



Descripción y usos de la Red de Agrometeorología INIA

Editor: Gustavo Chacón Cruz

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 415



ISSN 0717-4829



Descripción y usos de la Red de Agrometeorología INIA

Editor:
Gustavo Chacón Cruz

INIA LA PLATINA
Santiago, Chile, 2019
BOLETÍN INIA N° 415

ISSN 0717 - 4829



Boletín Descripción y Usos de la Red de Agrometeorología INIA

La presente publicación fue desarrollada en el marco del Proyecto "Red Agroclimática Nacional" (500014-70), en ejecución permanente por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Editor:

Gustavo Chacón Cruz, Ingeniero en Ciencias de la Computación
Profesional de Apoyo en Agroinformática y Agrometeorología, INIA La Platina

Autores:

Cristóbal Campos Muñoz. Ingeniero Civil Agrícola, INIA Quilamapu.
Diego Arribillaga García. Ingeniero Agrónomo. INIA Tamei Aike.
Gustavo Chacón Cruz. Ingeniero en Ciencias de la Computación, B.S. INIA La Platina.
Hamil Uribe Cifuentes. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Dr. INIA Quilamapu.
Ivette Acuña Bravo. Ingeniero Agrónomo, PhD. INIA Remehue.
Jaime Salvo del Pedregal. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. PhD. INIA La Cruz.
Jorge Gatica Velásquez. Ingeniero Civil en Informática. INIA Remehue.
Marcel Fuentes Bustamante. Ingeniero Civil Agrícola, M.Sc. INIA Quilamapu.
Marisol Reyes Muñoz. Ingeniero Agrónomo, Dr. Cs. Agr. INIA Raihuen.
Rodrigo Bravo Herrera. Ingeniero Agrónomo, Mg. Ec. Dr. Cs. Agr. INIA Remehue.
Rubén Ruiz Muñoz. Ingeniero Civil Agrícola. INIA Quilamapu.
Sergio Iraira Higuera. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Dr. INIA Remehue.

Director Responsable:

Emilio Ruz Jerez, Director Regional INIA La Platina

Revisoras de textos:

Evelyn Silva Moreno, Subdirectora Regional de Investigación y Desarrollo, INIA La Platina
María Jesús Espinoza Garrido, Encargada de Comunicaciones, INIA La Platina

Equipo del proyecto en las diferentes regiones de Chile:

Aldo Valdebenito Burgos. Regiones de Los Lagos, Los Ríos.
Ángel Suárez Navarro. Región de Magallanes.
Claudio Balbontín Nesvara. Regiones de Atacama, Coquimbo.
Diego Arribillaga García. Región de Aysén.
Gustavo Chacón Cruz. Regiones Metropolitana, Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta.
Héctor Pauchard Cuevas. Región de La Araucanía.
Jaime Salvo del Pedregal. Región de Valparaíso.
Jorge Luis Gatica Velásquez. Regiones de Los Lagos, Los Ríos.
Luis Contreras Cross-Buchanan. Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta.
Marisol Reyes Muñoz. Región del Maule.
Pablo Jaña Ramírez. Región de O'Higgins.
Raúl Orrego Verdugo. Regiones Ñuble, Biobío.
Rodrigo Bravo Herrera. Regiones de Los Lagos, Los Ríos.
Rubén Alfaro Pizarro. Regiones de Atacama, Coquimbo.
Rubén Ruiz Muñoz. Regiones Ñuble, Biobío.
Vianka Rojas Hinojosa. Regiones de Atacama, Coquimbo.

Todas las fotografías han sido realizadas por los miembros del proyecto excepto las que se indican explícitamente en el texto.

Boletín INIA N° 415

Cita bibliográfica correcta:

Chacón C., Gustavo. 2019. Descripción y usos de la red de agrometeorología INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín N° 415. 104 pp.

© Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, 2019. Ministerio de Agricultura. Centro Regional de Investigación La Platina. Avda. Santa Rosa 11.610. La Pintana. Región Metropolitana. Chile. Teléfono: (56-2) 25779102.

ISSN: 0717-4829

Permitida la reproducción parcial o total de esta obra sólo con permiso y por escrito del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Diseño y diagramación: Jorge Berrios Villablanca. Diseñador Gráfico.

Foto portada: Héctor Pauchard Cuevas. Estación Meteorológica Quiripio, Región de la Araucanía.

Impresión:

Cantidad de ejemplares:

Santiago, Chile. 2019.

Índice

Prólogo	6
----------------	---

Capítulo 1

Equipos y Sensores de la Red de Agrometeorología INIA	8
Introducción	8
Descripción de una EMA	8
Instrumentos de una EMA estándar de INIA	10
Higrotermómetro	11
Humedad relativa	12
Piranómetro	12
Pluviómetro	14
Anemómetro	16
Velocidad de viento	16
Dirección de viento	18
Barómetro	19
Temperatura del suelo	20
Fórmulas	21
Grados día	21
Horas frío	22
Accesorios	23
Herramientas	24

Capítulo 2

Sistema de Comunicaciones de la Red de Agrometeorología INIA	25
Introducción	25
Arquitectura del sistema de comunicaciones	26
Módem de transmisión	26
Tarjeta SIM	28
Fuente de energía de las estaciones meteorológicas	28
Servidores INIA del sistema	29

Funcionamiento del sistema de comunicación y gestión de datos	30
Comunicación remota de datos de las estaciones meteorológicas automáticas	30
Envío de datos instantáneo y rezagado	31
Gestión de energía en las estaciones meteorológicas automáticas	32
Recepción y almacenamiento de datos	33
Tecnologías utilizadas	34

Capítulo 3

Sistema de Alerta Temprana de Tizón Tardío de la Papa	35
Introducción	35
Modelo para el uso de datos meteorológicos en el monitoreo de Tizón Tardío	37
Descripción del sistema de alerta temprana de Tizón Tardío en el sur de Chile	39
Uso del pronóstico meteorológico en el sistema de alerta de Tizón Tardío.	43

Capítulo 4

Seguro Agrícola	44
Introducción	44
Características y necesidades de los seguros agrícolas	47
Riesgos cubiertos derivados de eventos climáticos	47

Capítulo 5

Sistema Avispa-t	51
Introducción	51
Descripción del problema y la solución	52
¿Cómo funciona?	52
La trampa	52
Momentos críticos	53
Descripción del algoritmo	55
Descripción de la tabla “muestra”	55

Capítulo 6

Riego y Evapotranspiración	56
Introducción	56
Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET _o)	57
Existen diversas formas de obtener la ET _o	57
Demanda de riego	58
Coeficientes de cultivo	59
Demanda neta	60
Demanda bruta	61

Capítulo 7

Determinación de Estrés Calórico en el Sector Lechero	63
Introducción	63
Efectos del estrés calórico	68
Monitoreo del Índice de Estrés Calórico a través de redes de estaciones meteorológicas automáticas	69

Capítulo 8

Grados Día y Fenología en Vides	71
Introducción	71
Variaciones anuales en los GDA	73
Estudios fenológicos	74
Exploración de nuevas zonas de producción	76

Capítulo 9

Boletín Agroclimático Mensual INIA	80
Introducción	80
¿Qué ofrece el Boletín Agroclimático Mensual de INIA?	82
Tipos de recomendaciones para cada macrozona de Chile	89
¿Cómo se accede al Boletín Agroclimático?	90
Componente satelital	92
Sensor e imágenes satelitales	92
Adquisición de imágenes y productos MODIS	92
Índice de vegetación	93
Índice diferencial de vegetación normalizado, NDVI	93
Seguimiento multitemporal de coberturas vegetales	93
Índice de condición de la vegetación (VCI)	95

Referencias	97
--------------------	----

Prólogo

En un contexto de cambio climático, las fluctuaciones estacionales del tiempo atmosférico tienen impactos muy significativos en la vida de los agricultores, porque no sólo afectan la producción de alimentos en cantidad y calidad, sino también condicionan la gestión de los recursos naturales como el agua y el suelo. Además, cuando éstas fluctuaciones son extremas, pueden provocar desastres naturales y degradación del medio ambiente.

La agrometeorología es la rama de la meteorología que estudia la acción de los distintos elementos del clima en la agricultura, para mejorar la gestión de los cultivos y las condiciones para el desarrollo en las zonas rurales.

Se ha comprobado que la correcta aplicación de la información y conocimientos agrometeorológicos, incluidos los datos sobre el clima y los recursos hídricos, así como las predicciones operativas (días), estacionales (meses) y las proyecciones de largo plazo (años), pueden ayudar sustancialmente a los agricultores a crear y utilizar sistemas agrícolas sostenibles, aumentar su producción y mejorar su calidad de vida.

La agrometeorología pone a disposición de la agricultura los avances tecnológicos de la meteorología, aplicando los conocimientos desarrollados a las prácticas agronómicas en uso.

Este boletín ha sido desarrollado para describir la Red de Agrometeorología de INIA y explicar algunos usos o aplicaciones en la agricultura.

Conceptos claves que se abordarán en esta publicación:

- El tiempo atmosférico representa los cambios en las condiciones de la atmósfera en un lugar a escalas de tiempo breves (horas-días).
- El clima describe la combinación del tiempo atmosférico y sus modos de variación (estacionalidad, extremos y variabilidad) para un lugar determinado en largos periodos de tiempo.
- Si bien los cambios en el tiempo atmosférico pueden ocurrir en un momento, los cambios en el clima ocurren gradualmente durante muchos años.
- Cada año los fenómenos meteorológicos extremos, como las olas de calor, los períodos prolongados de sequía y frío, y las inundaciones, tienen un gran impacto en las vidas y los medios de subsistencia humanos.
- Los cambios en el clima causan variaciones en la frecuencia y magnitud de los eventos climáticos, lo que puede resultar en inundaciones, sequías y olas de calor más frecuentes y / o graves.

La información y productos incluidos en la Red de Agrometeorología de INIA son de acceso totalmente gratuito y libre para todos los productores agrícolas, asesores y autoridades. Se encuentran disponibles en el sitio web **<http://agromet.inia.cl>** y **<http://agrometeorologia.cl>**. De la misma forma, la información recopilada, es el insumo más importante para la declaración de zonas de emergencia y para la elaboración del Boletín Agroclimático Mensual (Capítulo 9), que llega a las autoridades de todos los organismos del agro y a miles de agricultores a lo largo del territorio nacional. También, la red proporciona información agroclimática histórica solicitada por diferentes tipos de usuarios. Otros productos como las alertas de heladas y alertas fitosanitarias para los cultivos tienen su fundamento en la información recogida por las estaciones agrometeorológicas.

Capítulo 1

Equipos y Sensores de la Red de Agrometeorología INIA

Gustavo Chacón Cruz

Ingeniero en Ciencias de la Computación

gchacon@inia.cl

Introducción

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

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

Descripción de una EMA

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

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

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

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



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

Instrumentos de una EMA estándar de INIA

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



Figura 2. *Datalogger* Campbell Scientific CR-1000.
Fuente: campbellsci.es/

Higrotermómetro

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

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

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

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

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



Figura 3. Higrómetro inserto en protector de radiación solar. Fuente: campbellsci.es/

Humedad relativa

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

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

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

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

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



Figura 4. Higrómetro, sensor de temperatura y humedad relativa del aire.
Fuente: campbellsci.es/

Piranómetro

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



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

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

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

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

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

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

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

Variables derivadas:

Para la radiación se derivan las siguientes variables:

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

Pluviómetro

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Anemómetro

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

Velocidad de viento

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



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

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

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

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

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

Dirección de viento

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

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

Unidades: Las unidades reconocidas por el Sistema Internacional son:

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

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

Fuente: Maldonado, I. et al. 2010.

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

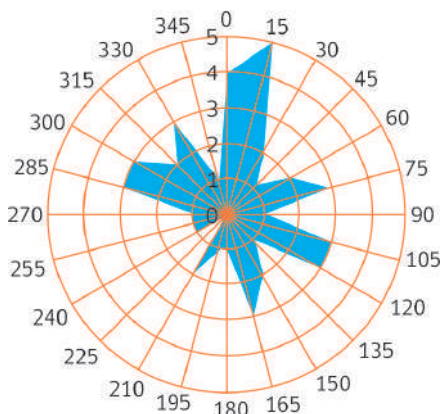


Figura 8. Gráfico polar de dirección y magnitud de viento.

Variables derivadas: Del viento pueden distinguirse las siguientes variables:

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

Barómetro

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

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



Figura 9. Barómetro. Fuente: campbellsci.es/

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

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

Temperatura del suelo

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

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

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



Figura 10. Sensor Campbell Scientific L107.
Fuente: campbellsci.es/

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



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

Fórmulas

Grados día

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

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

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

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

Donde:

GD : Unidades de grados día

TM : Temperatura media (°C)

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

Con: (**Ecuación 2**)

$$TM = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Donde:

T_{max} : Temperatura máxima del día (°C)

T_{min} : Temperatura mínima del día (°C)

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

Horas frío

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

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

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

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

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

Accesorios

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

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

Herramientas

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



Figura 12. CR1000KD, caja de herramientas y panel solar. Fuente: campbellsci.es/

Capítulo 2

Sistema de comunicaciones de la Red de Agrometeorología INIA

Jorge Gatica Velásquez

Ingeniero Civil en Informática

jorge.gatica@inia.cl

Rodrigo Bravo Herrera

Ingeniero Agrónomo Mg. Ec. Dr. Cs. Agr.

rbravo@inia.cl

Introducción

Hace algunos años, la forma habitual de obtener las variables agrometeorológicas era mediante la recolección presencial de un observador, quien de forma manual, capturaba el registro del instrumento a diferentes horas del día en una planilla diseñada especialmente para este fin, la cual, posteriormente, era digitada en un computador para ser almacenada en formato digital.

Hoy en día, gracias a los avances en telecomunicaciones e informática, es posible hacer este proceso automáticamente y en forma remota desde prácticamente cualquier lugar. Esto ha permitido tener una alta disponibilidad, en forma casi instantánea, de los datos para ser visualizados, analizados e incorporados a sistemas meteorológicos que proveen información relevante. En el caso de la agricultura, que es altamente dependiente del clima, permite generar decisiones, aplicaciones y servicios de información para usuarios de interés, tales como: productores, empresas agrícolas y profesionales de las diferentes industrias agropecuarias y agentes del sector público.

Con el fin de proveer un bien público de servicios de información para el sector agrícola, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ha desarrollado e implementado un sistema de captura y registro de datos agrometeorológicos, en forma remota, desde estaciones meteorológicas automáticas (EMA). En este capítulo, se presentan las principales características del sistema de comunicación remota de datos de la Red de Estaciones

Meteorológicas de INIA, permitiendo que la agricultura nacional y otras industrias puedan disponer de información meteorológica en tiempo real.

En la **Figura 1** se muestra una EMA con una antena de telefonía celular para transmitir automáticamente cada 15 minutos, los datos agrometeorológicos que leen los sensores.



Figura 1. Sensor de temperatura y humedad relativa del aire en protección solar, antena para transmisión de datos y anemómetro.

Arquitectura del sistema de comunicaciones

El sistema de comunicaciones está compuesto por un conjunto de elementos electrónicos y computacionales interconectados entre sí, permitiendo la transmisión y almacenamiento de paquetes de datos, entre cada nodo de la red de estaciones meteorológicas y el servidor de datos. A continuación, se detallan cada uno de estos elementos.

Módem de transmisión

El módem es un equipo que permite la comunicación entre máquinas (M2M o machine to machine), es decir, el proceso de intercambiar datos entre dos equipos. En el caso de las estaciones meteorológicas, en un extremo el *Data-*

logger o registrador de datos (máquina A) y en el otro extremo el servidor que recibe los datos enviados (máquina B). En la **Figura 2** se ilustra la arquitectura de transmisión de los equipos.

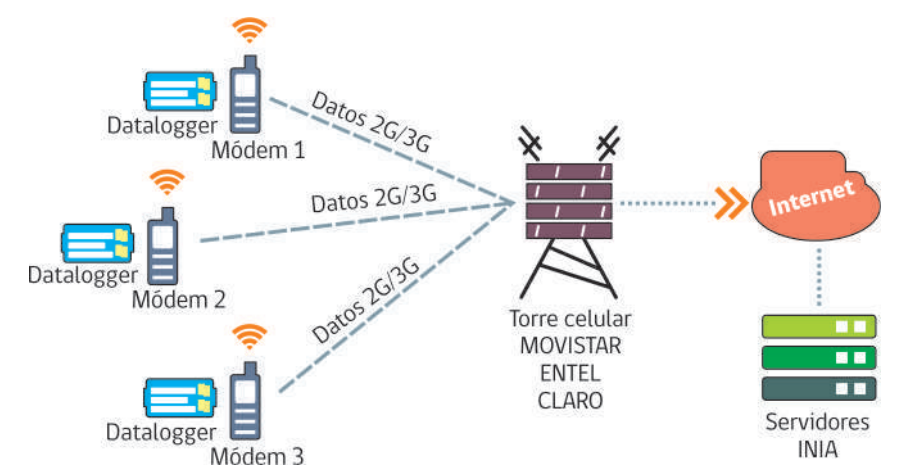


Figura 2. Arquitectura del sistema (diagrama propio).

El equipo módem utilizado por INIA permite la comunicación de los datos en forma remota a través de redes 2G y 3G en todas las bandas de transmisión que establece la normativa vigente en Chile (700, 850, 900 y 1900 MHz, además de AWS) para las compañías operadoras de telefonía móvil en Chile con red propia (Entel, Movistar, Claro y WOM). Los demás operadores, en el mercado nacional, operan sobre estas redes como operadores virtuales (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Tecnologías y bandas de transmisión utilizadas por operadores de telefonía móvil en Chile.

Tecnología	700 MHz	850 MHz	900 MHz	1900 MHz	2600 MHz	AWS
2G		Claro Movistar	Entel	Entel Claro Movistar		
3G		Claro Movistar	Entel	Entel Claro Movistar		WOM
4G	Entel Claro Movistar				Entel Claro Movistar	WOM

Tarjeta SIM

Cada módem de transmisión cuenta con una tarjeta SIM, llamada así por sus siglas en inglés Subscriber Identity Module. Estas tarjetas están asociadas a un plan de transmisión de datos mensual de 5 MB por estación, logrando así que el equipo tenga conectividad celular mediante 2G/3G de forma constante.

Cada SIM es multioperador, lo cual permite que las estaciones meteorológicas se conecten con cualquiera de los proveedores de telefonía en Chile, sin necesitar un cambio de tarjeta SIM. La ventaja de esto es que, si un operador de telefonía móvil pierde conectividad en algún momento en el sitio de monitoreo, la SIM busca y se conecta a otro operador con calidad de señal aceptable para la transmisión de los datos. La conexión con uno u otro operador de telefonía dependerá del lugar geográfico en que se encuentre emplazada la estación y la calidad de la señal de cada operador de telefonía.

Fuente de energía de las estaciones meteorológicas

El sistema de energía con que funciona la estación meteorológica es autónomo y suministra energía tanto al *Datalogger*, sensores y módem de las estaciones. Está compuesto por un panel solar, cuya potencia varía de 20 a 50 watts, dependiendo de la latitud en que está ubicada la estación. Además, cuenta una batería de 12V 12A (12 volts y 12 amperes) y un regulador de voltaje que permite la recarga de la batería mediante el panel solar. El esquema en la **Figura 3** muestra los componentes del sistema de energía.

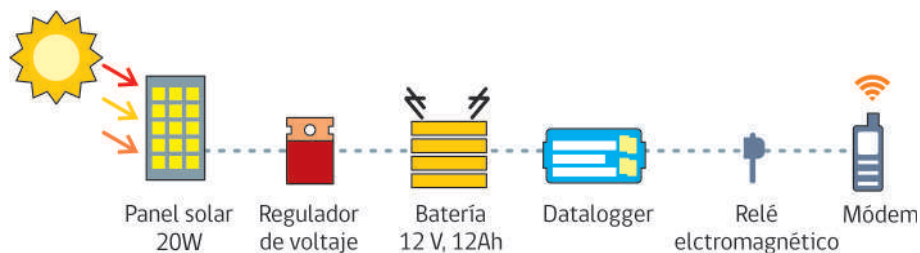


Figura 3. Fuente de Energía.

