ensamble (laboratorio) no han afectado las características de medición del equipo.

#### ***2. Inspección a campo***

La comparación periódica de los sensores de la EMA con sensores estandarizados transportados hasta el sitio de emplazamiento a campo es un requerimiento indefectible para monitorear el correcto funcionamiento de los sensores. Para que el equipo de calibración llevado al sitio de emplazamiento sea capaz de detectar pequeños desvíos en las mediciones de la EMA, este deberá tener una sensibilidad mayor que la de los sensores por calibrar y deberá permanecer expuesto a las mismas condiciones del entorno de la EMA por un largo período.

#### ***3. Calibración en laboratorio***

Luego de la inspección en el campo, es probable que algún sensor deba ser reemplazado. Si puede ser reparado, deberá volver a calibrarse en el laboratorio. Lo mismo puede suceder con los componentes que condicionan la señal: en el laboratorio se podrá efectuar un control de voltaje, corriente, capacitancia, resistencia, entre otros.

### ***¿Cómo se controla la calidad de las series de datos de lluvia?***

El control de la calidad de los datos de las precipitaciones es semiautomático; es decir, tiene una primera fase automatizada de detección de valores “dudosos” y una segunda fase manual que consiste en la revisión de los datos dudosos identificados por un experto debidamente capacitado. Se procede a corregir los errores obvios de los datos de precipitación, en la medida de lo posible. A



los datos que son indiscutiblemente incorrectos se les asigna la clave con que se identifican los valores faltantes, como por ejemplo “-1” o “9999”.

La parte automática del procedimiento de control no ha sido concebida para la corrección de los datos, sino para reducir el número de datos que requieren control visual. Un control de la calidad totalmente automático eliminaría todos los datos dudosos y, dada la elevada variabilidad de la precipitación, se estarían eliminando seguramente también gran cantidad de datos correctos, en particular los valores extremos.

Para conservar los datos extremos verdaderos y, al mismo tiempo, eliminar los datos que claramente son incorrectos del sistema de análisis, evidentemente es imprescindible una verificación visual de los datos dudosos, aunque resulte muy laboriosa.

En el capítulo 2 se han descrito detalladamente los errores más comunes en la medición y registro de datos de precipitación (pluviómetros convencionales). Si la serie pluviométrica adolece de algunos de estos errores, esto quedará en evidencia en el control de calidad, ya sea en la fase automática como en la manual.

## Metadatos

Lo bueno no es bueno  
si se espera algo mejor.

*Thomas Fuller*

### *¿Qué es un metadato?*

Si se mide la precipitación con el fin de utilizar estos datos en el futuro, se necesita también documentar dónde y cómo fueron realizadas las mediciones. Esta documentación corresponde a información sobre los datos o “datos sobre los datos”, es decir, metadatos. Los metadatos deben reflejar cómo, dónde, cuándo y por quién fue recogida la información. Idealmente, los metadatos completos deben reflejar todos los cambios que una estación (o un simple pluviómetro) ha experimentado durante el curso de su vida. Con estos se compone la “historia de la estación”.

Los buenos metadatos le brindan a su usuario final certeza de las condiciones en las que datos se registraron, recopilaron y transmitieron, y así le permiten extraer conclusiones exactas para su análisis. El conocimiento de la fecha justa en que un termómetro fue substituido y las características técnicas del instrumento nuevo y del viejo ayudarán seguramente a quitar la huella digital no-climática de este cambio.

Los datos meteorológicos son influenciados por una amplia variedad de prácticas de observación. Los datos dependen del instrumento, de su exposición, de los procesos de registro y de muchos otros factores. Los metadatos completos documentan y describen la historia de una estación desde su establecimiento al presente.

### *¿Qué tipo de metadatos deben registrarse?*

Es necesario guardar un registro de todos los metadatos posibles para optimizar su uso. A continuación se detallan los distintos tipos de metadatos recomendados para su registro, lo cual puede efectuarse sencillamente en una libreta o en formato digital estandarizado si se trata de una red de pluviómetros o EMA.

### 1. Identificadores de estación

Los datos siempre pueden asociarse a un lugar geográfico, así que lo primero que se necesita saber es a qué lugar del mundo pertenecen. Para esto, cada estación meteorológica o pluviométrica debe ser identificada por nombres o códigos. También es importante identificar cuándo comenzaron a recolectarse los datos y por quién. Esta información, además de cualquier cambio en esta, forma parte de los mínimos metadatos requeridos.

Los identificadores de una estación particular son los siguientes:

- **Nombre**  
Usualmente se relaciona con la ciudad o sitio de referencia, por ejemplo, “La Fortuna - Córdoba”. Siempre deberá referirse a esta fuente de datos de la misma manera, ya que cualquier cambio, como por ejemplo “La Fortuna (Córdoba)”, producirá problemas en la base de datos.
- **Número de estación**  
Se recomienda asignar un número o clave alfanumérica a cada una de las EMA o pluviómetros que conforman una red. Las instituciones nacionales poseen códigos de numeración según estándares internacionales, pero las redes particulares pueden establecer su propio criterio, siempre que logre asentarse con claridad.
- **Datos de inicio y cierre**  
Identifica cuándo comenzó a operar la EMA o el pluviómetro y, eventualmente, cuándo dejó de funcionar.
- **Tipo de estación**  
Informa si se trata de una EMA, una estación pluviométrica, termo-pluviométrica, agrometeorológica u otra.
- **Información de contacto**  
Identifica la institución o persona responsable y provee detalles de dirección, teléfono, fax, correo electrónico, entre otros datos particulares.
- **Modificaciones**  
Incluye toda la información acerca de modificaciones en nombres o códigos, tipos de estación u otras.

### 2. Datos geográficos

Los datos meteorológicos están asociados a una localización geográfica y los siguientes datos son necesarios para el manejo de la información:

- **Latitud y longitud**  
Preferentemente deben consignarse las coordenadas geográficas con suficiente aproximación como para ubicar a la estación con un error de pocos metros, a lo sumo (cuatro decimales). Es importante que toda la red consigne las coordenadas con el mismo criterio: siempre en grados y décimas de grados o siempre en grados, minutos y segundos.
- **Elevación sobre el nivel del mar**  
La elevación del suelo de la estación sobre el nivel del mar debe reportarse con una aproximación



de pocos centímetros. Si la estación mide presión atmosférica, también debe reportarse la altura de la base del barómetro para disponer de información precisa del nivel de presión de referencia.

- **Relocalización**

Cuando la estación se desplaza (aún una corta distancia), es importante reportar como metadato la nueva localización y el momento exacto del cambio.

### 3. Información del entorno

Los datos están influenciados por factores de diferentes escalas, como la proximidad de cuerpos de agua de gran extensión, áreas urbanizadas y montañas, la inclinación del suelo, proximidad de bosques, cultivos u obstáculos cercanos como árboles o casas, entre otros.

Los requerimientos básicos para la documentación del entorno de la estación son:

- Algún tipo de mapa actualizado de la región.
- Mapa del entorno cercano de la estación, actualizado cada vez que haya cambios significativos. Basta un simple croquis.
- Fotografías, tomadas desde todos los puntos cardinales y a suficiente distancia, actualizadas cada vez que haya cambios significativos.

### 4. Tipos de instrumentos

Es importante documentar el tipo de instrumento de medición. Si se trata de un pluviómetro, se deben consignar como mínimo las siguientes características principales:

- Diámetro del aro (área de captura).
- Altura del aro desde el suelo.

En el caso de las EMA, deberían incluirse los siguientes metadatos, los cuales serán solicitados al fabricante:

- Fabricante.
- Modelo.
- Tipo de sensor y su sensibilidad.
- Tipo de comunicación.
- Tiempo de respuesta.

### 5. Registro y transmisión de datos

Especialmente en una EMA, se debe consignar la forma como se registran y archivan los datos, cómo se accede a ellos y cómo se transmiten. Los metadatos por incluir son:

- Unidades de cada registro, tiempo de respuesta y período promediado. Hay tres aspectos importantes: cuándo se toma una medida, cuándo se registra un proceso efectuado con esas medidas y el tipo de proceso realizado (promedio, máximo o mínimo).
- Forma de transporte de la señal (cable telefónico, descarga manual, interrogación por telefonía celular, interrogación satelital y otros).



## 6. Prácticas de observación y mantenimiento

- **Observador**

Si se trata de un pluviómetro, es importante anotar el nombre del observador, saber si se trata siempre de la misma persona o si se turnan otras. Es recomendable que se consigne en una libreta cuándo se realizaron tareas de limpieza o reemplazo de piezas, corte de pasto en el predio, entre otras tareas. Esto forma parte de la observación que el encargado debe realizar.

