

RedMeteo: Sistema de Captura, Estandarización, Validación y Estimación de Información Meteorológica.

**Silvina Franco¹, Sergio Garrán², Silvia Ibarrola¹, Adriana Stablum¹,
Sergio Milera¹, Santiago Marnetto¹**

A.C.D.I. (Asociación Cultural para el Desarrollo Integral), Santa Fe, Argentina

Resumen

Disponer de información meteorológica uniforme, consistente, continua y en tiempo real es de vital importancia para casi todas las actividades humanas que son dependientes del clima. Para que los agricultores, ganaderos, planificadores puedan hacer uso de la misma para la toma de decisiones o entidades de investigación y desarrollo puedan realizar análisis y estudios diversos, es necesario que esté disponible y sea confiable.

El objetivo del trabajo fue generar un servicio que permita disponer en tiempo operativo datos con un control de calidad, capturados de distintas fuentes, homogeneizados con la misma metodología y centralizados en una plataforma tecnológica, robusta y confiable que permita la alimentación de series continuas en el tiempo. Tomando como punto de partida el trabajo desarrollado en el marco del proyecto “Cambio climático y sumideros de Carbono”, en el cual se elaboraron software de control de calidad de variables meteorológicas en base a métodos estadísticos, RedMeteo logra conformar un sistema más acabado, con herramientas modernas y con capacidad de incorporación en forma ágil de otras fuentes de datos y nuevos métodos de control, con una robustez acorde al servicio de soporte a aplicaciones de tipo web empresarial que se pretende brindar.

Abstract

To have weather data uniform, consistent, continuous and in real time is of vital importance for almost all the human activities that are employees of the climate. So that the agriculturists, cattle dealers, planners can use it for the decision making or the investigation organizations and development can make diverse analyses and studies, it is required to be available and reliable. The objective of the work was to generate a robust and reliable service that allows to have in operative time data with a control quality, captured of different sources, homogeneous with the same methodology and centralized in a technological platform, that allows the feeding of continuous time series. Taking like departure point the work developed within the project “Cambio climático y sumideros de Carbono”, in which meteorological variables quality control software on the basis of statistical methods were elaborated, RedMeteo manage to conform a finished system more, with modern tools and ability to incorporate agile as other data sources and new control methods, according to a robust support service-type enterprise web applications that are intended to provide.

Palabras Clave Datos Meteorológicos - Clima- TIC - Agricultura de precisión.

¹ Asociación Cultural para el Desarrollo Integral (ACDI), La Rioja 2350, PA, S3000BXD, Santa Fe, R. Argentina, acdi@acdi.org.ar.

² Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Casilla de correo 34, (3200), Concordia, E. Ríos, R. Argentina, smgarran@correo.inta.gov.ar.

Introducción

Situación Inicial

Este proyecto tiene su aplicación inicial en una zona citrícola ubicada sobre la margen derecha del Río Uruguay, más exactamente en los departamentos de Monte Caseros (Corrientes), y Federación y Concordia (Entre Ríos). Esta zona disponía de una información meteorológica muy reducida, limitada a solo tres estaciones convencionales; dos de ellas ubicadas en la región Sur, distantes solo 14 km entre sí, pertenecientes a la Estación Experimental Agropecuaria Concordia (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ambas ubicadas en las proximidades de la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos. Una tercera estación, perteneciente al SMN, está ubicada en Monte Caseros, provincia de Corrientes, sobre el extremo Norte de la región. El resto de la región citrícola, incluido el departamento de Federación (Entre Ríos), donde actualmente se encuentra concentrado el 74% de las explotaciones citrícolas y el 66% del área plantada con este cultivo (FeCiER, 2004), carecía por completo de información agro meteorológica alguna. [1]

No sólo la necesidad de una adecuada cantidad y distribución de observatorios meteorológicos es el problema que se afronta para lograr brindar un servicio de datos meteorológicos. Otra dificultad de la información meteorológica existente consistía en la heterogeneidad de los datos, debida a la variabilidad entre las distintas fuentes de información (diferentes estaciones, con distintos tipos de sensores, formas de muestreo y/o unidades de medida utilizadas).