Servidores INIA del sistema

Los servidores son sistemas computacionales en red que, en este caso, son utilizados para coleccionar, procesar y almacenar los datos de las estaciones meteorológicas. Cada estación meteorológica intercambia datos con los servidores de INIA, en este intercambio de datos es preciso contar con los siguientes servidores:

- **Servidor de comunicación:** Su tarea es aceptar la comunicación de todos los nodos activos (estaciones meteorológicas) en el minuto que deben enviar los datos registrados. Una vez que reconoce que es un nodo válido dentro de la red, es habilitado el proceso de intercambio de datos entre ambos subsistemas.
- **Servidor primario de bases de datos:** Una vez habilitada la comunicación con alguna estación (servidor de comunicación-estación meteorológica), los datos recolectados son asociados a la variable meteorológica correspondiente y almacenados en la base de datos maestra.
- **Servidor secundario de bases de datos:** Al mismo tiempo que se realiza el almacenamiento de los datos en el servidor primario o maestro es realizado en un servidor secundario o esclavo. Esto permite tener una alta disponibilidad de los datos almacenados.
- **Servidores de publicación web:** Son utilizados para el acceso público de los datos. En estas máquinas se encuentran habilitados los servicios de visualización y consulta de datos a través de <http://agrometeorologia.cl>, además de los diferentes sistemas que utilizan los datos meteorológicos recolectados como el Sistema de Alerta de Tizón Tardío, (<http://tizon.inia.cl>), Sistema de Monitoreo de la Avispa Chaqueta Amarilla (www.avispa-t.cl), el Sistema Pasto (pasto.inia.cl), entre otros.

Funcionamiento del sistema de comunicación y gestión de datos

Comunicación remota de datos de las estaciones meteorológicas automáticas

Las estaciones meteorológicas de la red de INIA almacenan datos de los sensores instalados, en cada una, cada 15 minutos. Una vez realizado el registro, el protocolo establece que se procede a transmitir estos datos a los servidores de INIA tal como ilustra la **Figura 4**.

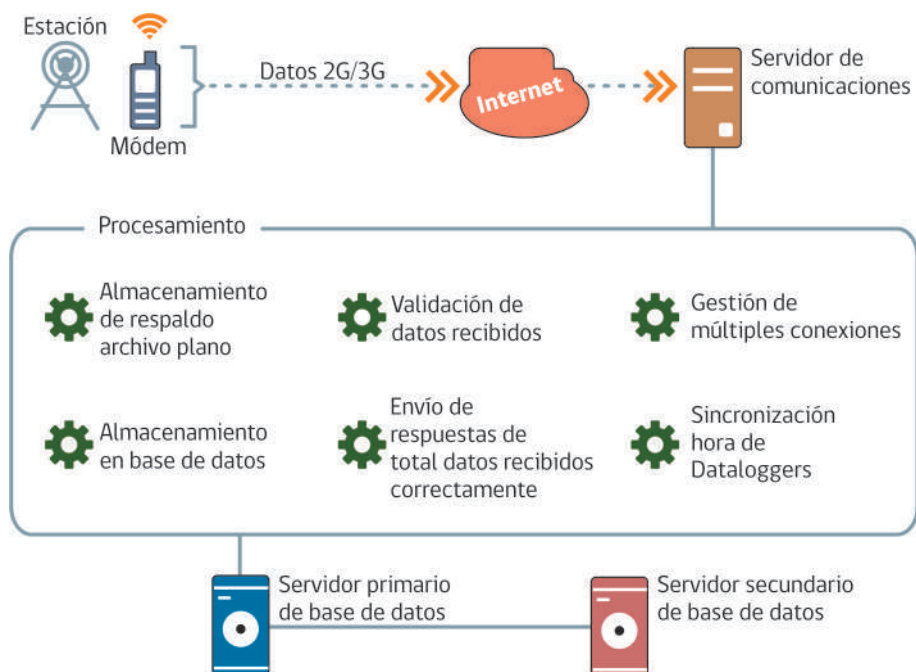


Figura 4. Esquema de comunicación de los datos de la red de agrometeorología INIA.

El proceso comunicación se realiza en el segundo exacto después de haber sido almacenados los datos en la estación, permitiendo contar con los datos de forma prácticamente instantánea (4 segundos de rezago en promedio). Para lograr esto, además es necesario realizar una sincronización diaria entre los relojes del servidor y el *Datalogger*, manteniendo la misma hora, minutos y segundos entre ambos equipos.

El ciclo de transmisión es realizado cada 15 minutos. El módem es encendido de forma automática momentos antes de la transmisión para que se conecte oportunamente a una red de telefonía móvil. Luego, el equipo queda a la espera de datos para transmitir. En el ciclo de 15 minutos, las variables recolectadas son formateadas en una cadena de texto para ser enviada vía 2G/3G a los servidores a través de Internet. Realizado el envío de datos, el módem queda a la espera de la confirmación de la recepción de los datos (comunicación exitosa o fallida), entonces, el equipo procede a apagarse hasta un nuevo ciclo de transmisión. En el caso de comunicación fallida, el módem intentará enviar nuevamente los datos rezagados en el próximo ciclo, acompañado ahora de los nuevos datos, lo que se denomina envío por rezagado por lotes.

Envío de datos instantáneo y rezagado

Existen dos tipos de comunicación para el envío de datos:

- **Instantánea:** Es cuando la transmisión no ha tenido datos rezagados y se envía la cadena de datos inmediatamente después que es almacenada en el *Datalogger* de la estación, teniendo como resultado un tiempo promedio de cuatro segundos entre el almacenaje en la EMA y en los servidores de INIA.
- **Rezagada:** Es cuando uno o más datos no han logrado ser transmitidos. Para este caso la cadena de datos pendiente se agrupa y se envía parcialmente, estableciendo un máximo de datos a enviar por cada ciclo de transmisión. En cada ciclo se envía un máximo de 24 cadenas de datos (6 horas de muestras). Esta forma permite que, en las ocasiones en que no están funcionando las redes de telefonía móvil, los datos rezagados se actualizan automáticamente cuando las comunicaciones se restablecen.

En la **Figura 5** se detalla un esquema del funcionamiento del *Datalogger* al transmitir datos.



Figura 5. Esquema de funcionamiento del *Datalogger*. Elaboración propia.

Gestión de energía en las estaciones meteorológicas automáticas

Entre los dispositivos instalados en la estación meteorológica automática, el que consume la mayor proporción de energía producida, es el módem de comunicación. Para resguardar el funcionamiento de la estación y evitar que se agote la batería (lo que provocaría pérdida de datos), se ha condicionado el encendido del módem según lo siguiente (ilustrado en la **Figura 5**):

- **Gestión Envío Instantáneo y Rezagado de Datos:** Para el envío de datos, la carga de la batería debe ser superior o igual a 11,5 volts. Si este criterio no se cumple, el módem no se enciende y el envío de datos se rezaga hasta que el voltaje de la batería vuelva a la normalidad (12 volts o superior) por la energía producida por el panel solar.

- **Gestión Envío Rezagado de datos:** En el caso del envío rezagado de datos al servidor, éste está condicionado a los siguientes criterios:
 - Una carga superior a 11,5 volts.
 - Un lote de datos rezagados máximo de 24 cadenas por ciclo (6 horas de datos).
 - Solo si la radiación solar incidente es mayor o igual a 100 w/m², permitiendo esto asegurar un envío masivo solo durante un día despejado, que es cuando la batería se recarga, de lo contrario se corre el riesgo de descarga de la batería por un envío masivo (varios días de datos rezagados) durante horas sin sol.

El encendido y apagado del equipo de comunicación es posible gracias a un relé electromagnético integrado en el mismo *Datalogger*, el cual funciona como un interruptor controlado por el circuito eléctrico, permitiendo abrir o cerrar el circuito que alimenta de energía al módem.

Recepción y almacenamiento de datos

Una vez recibidas las cadenas de datos enviadas por las estaciones al servidor de comunicaciones, éstas son validadas, tanto en formato como en contenido. Si las validaciones son correctas, los datos son almacenados en las bases de datos de agrometeorología y quedan disponibles para ser utilizados y publicados en los diferentes sistemas que posee INIA.

En la **Figura 6** se ilustra el flujo de los datos recolectados a los servidores de INIA.

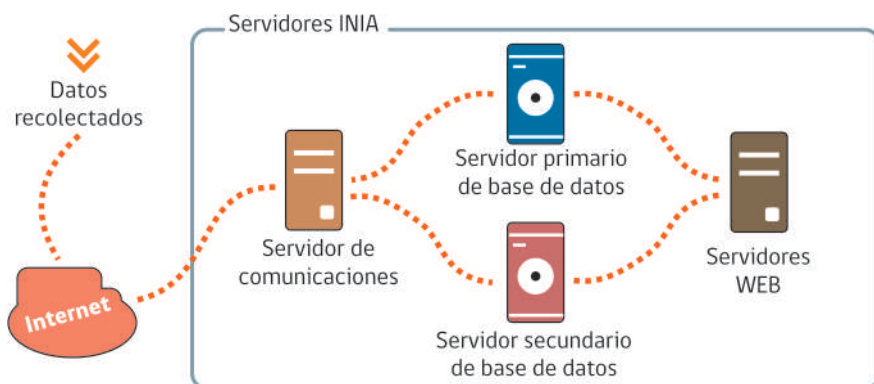


Figura 6. Servidores de INIA.

Tecnologías utilizadas

Las tecnologías utilizadas en cada elemento de la red son las siguientes.

- **Sistemas Operativos Servidores:** cada servidor (Web, Base de Datos y Comunicaciones) está montado sobre el sistema operativo Linux, el cual es libre, multiplataforma, multiusuario y multitarea, basado en Unix. La bifurcación utilizada es CentOS 7 de la distribución GNU/Linux Red Hat Enterprise Linux RHEL.
- **Sistema Operativo *Datalogger*:** La versión utilizada y requerida para el correcto funcionamiento por cada *Datalogger* CR1000 es la CR1000.Std.21 o superior (la actual es la CR1000.Std.32).
- **Servidores de Base de Datos:** Para gestionar los datos es utilizado MariaDB Server, el cual es una de las bases de datos relacionales de código abierto más populares. Está hecho por los desarrolladores originales de MySQL y se garantiza que seguirá siendo de código abierto. Es parte de la mayoría de las ofertas en la nube y el valor predeterminado en la mayoría de las distribuciones de Linux.
- **Servidores de Comunicaciones:** JavaScript mediante Node.js 12 es utilizado para manejar las comunicaciones en red. Concebido como un entorno de ejecución de JavaScript orientado a eventos asíncronos, Node.js está diseñado para construir aplicaciones en red escalables.
- **Lenguajes de Programación:** Para la gestión de las comunicaciones recibidas por el servidor Node.js, es el mismo Node.js (mediante javascript de lado del servidor) quien se encarga de validar, formatear e insertar los datos en los servidores de Base de Datos.
- **Servidor de Consulta Web:** El servidor web que permite visualizar y consultar datos está habilitado en Apache HTTP Server 2.2, de código abierto y multiplataforma. Es mantenido y desarrollado por la Apache Software Foundation.

Capítulo 3

Sistema de alerta temprana del Tizón tardío de la Papa

Rodrigo Bravo Herrera

Ingeniero Agrónomo Mg. Ec. Dr. Cs. Agr.
rbravo@inia.cl

Ivette Acuña Bravo

Ingeniero Agrónomo, PhD.
iacuna@inia.cl

Jorge Gatica Velásquez

Ingeniero Civil en Informática
jorge.gatica@inia.cl

Introducción

Los datos meteorológicos son muy útiles en el monitoreo de condiciones de algunas enfermedades de plantas que tienen un impacto en la producción del cultivo. Variables como temperatura y humedad del ambiente son utilizadas para el monitoreo de enfermedades, ya que bajo ciertas combinaciones de estos parámetros, se puede estimar si existen las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad y sus agentes causales.

Una de las enfermedades que se monitorea a través de la Red Agrometeorológica de INIA es el **Tizón Tardío**, causada por el oomiceto *Phytophthora infestans*, que puede afectar gravemente los cultivos de papa causando daño en hojas, tallos y tubérculos (**Figura 1**). En el caso del cultivo de la papa, este microorganismo puede generar pérdidas económicas importantes. Por esta razón, se utilizan fungicidas químicos para su control. Sin embargo, para hacer un uso racional y oportuno de los fungicidas, es necesario monitorear las condiciones meteorológicas o ambientales que favorecen el desarrollo de la enfermedad en presencia del hospedero.



Figura 1. Síntomas de Tizón tardío en hojas.

Gracias a la investigación científica es posible conocer la dinámica del ciclo de la enfermedad y las condiciones que favorecen su desarrollo. Dentro de las condiciones que deben ser monitoreadas, la **temperatura, humedad y precipitaciones** son claves ya que pueden potenciar el desarrollo del microorganismo. Por ende, la disponibilidad de datos meteorológicos de calidad y en tiempo real, son de gran utilidad para la toma de decisiones oportunas de agricultores con acceso a internet y telefonía móvil en los territorios donde se produce papa en Chile.

El monitoreo realizado es bajo el concepto de Sistema de Alerta Temprana. Este consiste en que diariamente se evalúan las condiciones meteorológicas óptimas para el desarrollo de la enfermedad y se entrega la información oportuna al público objetivo para apoyar la toma de decisiones en forma oportuna.

En este capítulo se describen las principales características del Sistema de Alerta para el Tizón Tardío, como una experiencia exitosa en el uso de datos meteorológicos que apoyan la toma de decisiones de agricultores y profesionales del agro y en el uso racional y oportuno de pesticidas para el control de una enfermedad de importancia agrícola.

Modelo para el uso de datos meteorológicos en el monitoreo de Tizón Tardío

Para estimar las condiciones ambientales en el desarrollo de Tizón Tardío, el Sistema de Alerta Temprana INIA, utiliza como base el modelo BLITECAST, el cual es una combinación del modelo desarrollado, por una parte, por Hyre (1964) y, por otra parte, por Wallin (1951). Ambos están basados en datos meteorológicos para predecir el momento en que la enfermedad tiene condiciones ambientales favorables para su desarrollo. Hyre utiliza datos diarios y Wallin datos horarios. BLITECAST fue publicado por Krause en 1975 y, desde esa fecha se ha validado en Estados Unidos y otras partes del mundo para ser utilizado con datos colectados por estaciones meteorológicas individuales.

En consecuencia, BLITECAST señala la primera alerta de la temporada y luego, indica las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad y sugerencias para proteger el cultivo en forma eficiente con un uso racional y oportuno de fungicidas.

Los datos usados por el modelo son: **precipitación, humedad relativa y temperatura** registrados en estaciones meteorológicas cada una hora y considerando períodos de 24 horas desde el mediodía al mediodía siguiente. Al utilizar el criterio Hyre, el modelo contabiliza los días favorables que éstas ocurran, cuando en los últimos 5 días la temperatura promedio es menor a 25,5 °C y sobre 7,2 °C, y la precipitación acumulada en los últimos 10 días es mayor a 30 mm. El criterio Wallin, señala la primera alerta cuando contabiliza 18 grados de severidad los que están definidos por una combinación de horas con humedad relativa igual o mayor a 90 % y la temperatura promedio durante dicho período, según el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Rangos de temperatura y horas de humedad relativa mayor a 90 % para la asignación de valores de severidad diario según el criterio Wallin.

Rango de temperatura promedio (° C)	Valores de Severidad según el número de horas de Humedad Relativa mayor o igual a 90%				
	0	1	2	3	4
7,2 - 11,6	15	16 - 18	19 - 21	22 - 23	≥ 24
11,7 - 15,0	12	13 - 15	16 - 18	19 - 21	≥ 22
15,1 - 26,6	9	10 - 12	13 - 15	16 - 18	≥ 19

Fuente: Krause, *et al.* 1975.

La primera parte del modelo indica la ocurrencia inicial o primera alerta de condiciones para el desarrollo de la enfermedad y aparición de síntomas después de 7 a 14 días. Para esto, se considera la acumulación de 10 días favorables según el criterio Hyre o la acumulación de 18 grados de severidad, según el criterio Wallin. Al ocurrir la primera alerta, con cualquiera de los dos criterios mencionados, se debe realizar la primera aplicación de fungicidas para proteger el cultivo. Las aplicaciones subsecuentes son señaladas por una matriz que combina los criterios de Hyre y Wallin, como se indica en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Matriz para la toma de decisiones de la aplicación de fungicidas en el control de Tizón Tardío.

Número de días favorables en los últimos 7 días	Valores de severidad acumulados en los últimos 7 días					
	< 3	3	4	5	6	> 6
	Mensaje					
< 5	1	1	2	3	3	4
> 4	1	2	3	4	4	4

Fuente: Krause, *et al.* 1975.

La combinación de un cierto número de días favorables (criterio Hyre), con un cierto número de grados de severidad acumulados (criterio Wallin) en los últimos 7 días, genera un mensaje de recomendación que se señala mediante un número del 1 al 4. Los mensajes de recomendación del modelo para el manejo del Tizón Tardío son:

- **Alerta Café:** es el período que va desde que existen condiciones para la emergencia de plantas voluntarias hasta el momento de la primera alerta. La primera alerta es señalada con color azul y corresponde al momento en que se han acumulado condiciones para que el hongo comience a infectar y propagarse. Durante este período, no es necesario la protección química del cultivo. Sin embargo, si las plantas presentan un rápido crecimiento y cierre de la entre hilera, se podría hacer una aplicación preventiva.
- **Alerta Roja:** es un nivel de condiciones muy favorables para la infección y el desarrollo de tizón tardío. La recomendación, en estas condiciones, es la aplicación de fungicidas preventivos o curativos y la mantención de la protección del cultivo con una frecuencia según el efecto residual del producto utilizado (5 a 10 días).

- **Alerta Naranja:** existen condiciones favorables para el desarrollo de tizón tardío. Se recomienda aplicar fungicidas preventivo o curativo y repetir el tratamiento si las condiciones persisten en los próximos 7 a 14 días, según el efecto residual del producto utilizado.
- **Alerta Amarilla:** las condiciones meteorológicas para el desarrollo de tizón tardío son medias a bajas. Se recomienda observar el cultivo y estar atento a las condiciones en los días siguientes para tomar medidas si fuera necesario. Si se ha detectado la presencia de la enfermedad en el algún sector cercano al cultivo, es recomendable una aplicación preventiva.
- **Alerta Verde:** son días en que no hay condiciones para el desarrollo de la enfermedad. Bajo estas condiciones no es necesario la aplicación de fungicidas.

Una característica importante del modelo es que diferencia los períodos que favorecen la multiplicación del patógeno y el ciclo de la enfermedad, indicando la intensidad de los días favorables y la recomendación de aplicación oportuna de un producto, según esta condición. Se debe tener presente el efecto residual de los productos al momento de la alerta, dado que si ya se aplicó un producto previamente y aún hay efecto residual de este, no es necesario volver a aplicar al presentarse condiciones favorables, ya que la planta aún tiene protección. Por el contrario, si se aplicó un producto y ya han pasado los días de efecto residual, se debe volver a aplicar al haber condiciones favorables.

Descripción del Sistema de Alerta Temprana de Tizón Tardío en el sur de Chile

El Sistema de Alerta de Tizón Tardío se encuentra disponible en <https://tizon.inia.cl>.

El sistema muestra la información elaborada a partir de los datos de temperatura horaria, precipitación diaria y humedad relativa horaria. A este sistema se puede acceder utilizando un computador o un teléfono celular (**Figura 2**). Para cumplir con la función de entregar una alerta a los usuarios interesados (productores de papa y asesores asociados al rubro), el sitio se mantiene actualizado todos los días durante la temporada de cultivo, entre julio y marzo del año siguiente. Durante este periodo se monitorean las condiciones, enviando la información a los usuarios suscritos mediante correos electrónicos y mensajes de texto (SMS).