- **Momento de las observaciones**

Un elemento crucial es la documentación de los horarios en que se realiza la observación del pluviómetro. Deben incluirse referencias sobre omisiones por vacaciones del personal, días feriados o fines de semana. También se deben registrar los cambios en los husos horarios nacionales, pero no modificar los momentos de observación.

Las EMA pueden medir diferentes variables, por lo que es importante registrar los elementos observados (precipitación, temperatura, humedad u otros) y actualizar este listado cuando se realicen supresiones o ampliaciones.

- **Elementos observados**

Debe elaborarse una lista de las variables medidas en la EMA y de los cambios que se hayan efectuado.

- **Rutina de mantenimiento**

Se incluirán datos sobre cuándo se realizan tareas de mantenimiento y chequeo de la calibración de los instrumentos.

## 7. Procesamiento de datos

La información sobre cómo se procesaron, validaron y transmitieron los datos puede consignarse en forma de metadatos.

- **Unidades**

Debe generarse información acerca de las unidades utilizadas, ya que difieren entre los distintos países (por ejemplo, temperaturas en grados Celsius o Fahrenheit).

En particular, es importante consignar las unidades en que se registran los datos de humedad de suelo mediante sondas subterráneas, ya que también difieren según el tipo de instrumento.

- **Códigos especiales**

Los registros de datos usualmente incluyen códigos especiales para reportar situaciones especiales, como datos faltantes, datos erróneos, trazas de precipitación, ausencia de precipitación y otros. Por ejemplo, para la precipitación diaria:

pp = "blanco"	no se registró precipitación
pp = 0	rastros o trazas (pp < 0,1 mm)
pp = -1	dato faltante

- **Cálculos**

Otros cálculos realizados en forma automática por el software de la EMA, como por ejemplo el cálculo de la evapotranspiración, deben especificarse y documentarse. Esta información debe proveerla el fabricante.

- **Control de calidad**

Como requerimiento mínimo, los datos deben llevar asignados metadatos donde se indique que fueron sometidos a control de calidad o no. Si la respuesta es positiva, se recomienda ampliar esta información con datos sobre el tipo de control realizado y detalles de las técnicas aplicadas.



Los requerimientos de metadatos por ser registrados en una EMA, sugeridos por la OMM, se detallan en el cuadro 3. Es cierto que en algunos casos el registro de cambios lleva tiempo, pero se recomienda mantenerlo actualizado de acuerdo con los estándares establecidos para estos efectos.

**Cuadro 3. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation – OMM 8 (2008).**

Categoría	Metadato	Comentarios
Identificador de la estación	Nombre y alias Activa / inactiva Inicio / final de los datos Tipo de estación Organismo responsable Manual / automática Zona horaria Red de pertenencia	Incluir códigos locales para mejor identificación y determinación de la pertenencia de la estación.
Datos geográficos	Latitud Longitud Elevación Fecha de relocalización Información topográfica	Consignar si se trata de latitud N/S o longitud E/W. Consignar si las fracciones de grado son minutos y segundos o centésimas de grado.
Datos del entorno local	Uso / cobertura del suelo Localización del instrumental Tipo de suelo Fotografías Plano del lugar	Consignar obstáculos, crecimiento de poblaciones aledañas, nuevas construcciones cercanas u otros.
Instrumentación y mantenimiento	Características y montaje de los instrumentos Tipo de registro Resultado de las calibraciones Mantenimientos (o su falta) Modificaciones Altura del barómetro	Reportar las características de los instrumentos, precisión, calibración, mantenimientos, cambios, datos transmitidos.
Prácticas de observación	Lista de elementos observados Frecuencia de observación Unidades utilizadas Rutina de mantenimiento Reemplazo de sensores Correcciones realizadas	Documentar qué elementos son observados y cuándo. Reportar el momento exacto en que se realizan tareas de mantenimiento de los instrumentos y correcciones realizadas en los datos.
Procesamiento de datos	Unidades Códigos especiales Cálculos Control de calidad (sí / no) Detalles de control de calidad	Reportar el criterio adoptado para datos faltantes (código) Reportar si hay más de un instrumento que mide la misma variable y, en ese caso, indicar cuál tiene prioridad en el reporte.
Eventos históricos	Cambios en el entorno social, político o institucional. Fechas sin energía eléctrica Huso horario	Agregar todo cambio significativo en el contexto de la estación que pueda haber alterado los datos.
Comunicaciones	Tipo de señal de transporte para la transmisión de datos	Aportar la evaluación de la calidad de las observaciones.

## Almacenamiento de los datos y metadatos

Toda información es importante  
si está conectada a otra.

*Umberto Eco*

### *Almacenamiento de datos pluviométricos*

Recuérdese que las mediciones agrometeorológicas se realizan con el propósito de que los datos recogidos puedan archiversse o almacenarse y ser utilizados posteriormente con facilidad.

Con respecto a los datos pluviométricos, se recomienda fuertemente conservar el valor diario de la precipitación acumulada, es decir: medir, registrar y archivar el dato de lluvia acumulada en 24 horas y no acumular montos de varios días. Para uso agronómico, es muy diferente el aporte de cierto milimetraje repartido en varios días que el efecto de ese mismo valor concentrado en un solo día.

Existe una tendencia a conservar solo los datos de precipitación acumulados mensualmente y descartar los valores diarios. Estos acumulados mensuales pueden ser útiles para estudios climáticos, pero para fines agrometeorológicos es claro que, si se han registrado 100 milímetros en un mes, su impacto en la actividad no será la misma si esos 100 milímetros se repartieron en lluvias pequeñas a lo largo de todo el mes o si se registraron en uno o dos días de lluvia intensa.





Los datos diarios medidos en el pluviómetro pueden consignarse en una libreta, pero es preferible que se transcriban a una planilla digital. Es importante recordar que en la planilla (en papel o digital) deberán constar también los metadatos: hora de la medición, nombre del observador, comentario del estado general del tiempo, posibles inconvenientes en el momento de la medición (volcado), motivo de la falta de dato (ausencia del encargado).

#### ***Almacenamiento de datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas***

Los datos procesados, incluidos los informes de control de calidad y los autoexámenes que genera el equipo, deben ser almacenados, lo cual implica el manejo de una gran cantidad de información en forma de base de datos. La cantidad de campos de la base de datos depende de la máxima cantidad de sensores que tenga (o pueda llegar a tener) la EMA, sin olvidar los campos correspondientes a los informes de autoexamen del hardware y los derivados del control de calidad de los datos.

La EMA puede tener una capacidad de almacenamiento limitada. Por ello los datos nuevos se almacenarán en la memoria sobre los más viejos. En consecuencia, se perderán si no se ha descargado la memoria en un disco o soporte de almacenamiento de datos independiente. Se recomienda que la conexión de la EMA al soporte de almacenamiento de datos permita la automatización de la descarga de la información y a intervalos predeterminados.

#### ***Acceso a los metadatos***

Cuanta mayor y mejor sea la información metadatos almacenada como metadatos, mayor posibilidad de aplicaciones, primero para los proveedores de datos, pero también para los usuarios. La historia de la estación meteorológica comienza cuando se instala (identidad, localización, instrumental, prácticas de observación, mapas, imágenes, fotografías) y debe ser actualizada continuamente hasta su cierre. Durante este tiempo, seguramente habrá cambios internos (instrumentos o relocalización, por ejemplo) y externos (como en el uso del suelo en el entorno). Estos cambios serán factores que influenciarán a los datos observados y, por lo tanto, es necesario compilarlos en la historia de la estación.

Con el propósito de efectuar un control de calidad sobre los datos observacionales “sospechosos”, la disponibilidad de metadatos acerca de la situación local de la estación puede determinar que se acepten o rechacen.

Si los principales metadatos de las EMA que conforman una red se encuentran integrados en una planilla con formato común, esto permitirá localizar fácilmente aquellas estaciones ubicadas dentro de un área determinada o las que posean un récord específico o que midan una variable definida, entre otras características comunes.



# Capítulo 4

## Buenas prácticas en generación y difusión de productos agrometeorológicos

### **Generación de productos aplicados**

- ¿Quiénes intervienen en la generación de un producto agroclimático aplicado?
- ¿Qué noción se tiene del riesgo climático?
- ¿Qué productos sirven realmente para la toma de decisiones?

### **Escalas meteorológicas en la toma de decisiones**

- ¿Por qué es importante tener en cuenta las distintas escalas?
- ¿Qué relación tienen las escalas meteorológicas con la toma de decisiones?

### **Las probabilidades en la toma de decisiones**

- ¿Qué información aportan las probabilidades?
- ¿Por qué no hay pronósticos con 100 % de acierto?
- ¿Qué se puede decidir en función de probabilidades?