Existen también dificultades en la continuidad de la recopilación de datos a través del tiempo. Los observatorios meteorológicos pueden sufrir alteraciones en su ubicación, cambio de sensores, alteraciones en la calibración de los mismos, modificaciones en la forma y tiempo de observación (esto se pone de manifiesto al realizar análisis de las series, en discontinuidades o saltos en el valor de la media).

El desafío era lograr una plataforma capaz de brindar datos meteorológicos homogéneos, continuos y validados en un punto centralizado para que puedan ser utilizados para diversas aplicaciones, como pueden ser Sistemas de Información Geográficos, Modelos de Simulación, o servicios desarrollados para producciones agropecuarias específicas como el caso de FruTIC³. Se requiere una organización de la información que permita agilizar los niveles de procesamiento requeridos, a fin de lograr datos de calidad que permitirán analizar, predecir o anticiparse a diversas circunstancias originadas en fenómenos climáticos.

Objetivos

El objetivo de RedMeteo es mejorar la información climática-meteorológica del área de estudio del Proyecto FruTIC, contribuyendo a desarrollar una fruticultura de precisión que vincula la información ambiental de Red Meteo a la fenológica, obtenida del monitoreo del cultivo cítrico, sus plagas y enfermedades. Esta información oportuna en conjunto contribuye a realizar un manejo integral y sustentable, con herramientas útiles para la toma

³ FruTIC es el nombre abreviado de la Cooperación Técnica No Reembolsable ATN/ME 10481-AR "Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Gestión Ambiental a PyMES Argentinas Productoras de Frutas". Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

de decisiones obteniendo así una mejor calidad de la fruta y una disminución en los niveles de residuos de agroquímicos.

Un segundo objetivo del trabajo es generar un servicio capaz de brindar en tiempo operativo datos meteorológicos con un óptimo control de calidad, y de incorporar otras fuentes de datos y nuevos métodos de control, sobre una plataforma apta para soportar aplicaciones de tipo Web empresarial.

Materiales y Métodos

Los datos capturados por RedMeteo se homogenizan desde múltiples fuentes (con distinta frecuencia de disponibilidad y formato) con el objeto de disponer de un repositorio de información meteorológica homogénea, cuyos datos tengan una verificación de calidad y con series completas que permitan generar información útil.

El componente principal que la integra es una base de datos (Oracle Database 10g), que cumple el rol de suministrar información para las diferentes aplicaciones. La solución posee una estructura que facilita la incorporación, mantenimiento y flujo de información.

Las variables meteorológicas que se determinaron con mayor relevancia para el objetivo planteado son: Temperatura (°C), Precipitación (mm), Humedad Relativa(%), Radiación Solar Global (Mj/m²), Dirección de Viento (°), Velocidad Media Viento (m/s), Presión Máxima, Media y Mínima (hPa), Temperatura Suelo (°C), Heliofanía (hs), Evapotranspiración (mm), Temperatura de punto de rocío(°C), Humedad del suelo (% volumétrico), Duración del follaje mojado (Hs), Precipitación efectiva(mm), Humedad de la hoja (escala de 1 a 10 U).

Partiendo del trabajo realizado en el CIOMTA, en el marco del proyecto “Cambio Climático y Sumideros de Carbono”, para un control de calidad y estimación de datos meteorológicos de Temperaturas (máxima, media y mínima), precipitaciones y radiación solar global; y utilizando la información recopilada, correspondiente a 33 estaciones del SMN, 20 de INTA con datos históricos a partir del año 1971 y 9 estaciones incorporadas de CIOMTA (Ver el mapa de la Figura 1). Se decide aprovechar la plataforma tecnológica a desarrollar, no sólo para la zona de estudio de FruTIC sino ampliarla a otras regiones con datos disponibles, con el fin de dar soporte a distintos requerimientos.