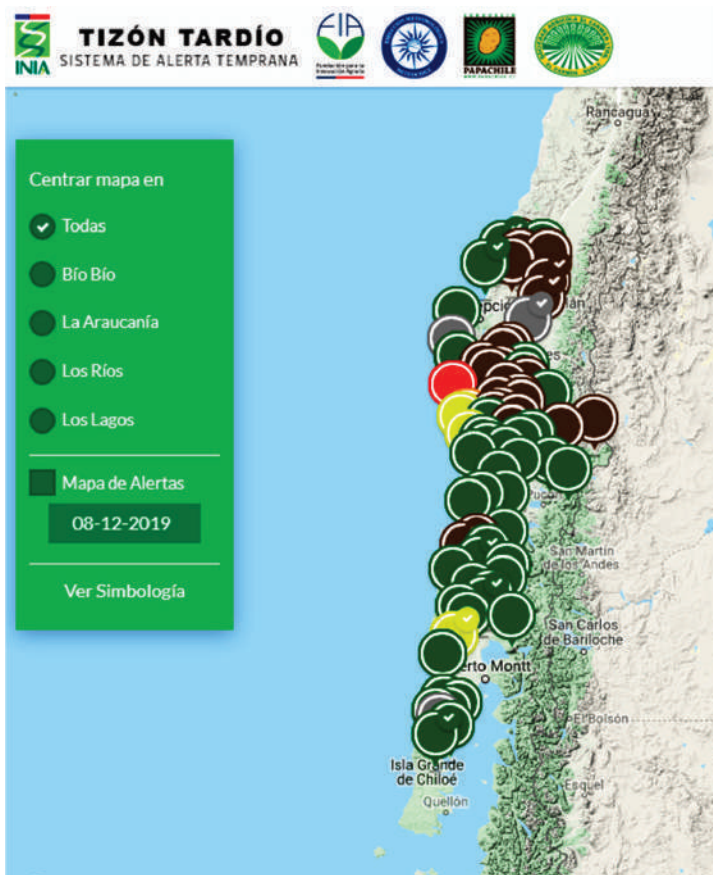


Figura 2. Pantalla de inicio del sistema de alerta de Tizón tardío. Fuente: <https://tizon.inia.cl>.

Para generar la información de alerta se utilizan los datos generados por la red de estaciones meteorológicas de INIA y de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), además del pronóstico meteorológico generado por esta última institución. El conjunto de estaciones meteorológicas utilizadas abarca toda la zona sur, donde se realiza más del 60 % de la producción de papa en Chile.

El Sistema de Alerta de Tizón Tardío está organizado de tal forma que los usuarios cuenten con información durante diferentes temporadas y espacialmente distribuida. La información de la temporada corresponde a la elaboración de datos diarios, con la recomendación o alerta del día, para que los productores puedan tomar decisiones de manejo de la enfermedad.

La alerta diaria se puede visibilizar estación por estación, de acuerdo a los colores utilizados y también, en forma de zonas de riesgo o zonas de alerta, en que se muestra la información de las estaciones interpolada espacialmente. Esto puede servir de referencia para los usuarios que estén más alejados de las estaciones meteorológicas operativas y así tomar decisiones con un grado menor de incertidumbre. Las zonas de alerta son una estimación a partir de la interpolación de los datos de todas las estaciones meteorológicas utilizadas en el sistema. Esto trata de responder al grado de cobertura geográfica de la información generada por cada estación meteorológica (**Figura 3**).

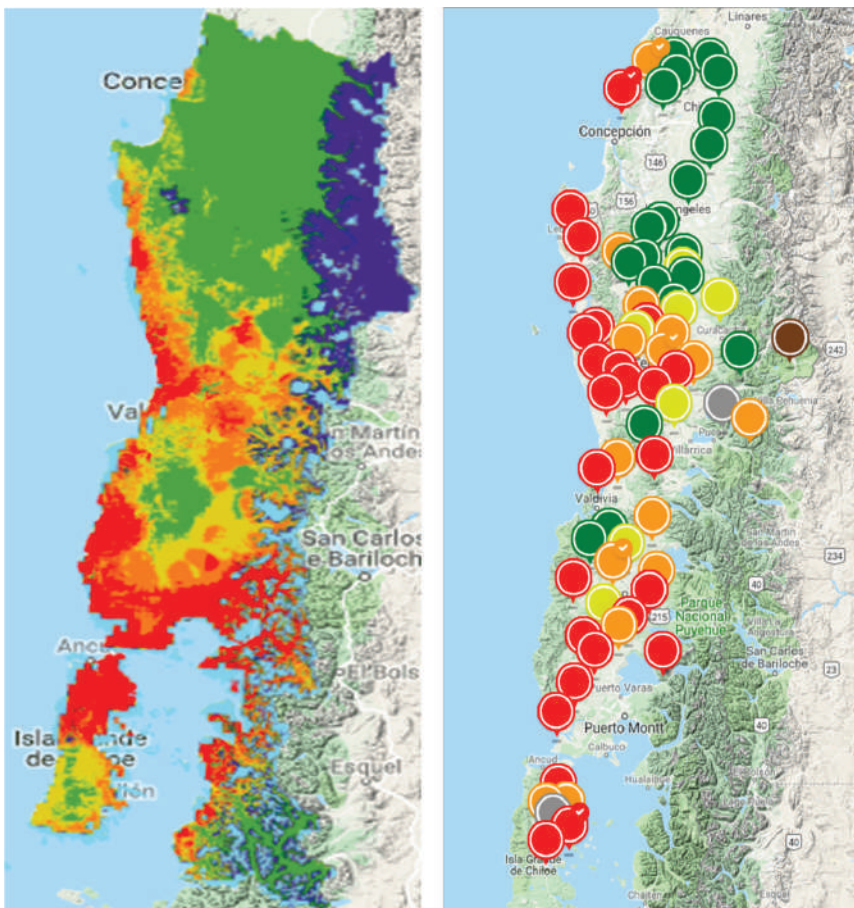


Figura 3. Red de estaciones meteorológicas del sistema de alerta temprana de Tizón Tardío en el Sur de Chile en la temporada 2018-19. Visualización datos interpolados y con datos puntuales. Fuente: <https://tizoinia.cl>.

La información entre temporadas (**Figura 4**), puede servir para conocer la frecuencia con que se presentan las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad en un territorio determinado. Esta información puede servir de referencia para determinar el riesgo de un territorio para la presencia de la enfermedad y así planificar anticipada y eficientemente el manejo del control químico, evitando el uso indiscriminado de fungicidas. Mientras hay lugares donde las condiciones favorables para Tizón Tardío se presentan con una alta frecuencia en todas las temporadas, como Puerto Domínguez, en la Región de La Araucanía (**Figura 4**), hay otras localidades como Polizones, en la Región de Los Lagos (**Figura 5**), donde la variabilidad

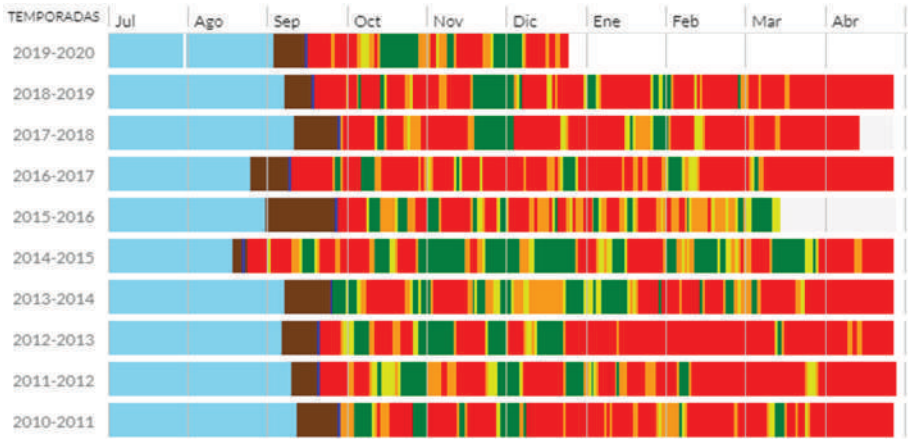


Figura 4. Condiciones diarias para el desarrollo de Tizón tardío a través de diferentes temporadas en Puerto Domínguez, región de La Araucanía. Fuente: <https://tizon.inia.cl>.

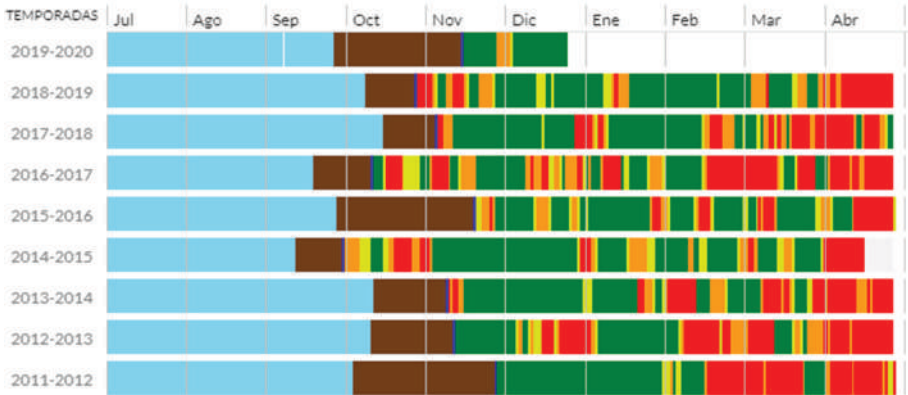


Figura 5. Condiciones diarias para el desarrollo de Tizón tardío a través de diferentes temporadas en Polizones, región de Los Lagos. Fuente: <https://tizon.inia.cl>.

interanual del clima genera diferentes condiciones para la enfermedad. Es así como en temporadas más húmedas y templadas aumenta la incidencia y severidad de la enfermedad. También, se puede evaluar que hay temporadas donde las condiciones para el desarrollo de Tizón comienzan antes ó más tarde.

Uso del pronóstico meteorológico en el sistema de alerta de Tizón Tardío

En resumen, la incorporación del pronóstico meteorológico en el Sistema de Alerta de Tizón Tardío, tiene como finalidad que los usuarios tengan una previsión de las condiciones que pueden esperar para un horizonte de tiempo de 1 a 3 días futuros y así puedan anticipar decisiones de manejo y tareas a realizar para el control de Tizón Tardío. El pronóstico meteorológico es provisto al sistema por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

La alerta con pronóstico a 1, 2 y 3 días se puede visualizar en la página principal, junto al día que se está consultando, tal como se muestra en la **Figura 6**.

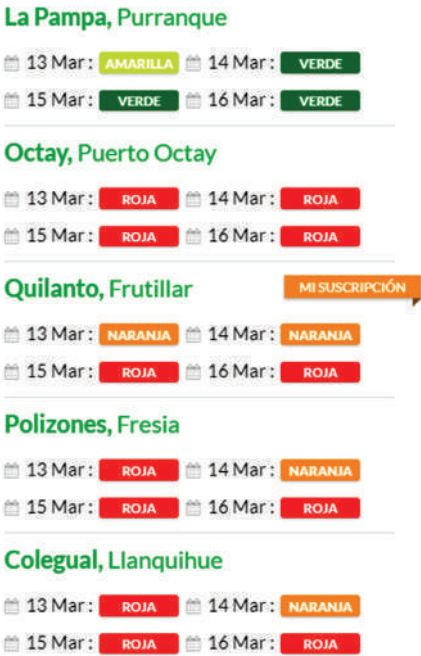


Figura 6. Uso del pronóstico meteorológico de tres días para la alerta de Tizón tardío. Fuente: <https://tizon.inia.cl>.

Capítulo 4

Seguro Agrícola

Gustavo Chacón Cruz

Ingeniero en Ciencias de la Computación

gchacon@inia.cl

Introducción

El Comité de Seguros del Agro (Agroseguros) es una entidad creada por el Consejo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) el año 2000, con la finalidad de desarrollar y promover los seguros para el Agro, y administrar un subsidio del Estado para el copago de las primas de los seguros silvoagropecuarios. Los recursos para el pago de los subsidios y gastos operacionales de Agroseguros, provienen del presupuesto del Ministerio de Agricultura y son traspasados anualmente a CORFO mediante un Convenio de Transferencia de Fondos.

La misión de Agroseguros es desarrollar y promover herramientas de transferencia de riesgos para el sector silvoagropecuario y administrar un subsidio estatal para fomentar su contratación, así los agricultores podrán asegurar su capital ante eventos climáticos adversos.

- Cultivos anuales asegurables contra heladas, lluvia, granizo, viento, nieve y sequía en zona de seco:
 - Cereales: trigo, maíz, avena, arroz, triticale, centeno.
 - Cultivos industriales: achicoria, tomate industrial, raps, remolacha, tabaco.
 - Cultivos forrajeros: nabo, maíz forrajero, col forrajero, raps forrajero.
 - Hortalizas: Ají, ajo, arveja, betarraga, cebolla, cilantro, coliflor, lechuga, maíz choclo, melón tuna, papa, pepino, pimiento, repollo, sandía, tomate, zanahoria, entre otros.
 - Leguminosas: poroto, lenteja, garbanzo, lupino.

- Los frutales asegurable contra granizo y helada:
 - Arándanos (**Figura 1**), frambuesas.



Figura 1. Daño por granizo en arándano. Autor: Liquidadora Ziel.

- Los frutales asegurable contra heladas, lluvia, granizo, viento y nieve:
 - Uva (**Figura 2**), manzana, pera, nogales y kiwi.



Figura 2. Helada en uva de mesa. Autor: Liquidadora Ziel.

Las compañías de seguros a cargo de la venta de los seguros agrícolas, utilizan la información de la red agroclimática para su gestión operativa.

Dentro de los usos podemos encontrar los siguientes:

- Para tarificar nuevos productos (seguros climáticos):
 - Con información fidedigna se puede cobrar lo “real” en relación al producto ofrecido.
 - Es necesario saber la historia climática de una zona agrícola.
 - Es importante conocer el porcentaje de ocurrencia de los fenómenos climáticos. Por ejemplo, cuántas heladas ocurren y de qué características son, es decir, por cuántas horas hiela y a qué temperatura ambiental baja el termómetro.
 - Saber también cuáles son las precipitaciones de la zona.
Cuando no hay información climática, la empresa debe minimizar el riesgo aumentando las tarifas. Para suplir la falta de información, se recurre a servicios más especializados.
 - Al tener información climática certera se pueden desarrollar seguros catastróficos “paramétricos”, es decir, que se puedan pagar siniestros en base a parámetros climáticos anormales y definidos. Por ejemplo, pagar seguros en base a disminución de precipitaciones (mm) registradas correspondientes a un 50% inferior a lo registrado en los últimos 10 años, para ciertas zonas y épocas del año.
- Para liquidar seguros:
 - Se utilizan las mismas estaciones existentes para tarificar nuevos productos para el proceso de liquidación de siniestros reportados.
- Si hay más información para más rubros, se pueden generar más productos (seguros).
- En el año 2000 partieron los seguros para cultivos anuales, luego frutales en el año 2004 primero vid y manzano el 2007, bovino el 2012 e incendios forestales el 2016.
- En términos de número hay muchas más de pólizas en cultivos anuales (15.000) que en frutales (2.000) (*Fuente: HDI Seguros*). Pero, por otro lado, el monto asegurado y el subsidio es mayor en frutales que en cultivos anuales.

Las actuales necesidades de las empresas de seguros en Chile indican que hay muy poca cobertura de estaciones meteorológicas en diferentes áreas agrícolas con potencial para acceder a seguros agrícolas. Por ejemplo, Freire, zonas arroceras en las regiones de Maule, Ñuble y Biobío y región de Tarapacá.

A pesar de que muchas estaciones han sido financiadas por privados, para este rubro se requiere una red que represente fehacientemente la realidad agrícola del país.

Características y necesidades de los seguros agrícolas

- Los seguros contra enfermedades se pagan sólo si son consecuencia directa del clima. Como por ejemplo, *Botrytis* en uva y Tizón en papa, ambos al verse afectados por lluvia anormal a la fecha y seguido de altas temperaturas. Todas las otras enfermedades que tienen un agente causal definido, que no dependen de la variación climática y que cuentan con mecanismos de control (físicos y químicos), tanto preventivos como curativos, no son cubiertos por los Seguros Agrícolas.
- En este aspecto, los datos agrometeorológicos permitirán identificar la variación entre un evento climático y otro (mm y t°), causal directa para que se presenten enfermedades como las mencionadas.
- En general las compañías de seguro usan los datos climáticos diariamente y necesitan descargar datos históricos para establecer zonificaciones climáticas.
- La red agroclimática es la herramienta más certera que se tiene para acceder a los datos meteorológicos. Otra fuente es por medio de fotos satelitales, instancia que permitirá complementar la información primaria.

Riesgos cubiertos derivados de eventos climáticos

a) Sequía agrícola en secano: Se entiende por tal, a la insuficiente disponibilidad de precipitaciones, originando una sequía para un cultivo de secano y que provoque estrés hídrico en los cultivos asegurados. Entre los daños considerados se incluyen: deshidratación, marchitamiento, enrollamiento, secamiento total o parcial de cualquier órgano de la planta, polinización irregular, afectación en la formación del embrión, marchitez permanente o muerte de la planta (**Figura 3**).



Figura 3. Daño por sequía en avena comuna de Melipilla. Autor: Liquidadora Ziel.

b) Lluvia excesiva o extemporánea: La acción directa de precipitación que, por su intensidad, persistencia, frecuencia o inoportunidad, por encima de un umbral definido, causa los siguientes daños: arrastre, descalce o enterramiento de las plantas, encostramiento del suelo, asfixia radicular, desgrane o germinación de los granos en pie. Se cubren los daños de inundación causados por desbordes directamente atribuibles a lluvias excesivas, incluyéndose caídas, arrastres, enterramientos y enlodamientos del producto asegurado (**Figura 4**).



Figura 4. Cultivo de pepino anegado por lluvia. Autor: Liquidadora Ziel.

c) Helada: Temperatura crítica mínima de cada una de las fases de desarrollo vegetativo que, debido a la formación de cristales de hielo en los tejidos de la planta, ocasione una pérdida en el producto asegurado a consecuencia de detención irreversible del desarrollo de la planta o sus frutos, necrosis parcial y/o muerte de la planta (**Figura 5**).



Figura 5. Daño de helada en maíz y en manzana. Autor: Liquidadora Ziel.

d) Granizada: La acción directa e inmediata de precipitación atmosférica de agua en estado sólido que dé como resultado: traumatismos, desgarramientos o caídas parciales o totales de flores, hojas o frutos, necrosis parcial o muerte de las plantas (**Figura 6**).



Figura 6. Daño por granizo en manzano. Autor: Liquidadora Ziel.

e) Nevada: La acción directa de la precipitación atmosférica de agua en estado de nieve que dé como resultado daños por: desgarramientos o caídas parciales o totales de flores, hojas o frutos, necrosis parcial o muerte de las plantas.

f) Viento fuerte: La acción directa de un movimiento violento de aire que, por su intensidad y duración ocasione, por acción mecánica, daños al producto por desgarramientos o desprendimiento de flores, hojas o frutos, fractura de tallos, tendadura o desarraigamiento de la planta.

Agradecimientos:

Bárbara Cañas P., Leonardo Vargas B., Paula Gatica R.,
División Silvoagropecuaria, HDI Seguros.

Jaime Madrid Véliz,
Socio Liquidador Oficial en Ziel Liquidadores de Seguros.

Jorge Vega Urriola,
Jefe Departamento Desarrollo y Promoción, Agroseguros Ministerio de Agricultura.

Capítulo 5

Sistema Avispa-t

Gustavo Chacón Cruz

Ingeniero en Ciencias de la Computación
gchacon@inia.cl

Introducción

Avispa-t es un sistema de monitoreo en línea para ayudar a controlar la avispa Chaqueta Amarilla (*Vespula germanica*) en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, desarrollado por profesionales de INIA La Platina.

El sistema utiliza un modelo predictivo que, en base a las temperaturas medias registradas por una estación meteorológica automática, tiene la capacidad de predecir y dar aviso al usuario suscrito a esa estación, cuando comenzarán a volar las avispas reinas y luego las obreras. Con dicha información, el usuario puede aplicar las medidas de control en el momento más oportuno.

En la página web del sistema, **avispa-t.cl**, se incluye información de cómo controlar esta plaga social de forma eficiente y natural, utilizando botellas plásticas, agua y vinagre de manzana (Figura 1).

La aplicación informática integra conocimientos, datos e intereses provenientes de trabajos de investigación desarrollados por científicos del INIA. Por un lado, los resultados del proyecto de investigación FONDEF DO-31 1076 "Manejo integrado de la avispa chaqueta amarilla *Vespula germanica*



Figura 1. Logo del proyecto. Elaboración propia.

(Fabricius) (Hymenoptera: Vespidae)", liderado por la investigadora Patricia Estay de INIA La Platina entre los años 2004 y 2007. Por otro lado, datos en línea provenientes de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas Automáticas del INIA (<http://agrometeorologia.cl>).