## Generación de productos aplicados

Se debe hacer todo tan sencillo  
como sea posible,  
pero no más sencillo.

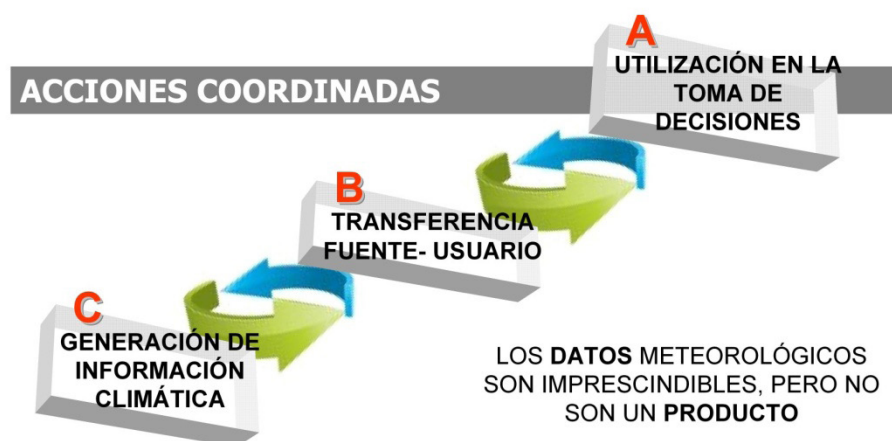
*Albert Einstein*

### *¿Quiénes intervienen en la generación de un producto agroclimático aplicado?*

Existe un sistema ideal de generación - transferencia - utilización de la información climática que en el MERCOSUR presenta dificultades diversas. Es importante comenzar a analizar las fortalezas y debilidades de esta cadena, en el marco del interés actual por la conformación de servicios climáticos. En el sistema ideal, existen tres sujetos con identidad y funciones diferentes (figura 8).

Por un lado, un sujeto genera información climática básica con el fin de que un usuario (un sector de la sociedad) logre utilizarla en la práctica. A este sujeto lo llamaremos C. En este sector se encuentran los grupos de investigación vinculados con universidades u otras instituciones que promueven la investigación científica y técnica aplicada.

### **Figura 8. Esquema de acciones coordinadas para la generación de productos meteorológicos aplicados.**



*Fuente: Elaboración propia.*

En el otro extremo de la cadena se halla el sujeto A, el usuario, que tiene un requerimiento específico y desea utilizar información climática para tomar decisiones. Este sujeto puede estar representado por toda la comunidad, en relación con el pronóstico meteorológico de corto plazo, por ejemplo. También puede tratarse de una empresa de energía, agropecuaria, de turismo, de transporte o instituciones públicas pertenecientes a cualquiera de estos sectores, además de defensa civil, salud y otros.

En medio de estos dos sectores se halla el sujeto B, que es el que puede comprender los resultados hallados por el grupo C, por un lado, y también conoce las necesidades prácticas del grupo A. Este actor intermediario es capaz de generar alguna interfaz apropiada para la transferencia de la información. Se trata de instituciones tecnológicas que utilizan los conocimientos científicos existentes y desarrollan modelos de generación de resultados que transfieren a un usuario específico, al que conocen bien. Un ejemplo son los institutos de investigación agropecuaria y los asesores privados.

En general se piensa que el circuito comienza en C –con el registro de datos meteorológicos y el desarrollo teórico–, pasa a B para que se adapte a la transferencia –al sector agropecuario– y luego llega a A –el productor o la empresa agropecuaria, por ejemplo– para ser aplicado. Sin embargo, este circuito funciona eficientemente solo si lo hace de ida y de vuelta. Es decir: el usuario A tiene un requerimiento específico, lo transmite a B –que es el que tiene mayor conocimiento de su actividad y sus necesidades y a la vez posee la formación técnica necesaria–, el cual a su vez hace llegar a C la sugerencia de desarrollo sobre un tema específico para que este pueda ser aplicado.

La información climática será aplicada si aspira a satisfacer una necesidad real de A, de la cual C debe tomar conocimiento por algún medio. El entendimiento entre A y C se facilita con la intervención de B.

Existe un tipo de información teórica que no espera ser aplicada, sino que apunta a la comprensión y descripción de los fenómenos meteorológicos y climáticos. Esta información se genera dentro del sector C y toma frecuentemente la forma de publicación científica (paper). Si bien es muy valiosa para el entendimiento de los procesos atmosféricos, en este manual no se hará referencia a este tipo de información, sino a la que tiene vocación de aplicación. Otras veces el sector C genera resultados para ser aplicados, pero este objetivo no se logra por diversos motivos. Por ejemplo, se eligió el tema sin saber si era o no una necesidad para el usuario o existen fallas en la transferencia. A esta información se le puede llamar “potencialmente aplicable”, pero no “aplicada”.



### *¿Qué noción se tiene del riesgo climático?*

El usuario de información climática espera que esta le permita tomar una decisión y disminuir el riesgo de su actividad, ya sea un productor que planifica sus tareas de la semana, un gobierno provincial que desea desarrollar un seguro climático para cultivos o una empresa de energía que necesita evaluar la demanda futura.

Muchas veces los usuarios muestran una postura contradictoria y manifiestan una gran avidez por la obtención constante de información climática, pero luego no la utilizan, ya sea porque no se comprende bien, no se ajusta a sus requerimientos, no se dispone de ella en el momento adecuado o simplemente porque se impone una idea de fondo relacionada con la “fatalidad”: de todas formas la ocurrencia del fenómeno climático (sequía, helada, granizo, ola de calor, entre otras) tendrá lugar y “no hay nada que hacer”.

Es interesante que el usuario note –y que esté claro también para los generadores de información aplicada– que el riesgo tiene dos componentes. El riesgo es el producto de dos factores: amenaza y vulnerabilidad (figura 9). La amenaza es la probabilidad de ocurrencia del fenómeno climático adverso, que puede (y debe) medirse cuantitativamente, pero en general no es modificable. La vulnerabilidad de la actividad riesgosa es la que puede disminuirse, tomando decisiones en función de la información climática disponible. Es en este factor donde interviene la información climática como elemento necesario para la disminución del riesgo.

**Figura 9. Esquema de factores que componen el riesgo agroclimático.**



*Fuente: Elaboración propia.*

El esquema de circuito ideal de la información aplicada (figura 8) se relaciona con esta ecuación de riesgo. En general, el sector A es el que está sujeto a un determinado nivel de riesgo, según su actividad, la zona donde la realiza, su nivel tecnológico, entre otros. El sector C es el que posee o puede desarrollar el conocimiento necesario para tomar registros, describir, analizar, cuantificar y, a veces, predecir la amenaza de los diferentes eventos que afectan potencialmente esta actividad. El sector B es el que puede sugerir a A medidas tendientes a minimizar su vulnerabilidad, a la vez que debe ser capaz de transferir a C su conocimiento de la actividad específica del usuario y cuáles son los fenómenos que más la perjudican.

**¿Qué productos sirven realmente para la toma de decisiones?**

Existen usuarios de todo tipo y con intereses diversos, pero todos esperan lo mismo de la información climática: un beneficio. Es importante entonces que los generadores de información climática puedan mostrarle al usuario en qué medida el clima afecta su actividad y que las decisiones que tome serán mejores si cuenta con asesoramiento climático. Son muy escasos los estudios o cálculos realizados para evidenciar los beneficios del uso de la información climática en la toma de decisiones en el sector agropecuario del MERCOSUR.

Desde el principio, se debe considerar que el producto aplicado tiene un fin específico y que el conocimiento generado satisfará una necesidad real. Este producto deberá cumplir como mínimo con estos requisitos:

- Deberá hallarse disponible con la regularidad adecuada.
- Deberá ser comprensible para el tomador de decisiones.
- Deberá lograr reducir el nivel de incertidumbre previo al análisis.

La regularidad en el tiempo también es importante para el usuario, ya que se acostumbra a buscar la información metódicamente, considera así que puede contar con ella y se habitúa a utilizarla en la toma de decisiones. Esta regularidad debe ser compatible con la escala temporal de la toma de decisiones y los momentos críticos dentro de la campaña agrícola.

El formato de la información no es un asunto menor: la misma información en un formato (o lenguaje) puede resultar incomprensible y en otro muy accesible. Los generadores de información deberán esmerarse en lograr un formato (o lenguaje) amigable, lo cual se logra mediante la interacción con el usuario. Una vez diseñado, es recomendable que este formato permanezca sin mayores variantes, para facilitar la consulta del usuario.