Para contar en tiempo operativo con la información proporcionada por las estaciones convencionales del SMN, se estableció un convenio y acuerdo de partes y además se elaboró un paquete informático que permitió transferir Datos Horarios del estado del tiempo, visibilidad (km), temperatura (°C), sensación térmica (°C), humedad relativa (%), dirección del Viento (rosa de los vientos) y velocidad del viento a 10 m (km/h), presión atmosférica (hPa). Además en forma Diaria los valores de precipitación (mm) y heliofanía (hs.).

Estos datos son descargados en dos tipos de archivos de texto, con formato preestablecido, del servidor FTP del SMN. Además se obtiene automáticamente por medio de un *script* la información publicada en el sitio oficial del mismo. Estos son archivos de texto plano, recuperados por los módulos de captura y almacenados en un repositorio Temporal. Esta información es convertida a las unidades horarias que maneja RedMeteo y almacenada en forma de Dato Horario.

Por otro lado, se incorpora la información generada por las estaciones convencionales del INTA, la cual es transferida mensualmente desde INTA Castelar vía mail e incorporada,

directamente como Dato Diario. Esta información comprende: humedad relativa (%), dirección del Viento (rosa de los vientos) y velocidad del viento a 10 m (km/h), precipitación (mm) y radiación (mj/m²).

Para lograr una mejor cobertura agro meteorológica de la región se instalaron dos estaciones ADCON Telemetry modelo A753 addWAVE GSM/GPRS en ubicaciones intermedias y áreas rurales del corredor citrícola; una ubicada en Colonia La Argentina, Departamento de Federación, provincia de Entre Ríos (zona centro) y otra en Colonia San Francisco, Departamento de Monte Caseros, provincia de Corrientes (zona norte). Las mismas registran automáticamente temperatura (°C), humedad relativa del aire (%) y precipitación a 1,50 m, dirección y velocidad del viento a 2,0 m, radiación global, presión atmosférica, duración del mojado foliar a 5 cm y temperatura y humedad de suelo a 10 cm de profundidad. Los sensores pertenecen a marcas homologadas por la Organización Meteorológica Mundial. [1].

Estas estaciones se caracterizan por su versatilidad, durabilidad y bajo consumo de energía, operando mediante paneles solares, mientras que la transmisión de sus datos se realiza vía mensajería celular. Una vez realizada la medición por cada sensor, el dato es enviado a un servidor central del cual son recuperados por un subsistema que los valida, homogeniza y calcula otros datos para obtener un repositorio de información meteorológica. Una vez allí son transferidos a RedMeteo por medio de un protocolo denominado addUPI.[2]

AddUPI es un protocolo de comunicación propietario entre los diversos componentes de sistemas de telemetría ADCON addVANTAGE utilizando TCP / IP. Este protocolo se puede poner en práctica entre un cliente y un servidor addVANTAGE, un cliente y una puerta de enlace (por ejemplo, una estación base A840) ó una puerta de enlace de y un A740 RTU (unidad de telemetría a distancia). Este protocolo pertenece a la capa de aplicación de acuerdo con la especificación del modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection). El protocolo realiza las llamadas desde un cliente al servidor. El cliente emite solicitudes HTTP hacia el servidor y el servidor devuelve las respuestas a estas solicitudes. El cliente solicita el uso del método GET, mientras que las respuestas devuelven un documento XML. Con un formato específico en las solicitudes y las respuestas.[3]

Desde Redmeteo se genera una petición al servidor para obtener todos los datos del sensor (usando su identificador de nodo) a partir de una fecha y hora determinada generalmente la del último dato recibido, hasta la fecha y hora actual. Se lee la respuesta que consiste en un archivo XML del servidor, se parsea el archivo, se evalúa si esta bien formado y se lo valida según el DTD (definición de tipo de documento). El dato es almacenado en el repositorio Temporal de RedMeteo en forma cruda y se genera la información horaria en el repositorio de Datos Horarios.

RedMeteo gestiona el concepto de tres “tipos de datos”: dato crudo (los tomados por el observatorio meteorológico), dato horario (el valor obtenido para una hora particular) y dato diario (el valor obtenido para un día particular variando su conceptualización dependiendo de la variable).