Descripción del problema y la solución

La avispa chaqueta amarilla es una plaga social que se introdujo en 1970 a Chile y que afecta, tanto a la biodiversidad de nuestros ecosistemas naturales, como a las actividades humanas realizadas al aire libre.

Si bien es imposible erradicar esta plaga, podemos bajar de forma importante su cantidad, utilizando cebos específicos como medida de control. Pero, ¿cuándo estos cebos deben ser instalados? Para responder a esa pregunta, puede ingresar a Avispa-T, una aplicación web que le avisa de forma oportuna cuando ponerlos.

¿Cómo funciona?

1. Busca y selecciona la antena de monitoreo más cercana en **avispa-t.cl**.
2. Suscríbete a la antena con tu nombre, apellido y correo electrónico.
3. Cuando ocurra un momento crítico en el ciclo de vida de la avispa, la aplicación te enviará un mensaje contándote en qué estado está la plaga y las medidas de control que puedes adoptar.



La trampa

La trampa para la chaqueta amarilla requiere 50% de vinagre de manzana y 50% de agua. Esta mezcla no atrae a las abejas, porque se podría decir que son "vegetarianas", no así la avispa *Vespula germanica* que es "omnívora", o sea, come de todo, incluso carne.

Por otro lado, las avispas chaqueta amarilla, que fabrican sus panales en las cornisas de las casas son las llamadas “**papeleras**” (*Polistes dominula*). Esta especie tiene antenas amarillas y no son carnívoras ni dañinas como la *Vespula germanica* que tiene antenas negras y hace sus nidos bajo tierra. Por eso, normalmente las avispas chaqueta amarilla “malas” se encuentran en zonas rurales y en los campings.

Momentos críticos

- **Aún no vuelan**

La avispa “en blanco y negro” significa que aún no se han alcanzado las temperaturas necesarias para su primer vuelo después del letargo invernal.

Control: Aún no se deben colocar las trampas para reinas.



- **Vuelo de reinas**

Inicio del vuelo de las avispas reinas, que salen de su letargo invernal y buscan un lugar óptimo para crear sus nidos o colmenas y poner huevos que darán origen a las primeras obreras.

Control: Principal momento para colocar las trampas para reinas con agua y vinagre de manzana. Revisa el video con las instrucciones detalladas o descarga el folleto desde www.avispa-t.cl.



- **Vuelo de obreras**

Comienzan a volar las obreras mientras se observan los primeros nidos o colmenas en formación. La reina se queda en la colmena poniendo hasta 300 huevos diarios.

Control: Primer momento para usar las trampas para obreras. Construye esta trampa con una botella de plástico desechable de 2 o 3 litros, con 2 aberturas a diferente altura en cada lado, de manera que la avispa entre por un lado y no pueda salir de inmediato por el otro. Llénela con agua y detergente casi hasta las aberturas. Coloca como cebo en su interior un trozo de 2x2 cm de carne con grasa o trozos de pollo, vienas o longaniza. Este cebo lo puedes colgar con un alambre o lienza que atraviese la tapa de la botella. Reemplaza el cebo cada 3 días. Distribúyelas en un radio de 300 mt, una trampa cada 50 mt, a una altura de 2 mt en árboles o postes evitando el sol directo. Asegúrate que las avispas caídas estén muertas y entiérralas.



- **1º peak de vuelo**

Viene un fuerte incremento en la cantidad de avispas obreras volando.

Control: Segundo momento para usar las trampas para obreras. Construye la trampa con una botella de plástico desechable de 2 o 3 litros, con 2 aberturas a diferente altura en cada lado, de manera que la avispa entre por un lado y no pueda salir de inmediato por el otro. Llénela con agua y detergente casi hasta las aberturas. Coloca como cebo en su interior un trozo de 2x2 cm de carne con grasa o trozos de pollo, vienesas o longaniza. Este cebo lo puedes colgar con un alambre o lienza que atraviese la tapa de la botella. Reemplaza el cebo cada 3 días. Distribuir en un radio de 300 mt, una trampa cada 50 mt, a una altura de 2 mt en árboles o postes evitando el sol directo. Asegúrate que las avispas caídas estén muertas y entiérralas.



No uses trampas con cebos azucarados porque pueden dañar a las abejas y otros insectos benéficos. Marca los sitios en el campo donde observes avispas en el suelo o que estén entrando o saliendo de un nido. Aleja a los niños del lugar. No retire usted solo el avispero. En invierno es posible que las reinas están invernando.

- **2º peak de vuelo**

Segundo incremento importante de vuelos, mayor al anterior. En esta etapa comienza una fuerte expansión de la colmena y la población de la avispa sigue creciendo.

Control: Demasiado tarde para ejecutar medidas de control eficientes, sin embargo igual puedes usar las trampas con cebos de las etapas anteriores. También, existe la opción de utilizar los cebos comerciales registrados en el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (Actara 25 WG, Alsystin 480 SC y Vespugard).



IMPORTANTE. Si eres mordido por una avispa abandona el área, porque es probable que otras avispas puedan venir en ayuda de la atacante. No las agredas. Lava el área afectada con agua y jabón. Aplica un anestésico local o compresas de agua fría o hielo. Si presentas síntomas de alergia, acude a un médico. No dejes alimentos ni restos de comida al aire libre, mantén la basura bien tapada. En paseos y asados durante enero y febrero pon atención al alimento antes de llevarlo a la boca.

Descripción del algoritmo

A través de una conexión API (Application Programming Interface) a la base de datos de la red agroclimática del INIA, el sistema lee los datos de temperatura media cada 15 minutos y calcula los Grados Día en Base 10 para una estación meteorológica en particular. Los datos se guardan en una tabla, en la base de datos que se llama “muestra”. Para cada día, el sistema debe sumar la temperatura máxima y la mínima y dividir el resultado en 2. A este resultado, se le resta 10 grados. Si el resultado obtenido es menor que 0, no se suma grados día. Si es mayor a 10°, se acumulan los grados día.

Descripción de la tabla “muestra”

La tabla **muestra** de la base de datos del sistema es la que contiene la información recolectada. Esta tabla cuenta con millones de registros de temperaturas.

La tabla **muestra** se compone de los siguientes campos (nombres exactos):

1. **idEmaVariable**: Referencia al registro de la tabla “ema_variable” que representa las asociaciones de variables para la EMA.
2. **Tiempo**: Tiempo de la medición, no repetible en combinación con idEmaVariable.
3. **idTemporada**: Para agrupar muestras según una temporada anual.
4. **idEmplazamiento**: id del emplazamiento al cual esta muestra pertenece.
5. **Valor**: Valor de la **muestra** (°C).
6. **Válido**: Indica si el valor es considerado correctamente obtenido por el datalogger o es un error en la medición.

idEmaVariable y **tiempo** son las llaves primarias de la tabla. La tabla muestra está relacionada a la tabla “ema_variable” y ésta a “ema” y “variable”.

Capítulo 6

Riego y Evapotranspiración

Hamil Uribe Cifuentes

Ingeniero Civil Agrícola
huribe@inia.cl

Rubén Ruiz Muñoz

Ingeniero Civil Agrícola
reruiz@inia.cl

Introducción

Es claro que el agua que pierden los cultivos necesita ser reemplazada, ya sea a través de la lluvia o a través del riego. Pero, calcular la tasa de pérdida de agua no es fácil, porque es un proceso multifactorial, siendo la Evaporación (E) y la Transpiración (T), fundamentales.

La Evaporación (E) es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y la Transpiración (T) consiste en la vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales y su paso a la atmósfera. En conjunto la Evaporación y la Transpiración constituyen la Evapotranspiración (ET).

A medida que los cultivos se desarrollan, la relación entre E y T cambia drásticamente, lo mismo que la ET. Mientras que, en etapas tempranas del cultivo, cuando éste todavía es pequeño, la pérdida de agua es dominada por la evaporación, mientras en un cultivo completamente desarrollado, la mayor parte del agua se pierde por transpiración. El clima juega un papel clave en estos procesos, ya que la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa y el viento influyen mucho en la evapotranspiración.

A nivel de la planta estos procesos son muy importantes, puesto que determinan el consumo de agua de las mismas. De aquí nace la necesidad de cuantificar la ET de los cultivos.

El cálculo de las necesidades de riego se basa en estimar la Evapotranspiración Actual del cultivo (ETa), sin embargo, dada la dificultad para determinarla en cada cultivo, se prefiere usar el concepto de Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo). La ETo se puede calcular mediante diversos métodos, lo cuales requieren datos climáticos, de ahí la importancia de contar con redes de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que permitan el acceso oportuno a la información para el riego.

Evapotranspiración de cultivo de referencia (ETo)

El punto de partida para programar el riego es conocer la Evapotranspiración de Referencia (ETo), definida como el consumo de agua de una pradera bien abastecida de agua, de 12 cm de altura (Allen, R. G., *et al.* 2006). También, se le conoce como Evapotranspiración Potencial (ETp) y normalmente se mide en milímetros por día (mm/d), puesto que se trata de una lámina de agua.

Existen diversas formas de obtener la ETo

Hace algunos años se utilizaba una bandeja de evaporación, sin embargo actualmente, dado que se dispone de datos meteorológicos diarios en tiempo real de las EMAs, es estimarla mediante modelos, siendo la ecuación de Penman Monteith la más aceptada. Esta ecuación permite estimar ETo sobre la base de datos diarios de temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento que son los que más influyen sobre el consumo de agua de la plantas (**Figura 1**).



Figura 1. Factores que determinan la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

Actualmente existen redes de estaciones agrometeorológicas automáticas, como la disponible en <http://agrometeorologia.cl>, que miden las variables para estimar ETo y también entregan el valor estimado de la evapotranspiración de referencia por Penman Monteith directamente (Figura 2).

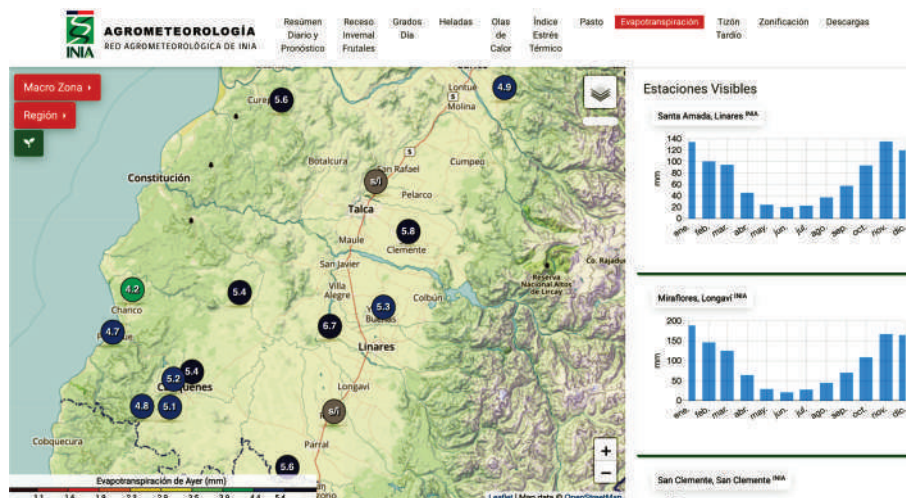


Figura 2. Plataforma Agromet para obtención de ETo y otras variables climáticas.

Se debe resaltar que, aunque muchas variables agroclimáticas se pueden obtener en forma horaria, la ETo se entrega por día e indica el agua evapotranspirada por una pradera en condiciones estándar.

Demanda de riego

La importancia de las EMAs es que permiten obtener fácilmente la ETo como primer paso para determinar la demanda hídrica de un cultivo. Es importante seleccionar una EMA que represente correctamente el clima del predio que se desea regar. Una forma simple es buscar la EMA más cercana.

Hasta aquí sólo se ha indicado cómo estimar la demanda hídrica del cultivo estándar de referencia o ETo, pero al agricultor le interesa regar otro cultivo diferente al de referencia. Para alcanzar este objetivo se debe introducir otro concepto, el coeficiente de cultivo.

Coeficientes de cultivo

En el enfoque de coeficiente de cultivo (K_c), el efecto de la transpiración de cultivos y la evaporación del suelo, se combinan en un único coeficiente K_c , que relaciona la ET_a del cultivo y la ET_o de referencia (**Ecuación 1**).

$$ET_a = K_c \times ET_o$$

La curva de coeficiente K_c se muestra en la **Figura 3**. Poco después de la plantación de cultivos anuales, o poco después de la iniciación de nuevas hojas para cultivos perennes, el valor para K_c es pequeño (K_c ini), a menudo menor que 0,4. El K_c comienza a aumentar a partir del K_c ini al comienzo del desarrollo rápido de la planta y alcanza un valor máximo (K_c mid) en el momento del desarrollo máximo de la planta. Durante el periodo tardío, a medida que las hojas comienzan a envejecer, debido a procesos naturales o prácticas de cultivo, el K_c comienza a disminuir hasta alcanzar el valor más bajo al final del período de crecimiento igual al K_c final (K_c fin).

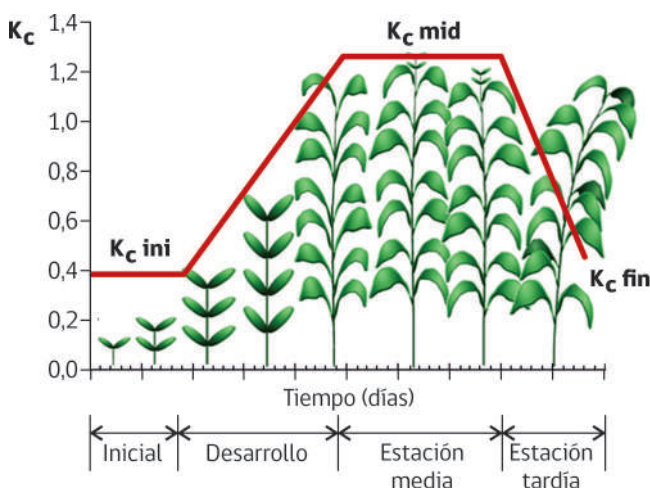


Figura 3. Curva de K_c durante el desarrollo del cultivo.

La duración de los períodos del cultivo y sus correspondientes valores de K_c se encuentran tabulados, aunque pueden ser adaptados si se cuenta con información local.

Demanda Neta

La demanda neta (DN) es el volumen de agua que consume la planta y se obtiene a partir de la ETa (**Ecuación 2**).

$$DN = ETa \times A$$

Donde:

DN : Demanda Neta (l/m²/día)

ETa : Evapotranspiración actual (mm/día $\cong$ l/m²/día)

A : Área (m²)

En caso de cultivos que cubren el suelo completamente la DN queda definida con la ecuación anterior, sin embargo, para cultivos frutales y otros que **cubren sólo parcialmente la superficie del suelo** se aplica un factor de cobertura (FC) que reduce la DN puesto que parte de la superficie no consume agua (**Ecuación 3**).

$$DN = \frac{(ETa \times A \times FC)}{100}$$

Donde:

DN : Demanda Neta (l/m²/día)

ETa : Evapotranspiración actual (mm/día $\cong$ l/m²/día)

A : Área (m²)

FC : Porcentaje de cobertura (%)

El FC se estima a partir del porcentaje de cobertura (PC) o porcentaje de área sombreada a las 12:00 de acuerdo al gráfico de la **Figura 4** o de la ecuación ahí descrita.

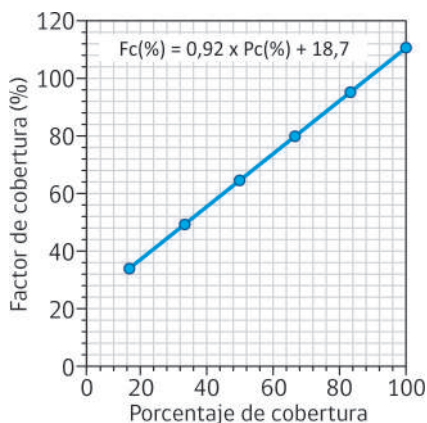


Figura 4. Gráfico y ecuación para estimar Factor de cobertura (FC) a partir de Porcentaje de cobertura (PC).

Demanda Bruta

Puesto que hemos estimado la DN, es decir, lo que realmente consume el cultivo, debemos ejecutar el riego y aplicar el agua necesaria. Pero, ocurre que no existe un método de riego perfecto, por lo que cualquiera sea la forma de regar habrá una pérdida. Esto significa que existe una eficiencia de los métodos de riego que no es 100%, lo que hace necesario aplicar un exceso de agua, incluyendo la que se perderá. El **Cuadro 1** presenta la eficiencia de riego para los métodos de riego más comunes.

Cuadro 1. Eficiencia de aplicación por método de riego.

Método de riego	% Eficiencia de aplicación
Tendido	30
Surco	45
Borde recto	50
Borde en contorno	60
Pretiles	60
Taza	65
Californiano	65
Aspersión	75
Micro jet	85
Goteo (cinta)	90

La Demanda Bruta (DB) corresponde al volumen de agua que debemos regar, que debe ser mayor que la DN de acuerdo la siguiente fórmula (**Ecuación 4**):

$$DB=\frac{DN}{Er}$$

Donde:

- DB** : Demanda bruta (l/m²/día)
- DN** : Demanda Neta (l/m²/día)
- Er** : Eficiencia de Riego (fracción decimal)

Ejemplo:

- ETo** : Evapotranspiración de cultivo de referencia (de agromet) = 6,9 mm/día
- Kc** : Coeficiente de cultivo, mes de enero = 0,9
- A** : Marco de plantación 3x3 m² = 9 m²
- PC** : Porcentaje de cobertura = 78%
- Er** : Eficiencia de riego por goteo (de Tabla 10.1) = 0,9
- FC** : Factor de cobertura (de Figura 10.4) = 90%

$$ETa = Kc \times ETo$$

$$ETa = 0,9 \times 6,9 = 6,2 \text{ mm/día}$$

$$DN = \frac{(ETa \times A \times FC)}{100}$$

$$DN = \frac{(6,2 \times 9 \times 90)}{100} = 50,22 \text{ l/(planta x día)}$$

Notar que el valor obtenido es por planta puesto que tomamos el área de una planta y es por día debido a que el ET es para 1 día.

$$DB = \frac{DN}{Er}$$

$$DB = \frac{50,22}{0,9} = 55,8 \text{ l/(planta x día)}$$

Capítulo 7

Determinación de estrés calórico en el sector lechero

Sergio Iraira Higuera

Ingeniero Agrónomo, MSc. Dr.

siraira@inia.cl

Rodrigo Bravo Herrera

Ingeniero Agrónomo Mg. Ec. Dr. Cs. Agr.

rbravo@inia.cl

Introducción

Los animales, en su condición normal, se encuentran sometidos a la influencia de factores climáticos, cuya combinación puede llegar a generar una condición de estrés calórico. Se debe señalar que la condición de estrés calórico se genera frente a la imposibilidad de eliminar el calor corporal, como consecuencia de la combinación entre temperatura y humedad relativa.



Figura 1. Ganado lechero (Fotografía Luis Opazo R, INIA Remehue).

La condición de estrés calórico se presenta básicamente cuando el animal se encuentra fuera de su área de confort o fuera de su zona termoneutral (**Figura 2**). Esta última se refiere al rango de temperatura ambiental en la cual el animal no requiere hacer ajustes fisiológicos para mantener su temperatura corporal, vale decir no debe enfriar ni calentar el cuerpo. El rango térmico de confort 5°C a 25°C para ganado lechero y -5°C a 29°C para ganado carne. Fuera de estos rangos los animales activan mecanismos fisiológicos que permiten la sobrevivencia de estos, pero con un impacto sobre la productividad.

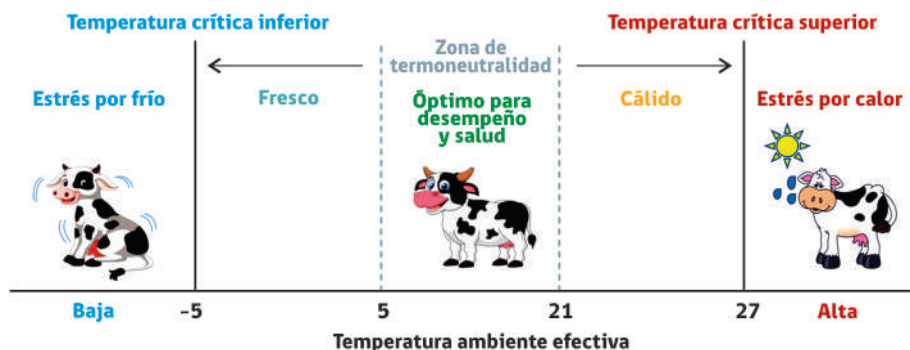


Figura 2. Condición de zona termoneutral en ganado bovino. Fuente: Armstrong DV. 1994.