Por último, se espera que el tomador de decisiones pueda percibir que gracias al conocimiento adquirido ha logrado disminuir su nivel de incertidumbre, aunque se sabe que siempre habrá aspectos que no se puedan conocer o prever, por bueno que sea el producto.

Es importante tener en cuenta que, incluso si se dispone de productos agroclimáticos optimizados, es necesario que los tomadores de decisiones del sector agropecuario estén capacitados para comprenderlos y valorarlos. La capacitación de los usuarios para el mejor conocimiento y utilización de la información agroclimática redundaría en mejores condiciones para el desarrollo de productos aplicados y un mayor apoyo de la sociedad para la conformación de servicios climáticos en el MERCOSUR, con productos específicos para el agro.

## Escalas meteorológicas en la toma de decisiones

- ¿Cuál es el secreto de su éxito?  
–Buenas decisiones.
- ¿Cómo toma buenas decisiones?  
–Experiencia.
- ¿Y cómo se consigue?  
–Malas decisiones.

*Anónimo*

### *¿Por qué es importante diferenciar las distintas escalas?*

Ya se han definido las distintas escalas meteorológicas y se han dado ejemplos de fenómenos atmosféricos que corresponden a cada una de ellas (capítulo 2). Nos referiremos aquí a la relación entre estas escalas y los distintos tipos de toma de decisión que los usuarios de la información agroclimática deben afrontar.

Existen, por un lado, requerimientos de información que distintos usuarios del sector agropecuario poseen, pero que en la práctica no pueden verse. Esto se debe en general a tres razones:

- La información existe, pero el usuario no la conoce, no sabe que está disponible.
- Por algún motivo, no se genera ese tipo de información, aunque sería factible producirla.
- No es posible generar ese tipo de información.

El desconocimiento del usuario acerca de cierto tipo de información disponible es un problema evidente de comunicación entre los distintos actores de la cadena ideal descrita anteriormente. Otras veces el producto requerido no existe, pero podría desarrollarse. Es decir, existe la posibilidad de generarlo pero no se ha hecho, ya sea porque se desconoce que se trata de información requerida por el usuario, por carencia de recursos económicos u otras causas. En otras ocasiones, el usuario reclama productos agroclimáticos, cuya generación no es posible, por ejemplo, por una cuestión de escalas.

La figura 10 muestra algunos ejemplos de requerimientos de los usuarios que no pueden ser satisfechos, no solo en el MERCOSUR, sino en general. El primer ejemplo se relaciona con el pronóstico del tiempo: el usuario quisiera disponer de un pronóstico de largo plazo (meses), muy detallado y para la localidad donde realiza su actividad. Sin embargo, solo se le podrá ofrecer un pronóstico para su localidad a corto plazo (algunos días) o un pronóstico a largo plazo pero bastante general y para toda la región. Al aumentar el plazo pronosticado, solo es posible referirse a fenómenos de escala más extensa, que abarcan toda una región, y no se lograrían discriminar diferencias locales.

El segundo ejemplo se relaciona más con los costos de generación de los diferentes tipos de información: el usuario desea disponer de un producto agroclimático para su actividad específica y, si es posible, destinar un presupuesto bajo o nulo. Sin embargo, lo que podrá obtener a bajo costo o de forma gratuita es un producto estándar, generado para un amplio espectro de actividades. También podría contratar un servicio específico y así tendría la posibilidad de consultar directamente a la fuente, pero para esto deberá disponer de un presupuesto mayor. De todas formas, generalmente en relación con otros gastos de producción agropecuaria, el costo de la información agroclimática suele ser bajo.

**Figura 10. Esquema de interacción entre requerimientos y oferta posible.**



Fuente: Elaboración propia.



### *¿Qué relación tienen las escalas meteorológicas con la toma de decisiones?*

Las decisiones dentro del sector agropecuario se relacionan frecuentemente con variables meteorológicas o climáticas: se desea entonces conocer su comportamiento futuro (pronóstico) o su comportamiento estadístico (valores normales, extremos probables, frecuencia de ocurrencia). No obstante, cada fenómeno meteorológico corresponde a una escala diferente y es necesario conocerlo, ya que los productos requeridos en cada caso son diferentes y también la forma de interpretarlos.

Por ejemplo, si al inicio de la primavera nos preocupa que “el próximo verano sea seco”, estamos hablando de un pronóstico a largo plazo, que se referirá a características medias de un período extendido. Si nuestra decisión se relaciona con el hecho de “que llueva o no la semana próxima”, se tratará entonces de un pronóstico a corto o mediano plazo, que nos podrá informar acerca de qué días de la semana próxima podría llover y aproximadamente cuánto.

A continuación se presentan algunos ejemplos de decisiones dentro de la actividad agropecuaria relacionadas con distintas escalas meteorológicas:

- Muy corto plazo (horas)

Fenómenos muy adversos, como la caída de granizo o formación de tornados, corresponden a una escala espacial pequeña y solo pueden pronosticarse con horas de anticipación. Es difícil realizar este tipo de predicción sin contar con un radar meteorológico.

- Corto plazo (4-5 días)

Es posible pronosticar a corto plazo (alrededor de 4-5 días) valores diarios de temperatura máxima y mínima, tipo de precipitación y su probabilidad, velocidad del viento, humedad relativa y otras variables, con un grado de acierto satisfactorio. Este tipo de pronóstico es de interés para toda la población. En particular en el sector agropecuario, es la escala que permite considerar las actividades para los próximos días. Más allá de este plazo, no es posible prever los valores de las variables meteorológicas día por día.

- Mediano plazo (semana)

Con una o dos semanas de anticipación, pueden preverse olas de calor, entradas de aire frío, períodos secos o húmedos, períodos ventosos, de forma generalizada para áreas extensas, sin discriminar diferencias entre una localidad y otra. Este pronóstico no puede ser tan preciso como el de corto plazo, pero permite tomar decisiones como las que se mencionan a continuación, entre otras:

- Cosechar tempranamente para evitar daños.
- Planificar el riego suplementario.
- Prever aplicación de medidas de defensa contra heladas.
- Reservar o adquirir alimento para el ganado.
- Elegir momentos apropiados (o inconvenientes) para fumigaciones.

- Largo plazo (meses)

Las previsiones que se efectúan con meses de anticipación solo podrán referirse a condiciones generales para vastas regiones, como vaticinar temperaturas o precipitaciones que se ubicarán en ese largo período “en promedio” por arriba o por debajo de lo normal. No es posible dar más detalles en este tipo de

predicciones y solo se podrá conocer con meses de antelación la probabilidad de que la temperatura o la precipitación se ubiquen por encima o por debajo de los valores medios: no se les llama “pronósticos” sino “tendencias”, para que quede evidencia de que se trata de productos muy diferentes.

No deberá darse crédito a fuentes que pretendan conocer el estado preciso del tiempo con meses de anticipación, no solamente en el MERCOSUR sino en cualquier otro sitio. En los sitios web oficiales de los países más desarrollados del mundo, las previsiones de largo plazo también se expresan como probabilidad de que la temperatura o la precipitación se ubiquen en promedio por encima o por debajo de los valores medios.

Algunas decisiones relacionadas con tendencias de largo plazo son:

- Desarrollar estrategias de comercialización.
  - Determinar cuánta área se destinará a agricultura y cuánta a ganadería.
  - Elegir genotipos y fechas de siembra más adecuadas.
  - Evaluar la contratación de alguna cobertura de riesgo (seguro).
- Muy largo plazo (años)

Esta escala se relaciona con eventos globales, como el cambio climático, que muestran una evolución lenta, la cual se observa con el paso de décadas. Los estudios de cambio climático pueden adelantarse a las posibles consecuencias (favorables o desfavorables) provocadas por las alteraciones previstas en las variables meteorológicas. Este tipo de información puede considerarse en decisiones como las siguientes:

Para productores agropecuarios o empresas del sector...

- Operaciones inmobiliarias (compra o venta de tierras).
- Construcción de infraestructuras.
- Inversión en equipos de riego, canales o aguadas, cosecha de agua.

Para organismos oficiales...

- Diseño de planes de subsidio, emergencia, programas de seguro.
- Administración del agua.
- Planes de prevención y adaptación para pequeños productores.

Los fenómenos meteorológicos corresponden a distintas escalas espacio-temporales y su predictibilidad depende de esa escala.

Al aumentar el plazo del pronóstico, necesariamente aumenta el área asociada y disminuye el nivel de detalle y de acierto de las predicciones posibles.

Ante una toma de decisiones, se debe identificar a qué escala temporal corresponde la decisión, para conocer con qué indicadores meteorológicos se podrá contar y con cuáles no.

# Las probabilidades en la toma de decisiones

La vida es el arte de sacar conclusiones suficientes a partir de datos insuficientes.