Los datos crudos provenientes de cualquier fuente, son en primer lugar validados por los rangos de medición de los sensores. Esto permite individualizar errores groseros relativos al tipo de mensaje meteorológico, al soporte utilizado, al sistema de transmisión con el cual se está recibiendo el dato y a la presencia de valores imposibles y tomar algún tipo de acción sobre instrumentos u observadores, sistemas de transcripción y de transmisión en el caso de

sospecha de datos erróneos. Por lo tanto, el control de calidad incluye procedimientos desde los más simples a aquellos que son más complejos.

En la existencia de valores anómalos mucho tiene que ver la ubicación de la estación meteorológica, su buena disposición, las condiciones que la rodean, su mantenimiento, la forma de realizar los relevamientos o mediciones y por supuesto las características intrínsecas de los sensores. También se presentan errores que se pueden verificar en el momento de la elaboración y archivado de los datos, durante la operación de transcripción, copia, digitalización, transmisión codificación y su inserción en la base de datos.

Una vez almacenados y convertidos desde su unidad de muestreo (dato crudo) a dato horario, los datos son persistidos en un repositorio común con las unidades de medida y el formato especificado por RedMeteo.

Generación de dato horario

Para la generación del dato horario se analizan las mediciones de cada sensor, obteniéndose el valor de la variable a partir de los muestreos realizados a intervalos que van desde 10 segundos hasta 1 hora según la fuente de datos. El valor resultante se asigna al inicio de la hora. Se realizan además validaciones lógicas o de ocurrencias probables, inherentes a las características del fenómeno en análisis. Por ejemplo, si la velocidad de viento es menor a 0.5 m/s la dirección de viento se toma como calma.

Los datos horarios finalmente se almacenan con uniformidad de unidad de medidas, identificados por la estación, la variable, la fecha y hora en la que fueron medidos. Todos los datos horarios son procesados de la misma forma, a fin de generar la información diaria según se especifica a continuación.

Generación de Datos Diarios

Para la generación del dato diario cada variable debe tratarse de una forma particular, en la toma de los valores y en la utilización de procedimientos similares al que se realiza una estación convencional. Así se logra generar información factible de utilizar en análisis y comparaciones regionales.

A partir de distintos criterios y bibliografía recopilada se ha generado una metodología de procesamiento para todas las fuentes de datos que se deseen incorporar con el mismo tratamiento. En el caso del dato diario las distintas variables se deben evaluar teniendo en cuenta distintos rangos horarios. Por ejemplo según la temperaturas máxima y mínima se consideran en el rango horario de 3:00UTC del día i a 3:00 UTC del día $i+1$, en cambio para la temperatura media se consideran las mediciones realizadas de 0:00UTC del día i a 0:00 UTC del día $i+1$. [4]

En el mismo rango horario de las temperaturas máximas y mínimas se evalúan la humedad relativa y la presión atmosférica. En cambio la generación de datos diarios de la velocidad media del viento y la precipitación corresponden a los valores registrados entre las 12:00 del día i hasta las 12:00 del día $i+1$ en hora UTC.

En este punto se procesa la información por un sistema de validación de datos diarios aplicando las metodologías seleccionadas y utilizadas en el CIOMTA [20]; este procedimiento permite asociar a cada dato archivado un código (*flag*) que certifique su validez o la sospecha de dato errado o anómalo basado en el control efectuado.

En este análisis se consideraron tres fuentes de variabilidad, y por las mismas son evaluados cada uno de los datos. Un mayor detalle de las mismas puede consultarse en la bibliografía [5].

-método interanual: se evalúa la variación del dato registrado en el momento del año con respecto a los distintos años de la serie en el mismo momento, para ello se calcula la media móvil de orden 31 con el fin de obtener una estimación robusta y no distorsionada de la misma [5].

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{y=1}^N \sum_{d=i-15}^{i+15} x_{y,d}}{N * 31}$$

\bar{x}_i : media móvil de orden 31 para cada día del año (1.. 365) y para cada año de la serie.