La condición de estrés calórico generalmente está asociada sólo al incremento de la temperatura, sin embargo, el animal en su diario vivir está expuesto a una condición ambiental que incorpora además la humedad relativa, la radiación solar y el viento, por lo tanto, la combinación de estos factores puede ayudar a generar una condición de estrés calórico. Al respecto, podemos mencionar el impacto que ejerce cada uno de estos factores en la condición de estrés calórico:

- **Temperatura ambiental:** Es la variable más investigada y utilizada como indicador de estrés calórico.
- **Humedad relativa:** Es considerado como un factor que potencia el estrés del ganado, acentuando la condición adversa de las altas temperaturas. Su principal efecto se asocia a la reducción en la efectividad de la disipación de calor por respiración y sudoración. Así, por ejemplo, en condiciones de alta humedad relativa, se reduce el potencial de disipación de calor desde la piel y desde el aparato respiratorio, este último es crucial para mantener la condición homeotérmica (Homeotermia: Capacidad de regulación metabólica para mantener la temperatura del cuerpo constante e independiente de la temperatura ambiental).

- **Velocidad del viento:** El viento ayuda a reducir efectos por calor, ayudando a su disipación por las vías evaporativas. La condición de humedad de la piel afecta el resultado final del uso de viento como elemento para disipar el calor, así la transferencia de calor es más efectiva con la piel húmeda frente a una condición de piel seca. La velocidad del viento afecta igualmente la disipación de calor.

En el **Cuadro 1** se presenta el efecto de la combinación entre viento, humedad relativa y condición de la piel sobre la tolerancia de bovinos a la temperatura ambiental. En primera instancia se destaca que los animales en general tienen una mayor resistencia bajo una condición de baja humedad relativa y la condición de piel húmeda y viento también favorece esta mayor tolerancia a altas temperaturas. Bajo condiciones de alta temperatura ambiental, la condición de piel mojada con viento, con una alta o baja humedad relativa es la mejor opción, pudiendo llegar a tolerar 30°C y 35°C de temperatura ambiente, respectivamente.

Cuadro 1. Temperatura crítica (°C) en ganado vacuno según condición ambiental.

Categoría animal	Pelo seco sin viento		Pelo mojado con viento	
	Alta HR	Baja HR	Alta HR	Baja HR
Terneros nacimiento	+ 20	+ 22	+ 25	+ 28
Terneros 8 - 20 días	+ 22	+ 25	+ 28	+ 30
Terneros > 20 días	+ 25	+ 28	+ 30	+ 35
Vacas lecheras	+ 25	+ 28	+30	+ 35

- **Radiación solar (directa e indirecta):** afecta el balance térmico en el ganado. La radiación onda corta y onda larga tienen un fuerte impacto sobre el estrés por calor en los animales, afectando la temperatura rectal y la tasa de respiración.

En la actualidad, para determinar la condición de estrés calórico se utiliza el Índice temperatura - humedad (ITH), el cual a partir de distintas combinaciones de humedad relativa y temperatura ambiente se define un valor que fluctúa entre 64 y 99, **Figura 3**, definiendo dentro de esta escala cuatro categorías: 65 - 74: Normal; 75 - 78: Estrés leve; 79 - 83: Estrés severo y 84 - 100: Emergencia.

Cabe señalar, que este factor ITH no considera la radiación solar, la velocidad del viento, genotipo del animal, ni manejo productivo.

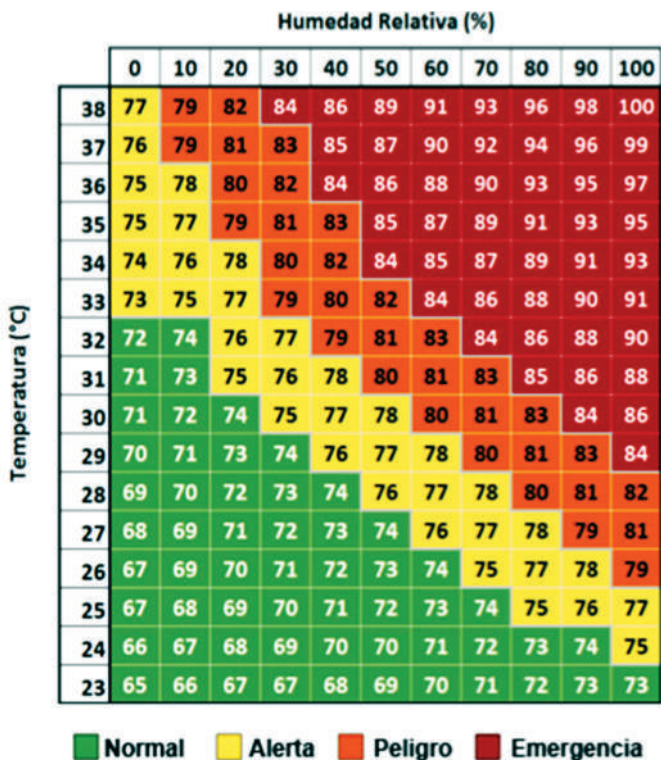


Figura 3. Índice Temperatura Humedad. Fuente: Elaboración propia.

El valor ITH hace referencia al efecto combinado de la temperatura y la humedad ambiente, por lo tanto, la frecuencia de uno u otro rango de ITH depende naturalmente de la región o zona donde se encuentren los animales. Al respecto, al determinar la condición de ITH > 72 para distintas macrozonas del país comprendidas entre la región de Aconcagua y Norte de Chiloé para el periodo comprendido entre año 2010 y 2015, **Cuadro 2**, se obtuvo lo siguiente:

- La condición de estrés calórico disminuye desde la región Metropolitana hasta Los Lagos, lo cual expresado en porcentaje de horas al año va desde 15,3% a 1,3%.
- El sector costero de la región de los Ríos y Los Lagos presenta una mayor condición de estrés calórico que el llano central de las mismas regiones.

- Entre los años 2010 y 2015 se registra un aumento importante en el número de horas de condición ITH > 72, destacándose las zonas al sur de la región de La Araucanía.
- Dentro del año, los meses en que se registra esta condición de estrés son diciembre, enero, febrero y marzo.

Cuadro 2. Condición de estrés calórico (ITH > 72) para distintas macrozonas del país y para 2 años.

Área Geográfica (Región)	Horas con ITH > 72 (% /año)	ITH > 72 (Número horas/año)		Variación horas con ITH > 72 (%)
		2010	2015	
Aconcagua, Metropolitana O'Higgins y Maule	15,3	1.161	1.322	13,9
Ñuble, Biobío y noroeste Araucanía	7,7	494	771	56,1
Centro – sur Araucanía	5,3	271	652	140,6
Llano central Los Ríos	3,7	-	521	231,8
Llano central Los Lagos	2,9	143	321	124,5
Llano sur y oeste Los Lagos y norte Isla Chiloé	1,3	29	133	358,6
Precordillera Andina Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	1,8	-	237	276,2
Precordillera de la costa Los Ríos y Los Lagos	3,3	-		286,3

La condición de estrés calórico para los meses críticos se manifiesta en distintos horarios durante el día, en la **Figura 4** se presenta un ejemplo del horario en que la condición ITH es superior a 72 para los meses con mayor frecuencia (diciembre, enero, febrero). En términos generales, esta condición se presenta a partir de las 13:00 horas y se prolonga hasta las 17:00, salvo casos excepcionales como en la macro zona Aconcagua – Maule en que esta condición se puede extender entre las 10:00 y 19:00 horas.

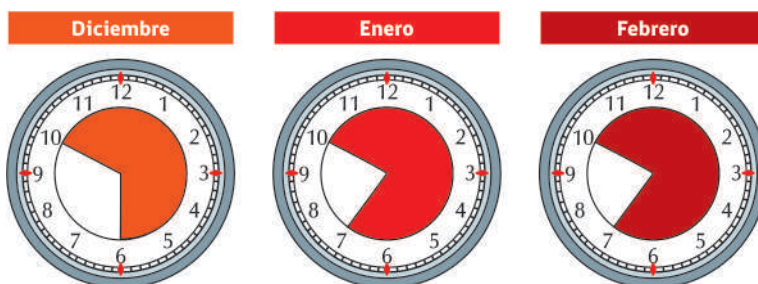


Figura 4. Rango horario bajo condición de estrés calórico para la zona Aconcagua - Maule. Fuente: Elaboración propia.

Efectos del estrés calórico

Se debe considerar que la condición de estrés calórico afecta el comportamiento alimenticio del animal y, por ende, su respuesta productiva. Por lo tanto, el ganadero deberá limitar las actividades de rutina diarias que requieran el movimiento del ganado e implementar un plan de manejo que puede incluir una reducción de la densidad de población, la preparación de espacios con sombra, mayor acceso a agua de bebida e incluso en caso de lecherías considerar la aspersión de agua en patio de espera de la sala de ordeña que permita refrescar y disipar calor. Entre los efectos del estrés calórico sobre bovinos se puede mencionar:

- Crecimiento del ritmo respiratorio (>80 pulsaciones/minuto), provocando pérdida de saliva y como consecuencia acidosis en el rumen. Lo normal son 50 pulsaciones/ minuto.
- Si la temperatura corporal se incrementa por encima de los 39 °C, el animal sudará más con objeto de refrigerarse. Esto lleva a un aumento significativo de las necesidades de agua, incluso pueden llegar a duplicarse en situación de estrés severo.
- Decrece la ingestión de alimentos, limitándose la actividad del rumen con objeto de no producir más calor endógeno. Al respecto, la ingestión de materia seca, no decae hasta que la temperatura sobrepasa los 25 °C. A 35 °C la ingestión real disminuye un 14%, siendo la disminución del 50% cuando la temperatura llega a 40 °C.

- Decrece el riego sanguíneo de los órganos del animal, dirigiéndose éste hacia la piel para paliar los efectos del calor.
- Distorsión de los parámetros reproductivos. Celos silenciosos, menor tasa de concepción muertes embrionarias.
- Disminución de detección de calores hasta 50% y tasa de concepción hasta 30%.
- El porcentaje de inseminación se incrementa hasta un 20% más de servicios.
- Incremento en la incidencia de retención de placenta, metritis y lamenitas.
- Las vacas que han tenido estrés calórico, durante su periodo seco generan terneros de menor peso vivo, calostro de menor calidad y menor producción de leche (8% a 12%).
- Menor desarrollo folicular, lo cual genera una menor eficiencia en la inseminación que se lleve a cabo durante este periodo (diciembre-febrero).
- Reducción en la conversión de alimento y disminución en la ganancia de peso.
- Disminución de la grasa y proteína en la leche: 0,2% – 0,4%.
- Incremento en células somáticas en la leche: 100,000.
- Aumento de mortalidad de terneros: 5% – 10 %.

Monitoreo del Índice de Estrés Calórico a través de redes de estaciones meteorológicas automáticas

En la actualidad, existen redes de estaciones meteorológicas automáticas que proveen de información en tiempo real a los usuarios, mediante la publicación de los datos meteorológicos en internet. En el caso de la Red de Agrometeorología de INIA (<http://agrometeorologia.cl>) se muestra el monitoreo del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en tiempo real.

El ITH es calculado a partir de los datos de temperatura del aire (°C) y la humedad relativa (%) que se registran y que se combinan de acuerdo a la **Figura 5**.

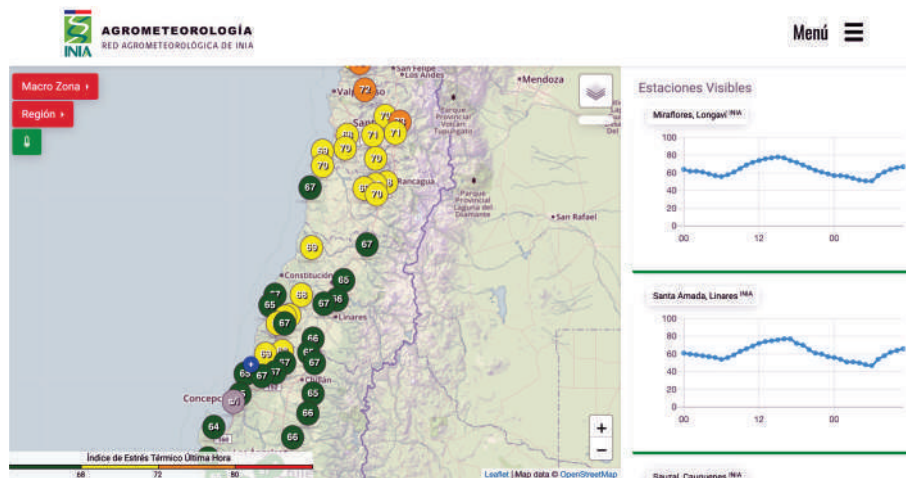


Figura 5. Ejemplo de visualización de ITH en estaciones meteorológicas en Agromet INIA.

Estas categorías son:

1. **Verde:** es la condición en el ITH se encuentra en valores menores a 68 y corresponde a un ambiente de buena confortabilidad para las vacas lecheras.
2. **Amarillo:** Corresponde a los valores ITH mayores a 68 y menores de 72. Es el nivel de estrés mínimo.
3. **Naranja:** Es un ambiente en que el ITH está entre 72 y 79, y que la combinación entre temperatura y humedad relativa del ambiente está generando un nivel de estrés elevado.
4. **Rojo:** Corresponde a valores del ITH mayor a 80 donde el ambiente al que están expuestos los animales es de un nivel de estrés moderadamente severo a severo. Bajo esta condición y dependiendo de la cantidad de horas a que están expuestos los animales el nivel de estrés es mayor.

El objetivo de usar un resumen en colores, similar a un semáforo, es que los usuarios puedan visualizar en forma simple y rápida la condición ambiental y puedan adecuar algunas medidas de manejo en los días de exposición a un ITH en niveles perjudiciales para el rebaño.

Capítulo 8

Grados día y fenología en vides

Marisol Reyes Muñoz

Ingeniero Agrónomo, Dr. Cs. Ag.
mreyes@inia.cl

Diego Arribillaga García

Ingeniero Agrónomo
darribil@inia.cl

Introducción

La disponibilidad de estaciones meteorológicas constituye un enorme beneficio para la agricultura. Cada vez se puede encontrar más información de calidad y de libre disponibilidad. Sin embargo, estos datos pueden ser mucho mejor aprovechados cuando son asociados con variables relacionadas con el crecimiento o desarrollo de las plantas. Por ejemplo, la temperatura determina la factibilidad de producir una especie en un lugar dado, luego afectará su velocidad de crecimiento y desarrollo, magnitud de su rendimiento y necesidades hídricas, entre otras.

La forma en que esta variable se relaciona con las etapas o estados fisiológicos de la planta se conoce como **Grados Día (GD)**. Para su cálculo, se debe conocer el promedio de la temperatura ambiente, más el umbral de cada especie que, en el caso la vid, es de 10°C, es decir, a la temperatura promedio se le restan los 10°C basales y cuando este valor es positivo se acumulan **GD** (Ibacache, 2008). Este cálculo puede hacerse diario o mensual y su acumulación o sumatoria en un período de tiempo se conoce como **Grados Días Acumulados (GDA)** y, dependiendo de la zona agro climática, se debe considerar, desde el inicio de la brotación (yema hinchada) hasta la cosecha, lo cual determinará, para cada variedad, su capacidad de fructificar y madurar.

El Centro Experimental INIA Cauquenes cuenta con registros climáticos desde el año 1964, lo que desde el 2011 son recepcionados mediante una Estación Meteorológica Automática (EMA). Ese mismo año se sumaron a la provincia de Cauquenes cinco EMAs, permitiendo cubrir una amplia superficie del territorio vitivinícola de la zona (**Figura 1**).

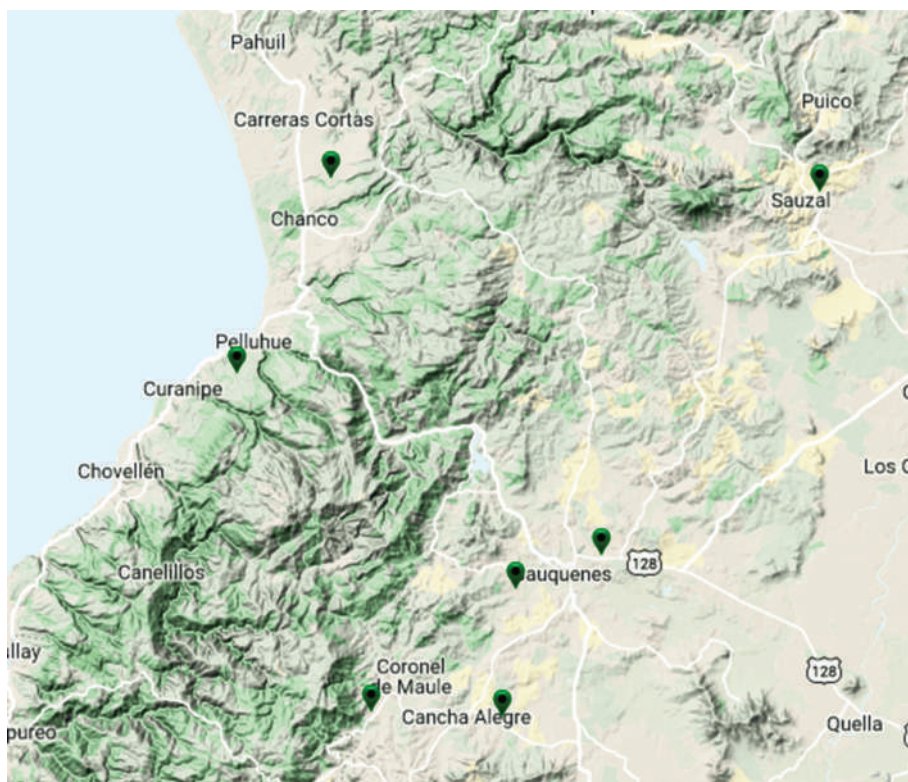


Figura 1. Mapa actual de localización de EMAs en la provincia de Cauquenes. Fuente: <http://agrometeorologia.cl>.

Dada la vocación vitivinícola del Centro Experimental INIA Cauquenes, desde 1991, se han realizado registros fenológicos sobre un banco de germoplasma de vides que incluye más de 50 variedades de uva para mesa y similar cantidad de uvas para vino, abarcando desde aquellas cuyo ciclo es de bajo requerimiento de temperatura para llegar a cosecha (**Figura 2A**), hasta aquellas de alto requerimiento térmico (**Figura 2B**). Para este registro se utiliza la escala fenológica de Eichhorn y Lorenz modificada por Coombe (1995) y se hace semanalmente.

Entonces, al relacionar los datos climáticos históricos y los registros fenológicos, es factible analizar los posibles cambios en la fenología asociados a variaciones en el clima, en particular los **GDA**. Posteriormente, con esta información, se pueden realizar propuestas de ajuste en los manejos agronómicos en general, determinar variedades y zonas más vulnerables a fenómenos climáticos, entre otros.



Figura 2. Variedad de bajo requerimiento térmico a cosecha: Portugais bleu (A) y una de elevado requisito: País (B).

Variaciones anuales en los GDA

El análisis de los **GDA** muestra, en primer lugar, que la magnitud de esta acumulación puede variar desde aproximadamente 1.000 a 1.800 **GDA** (**Figura 3**). Estos valores, en general, permiten cumplir los requisitos de acumulación térmica de todas las variedades mantenidas en el Banco de Germoplasma de este Centro.

El análisis de los datos climáticos ha demostrado que, en la zona, las temperaturas máximas han ido en aumento en el período registrado (Reyes, 2015), lo que implica que los **GDA** también se haya incrementados (**Figura 3**). Si bien este aumento puede tener una baja significancia estadística, para el sector vitivinícola, sus implicancias pueden ser considerables. En particular el aumento de las temperaturas puede llevar a disminuciones en el crecimiento de las vides, bajas en las cosechas, cambios en la calidad del vino, aumento del nivel de alcohol y disminución de la acidez entre otros efectos no deseados (Reyes, 2019).