*Samuel Butler*

## *¿Qué información aportan las probabilidades?*

“Probable” es algo “que puede suceder”. Significa que cualquier evento meteorológico posible es probable, aunque su nivel de probabilidad sea muy bajo.

Visto desde el punto de vista de la probabilidad de ocurrencia, se pueden mencionar tres circunstancias diferentes:

- Lo que puede suceder.
- Lo que es más probable que suceda.
- Lo que finalmente sucede.

Dentro de lo que puede suceder, se encuentra todo el rango de eventos posibles. Por ejemplo, puede suceder que el próximo enero no llueva en lo absoluto o que las lluvias acumuladas en ese mes quintupliquen el valor normal. Sin embargo, dentro de este intervalo de posibilidades, no todos los valores tienen la misma probabilidad de ocurrencia. Asignarle a cada monto de precipitación un valor de probabilidad es dar información, ya que conocer el valor más probable, aunque sea aproximado, puede ser utilizado en la toma de decisiones.

En relación con los fenómenos meteorológicos, la incerteza es inevitable. Gracias a ella y a partir de la información obtenida, se toman nuevas decisiones. Por ello habrá que tomar decisiones que impliquen necesariamente cierto grado de incertidumbre: habrá que correr un riesgo. Independientemente de su grado de acierto, la predicción probabilística de ocurrencia de eventos meteorológicos es necesaria, ya que las decisiones deben tomarse y es mejor hacerlo con la mayor información posible.

La incerteza es inevitable; por lo tanto, tomar decisiones implicará siempre correr riesgos.

## *¿Por qué no hay pronósticos con 100 % de acierto?*

Si los mecanismos que gobiernan el comportamiento de la atmósfera son procesos físicos conocidos, ¿por qué no es posible pronosticar las variables meteorológicas a más largo plazo y con la misma certeza con la que se puede prever la hora exacta en que saldrá la luna? Debemos saber diferenciar primero entre distintos tipos de fenómenos: algunos obedecen

a leyes deterministas y otros a las leyes del azar.

Un suceso determinista es un fenómeno que da lugar a un resultado cierto o seguro. Es decir, a partir de las mismas condiciones iniciales, tenemos la certeza de lo que va a suceder. Es el caso de un proyectil: lanzado desde un cañón con un ángulo y velocidad inicial conocidos, podremos calcular el lugar del impacto y su velocidad en ese momento.

Un suceso aleatorio es un proceso cuyo resultado no es previsible más que en razón de la intervención del azar. El ejemplo más común es el de arrojar un dado. El resultado de todo suceso aleatorio no puede determinarse en ningún caso antes de que este se produzca. Todos los juegos de azar, como la lotería, se basan en esto.

Los procesos que se dan en la atmósfera ocupan un lugar que podría considerarse intermedio entre el determinismo y el azar: el caos. El caos es la rama de las matemáticas, la física y otras ciencias, que trata ciertos tipos de sistemas dinámicos muy sensibles a las variaciones en las condiciones iniciales. En rigor se trata de sistemas deterministas, pero en ellos pequeñas variaciones en las condiciones iniciales pueden implicar grandes diferencias en el comportamiento futuro, lo cual complica la predicción a largo plazo.

No es posible en la práctica conocer (medir) con exactitud el valor de todas las variables climáticas en todo el mundo y en cualquier altura y nunca se podrá contar con esta información para iniciar los modelos de pronóstico.

La evolución de los fenómenos meteorológicos obedece a procesos caóticos.

Edward Lorenz (1917-2008), matemático y meteorólogo estadounidense, recibió una gran sorpresa cuando observó que pequeñas diferencias en los datos de partida en los modelos de predicción del tiempo (algo aparentemente tan simple como utilizar tres decimales en lugar de seis decimales) llevaban a grandes diferencias en las predicciones del modelo. De tal forma que cualquier pequeña perturbación o error inevitable de medición, en las condiciones iniciales de la atmósfera, puede tener una gran influencia sobre el resultado final.



Lorenz sugirió que un meteorólogo podría encontrarse con una predicción totalmente errónea “por no haber tenido en cuenta el aleteo de una mariposa en el otro lado del planeta”. Ese simple aleteo podría introducir, en teoría, perturbaciones en el sistema que llevarían a la falsa predicción (o a la omisión) de una tormenta. Esto se popularizó a partir de entonces como “efecto mariposa”: un pequeño suceso inicial que puede llegar a determinar situaciones futuras totalmente diferentes. Esta es una característica del comportamiento de un sistema caótico, en el que las variables cambian de forma compleja y errática, lo que imposibilita hacer predicciones más allá de un determinado punto, lo cual recibe el nombre de horizonte de predicciones.

Entonces, por un lado, tenemos procesos que difieren mucho en sus resultados a pesar de que parten de condiciones iniciales muy similares; por otro lado, la determinación de las condiciones iniciales con exactitud en la atmósfera de todo el planeta es físicamente imposible; por lo tanto, la certeza del resultado nunca será del 100 %.

El comportamiento de un sistema caótico solo es previsible hasta cierto horizonte temporal, más allá del cual los resultados se expresan en términos probabilísticos.

### *¿Se puede decidir en función de probabilidades?*

En realidad, es lo que hacemos constantemente en la vida cotidiana: consideramos qué es lo más probable y actuamos en consecuencia, con grandes diferencias entre un individuo y otro. Lo importante es conocer el valor de esa probabilidad y comprender qué significa.

Por ejemplo, si el pronóstico dice que para mañana se prevé una probabilidad de lluvias del 80 %, podemos considerar que es muy factible que llueva. En cambio, si se prevé un 30 % de probabilidad de lloviznas aisladas, debemos entender que lo más probable es que no llueva, aunque no se descarta la posibilidad de algunas precipitaciones débiles aquí o allá.

Existe una sensación subjetiva de nivel de acierto del pronóstico que se relaciona con las experiencias personales. Supongamos que durante una sequía, luego de 20 días sin lluvia bien pronosticados –el pronóstico había sido de “no lluvia” en todo ese período– se anuncian probables precipitaciones para el día 21, pero estas no ocurren: la falsa alarma de ese único día pesará más que los 20 pronósticos anteriores de “no lluvia” que habían sido acertados. Esto se debe a la expectativa que nos generó el pronóstico. Sin embargo, mediciones objetivas muestran buenos niveles de acierto en los pronósticos del MERCOSUR, sobre todo de cuatro a siete días, los cuales se han acercado mucho a los de países altamente tecnificados, a partir del uso de información satelital, entre otros factores. El pronóstico aún se puede mejorar, pero nunca llegará a tener un acierto del 100 %, ni en el MERCOSUR ni en otra parte. La mejora del pronóstico del tiempo y de otros productos dependerá en gran medida de la mayor disponibilidad de datos de buena calidad.

Conocer la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno será evidentemente una herramienta importante a la hora de tomar una decisión relacionada. Sin embargo, siempre puede ocurrir otra cosa, distinta de la que se consideró como más probable. Es importante recordar que es correcta la decisión que se toma en función de lo que se considera como más probable, ya que es la más lógica, aun si lo previsto finalmente no ocurre.



# Capítulo 5

## De la teoría a la práctica: algunos ejemplos de productos agrometeorológicos aplicados

### **Ejemplos de productos agrometeorológicos**

Nueva información disponible

CuantAgua (INIA – Uruguay)

Sepa Móvil (INTA – Argentina)

FruTIC (INTA – Argentina)

## Ejemplos de productos agrometeorológicos

La práctica  
debe siempre ser edificada  
sobre la buena teoría.

*Leonardo da Vinci*

### *Nueva información disponible*

Gracias al avance en la tecnología de las comunicaciones, la información técnica ahora está disponible en tiempo real para la mayor parte de los productores agropecuarios, no solo en sus computadoras, sino también en sus teléfonos celulares y otros dispositivos móviles. Incluso en muchos países se han entregado computadoras portátiles a los estudiantes de las escuelas, lo que ha permitido el acceso a la información web a las familias que no disponían de esta posibilidad.

A partir de estas posibilidades recientes, se han generado diversas aplicaciones agrometeorológicas que ayudan a los productores agropecuarios en la toma de decisiones y definición de tareas y estrategias. Estos nuevos productos no se reducen al pronóstico del tiempo o aviso de condiciones adversas para los cultivos o las labores planificadas, sino que, además, proveen información derivada de la aplicación de modelos físico-matemáticos que recrean las condiciones de los cultivos y el medio ambiente en que se desarrollan.