N: cantidad de años de la serie

d: día del año en consideración

Se estima el desvío estándar de esa media móvil para cada día:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{y=1}^N \sum_{d=i-15}^{i+15} ((x_{y,d}) - \bar{x}_i)^2}{N * 31}}$$

Las mediciones cuya dispersión en valor absoluto, son mayores de tres veces este desvío calculado, serán consideradas sospechosas:

$$|x_{y,d} - \bar{x}_i| > 3 * S_i$$

Para el caso del control de la precipitación el proceso es algo más complicado ya que debe realizarse en forma indirecta a través de la temperatura, esto debido a que la distribución de la lluvia es altamente asimétrica, siguiendo una distribución del tipo gamma exponencial. Para esto se consideraron dos grupos de días, los lluviosos y los no lluviosos. Para determinar el carácter de anómalo de un dato se considera esta división y algunas condiciones a cumplir en cuanto a la temperatura [5].

-método temporal: Se verifica la variación del dato respecto al valor precedente o sucesivo, se basa en la hipótesis de que el cambio en el tiempo de las mediciones de la variable meteorológica no puede superar determinados límites.

Se calcula la media climática de la diferencia entre dos intervalos consecutivos (días) como media móvil de orden 31.

$$\bar{\Delta}_i = \frac{\sum_{y=1}^N \sum_{d=i-15}^{i+15} ((x_{y,d}) - (x_{y,d-1}))}{N * 31}$$

Se obtiene la desviación estándar de esta media móvil para cada día del año de toda la serie.

$$S_{\bar{\Delta}_i} = \frac{\sum_{y=1}^N \sum_{d=i-15}^{i+15} ((x_{y,d} - x_{y,d-1}) - \bar{\Delta}_i)^2}{N * 31}$$

Se consideran sospechosos los datos con diferencias respecto al valor precedente mayor en valor absoluto a tres veces el desvío.

$$|(x_{y,d} - x_{y,d-1}) - \bar{\Delta}_i| > 3 * S_{\bar{\Delta}_i}$$

Como en el caso anterior para los datos de precipitación se lo realiza a través de la variabilidad térmica entre dos días consecutivos. Para esto se consideran tres grupos de días: dos días consecutivos de lluvia (p), dos días consecutivos no lluviosos (np) y dos días consecutivos uno de cada clase (pnp) [5].

- **método espacial:** La comparación de datos en puntos diversos del dominio espacial representa uno de los métodos mayormente utilizados para averiguar la eventual presencia de errores en los datos. Las estaciones han de pertenecer a una condición climática común. Se selecciona el método que calcula la media móvil de orden 31 de la diferencia entre la estación que se controla y las restantes. Se obtiene la desviación estándar de esta media de cada día del año. Se considera como sospechoso al dato si el valor absoluto de la media de la diferencia entre los datos medidos por la estación bajo control y el de las vecinas superan la media climatológica más 3 veces el desvío [5].

Una vez evaluados los datos meteorológicos por estos tres métodos se le asigna el flag de calidad correspondiente. Sólo si los tres métodos indican que el dato es anómalo se lo descarta. Si dos de los tres métodos indican que el dato es anómalo se lo califica como sospechoso [5]. Puede consultarse más detalle sobre este método en la Bibliografía [5].

De esta manera tendríamos series de datos evaluadas en su calidad, aunque posiblemente discontinuas, ó se necesiten para algunas aplicaciones otras variables climáticas, las que no son medidas por las estaciones meteorológicas. Muchas aplicaciones o modelos que utilizan datos meteorológicos necesitan series continuas, en consecuencia, a fin de resolver este problema es que se evaluaron distintos métodos de estimación de datos a fin de lograr completar la información climática.