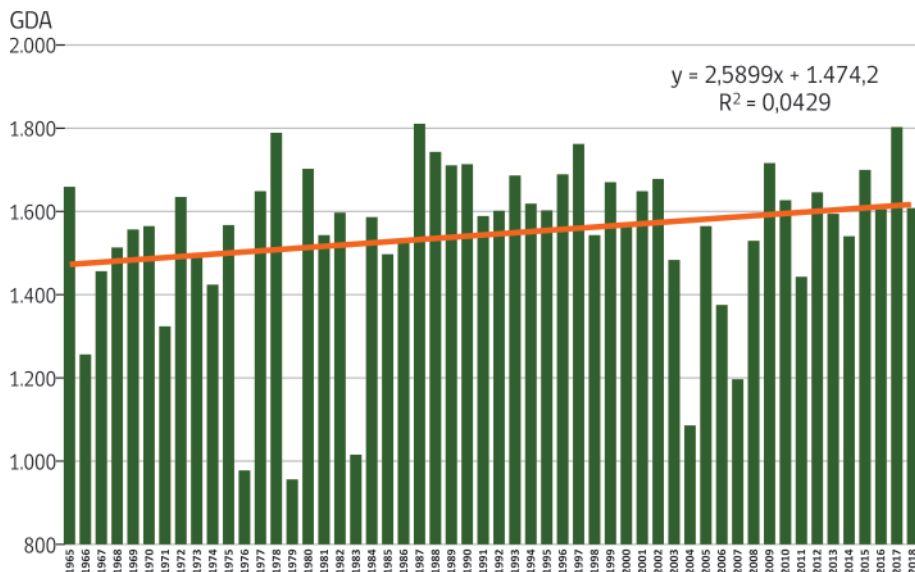


Figura 3. GDA en la Estación Meteorológica Cauquenes entre 1965 y 2018.

Estudios fenológicos

El estudio de los estados fenológicos (etapas del desarrollo de la planta) se ha utilizado para establecer modelos de crecimiento y desarrollo de vides (Ortega-Farías, *et al.* 2002). El registro de estas etapas permite, además, aplicar diferentes índices bioclimáticos relevantes para el cultivo de la vid. También, brinda la posibilidad de precisar los términos “temprano” o “tardío” en relación al desarrollo de la vid, con mayor exactitud que cuando se hace empíricamente (Rodríguez, *et al.* 2000). Sin embargo, estos trabajos tienen la dificultad de contar con datos de fenología confiables y de larga data (alto número de temporadas).

Como se observa en la **Figura 4**, todos los años se producen variaciones de diferente magnitud para cada uno de los estados, por lo tanto mientras mayor es el número de observaciones mayor será la confiabilidad del modelo predictivo que se desarrolle.

En la actualidad, se está trabajando con datos de casi 20 años para generar un nuevo modelo para el desarrollo de vides que permita diferenciar, entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, cuyas curvas de desarrollo son diferentes.

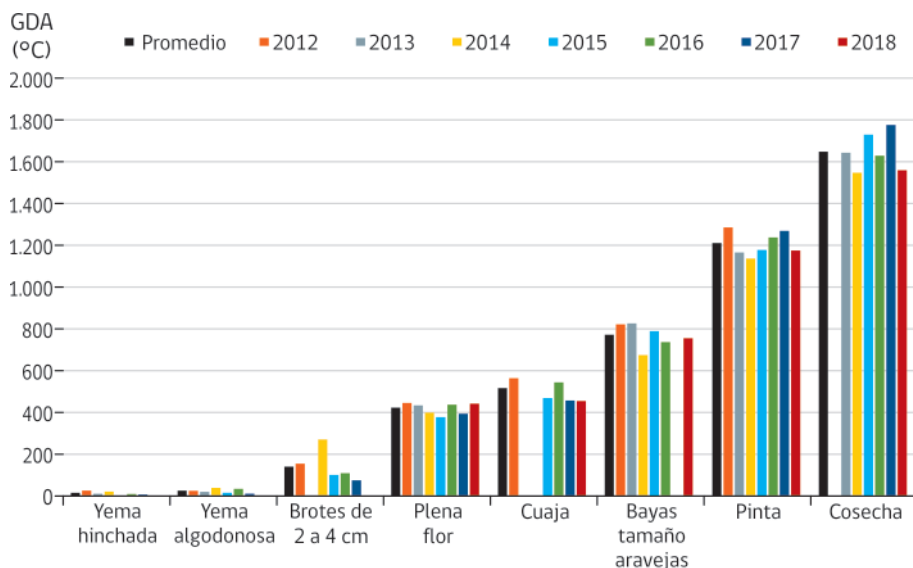


Figura 4. GDA para llegar a cada estado fenológico en la variedad País. Cauquenes, Temporadas 2002 a 2018.

El conocimiento de las necesidades térmicas, para llegar a cada estado fenológico, permite determinar la adaptabilidad de cada variedad a una determinada zona. Sin embargo, este estudio debe realizarse para cada estado, para precisar cuán temprana o tardía es la manifestación de cada uno y asociarlo con fenómenos climáticos que lo pudieran afectar.

Análisis de la ocurrencia del estado de “yema hinchada” para un grupo de variedades de brotación temprana demostraron que, entre los años 1991-1996 y 2011-2014, los requisitos térmicos para alcanzar este momento, en promedio, se habían reducido a la mitad (Reyes, 2018). Esto implica que el inicio de la actividad de las yemas se produce más temprano en la temporada. Si a este dato se le suma el hecho que las heladas primaverales, registradas en la zona de estudio, se han intensificado en la últimas décadas (Reyes, 2019), la proyección para variedades de brotación temprana puede no ser muy favorable, pues a medida que el desarrollo de las yemas avanza, más sensibles se hacen a las bajas temperaturas, siendo dañadas a una temperatura superior.

Exploración de nuevas zonas de producción

Para un país de tradición vitivinícola y larga geografía como Chile, el cambio climático ofrece la oportunidad de diversificar y ampliar las fronteras de la vitivinicultura nacional, permitiendo la incorporación de nuevas áreas de cultivo y la generación de productos diferenciados, distintos y únicos.

Las primeras exploraciones, por parte de INIA, de zonas consideradas “frías” y no tradicionales para la producción de vinos, se iniciaron el año 2000 y se extendieron hasta el 2004. En este trabajo se establecieron variedades que abarcan desde aquellas más tempranas a las más tardías en madurar, se registró su crecimiento, desarrollo fenológico y cualidades químicas y sensoriales de los vinos (Lavín, 2004). Estos antecedentes, más los registros fenológicos históricos de Cauquenes, permitieron contar con información suficiente para iniciar, en el año 2015, los trabajos para determinar la factibilidad de producir vides en la zona de microclima en la comuna de Chile Chico, ubicada en la provincia General Carrera, en la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, y elaborar allí los vinos más australes del mundo.

Los requisitos de **GDA** para completar el ciclo fenológico fueron determinantes para seleccionar las variedades que podrían alcanzar la madurez en dicha ubicación. En la **Figura 5** se presentan los **GDA** para cosecha en variedades tintas, correspondientes a las temporadas 2011 al 2018, donde se observa que las más tempranas en madurez son: Portugais bleu, Valdepeñas (Tempranillo) y Pinot noir. Similar trabajo se realizó sobre las variedades blancas, lo que permitió seleccionar ocho variedades para establecer en Chile Chico (**Cuadro 1**).

A partir de la temporada 2018 se ha realizado un registro de estados fenológicos sobre el viñedo establecido en Chile Chico (**Figura 6**), en aquellas variedades que han iniciado su desarrollo reproductivo (**Cuadro 2**). Esto permite contrastar el desarrollo fenológico en esta zona extrema y comparar con otras áreas productivas, además de generar importante información sobre la fisiología bajo estas condiciones climáticas. Algunos estudios han registrado menores requisitos en **GDA** a lo visto en Cauquenes (Villaseca, 2004), demostrando la importancia de caracterizar la expresión de cada variedad bajo las condiciones particulares de cada suelo y clima, los que darán como resultado la producción de vinos únicos y característicos del territorio.

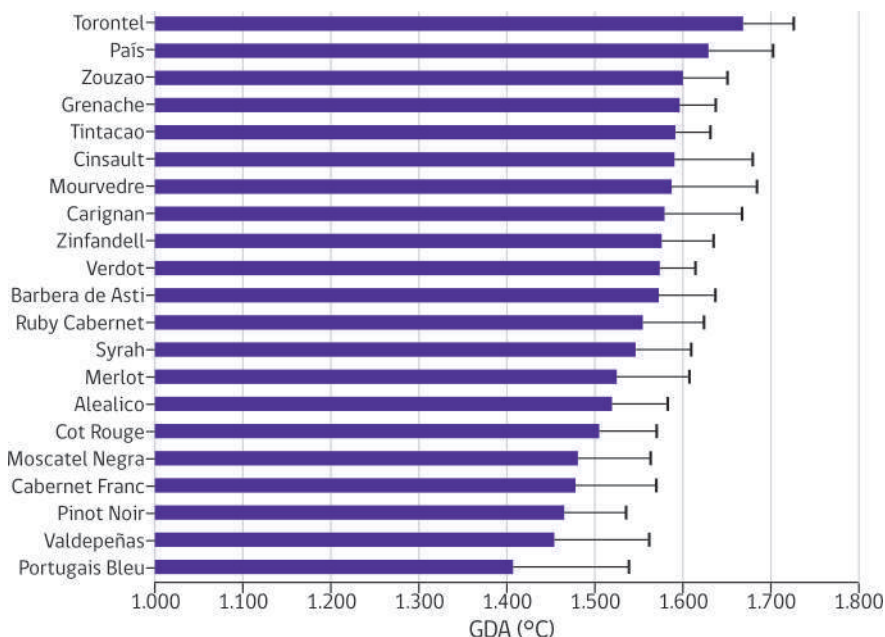


Figura 5. GDA a cosecha en 21 variedades tintas para vino. Promedio entre las temporadas 2011 a 2018. Barras corresponden a desviación estándar.

Cuadro 1. Variedades de ciclo corto a madurez, seleccionadas para establecer en la comuna de Chile Chico.

Variedad	Tipo
Pinot noir	Tinta
Portugais bleu	Tinta
Tempranillo	Tinta
Riesling	Blanca
Chardonnay	Blanca
Sauvignon blanc	Blanca
Pinot gris	Blanca
Gewürztraminer	Blanca

Cuadro 2. Estados fenológicos registrados la temporada 2018/19.

Fecha	Variedad					
	Pinot noir	Chardonnay	Gewürztraminer	Pinot gris	Sauvignon blanc	Portugais bleu Riesling
1/10/2018	Yema algodonosa	Yema algodonosa	Yema algodonosa	Yema algodonosa	Yema algodonosa	Yema algodonosa
16/10/2018	Puntas verdes	Roseta puntas verdes	Puntas verdes	Puntas verdes	Puntas verdes	Puntas verdes
30/10/2018	Inicio brotación	2da hoja	Inicio brotación	Inicio brotación	Inicio brotación	Inicio brotación
14/11/2018	4 hojas separadas	5 hojas separadas	4 hojas separadas	5 hojas separadas	6 hojas separadas	7 hojas separadas
13/12/2018	Inicio floración	10% floración	Inicio floración	Inicio floración	Inicio floración	Inicio floración
26/12/2018	20% floración	30% floración	20% floración	20% floración	20% floración	20% floración
8/1/2019	80% floración	100% floración	80% floración	80% floración	80% floración	80% floración
15/01/2019	100% floración	Bayas 2 mm	100% floración	100% floración	100% floración	100% floración
29/1/2019	Bayas tamaño arveja	Bayas tamaño arveja	Bayas tamaño arveja	Bayas tamaño arveja	Bayas tamaño arveja	Bayas tamaño arveja
3/3/2019	Pinta				Pinta	
26/3/2019	Brix intermedio	Brix intermedio	Brix intermedio	Brix intermedio	Brix intermedio	Brix intermedio
24/4/2019	21,8° Brix	23,4° Brix	24° Brix	21,7° Brix	22,7° Brix	23,4° Brix
						-



Figura 6. Vista de viñedo establecido en Chile Chico sobre el que se registra fenología.

El registro conjunto de los **GD** y los estados fenológicos en vides de diferentes características y destinos, proveen valiosa información frente al actual escenario de variabilidad climática. Permiten visibilizar los cambios en la aptitud de una determinada zona para una determinada variedad o ampliar las posibles zonas de producción de vides, estableciendo nuevas fronteras para el desarrollo vitivinícola del país y los servicios anexos que pueden interactuar con la vitivinicultura.

Capítulo 9

Boletín Agroclimático Mensual INIA

Jaime Salvo del Pedregal

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Ph.D.

jsalvo@inia.cl

Marcel Fuentes Bustamante

Ingeniero Civil Agrícola, M.Sc.

marcel.fuentes@inia.cl

Cristóbal Campos Muñoz

Ingeniero Civil Agrícola.

cristobal.campos@inia.cl

Introducción

Desde muy temprano en la historia del hombre que cultiva la tierra para producir alimentos, se tomó conciencia de la influencia del clima sobre la agricultura (DeMenocal, 2001; Gupta, 2014; Elliott, *et al.* 2010). La falta de información de cómo es el clima en una determinada localidad y de cómo va cambiando en el tiempo, crea incertidumbres sobre las decisiones de plantación y de manejo agronómico que se deben realizar para obtener buenos rendimientos cada año (Ashabokov, *et al.* 2019; Cashen and Darbyshire, 2017; Qamer, *et al.* 2019; Stigter, 2008; Mangani, 2019; Singh, *et al.* 2019). Aún más, el aumento sostenido de los niveles de CO₂ atmosférico (dióxido de carbono) crea indecisión sobre el comportamiento de las principales variables meteorológicas que afectan la producción agrícola, tales como: radiación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento. Estas variables meteorológicas afectan los procesos de producción de carbohidratos en la fotosíntesis y los procesos de refrigeración de las plantas expuestas al sol mediante transpiración.

Por lo tanto, el Boletín Agroclimático Mensual de INIA resuelve el problema de todos los conceptos indicados anteriormente, los cuales se resumen en las incertidumbres que tienen agricultores, técnicos y autoridades, respecto de los efectos que tienen los riesgos meteorológicos sobre la productividad agrícola.

Hoy sabemos que el resultado de la producción agrícola se sustenta en dos procesos biológicos bien caracterizados: por una parte, la fotosíntesis posibilita el aprovechamiento de la energía solar, contenida en las bandas azul y roja del espectro visible, para la producción de carbohidratos que se almacenan en forraje, granos, hortalizas y frutos (Yuncker, 1916; Pallas, 1967; Moshelion, *et al.*, 2015); por otra parte la transpiración permite que la planta se refrigere cuando está expuesta al sol y que mantenga una temperatura de trabajo adecuado para la fotosíntesis, idealmente en torno a 25°C. (Boyd, 2015; Crafts-Brandner and Salvucci, 2000).

Cuando hay sequías, aumenta el riesgo que las plantas sufran de estrés hídrico, se detiene el flujo de agua desde la raíz a las hojas, se cierran las salidas de vapor de agua reconocidas como estomas y se detiene la incorporación de gas CO₂ en las hojas, el cual constituye la materia prima para la producción de carbohidratos en la fotosíntesis. La falta de refrigeración provoca un incremento de la radiación infrarroja desde la hojas, (García-Tejero, *et al.* 2012; Zhuang, 2018).

Los procesos fisiológicos de transpiración y fotosíntesis son además influenciados por la humedad relativa. Cuando está lloviendo, y la humedad relativa del ambiente se encuentra en equilibrio con la humedad relativa al interior de la hoja, se abren los estomas y no se produce movimiento de vapor de agua desde la hoja hacia el exterior, por lo tanto, la transpiración es nula. En cambio, cuando la humedad relativa es baja, aumenta la transpiración. Si hay viento, el vapor de agua que sale desde la hoja es rápidamente removido y se intensifica aún más la transpiración.

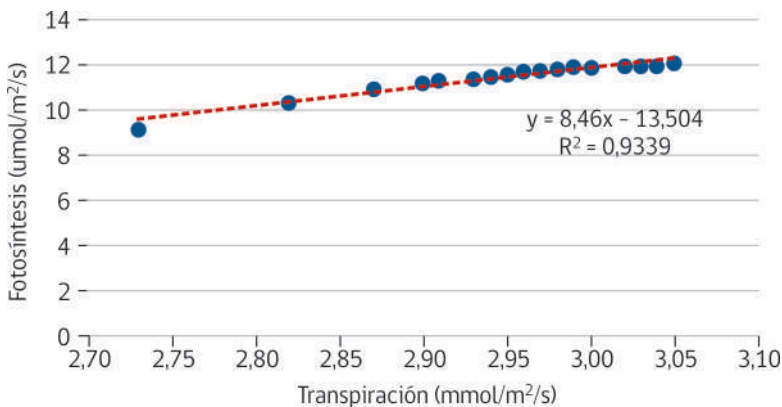


Figura 1. Tendencias de transpiración y fotosíntesis de hojas de palto en respuesta a cambios de temperatura. Diciembre 2015, 11 AM, Quillota.

La humedad relativa representa el contenido de vapor de agua del ambiente dividido por la presión atmosférica, por consiguiente la evapotranspiración varía fuertemente entre zonas costeras de alta presión y zonas del valle interior precordillerano que presentan menor presión (MacDonell, et al. 2013; Rahn, et al. 2011).



Figura 2. Diferencias de temperatura en hojas de palto detectada con sensor infrarrojo.

¿Qué ofrece el Boletín Agroclimático Mensual de INIA?

El Boletín Agroclimático Mensual de INIA ofrece una visión de lo que está ocurriendo con el clima y de cómo está afectando el desarrollo de los rubros agropecuarios más relevantes a lo largo del país.

El Boletín se divide en cuatro secciones: Lo primero es el componente **meteorológico** que se orienta a responder la pregunta ¿Qué está pasando con el clima?; a continuación se presenta el componente **hidrológico** que se orienta a ilustrar que está ocurriendo con la disponibilidad de agua; el tercer componente presenta la **situación de diversos rubros** en cada una de las 16 regiones del país, junto a recomendaciones sobre el manejo agronómico que corresponde de acuerdo a las condiciones meteorológicas e hidrológicas que se están presentando en cada región. El cuarto componente del boletín mensual da cuenta de la

condición vegetativa regional que se observa a través de indicadores satelitales EVI (Enhanced Vegetation Index) y NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), junto a indicadores satelitales de la disponibilidad de agua en las regiones que es posible aplicar este tipo de metodologías.

La información meteorológica base que se ofrece a lo largo del país corresponde a climodiagramas mensuales y reportes de temperaturas promedio que se generan con datos de la red meteorológica nacional <http://agrometeorologia.cl> y <http://www.agromet.cl> (**Figuras 3 y 4**). Sin embargo, a modo exploratorio, en algunas

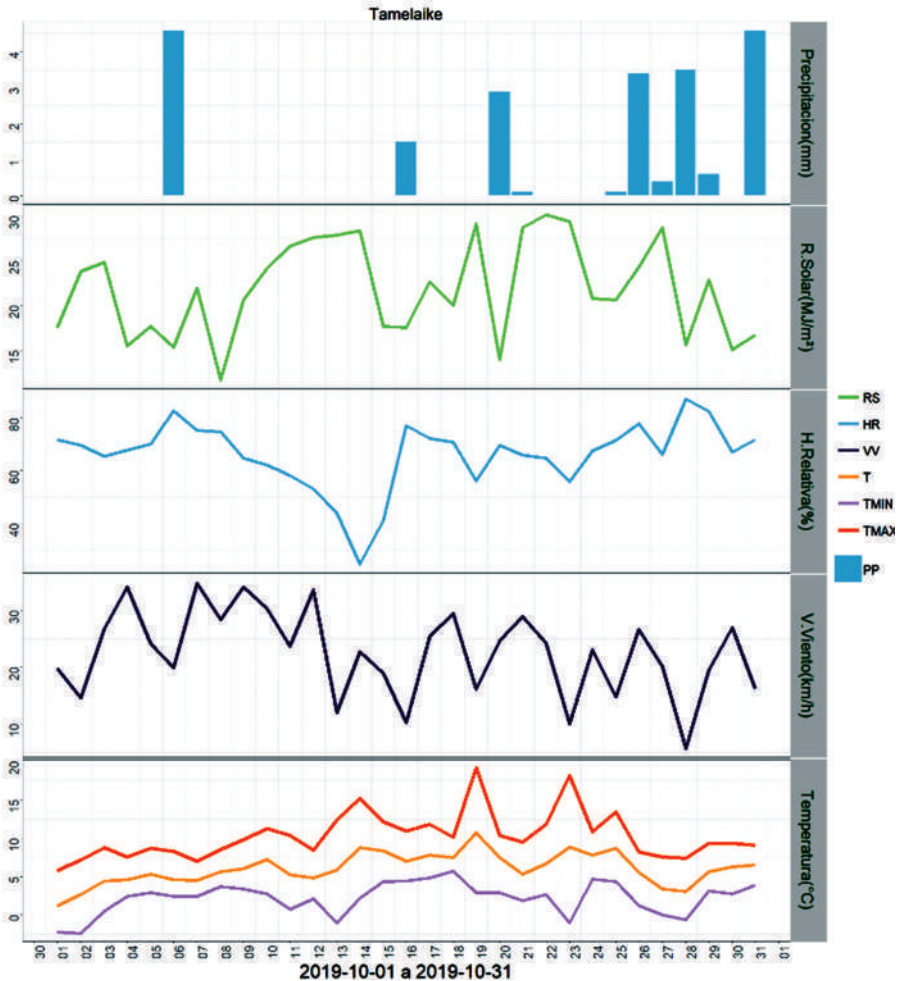


Figura 3. Climodiagrama mensual de la estación Tamelake de la región de Aysén.