Actualmente la diversidad de productos agrometeorológicos es muy grande. Sin embargo, como se analizó en el capítulo anterior, son muchos los inconvenientes que se presentan para su aplicación práctica, ya sea por parte del proveedor (formato o lenguaje inadecuado, por ejemplo) o del usuario (desconocimiento de su existencia o falta de hábito para utilizar este tipo de información). Existen productos generados por instituciones públicas o por consultoras privadas. Algunas tienen como objetivo que los productores agropecuarios utilicen dicha información, otras apuntan al asesoramiento de empresas del sector o a la función pública.

A continuación se presentan algunos ejemplos correspondientes a productos online, generados por instituciones públicas, en los que la información agrometeorológica ayuda a orientar a los productores agropecuarios en temas relacionados con decisiones específicas: el manejo del agua, la caracterización de las condiciones de cultivos y animales y su entorno, el manejo de plagas. Los ejemplos no se han elegido solo por la calidad de la información generada, sino también por su aplicabilidad y la forma como se presentan los productos.



### CuantAgua (INIA – Uruguay)

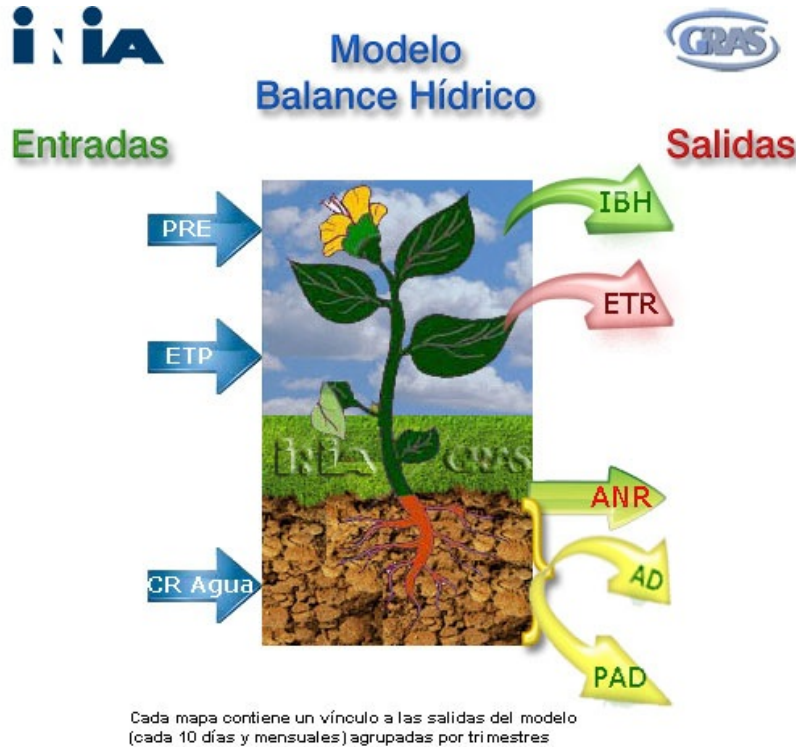
Portal INIA-GRAS

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA – Uruguay)

Información disponible en <http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/unidades/GRAS>

• Producto “CuantAgua”: sistema personalizado de estimación de agua en el suelo.

Información disponible en <http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/unidades/GRAS/Alertas-y-herramientas/cuantagua>



### Introducción

Este sistema de estimación de agua en el suelo, desarrollado por la Unidad GRAS del INIA, tiene como finalidad contribuir en la toma de decisiones de productores, asesores técnicos y otros agentes públicos y privados vinculados al sector agropecuario. Con su utilización, se puede lograr una “estimación” de la disponibilidad de agua en el suelo de chacras, predios y zonas de interés, lo que le permite al usuario incorporar información propia. Dicha estimación debe considerarse solo con fines “orientativos”.

#### - Variables de entrada

Las variables de entrada consideradas en el sistema son las siguientes:

- 1) Capacidad de almacenamiento de agua del suelo.
- 2) Último valor de agua disponible en el suelo.
- 3) Evapotranspiración potencial.
- 4) Precipitación.
- 5) Riego.
- 6) Coeficiente de cultivo (Kc).

Para lograr mayor precisión en la estimación, el usuario puede incorporar el valor de cada variable para el sitio de interés. De cualquier manera, se incluyen valores orientativos de gran parte de las variables de entrada, que pueden ser utilizados en caso de que el usuario no disponga de ellos.

#### *1) Capacidad de almacenamiento de agua del suelo*

La capacidad de almacenamiento de agua del suelo se determina por la capacidad de retención máxima de agua disponible para las plantas de cada tipo de suelo en la zona de actividad de las raíces. Así varía con el tipo de suelo (estructura, textura, profundidad u otra característica) y el tipo de cultivo o pastura considerada. Cada usuario puede disponer de este valor para su sitio de interés específico. Igualmente y a título orientativo, se incluye un vínculo en el cual se presenta un mapa elaborado por la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay (MGAP), donde se identifican áreas de Uruguay con rangos de valores de capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

#### *2) Último valor de agua disponible*

Se refiere a la estimación del valor de agua disponible en el suelo en el momento de utilizar el sistema para una nueva estimación. Para realizar un seguimiento del agua en el suelo, se recomienda comenzar a utilizar el sistema inmediatamente luego de una lluvia abundante: en tal situación, se considera que el suelo estaría con su almacenaje colmado (a capacidad de campo) y, por lo tanto, el valor por incluir en esta variable será igual al de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (variable anterior).

#### *3) Evapotranspiración potencial*

La evapotranspiración potencial o evapotranspiración de referencia es la demanda de agua del suelo por parte de una pastura gramínea, que cubre el 100 % del suelo, en activo crecimiento y con óptimo suministro de agua. El método utilizado es el denominado Penman-Monteith. Se incluye un vínculo para acceder a esta información en las bases de datos de INIA\* y se debe seleccionar la más cercana al sitio de interés.

Disponible en <http://www.inia.uy/investigaci%C3%B3n-e-innovaci%C3%B3n/unidades/GRAS/Clima/Banco-datos-agroclimatico>

#### *4) Precipitación*

Es el total de lluvia ocurrida durante el período previo a la estimación que se quiere realizar. Dada la gran variabilidad espacial de ocurrencia y volúmenes de las lluvias, resulta importante que este valor sea aportado por el usuario, con base en mediciones propias u otras lo más cercanas posible al sitio de interés.

El sistema emplea un coeficiente para estimar la “lluvia efectiva” que se considerará como incorporada al suelo. Asimismo, cuando el valor de las precipitaciones no supera los 5 mm, el sistema descarta ese aporte de agua al suelo.

#### *5) Riego*

En caso de utilizar riego, se debe incluir aquí el valor del volumen de agua los riegos aplicados en el período previo a esta estimación. En caso de no aplicar riego, se deberá dejar este casillero en blanco o incluir el valor de cero (0).

#### 6) *Coefficiente de cultivo*

Como la evapotranspiración potencial o de referencia (agregada previamente) se refiere al consumo de agua de una pastura permanente, se debe realizar un ajuste relacionado con el consumo de agua específico del cultivo de interés. Este consumo de agua del cultivo varía a lo largo de su ciclo con respecto al de una pastura; lo supera en algunos períodos y en otros está por debajo, según de su desarrollo fisiológico (implantación, vegetativo, reproductivo u otro). Es necesario entonces conocer el requerimiento hídrico de cada cultivo particular a lo largo de su ciclo, con respecto al de referencia (pastura).

A la relación entre el consumo de agua de un cultivo y el de una pastura permanente, con óptimo suministro de agua en ambos casos, se la denomina  $K_c$ . Si no se conoce el  $K_c$  del cultivo considerado, se presenta un vínculo donde se encuentra una tabla con distintos  $K_c$  de cultivos estimados en otras partes del mundo. En dicha tabla, se observan los estadios propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) llamados  $K_c$  ini (desarrollo inicial),  $K_c$  med (demanda máxima) y  $K_c$  fin (maduración), con sus valores correspondientes.

En caso de no incluir ningún valor de  $K_c$ , se deberá dejar el casillero en blanco y el sistema tomará por defecto el valor de la evapotranspiración potencial o de referencia”.

#### **- Salidas del sistema**

Las salidas del sistema son:

- 1) Agua en el suelo, que es la estimación que realizó el sistema del contenido actual de agua en el suelo en mm.
- 2) Porcentaje de agua en el suelo, que expresa la cantidad relativa (%) del contenido de agua del suelo estimado por el sistema en relación con la capacidad potencial de almacenaje de agua de ese suelo.
- 3) Precipitación efectiva, que es el valor de precipitación estimado por el sistema para incorporar al suelo.
- 4) Evapotranspiración del cultivo, que es el valor de la evapotranspiración potencial o de referencia corregido por el  $K_c$  del cultivo considerado, si es que se incluyó dicho coeficiente.