Métodos de Estimación de datos

-Temperatura y Precipitación

En el desarrollo del proyecto ejecutado en CIOMTA [20] se probaron dos métodos de estimación, el primero arma todas las regresiones entre cada estación y la estación a regresar y calcula el grado de correlación que tiene con cada una para darle un factor de peso. El segundo trabaja armando una regresión múltiple. De todas las pruebas que se realizaron se concluyó que el método de regresión múltiple funciona mejor que el primer método, por ello se adoptó esta metodología para estimar los datos faltantes de las variables con una distribución casi normal como es la Temperatura, aunque también se aplica a la precipitación.

Para estimar con este método se deben realizar los siguientes pasos:

- Para cada estación de la zona a la que pertenece el dato a estimar, armar la media y el desvío para estandarizar las series de dicha zona.
- Estandarizar los datos de las series de la zona
- Armar vectores de -45 a +45 días alrededor del dato a rellenar

- Armar los coeficientes del sistema de ecuaciones para resolver la regresión múltiple entre las estaciones de la zona
- Resolver el sistema de ecuaciones. Para esto se utiliza el método de Gauss-Jordan.
- Generar el dato a partir de la regresión estimada.
- Desestandarizar la variable.

$$\begin{aligned}
 nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n x_{ki} &= \sum_{i=1}^n y_i \\
 b_0 \sum_{i=1}^n x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ki} &= \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \\
 \vdots & \\
 b_0 \sum_{i=1}^n x_{ki} + b_1 \sum_{i=1}^n x_{ki}x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{ki}x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n x_{ki}^2 &= \sum_{i=1}^n x_{ki}y_i
 \end{aligned}$$

generado = b0+b1x1+b2x2+..bkxk

generado = generado * desvío(base) + media(base) (desestandarizo) [5]

- Si se trata de la precipitación se debe calcular la probabilidad de día lluvioso. Si existe la probabilidad de un día lluvioso, entonces se estima el valor de igual forma que la temperatura.

n: número de estaciones a considerar

B: dato binario

r: coeficiente de correlación

P probabilidad de que el día sea de lluvia o no.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n B_i r_i^2}{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad [5]$$

-Evapotranspiración

Para el caso de la evapotranspiración, medirla en forma automática, el instrumental resulta costoso económicamente y existen distintas fórmulas que la logran estimar con buen resultado. Lo que se ha propuesto es estimarla según los datos que se poseen según alguna de las siguientes tres Fórmulas, las que no se desarrollaran en este documento por ser fórmulas divulgadas y adoptadas ya por muchas aplicaciones:

- Si se tienen datos para la fecha a estimar de radiación solar global, temperatura del aire (máxima, media y mínima), humedad relativa (máxima, media y mínima), velocidad del viento y presión atmosférica, esta última opcionalmente, se estima por la Fórmula ecuación de FAO Penman-Monteith publicada en FAO 56 [6]
- Si se cuenta con el dato temperatura del aire (máxima, media y mínima), precipitación y radiación solar global únicamente, se estima según Penman con la misma metodología que utiliza el modelo WOFOST/CGMS [7]
- Cuando no se pueden aplicar ninguna de las dos fórmulas anteriores por no tener disponibilidad de datos meteorológicos o por resultados incorrectos en la aplicación de las anteriores fórmulas se utiliza una opción alternativa para estimar la evapotranspiración que es la ecuación de Hargreaves (FAO 56) [6] donde sólo se necesita contar con los valores de Temperaturas y radiación solar global.

-Radiación

La metodología que se aplica para estimar la radiación se basa en dos fórmulas, la misma se selecciona en el momento de estimarla según los datos meteorológicos disponibles. El mejor estimador de las fórmulas que se han probado es el de la fórmula de Black [8] que utiliza heliofanía de la fecha a estimar como dato de entrada, y la segunda fórmula utilizada es la de Bristol & Campbell [9] la que la estima a partir de la temperatura máxima y mínima.

El procedimiento de estimación de la radiación verifica si se miden y reciben el dato de heliofanía y a partir de allí decide la fórmula a aplicar. Si la heliofanía es un dato faltante ó no se puede calcular la fórmula de Black (porque el argumento del Arcsen es mayor que 1 o menor que -1) se aplica la fórmula Bristol & Campbell.