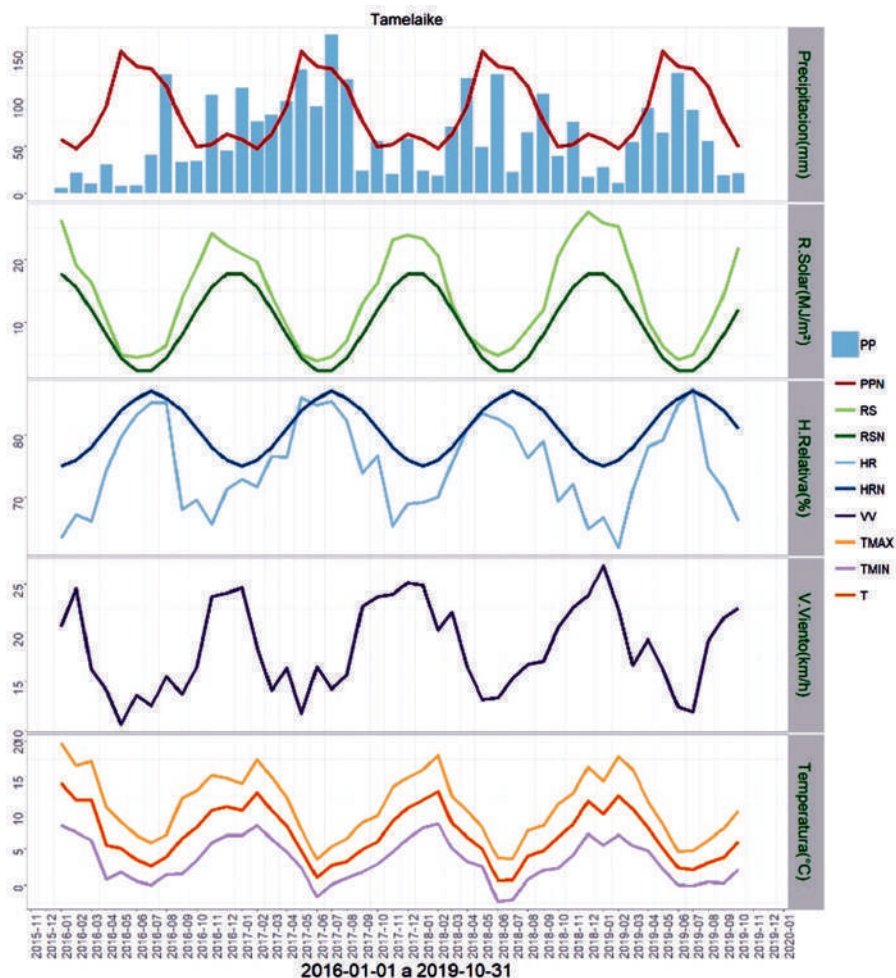


Figura 4. Climodiagrama interanual de la estación Tamelaike de la región de Aysén.

regiones se realizan análisis comparativo de las condiciones meteorológicas en varias estaciones meteorológicas representativas de diferentes zonas agroecológicas, entre dos años seguidos para un mismo mes (**Cuadro 1**).

Del mismo modo, en algunas regiones se presentan un mayor número de datos que reflejan lo ocurrido en el mes anterior cuando es de interés dar a conocer esta información, por ejemplo, en el caso de lluvias u ocurrencia de heladas (**Cuadro 2**).

Cuadro 1. Análisis comparativo de la varianza de radiación solar en 5 estaciones meteorológicas representativas del valle interior (Petorca y San Felipe) y del valle central con influencia marina (Quillota, Casablanca, San Antonio) en la región de Valparaíso, Noviembre 2019.

Variable	Medias	n	E.E.						
Radia Casablanca 2019	836,70	30	15,33	A					
Radia Casablanca 2018	893,34	30	15,33		B				
Radia San Antonio 2018	899,65	30	15,33		B	C			
Radia Petorca 2019	941,64	28	15,87			C	D		
Radia San Felipe 2019	947,03	30	15,33				D		
Radia San Felipe 2018	947,43	30	15,33				D		
Radia Quillota 2018	982,27	30	15,33				D	E	
Radia Petorca 2018	993,47	30	15,33					E	
Radia San Antonio 2019	1012,79	30	15,33					E	F
Radia Quillota 2019	1054,03	30	15,33						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 2. Precipitaciones mensuales del año en curso (PP) en comparación con las precipitaciones mensuales normales, en la estación meteorológica de Chiguayante en la región del Biobío.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	A la fecha	Anual
PPN	18	15	26	70	199	250	213	148	92	63	38	25	1.031	1.157
PP	11,1	0,2	20	10,4	129,1	347,8	164,9	93,5	74,9	-	-	-	851,9	851,9
%	-38,3	-98,7	-23,1	-85,1	-35,1	39,1	-22,6	-36,8	-18,6	-	-	-	-17,4	-26,4

La información hidrológica se confecciona a partir de la información contenida en el boletín hidrológico mensual de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la base de datos online del portal hidrológico de la DGA, cuando se requiere datos de caudales en tiempo real o datos de archivo del nivel de las napas subterráneas, (**Figuras 5, 6 y Cuadro 3**).

Región de Tarapacá, zona Pampa del Tamarugal, acuífero Pampa del Tamarugal
"JICA D"
UTM (WGS84) Norte: 7770096 m, Este: 428241 m, Altitud: 1.093 m.s.n.m.

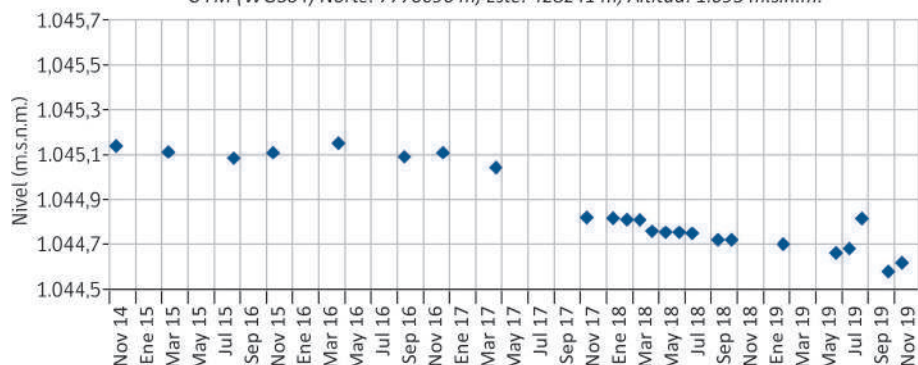
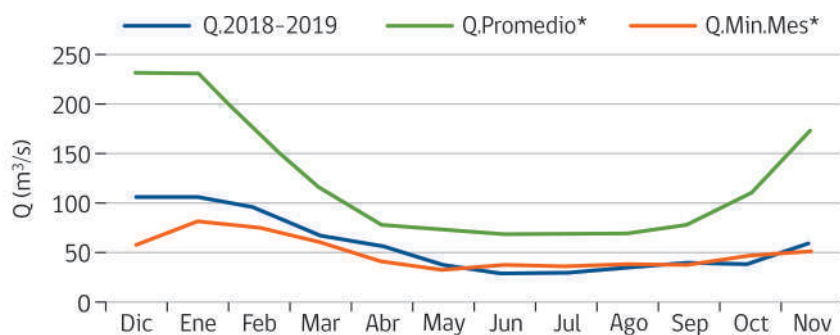


Figura 5. Descenso continuo de la napa subterránea de la Pampa del Tamarugal en la región de Tarapacá. Fuente: DGA, 2019. Boletín Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas, N° 499 Noviembre.



	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Q.2018-2019	106,0	106,0	93,8	67,2	56,5	38,5	28,8	29,8	36,3	39,9	39,3	60,9
Q.Promedio*	231,5	230,5	170,1	115,2	79,4	74,6	68,6	70,2	69,7	78,9	110,0	172,7
Q.Min.Mes*	58,7	81,8	75,9	61,8	42,0	33,9	38,0	36,0	38,6	38,2	47,0	51,9

Figura 6. Caudal del río Maipo. Fuente: DGA, 2019. Boletín Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas, N° 499 Noviembre.

Cuadro 3. Comparación de los caudales medios del mes de Noviembre 2019 a lo largo de todo Chile. Fuente: <http://dgasatel.mop.cl/>.

Variable	Medias	n	E.E.								
Río Siloli	0,15	700	5,00	A							
Río Copiapo	1,28	574	5,53	A							
Río Colpitas	2,00	729	4,90	A							
Río Lauca	2,21	730	4,90	A							
Río Elqui	3,00	729	4,90	A							
Río Aconcagua	3,34	728	4,91	A							
Río Itata	12,53	730	4,90	A	B						
Río Maule	13,65	728	4,91	A	B						
Río Grande	23,41	7,21	4,93		B						
Río Cachapoal	24,64	726	4,91		B						
Río Maipo	69,67	730	4,90			C					
Río Cautín	154,18	631	5,27				D				
Río Biobío	264,19	643	5,22					E			
Río Calle Calle	366,76	726	4,91						F		
Río Aysén	943,45	231	8,71							G	
Río Palena	1353,04	727	4,91								H

La situación actual de la actividad agrícola en cada región, junto a las recomendaciones que correspondan, se genera en un trabajo conjunto en que participan investigadores y extensionistas. A nivel nacional se genera un resumen de estas recomendaciones para las macro zonas Norte Grande, Norte Chico, Centro, Centro-Sur, Sur y Austral. Así se da cuenta de lo que está ocurriendo con sistemas de producción tan diversos como: plantaciones de hortalizas al aire libre y en invernadero desde la región de Arica y Parinacota hasta la región de Magallanes, cultivos de vides y frutales persistentes, producción de limones y paltos en el norte y centro del país, de lo que ocurre con viñas en la zona centro y sur, de frutales de carozo y pomáceas desde el centro al sur de Chile, de la producción de trigo y arroz en la zona sur, de las praderas forrajeras y de la producción animal en el sur y zona austral, entre otras (**Figuras 7, 8 y 9**).



Figura 7. Cultivo de papas en la región de la Araucanía.



Figura 8. Viñedos en Casablanca, región de Valparaíso.



Figura 9. Ganadería ovina en la región de Magallanes.

Tipos de recomendaciones para cada macrozona de Chile

ZONA NORTE GRANDE: Arica, Tarapacá, Antofagasta

Marzo 2019

- Evitar el exceso de riego, especialmente en zonas donde se presentan lluvias en el cultivo de Maíz choclero.
- No retrasar la cosecha, para evitar la reducción de los niveles de acidez del limón en Pica que ocurren con altas temperaturas.

ZONA NORTE CHICO: Atacama y Coquimbo

Abril 2019

- Seguir con los riegos al 100% de la evapotranspiración en precosecha de olivos.
- Mantener la hidratación de parras ya cosechadas, para que las hojas logren aprovechar la radiación solar disponible en la acumulación de reservas (carbohidratos) para la siguiente temporada.

ZONA CENTRO: Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins

Mayo 2019

- Se recomienda dar jarabe como incentivo tardío de otoño hasta lograr la población de abejas requerida para invernar.
- En el trabajo de secado artificial de las nueces hay que asegurar de no exponer a temperaturas mayores de 35°C.

ZONA CENTRO SUR: Maule, Ñuble y Biobío

Septiembre 2019

- Verificar si los trigos de invierno y/o de hábito alternativo ya se encuentran en etapa de encañado con la segunda dosis de nitrógeno ya aplicada.
- Mantener una baja carga animal en las praderas naturales y de auto siembra como las leguminosas anuales (trébol subterráneo, trébol balansa y hualputra) en mezcla con ballica.

ZONA SUR: Araucanía, Los Ríos y Los Lagos

Octubre 2019

- Completar la preparación de suelos para cultivo de papa tardía o de guarda de modo que se inicien las plantaciones a fines de octubre o la primera semana de noviembre.

- Proveer forraje conservado y granos en proporción adecuada para mantener la condición corporal de los animales ante el atraso del rebrote de primavera por mal tiempo con bajas temperaturas y nevazones.

ZONA AUSTRAL: Aysén y Magallanes

Noviembre 2019

- Revisar los resultados de las labores de polinización de los huertos de cerezos después de la ocurrencia de eventos de heladas que fueron controlados por sistema de aspersión de agua y movimiento de masas de aire.
- Programar la esquila de borregos y carneros “secos” y realizar la segunda selección de los futuros vientres ovinos, en base a características de vellón y de cuerpo en la zona de estepa de la región de Magallanes.

¿Cómo se accede al Boletín Agroclimático?

Para acceder a los Boletines Agrometeorológicos de INIA se puede ingresar a la página www.inia.cl, específicamente al menú principal “Productos y Servicios”, desde ahí a “Productos” y finalmente a “Boletines Agroclimáticos” (**Figura 10**).



Figura 10. Acceso al Boletín Agroclimático a través de <http://www.inia.cl>.

Opcionalmente, se puede ingresar directamente a través de la URL que se indica en la **Figura 11**.



Figura 11. Un modo alternativo de acceder es directamente a <http://www.inia.cl/agroclimatico/>.

Alternativamente, el Ministerio de Agricultura hace disponible el acceso de estos boletines en el sitio <http://dgir.minagri.gob.cl/>, como lo grafica la **Figura 12**.



Figura 12. Acceso a través del Portal del MINAGRI (<http://dgir.minagri.gob.cl/>).

Componente satelital

En combinación con información proveniente de estaciones meteorológicas e información obtenida desde imágenes satelitales (sensores remotos), INIA genera información actualizada y confiable sobre el efecto de las condiciones meteorológicas en la producción y productividad agrícola. Este trabajo, que se realiza en el Laboratorio de Agrometeorología de INIA Quilamapu en Chillán, es de gran apoyo para formular y desarrollar eficientemente los planes y orientar las políticas del sector agrario en Chile.

Sensor e imágenes satelitales

El monitoreo se realiza con imágenes registradas por el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM) (Wang, Liang, & Meyers, 2008), debido a que proporcionan los productos necesarios para el monitoreo de la vegetación. La órbita del satélite Terra es regular, pasa de norte a sur a través del Ecuador en la mañana, mientras que el Aqua pasa de sur a norte sobre el ecuador en la tarde. MODIS provee 36 bandas espectrales, extendiéndose en la longitud de onda de 0,4 μm a 14,4 μm , la resolución espacial es de 250, 500 y 1000 m, dependiendo del producto (Rodríguez & Arredondo, 2005).

Todos los productos que proporciona MODIS, se suministran en formato lógico HDF (formato de fichero multiobjeto) que describe cada proceso o componente de la imagen como un objeto. Todos los objetos están interconectados entre sí y la ubicación de cada objeto es conocida. De esta forma, todo lo referente a la imagen se presenta bien empaquetado.

Adquisición de imágenes y productos MODIS

Para el monitoreo nacional de la vegetación, las imágenes y productos MODIS, se obtienen gratuitamente de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), a través de descargas automáticas desde la web (<https://urs.earthdata.nasa.gov/>). La descarga se realiza mediante rutinas de código programadas en el software de libre distribución R.

Índice de vegetación

Los índices de vegetación son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen. El principio en el que se encuentran apoyados es el comportamiento radiométrico de la vegetación vigorosa. Por lo tanto, los índices permiten estimar el estado de la vegetación.

Índice diferencial de vegetación normalizado, NDVI

El NDVI es una variable que permite observar la presencia de vegetación y evaluar el estado de desarrollo de la misma mediante la observación con sensores remotos de la intensidad de radiación reflejada o emitida por esta misma en ciertas bandas del espectro electromagnético.

La forma de estimar matemáticamente el NDVI se encuentra en la ecuación 1. Este índice puede tomar valores que van desde -1 a 1, siendo los cercanos a 1, los que nos muestran una vegetación vigorosa, los mayores a 0,1, baja densidad de vegetación y los menores a 0 la ausencia de masa vegetal (Gilabert, *et al.* 1997), (**Ecuación 1**).

$$NDVI = \frac{\rho_{irc} - \rho_r}{\rho_{irc} + \rho_r}$$

Dónde: ρ_{irc} es la Reflectividad del Infrarrojo cercano y ρ_r es la Reflectividad del Rojo.

Seguimiento multitemporal de coberturas vegetales

La estimación de la desviación de un dato puntual frente a la tendencia de una serie de datos de los índices de vegetación (IV) permite evaluar si la condición del periodo que se desea evaluar es o no favorable respecto de su comparación con la condición promedio o “normal” (Chuvienco, 2008). El valor de este índice es un número real, siendo los valores menores a -1 condiciones bajo el promedio, los

valores entre -1 y +1 representan una condición normal respecto del promedio de la serie de datos, y las condiciones que muestran valores superiores a +1 exhiben un comportamiento sobre la condición promedio (**Ecuación 2**).

$$z = \frac{IV_{ti} - IV_i}{\sigma_i}$$

Donde **IV_{ti}** indica el valor del Índice correspondiente a un determinado período *i* y **IV_i** el valor medio para ese período, para un conjunto de años suficientemente representativo.

Se obtienen indicadores tales como desviaciones de los índices de vegetación y diferencias entre imágenes (**Figuras 13 y 14**), para la generación de informes nacionales, regionales y comunales.

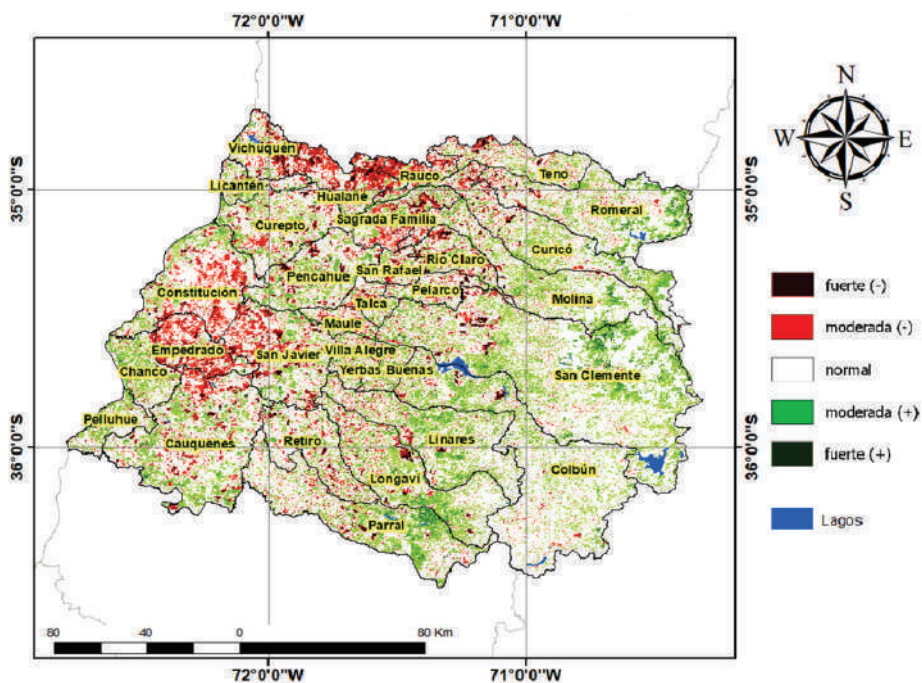


Figura 13. Mapa de anomalía de la vegetación para la región del Maule noviembre 2019.