#### **- Ejemplo de utilización del sistema**

En la página de CuantAgua se halla disponible un instructivo, del cual se han extraído las características del producto aquí expuestas. Se detallan, además, los pasos por seguir para su utilización. Este instructivo se encuentra en disponible en [http://www.inia.org.uy/online/img/gras/documento\\_instructivo\\_bh.pdf](http://www.inia.org.uy/online/img/gras/documento_instructivo_bh.pdf)

El cuadro 4 muestra un ejemplo de cómo se completan los datos de entrada necesarios en la página web y los resultados o salidas del modelo obtenidos. Para la evapotranspiración potencial, indica “ver datos INIA”. Se ofrece la posibilidad de seleccionar los datos de la estación meteorológica más cercana, ya que es inusual que en un establecimiento se disponga de esta información propia. Para la determinación del  $K_c$ , donde dice “ver información de cultivos”, se ofrecen opciones ya de valores sugeridos.

**Cuadro 4. Ingreso de datos de entrada y resultados estimados en el producto CuantAgua.**

<b>Ingreso de información correspondiente a:</b>		
Capacidad de almacenamiento de agua del suelo	<input type="text" value="120"/>	mm
Último valor de agua disponible	<input type="text" value="120"/>	mm
Evapotranspiración Potencial ( <a href="#">ver datos INIA</a> )	<input type="text" value="55"/>	mm
Precipitación	<input type="text" value="35"/>	mm
Riego	<input type="text" value="0"/>	mm
Kc ( <a href="#">ver información de cultivos</a> )	<input type="text" value="1.2"/>	mm
<b>Resultados estimados:</b>	<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Borrar"/>	
	<input type="button" value="Imprimir"/>	
Agua en el suelo	<input type="text" value="78.5"/>	mm
Porcentaje de agua en el suelo	<input type="text" value="65"/>	%
Precipitación Efectiva	<input type="text" value="24.5"/>	mm
Evapotranspiración del cultivo	<input type="text" value="66"/>	mm

Fuente: Elaboración propia.

Como se dijo anteriormente, conviene tomar como situación inicial un día posterior a lluvias intensas, con lo cual se ingresará el valor de capacidad de campo como “último valor de agua disponible”. Si se quiere evaluar el estado hídrico una semana más tarde, por ejemplo, se colocará en “último valor de agua disponible” el que se haya obtenido como “agua en el suelo” la vez anterior.

Este sistema permite, además de monitorear el estado hídrico de los cultivos en forma personalizada, realizar estimaciones de riego necesario, lo cual contribuye a una mejor administración del recurso.

Referencias sugeridas: INIA 1994 y FAO 2006.

### ***Sepa Móvil (INTA – Argentina)***

Sistema SEPA, Instituto de Clima y Agua

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina (INTA)

Información disponible en <http://sepa.inta.gob.ar/>

- Producto “SEPA Móvil”: Herramientas satelitales para el seguimiento de la producción agropecuaria. Información disponible en [http://sepa.inta.gob.ar/sepa\\_movil/](http://sepa.inta.gob.ar/sepa_movil/)

Es una aplicación para tablets y smartphones, que permite visualizar variables y datos sobre el clima, la topografía, los suelos y el estado de la vegetación. Al usar la aplicación, el dispositivo calcula la posición geográfica a través de la red 3G, WiFi o GPS, o través de una lista predefinida de ubicaciones.

Con esta información, se consultan las bases de datos e instantáneamente se informan en pantalla valores de: precipitación en los últimos 7 y 30 días, precipitación de los últimos seis meses, temperatura, altura y pendiente topográfica y el estado de la vegetación de la campaña actual y su comparación con los máximos, mínimos y promedios históricos. También se obtiene información de la composición del suelo, sus limitantes y sus características principales.

Toda la información utilizada por esta aplicación es de reconocido valor en el ámbito agropecuario: la información meteorológica proviene de la red de estaciones meteorológicas de INTA, el modelo topogénico es provisto por la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), el estado de la vegetación es extraído de imágenes satelitales tomadas con el sensor MODIS y los datos de los suelos son tomados del atlas de suelos de INTA.

Este desarrollo del INTA funciona en cualquier punto de Argentina y se encuentra disponible de forma gratuita para más de 5000 modelos de dispositivos móviles con sistema Android a través del Google Play Store.

#### *- Uso de la aplicación*

Al presionar el botón de actualizar, la aplicación pide a los servidores de INTA datos sobre la ubicación del dispositivo y recolecta dicha información para mostrarla en cada uno de los campos. Según el botón que se presione en el menú de la izquierda, el espacio central de la aplicación presentará información de: estado de la vegetación, gráficas meteorológicas, datos de suelo o información de ayuda.

##### *1) Gráfica de vegetación*

Al presionar el botón de vegetación, aparecerá una gráfica del estado de la vegetación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para el período julio-junio. En la gráfica se mostrarán los valores actuales del índice (línea azul), los máximos y mínimos desde el año 2000 (líneas rojas) y el valor promedio desde el año 2000 (línea verde).

##### *2) Gráfica de meteorología*

Al presionar el botón de clima, aparecerá una gráfica que mostrará las precipitaciones y las temperaturas de los últimos seis meses. En barras azules se visualizará la precipitación acumulada de cada mes en mm/mes y en puntos rojos se verán los valores medios de temperaturas mensuales en grados Celsius.

### 3) Datos de suelos

Al presionar el botón de suelos, aparecerá una leyenda que informará la composición del suelo, sus limitantes (alcalinidad, anegabilidad, drenaje, erosión eólica, erosión hídrica y la principal limitante) y sus características (profundidad, textura superficial, textura del horizonte B e índice de productividad).

Manual del usuario disponible en

[http://sepa.inta.gob.ar/sepa\\_movil/Manual%20Usuario%20Sepa%20Movil%201.0.pdf](http://sepa.inta.gob.ar/sepa_movil/Manual%20Usuario%20Sepa%20Movil%201.0.pdf)

#### ***FruTIC (INTA – Argentina)***

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA – Argentina)

Información disponible en <http://www.frutic.org.ar/>

- Producto “FruTIC”: sistema para la gestión eficiente de la citricultura.

FruTIC es un sistema para la gestión eficiente de los recursos y el cumplimiento de estándares de calidad, a partir de información estratégica y oportuna (en tiempo real), dirigida al manejo integral de los lotes de cítricos y a la prevención de daños gracias a pronósticos y modelos. Es una herramienta nueva que puede definirse como un sistema o plataforma informática de comunicación que brinda al productor de cítricos o técnico información en tiempo real. El sistema consta de un monitoreo constante de plantas y condiciones ambientales, realizado por técnicos del INTA.

El objetivo del FruTIC es favorecer un aumento de la eficiencia productiva de pequeños y medianos productores argentinos de frutos cítricos y el cumplimiento de los requisitos del mercado internacional para contribuir al fortalecimiento de su competitividad.

La principal ventaja que tiene la aplicación de esta herramienta es poder manejar la información sobre el “triángulo de la enfermedad”, que está formado por el hospedante (planta), el ambiente, el patógeno o plaga, que son las tres condiciones para que se produzca una enfermedad. Disponer de esta herramienta brinda a los productores la posibilidad de tomar decisiones técnicas y ahorrar mucho esfuerzo. Es importante controlar las plagas y saber si los mecanismos utilizados han dado buenos resultados. Actualmente, el manejo integrado es el requerimiento de la sociedad y del mercado, pero no es fácil. Para lograrlo, es necesario disponer de una cantidad adecuada de información, lo cual implica un cambio cultural.

Las actividades se focalizaron en el desarrollo e instalación de un sistema para el monitoreo ambiental (Sistema FruTIC) y capacitación en nuevas tecnologías de información y comunicación (TIC) para la gestión ambiental de fincas cítricas, lo cual permite ayudar a los productores a controlar plagas y enfermedades, alcanzar precios competitivos a través del incremento de los rendimientos unitarios y de la reducción de los costos de producción, mejorar la calidad y disminuir el impacto ambiental. También permite sistematizar y ordenar la gestión productiva y finalmente facilitar la certificación, a partir de la integración automática de las prácticas realizadas con información de datos ambientales de plagas, enfermedades y estadios fenológicos, según los requerimientos de las normativas internacionales.

El Sistema FruTIC incluye avisos y alertas de eventos meteorológicos, hídricos, fenológicos, de plagas y enfermedades que llegan a los usuarios a través de diversos medios (mail, mensajería celular, página web). Además, contiene un subsistema llamado RED METEO, que captura en forma automática, centraliza y aplica un control de calidad a los datos estaciones de la zona del INTA, Sistema Meteorológico Nacional (SMN) y a dos nuevas EMA adquiridas especialmente. Dispone de la información meteorológica en tiempo



Estación meteorológica ADCON  
INTA-FruTIC Colonia La Argentina



real para las distintas actividades regionales. Los datos del clima se reciben desde estaciones meteorológicas ubicadas en la zona, los cuales son validados y almacenados en el sistema central.