-Otras variables derivadas

La temperatura de punto de rocío es estimada también según la fórmula publicada por la FAO 56 en el Anexo 3 – Bases físicas de los parámetros usados en el cálculo de la evapotranspiración [6].

Otras variables permiten generar informaciones que ayuda a describir la situación agro meteorológica que se utiliza por modelos de simulación ó para intentar evaluar daños en los cultivos. Este es el caso de la duración del follaje mojado, o el detalle de heladas agronómicas y meteorológicas.

La evaluación de la duración de follaje mojado se estima en horas evaluando el tiempo en que la humedad de la hoja supera las 3U para cada día.

El detalle de heladas consiste en generar un informe lo más preciso posible de la helada caída, se genera cuando una temperatura mínima alcanza los 3°C informando las heladas agronomicas o los 0° C evaluando heladas meteorológicas. Generalmente las heladas en nuestra región ocurren por las noches, por lo que se genera un seguimiento horario de las temperaturas mínimas desde las 21 horas del día inicial hasta las 11 horas del día siguiente.

Asimismo se verifica el tiempo que se extiende la helada para cada valor de temperaturas, con el valor temperaturas $\leq 0^{\circ}\text{C}$, -1°C , -2°C , -3°C y -4°C , respectivamente, es decir se mide el tiempo de temperaturas menores a cada valor en horas y minutos. Se estiman las Horas-grado bajo cero en casilla, la cual representa el área de la superficie delimitada por la curva térmica y 0°C si se tienen varios valores de temperaturas medias durante el transcurso de la hora.

Para estimar la precipitación efectiva se seleccionó la metodología publicada por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Uruguay) [10], la cual consiste en realizar el cálculo del escurrimiento superficial así la precipitación efectiva se considera el valor de la precipitación menos el escurrimiento. El escurrimiento superficial se estima según el método del índice de precipitación antecedente, siendo el caso de que algunas de estas ecuaciones resulten en valores negativos, el escurrimiento se considera igual a cero (0).

Infraestructura tecnológica

El equipamiento de soporte del Sistema Central posee redundancia en los componentes principales a los fines de garantizar la continuidad del servicio. Asimismo se incluyen dispositivos de seguridad y comunicaciones, los cuales entre algunas de las principales funciones es controlar y garantizar el acceso a las diferentes aplicaciones de la solución

garantizando la seguridad perimetral y seguridad interna/externa. Todo el equipamiento se encuentra alojado en un Centro de Cómputos con las medidas adecuadas para su operación, con alimentación de energía ininterrumpida, enlace a Internet de prestaciones empresariales. La infraestructura tecnológica se complementa con procedimientos que permiten un adecuado resguardo de la información, como así también un esquema para poder afrontar situaciones de contingencia.

En cuanto a los componentes de software desarrollados, se han diseñado e implementado teniendo en cuenta una arquitectura de alto nivel compuesta por capas, las cuales proveen determinados servicios y consumen otros de las demás capas. Esto ayuda a distribuir diferentes roles, proveyendo una forma muy efectiva en la separación de responsabilidades. El diagrama expuesto en la **Figura 4** representa los componentes claves del Diseño de Arquitectura, donde se pueden observar las capas: Planificación de Tareas, Captura de datos, Funcionalidad núcleo, Persistencia y Servicios.

En la arquitectura planteada el Planificador de Tareas es el que planifica, ejecuta y gestiona los módulos internos a las capas de captura de datos y funcionalidad núcleo mediante interfaces bien definidas en cada una e implementadas por los módulos. La Captura de datos es responsable de obtener los datos meteorológicos de las diferentes fuentes. Este módulo estará encargado de capturar los datos meteorológicos de todas las estaciones asociadas a la fuente, validarlos y persistirlos. En los casos en que se reciban datos meteorológicos instantáneos, también se generarán los datos horarios correspondientes a la hora de ejecución. La capa Funcionalidad Núcleo agrupa los módulos vinculados a las funciones centrales del sistema, la cual comprende la validación del dato horario, la generación del dato diario a partir de los valores horarios, la validación fina por medio de los métodos expuestos y estimación de datos, y generación de datos horarios. Todas estas capas utiliza la capa de “Persistencia” para la recuperación y actualización de datos luego de su correspondiente procesamiento. También la capa de Servicios incluye módulos que proveen servicios comunes para todas las capas.