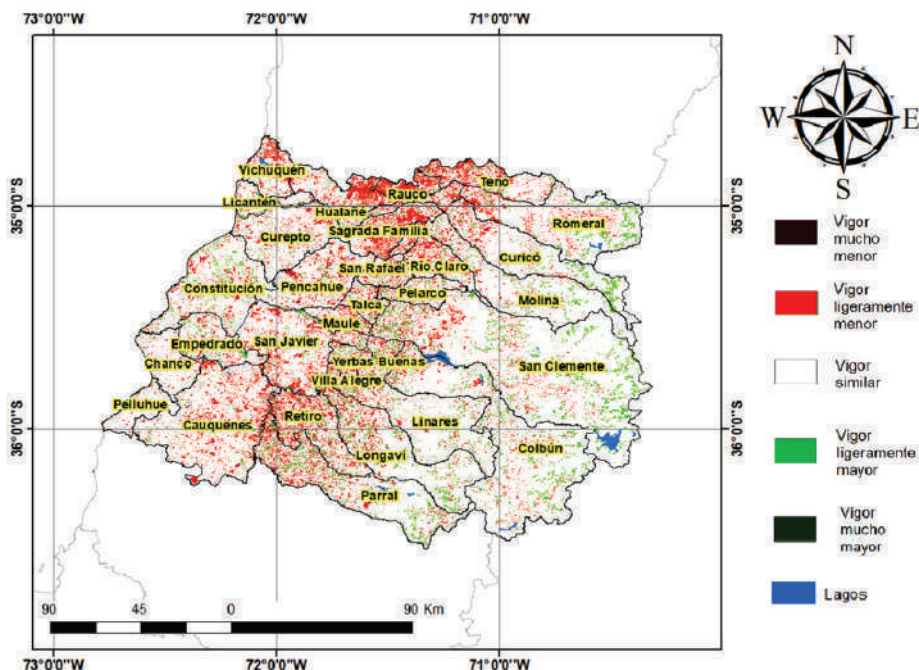


Figura 14. Mapa de Diferencia de NDVI (2019 - 2018) para la región del Maule noviembre 2019.

Índice de condición de la vegetación (VCI)

El VCI (Kogan, 1995) es usado para monitorear la condición de la vegetación y es derivado del NDVI, comparándolo con los valores máxima y mínimo de NDVI para un periodo dado y puede ser expresado como (**Ecuación 3**):

$$VCI_{(i,p,j)} = \frac{NDVI_{(i,p,j)} - NDVI_{min(i,p)}}{NDVI_{max(i,p)} - NDVI_{min(i,p)}}$$

Donde el $NDVI_{(i,p,j)}$ es el NDVI suavizado para un pixel i , en un periodo p y un año j ; $NDVI_{max(i,p)}$ y $NDVI_{min(i,p)}$ son los valores multianuales máximos y mínimos respectivamente de cada pixel. El VCI toma valores que se encuentra entre valores de 0% a 100%. Valores bajo 40% se asocian a una condición desfavorable en la vegetación, siendo 0% la peor condición histórica y 100% la mejor (**Figura 15**).

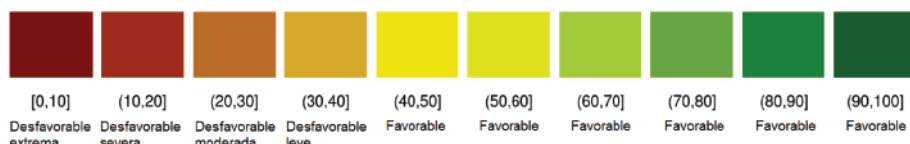


Figura 15. Clasificación de la condición de la vegetación de acuerdo a los valores del índice VCI.

En la **Figura 16**, podemos observar un mapa de VCI, para la región de Maule, para el mes de noviembre de 2019, en el cual se pueden ver tres comunas en una mala condición, estas son Hualañe, Rauco y Sagrada Familia.

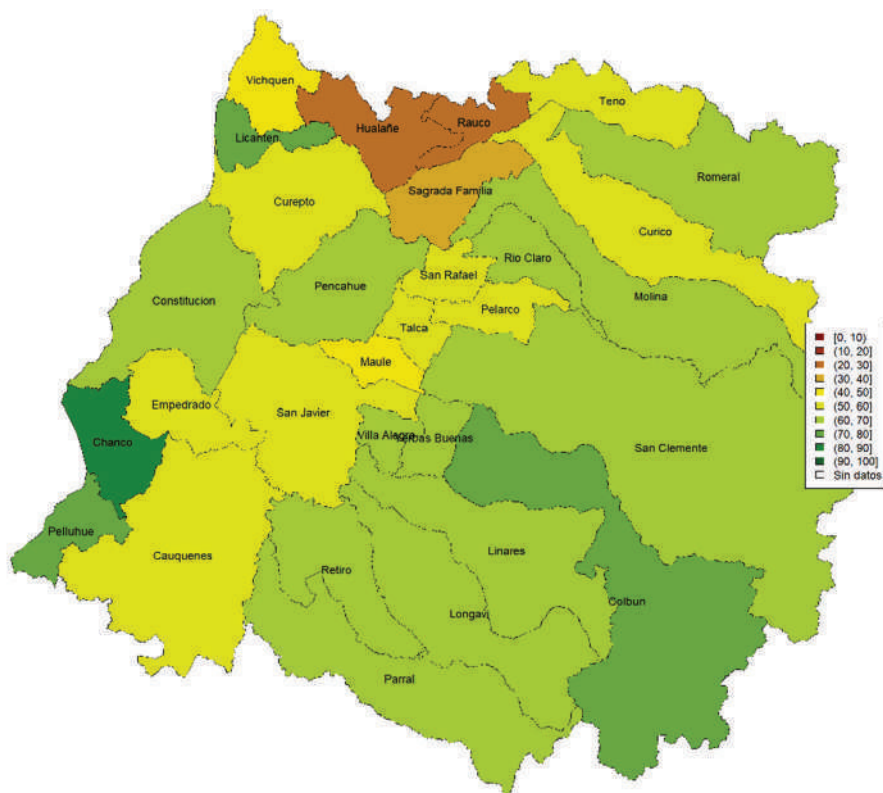


Figura 16. Valores comunales promedio de VCI en la región del Maule de acuerdo a la clasificación de la Figura 15.

Referencias

- Acuña, I., R. Bravo, J. Inostroza, N. Gaete, I. Maldonado, J. Solano, C. Bravo, M. Vargas, P. Corvalán y H. Pauchard. 2006. Evaluación y calibración de un sistema de pronóstico como herramienta de apoyo para el control de Tizón tardío de la papa en la zona sur de Chile. XI Reunión Nacional de la papa. XI reunión Nacional de la papa, Desafíos del rubro papa: calidad y diversificación. Puerto Varas, Chile. P 24.
- Acuña, I., R. Bravo. 2019. Tizón tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alertas temprana. Osorno, Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria. Boletín N° 399, 136 pp.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 56:1-79.
- Armstrong DV. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. Journal of Dairy Science. 77: 2044-2050.
- Arkin, H.; Kimmel, E.; Berman, A.; Broday, D. 1991. Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. Trans Am Soc Agric Eng 34, 2550-2558.
- Ashabokov, B. A., Fedchenko, L. M., Tashilova, A. A., Shapovalov, A. V., Khavtsukov, A. K., & Balkarova, S. B. 2019. Modeling Risk Reduction in Agriculture Associated with Dangerous Agrometeorological Phenomena. KnE Life Sciences, 223-231.
- Birkelo, C.; Johnson, D. 1993. Seasonal environment, performance and energy metabolism of feedlot cattle in northern Colorado. Proc 4th Int Livest Envir Symp, University of Warwick, Coventry, England, Pp 1117-1124.
- Bombal, E. 2016. Estrategias para atenuar el impacto del estrés por calor. En: Estrés calórico en Chile y opciones de mitigación. Ed: Abarzúa, D. Consorcio Lechero. 34-48 Pp.

- Boyd, R. A., Gandin, A., & Cousins, A. B. 2015. Temperature responses of C4 photosynthesis: biochemical analysis of Rubisco, phosphoenolpyruvate carboxylase, and carbonic anhydrase in *Setaria viridis*. *Plant Physiology*, 169(3), 1850–1861.
- Bravo, R, I. Acuña, J. Gatica y J. Quintana. 2018. Sistema de Alerta de Tizón Tardío de INIA. Osorno, Chile. Acceso en <https://tizon.inia.cl>.
- Bravo, R., I. Acuna, J. Inostroza y D. Villarroel. 2011. Decision support systems for late blight integrated management in the southern Chile. In *Proceedings of the Thirteenth EuroBlight Workshop*. San Petersburgo, Rusia.
- Carr, E. R., & Owusu Daaku, K. N. 2016. The shifting epistemologies of vulnerability in climate services for development: the case of Mali's agrometeorological advisory programme. *Area*, 48(1), 7–17.
- Cashen, M. C., & Darbyshire, R. 2017. Determining critical farm management decision points to improve agro-meteorology research and extension; an example of utilisation of seasonal climate forecasts in farm decision making. In "Doing More with Less", *Proceedings of the 18th Australian Agronomy Conference 2017*, Ballarat, Victoria, Australia, 24–28 September 2017 (pp. 1–4). Australian Society of Agronomy Inc.
- Chuvieco Salinero, E. 2008. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Barcelona, Ariel Ciencia. Retrieved from <https://books.google.cl/books?id=aKsNXCVctcQC>
- Coenders-Gerrits, A. M. J., Van der Ent, R. J., Bogaard, T. A., Wang-Erlandsson, L., Hrachowitz, M., & Savenije, H. H. G. 2014. Uncertainties in transpiration estimates. *Nature*, 506(7487), E1.
- Coombe, B.G. 1995. Growth stages of the grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 1:100–110
- Crafts-Brandner, S. J., & Salvucci, M. E. 2000. Rubisco activase constrains the photosynthetic potential of leaves at high temperature and CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(24), 13430–13435.
- DeMenocal, P. B. 2001. Cultural responses to climate change during the late Holocene. *Science*, 292(5517), 667–673.

- Elliott, M., Fisher, C. T., Nelson, B. A., Garza, R. S. M., Collins, S. K., & Pearsall, D. M. 2010. Climate, agriculture, and cycles of human occupation over the last 4000 yr in southern Zacatecas, Mexico. *Quaternary Research*, 74(1), 26–35.
- Estay, Patricia; Ripa, R.; Gerding, M.; Araya, J. y Kurkovic, T. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 174, 74 p.
- García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V. H., Arriaga, J., Hernández, A., Vélez, L. M., & Muriel-Fernández, J. L. 2012. Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. *Fruits*, 67(6), 463–474.
- Gatica, J. 2018, Recolección Remota de Variables Agrometeorológicas. Tesis Ingeniero Civil en Informática, 91p, Universidad de Los Lagos, Facultad de Ciencias Exactas, Osorno, Chile.
- Gilabert Navarro, M. A., García-Haro, F. J., & González Piqueras, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección*, 8, 4. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=942578&info=resumen&idioma=SPA>
- Gupta, A. K. 2004. Origin of agriculture and domestication of plants and animals linked to early Holocene climate amelioration. *CURRENT SCIENCE-BANGALORE*, 87, 54–59.
- Ibacache, A. 2008. Cómo influye la temperatura en la época de cosecha de las vides. *Revista Tierra Adentro* sep-oct. P 8–10
- Iraira, S.; Peñaloza, T. 2016. Condición de estrés por calor en macrozonas lecheras de Chile. En: *Estrés calórico en Chile y opciones de mitigación*. Ed: Abarzúa, D. Consorcio Lechero. 15–33 Pp.
- Johnson, H. 1986. The effects of temperature and thermal balance on milk production. In: Moberg GP (ed). *Limiting the effects of stress on cattle*. Western Regional Research Publication #009 and Utah Agricultural Experimental Station Research Bulletin 512, Pp 33–45.
- José Rodríguez, J., De la Iglesia, F. y Ocvirk, M. 2000. Fenología de cultivares de vid (*Vitis vinifera* L.) en Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. *Revista FCA UNCuyo* 32(2): 15–24.
- Juarez, H., L. Avila y R. Hijmans. 2001. Modelos de predicción de Tizón tardío y el programa Castor v 2.0. In: *Proceedings of the International Workshop on complementing resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in the Andes*. Centro Internacional de la Papa (CIP).

- Khalifa, H. 2003. Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate. In: Interactions between climate and animal production. Proc Symp, EAAP Technical series N7, Pp 15-29.
- Kirschbaum, M. U. F. 2004. Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and transpiration. *Plant Biology*, 6(03), 242-253.
- Kogan, F. N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin - American Meteorological Society*, 76(5), 655-668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2)
- Krause, R., L. Massie y R. Hyre. 1975. Blitecast, a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter* 59, 95-98.
- Lamboni, M., Makowski, D., Lehuger, S., Gabrielle, B., Monod, H., 2009. Multivariate global sensitivity analysis for dynamic crop models. *F. Crop. Res.* 113, 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.007>
- Lavín, A. 2004. Informe Proyecto FIA "Determinación de la aptitud vitivinícola de nuevas áreas geográficas de la VII y VIII regiones. INIA Cauquenes.
- MacDonell, S., Nicholson, L., & Kinnard, C. 2013. Parameterisation of incoming longwave radiation over glacier surfaces in the semiarid Andes of Chile. *Theoretical and applied climatology*, 111(3-4), 513-528.
- Mader, T.; Dahlquist, J.; Hahn, G.; Gaughan, J. 1999. Shade and wind barrier effects on summer-time feedlot cattle performance. *J. Anim Sci* 77, 2065-2072.
- Mader, T.; Fell, L.; McPhee, M. 1997. Behavior response of non-Brahman cattle to shade in commercial feedlots. In: Proc 5th Int Livest Envir Symp, ASAE, St. Joseph, MI, USA, Pp 795-802.
- Maldonado I, Isaac; Ruiz M. Rubén; Fuentes B. Marcel. 2010. Manual de Operación de Estación Meteorológicas Automáticas. Boletín INIA N°200. 49 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Maldonado, I., Ruiz, R., y Fuentes, M., 2010. Manual de Mantenimiento de Estaciones Meteorológicas Automáticas. 73p. Boletín INIA N° 199. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile.
- Mangani, K. P., & Kousalya, R. 2019. Designing Weather Based Crop Insurance Payout Estimation Based on Agro-Meteorological Data using Machine Learning Techniques.

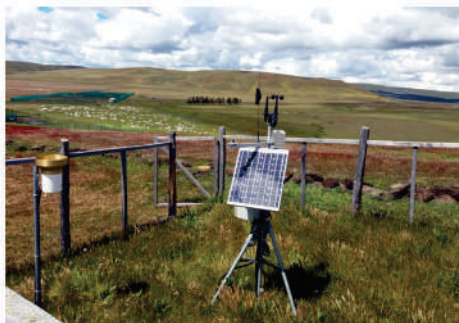
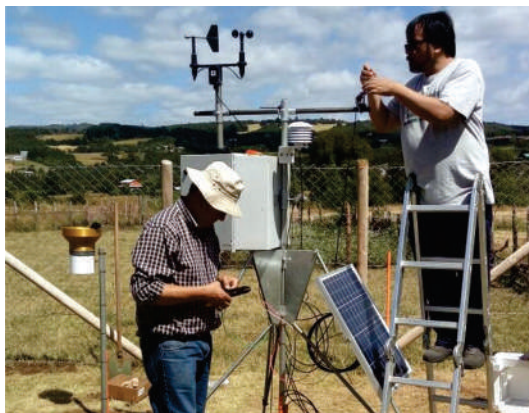
- MariaDB. 2019. Servidor MariaDB: la base de datos relacional de código abierto. Disponible en <https://mariadb.org/>. Leído el 9 de junio 2019.
- Moshelion, M., Halperin, O., Wallach, R., Oren, R. A. M., & Way, D. A. 2015. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water-stressed plants: crop water-use efficiency, growth and yield. *Plant, Cell & Environment*, 38(9), 1785-1793.
- NodeJS. 2019. Servidor Acerca de Node.js. Disponible en <https://nodejs.org/es/about/>. Leído el 9 de junio 2019.
- OMM 2010. Guía del Sistema Mundial de Observación OMM-Nº 488.
- Organización Meteorológica Mundial.1992. Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM-Nº 182). Ginebra.
- Ortega-Farías, S., Lozano, P., Moreno, T. y León L. 2002. Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. *Agricultura Técnica* 62(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100003>.
- Pallas, J. E., Michel, B. E., & Harris, D. G. 1967. Photosynthesis, transpiration, leaf temperature, and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiology*, 42(1), 76-88.
- Qamer, F. M., Tadesse, T., Matin, M., Ellenburg, W. L., & Zaitchik, B. 2019. Earth Observation and Climate Services for Food Security and Agricultural Decision Making in South and Southeast Asia. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(6), ES171-ES174.
- Rahn, D. A., Garreaud, R. D., & Rutllant, J. A. 2011. The low-level atmospheric circulation near Tongoy Bay-Point Lengua de Vaca (Chilean coast, 30 S). *Monthly Weather Review*, 139(11), 3628-3647.
- Reyes, M. 2015. Informe proyecto "Aseguramiento de la sustentabilidad de la viticultura nacional frente a los nuevos escenarios que impone el cambio climático". Código 502063-70. Centro Regional de Investigación Raihuen.
- Reyes, M. 2018. Characteristics and changes in the phenology of early and late vine varieties in fifteen years of evaluation. Climate trends in two viticultural areas in the central valley of Chile between 1930 - 2016. Resúmenes de comunicaciones 41º Congreso Mundial de la Vid y el Vino "Proyectando el futuro: Desafíos de la producción y el mercado. Punta del Este, Uruguay 19 - 23 de noviembre. P 442

- Reyes, M. y Salazar-Parra, C. 2019. Heladas en vides. Boletín en preparación para publicación.
- Rodríguez, O., & Arredondo, H. 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA. Journal of Chemical Information and Modeling. Pontificia Universidad Javeriana. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7990-1>
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest Prod Sci 67, 1-18.
- Singh, K. K., Baxla, A. K., Singh, P., & Singh, P. K. 2019. Weather based information on risk management in agriculture. In Climate Change and Agriculture in India: Impact and Adaptation (pp. 207-216). Springer, Cham.
- Stigter, K. (2008). Home Bulletin Agrometeorological Services under a Changing Climate: Old Wine in New Bags. Bulletin n°, 57, 2.
- SUBTEL. 2018. Fija Norma Técnica que Regula las Especificaciones Técnicas Mínimas que Deberán Cumplir los Equipos Terminales Utilizados en las Redes Móviles. Disponible en https://multibanda.cl/wp-content/uploads/2018/10/RES_1463_EXENTA_16_JUN_2016_16Jun2018.pdf. Leído el 3 de junio 2019.
- Villaseca, S. 2004. Agrometeorología de la vid Pinot noir en la parte baja del valle de Casablanca. Revista Tierra Adentro nov-dic. P 23.
- Wang, W., Liang, S., & Meyers, T. 2008. Validating MODIS land surface temperature products using long-term nighttime ground measurements. Remote Sensing of Environment, 112(3), 623-635. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.024>
- Young, B. 1981. Cold stress as it affects animal production. J Anim Sci 52, 154-163.
- Yunker, T. G. 1916. A study of the relation of soil moisture to transpiration and photosynthesis in the corn plant. The Plant World, 19(6), 151-161.
- Zhuang, S., Zhou, L., Xu, W., Xu, N., Hu, X., Li, X., ... & Zhu, J. 2018. Tuning Transpiration by Interfacial Solar Absorber Leaf Engineering. Advanced Science, 5(2), 1700497.

Equipo de trabajo de la Red de Agrometeorología de INIA

Finalmente, algunas imágenes de quienes componen nuestro equipo de trabajo.





Estación meteorológica automática (EMA) en Pampa Concordia, región de Arica y Parinacota. Fuente: INIA La Platina.

Estación meteorológica automática en Tierra del Fuego, región de Magallanes.



Boletín INIA / N° 415
www.inia.cl