En las quintas cítricas, se toman datos semanales del cultivo y de las plagas y enfermedades relacionadas, así como datos de manejo adicionales. Esta actividad la realiza el equipo de monitores FruTIC. El sistema central recibe, almacena y gestiona los datos provenientes de las fincas productoras y de las estaciones meteorológicas. Estos datos son analizados por el grupo científico de FruTIC y el sistema central genera información

disponible para diferentes usuarios (productores, técnicos, investigadores), quienes acceden a través de un nombre de usuario y una clave asignada, lo que garantiza confiabilidad, confidencialidad, y disponibilidad instantánea de la información ofrecida por el sistema.

A partir de los datos procesados, se brinda información a través de la página de Internet de FruTIC, correo electrónico, radio, TV y mensajes de texto por celular, mediante dos tipos de servicios:

- a) Información pública y masiva: asociada a factores que afectan al manejo del cultivo en la región (por ejemplo: la presencia de enfermedades cuarentenarias que limitan el acceso a mercados externos).
- b) Información privada: para la toma de decisiones en las quintas. Se accede a esta información a través de perfiles de usuarios.

El uso de mensajería de texto por celular (SMS) permite la información instantánea ante alertas tempranas de tipo meteorológico y de plagas o pronósticos a corto plazo.

El Sistema FruTIC brinda entonces herramientas tecnológicas para optimizar la gestión integral de empresas productoras de cítricos y vincula el desarrollo del cultivo, las condiciones meteorológicas y la evolución de plagas y enfermedades. Estas herramientas permiten al productor cítrico mejorar la gestión integral de las quintas, bajar sus costos y cumplir con requisitos de calidad y precio para mejorar su rentabilidad, de manera que pueda mantener e incrementar sus mercados. El desarrollo de esta herramienta tecnológica se realizó con el conocimiento y el aporte intelectual del INTA en el cultivo de cítricos, fue soportada en una solución TIC diseñada y desarrollada por Fundación Trazar y financiada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN).





# Referencias

Estación Meteorológica de Ojáiz-Peñacastillo. s.f. Meteorología para todos. Disponible en [http://ojaizmet.blogspot.com.ar/2011\\_11\\_01\\_archive.html](http://ojaizmet.blogspot.com.ar/2011_11_01_archive.html)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje no. 56. Rome, IT. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s.pdf>

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 1994. Manejo de la información agroclimática para apoyo a la toma de decisiones en riego. Uruguay (Serie Actividades de Difusión no. 26).

OMM (Organización Meteorológica Mundial). 1994. Guía de Prácticas Hidrológicas – OMM 168, Vol. I, Hidrología: de la medición a la información hidrológica, Sexta Edición, 2008. Ginebra, CH. Disponible en [http://www.whycos.org/chy/guide/168\\_Vol\\_I\\_en.pdf](http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_en.pdf)

\_\_\_\_\_. 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation – OMM 8 actualizada en 2010. Ginebra, CH. Disponible en [https://3920fa727af316d4a002d14303005d900630223b.googledrive.com/host/0BwdvoC9AeWjUZw1iQ2JYNDNDdUE/wmo\\_8-2012\\_en.pdf](https://3920fa727af316d4a002d14303005d900630223b.googledrive.com/host/0BwdvoC9AeWjUZw1iQ2JYNDNDdUE/wmo_8-2012_en.pdf)

\_\_\_\_\_. 2010. Guía del Sistema Mundial de Observación – OMM 488. Tercera Edición 2010 actualizada en 2013. Ginebra, CH. Disponible en [https://a0e4eb4f5e8798db398ea7bb58a9de4a6e0b4480.googledrive.com/host/0BwdvoC9AeWjURIFWdC1qSzRNdkE/wmo\\_488-2013\\_en.pdf](https://a0e4eb4f5e8798db398ea7bb58a9de4a6e0b4480.googledrive.com/host/0BwdvoC9AeWjURIFWdC1qSzRNdkE/wmo_488-2013_en.pdf)

Proyecto SALLJEX, South American Low Level Jet Experiment, National Oceanic and Atmospheric Administration. 2002. Manual para la instalación de pluviómetros. Disponible en [http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/salljex/archive/manuals/manual\\_instalacion\\_pluviometros.html](http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/salljex/archive/manuals/manual_instalacion_pluviometros.html)

## **Autores de los epígrafes (por orden de aparición)**

### **Francis Bacon**

Francis Bacon (1561-1626), primer barón Verulam, vizconde de Saint Albans y canciller de Inglaterra. Fue un célebre filósofo, político, abogado y escritor. Considerado uno de los padres del empirismo. Sus obras y pensamientos ejercieron una influencia decisiva en el desarrollo del método científico.

### **Bruce Stewart**

Matemático e hidrólogo australiano. En el período 2004-2011, fue presidente de la Comisión de Hidrología de la OMM. A partir del 2011, fue designado jefe del Sistemas Básicos Hidrológicos de la OMM.

### **Eduard Titchmarsh**

Matemático inglés (1899-1963). Se hizo famoso por su trabajo en teoría analítica de números y otros temas de análisis matemático. Escribió varios libros en esta área, que hoy son clásicos, especialmente el que dedicó a Función-Z de Riemann.

### **Juan Rulfo**

Escritor mexicano (1917-1986). Sus personajes representan y reflejan el tipismo local con sus grandes problemáticas socioculturales, entrelazadas con el mundo fantástico. Sus obras (solo dos libros publicados) le valieron el reconocimiento en todo el mundo de habla hispana. Recibió premios tan importantes como el Nacional de Letras (1970) y el Príncipe de Asturias de España (1983).

### **Carl Sagan**

Astrónomo, astrofísico, cosmólogo, escritor y divulgador científico estadounidense (1934-1996). Ha sido muy popular por sus libros de divulgación científica. En 1978 ganó el Premio Pulitzer de Literatura General de No Ficción por su libro “Los Dragones del Edén”.

### **Aristóteles**

Filósofo, lógico y científico de la Antigua Grecia (384aC-322aC). Sus ideas han ejercido una enorme influencia sobre la historia intelectual de Occidente por más de dos milenios.

### **Henry Ford**

Inventor estadounidense (1863-1947). Fundador de la compañía Ford Motor Company y padre de las cadenas de producción modernas utilizadas para la producción en masa. Obtuvo 161 patentes registradas en su país natal.

### **Thomas Fuller**

Historiador inglés (1608-1661) y miembro de la iglesia de Inglaterra, que llegó al cargo de capellán del rey de Inglaterra. Además de sus volúmenes de sermones, destacan sus obras sobre historia. Fue, por vocación, aficionado a la arqueología y la antigüedad.

### **Umberto Eco**

Escritor italiano, distinguido crítico literario, semiólogo y comunicólogo. En 1980 se consagró como narrador con el nombre de la Rosa, novela histórica culturalista susceptible de múltiples lecturas. Ha cultivado también otros géneros, como el ensayo.

### **Albert Einstein**

Físico alemán (1879-1955) de origen judío, nacionalizado después suizo y estadounidense. Es considerado como el científico más importante del siglo XX. Obtuvo el Premio Nobel de Física, medalla Copley, medalla Max Planck, medalla Matteucci, medalla de oro de la Real Sociedad Astronómica.

### **Samuel Butler**

Poeta inglés (1612-1680). De todas sus obras, características de la literatura de la Restauración inglesa, destaca Hudibras, un largo poema satírico y burlesco sobre el puritanismo. Primero fue clérigo y más adelante juez de paz, antes de dedicarse enteramente a la poesía.

### **Leonardo da Vinci**

Nació en Vinci en 1452 y falleció en Amboise en 1519. Frecuentemente descrito como un arquetipo y símbolo del hombre del Renacimiento. Es considerado como uno de los más grandes pintores de todos los tiempos y, probablemente, es la persona con el mayor número de talentos en múltiples disciplinas que jamás haya existido.



*Impreso en la Imprenta del IICA  
Sede Central, San José, Costa Rica  
Tiraje: 300 ejemplares*



**INSTITUTO INTERAMERICANO DE  
COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA**

Apartado Postal 55-2200 San José,  
Vázquez de Coronado, San Isidro 11101 – Costa Rica  
Teléfono: (+506) 2216 0222 • Fax: (+506) 2216 0233  
Sitio Web: [www.iica.int](http://www.iica.int)