En este trabajo nos hemos enfocado en el desarrollo de las capas de captura de datos y funcionalidad núcleo, las mismas comprenden los procesos de captura de datos, validación y estimación expuestos en la sección bajo el título Materiales y Métodos, de este documento. Estos se han desarrollado en JAVA y se gestionan en la capa de planificación de tareas mediante un sistema de gestión de tareas, QUARTZ. Completando la solución, se utiliza JDBC (como mecanismo de acceso a la base de datos en la capa de persistencia) y en la capa de servicios log4j (para el logueo de la aplicación), librerías apache *commons* (gestión de transferencias sobre distintos protocolos y para el procesamiento de los archivos de texto planos). Por último se ha utilizado ECLIPSE como entorno de desarrollo y MAVEN para la gestión del proyecto.

En esta última etapa RedMeteo ha desarrollado una arquitectura capaz de dar soporte a las solicitudes de datos por medio de una aplicación J2EE (con tecnología J2EE 1.4, Java EE 5.0 y Spring) que provee mediante session beans de acceso remoto distintos servicios relacionados a datos meteorológicos. Los servicios de Redmeteo son consumidos por FruTIC y eventualmente también por nuevas aplicaciones. Ver **Figura 5**.

RedMeteo brinda Servicios a FruTIC, mediante una aplicación EJB, que incluye componentes de lógica de negocios (fachadas a servicios, managers y helpers) los que se acceden en forma remota mediante RMI, de modo que pueda ser integrado a aplicaciones que consuman los servicios de Redmeteo. Además incluye componentes de acceso a dato (con tecnologías JPA o JDBC para el acceso la base de datos y Store Procedures PL/SQL

en el motor de base de datos para mejorar el desempeño de la aplicación cuando se realizan consultas muy complejas), y modelo de objetos (consiste en DTOs utilizados para recibir parámetros o retornar registros en los servicios de Redmeteo).

Resultados

Se ha desarrollado una plataforma tecnológica capaz de capturar, procesar y publicar datos meteorológicos con un control de calidad, capturados de distintas fuentes, homogeneizados con la misma metodología y centralizados en una plataforma tecnológica, robusta y confiable. La construcción de esta plataforma ha implicado la correcta selección de los componentes de hardware y de estaciones meteorológicas, estas últimas con el fin de aumentar y completar la información climática en puntos específicos donde los servicios a ofrecer necesitaban una mayor densidad de las mismas). Por otro lado, se han desarrollado, además, los componentes de software que realizan los procesos correspondientes.

Podemos resaltar que todo el sistema está diseñado con el fin de ser flexible a incorporar nuevas estaciones u observatorios meteorológicos, los cuales si se corresponden con las fuentes ya existentes sólo necesitan de la inicialización o parametrización correspondiente para su incorporación. En cambio, si la fuente de datos es distinta a las ya utilizadas por RedMeteo, solo es necesario el desarrollo del módulo correspondiente a su captura del dato crudo y su homogeneización al Dato Horario estándar de RedMeteo. A partir de este punto es la capa de Funcionalidades Núcleo la que ya está preparada a incorporar esta información, sin necesidad de realizar un cambio o modificación en la solución desarrollada. Por lo tanto se ha logrado tener un repositorio de datos meteorológicos, los cuales son recuperados por el subsistema de captura de datos y luego validados, homogeneizados y estimadas las variables que son necesarias, culminando en el repositorio final de Datos Horarios y/o Diarios. Según la frecuencia de muestreo y como resultado del procesamiento efectuado, cada dato posee una marca que lo califica según si fue considerado dato bueno, con un muestreo escaso, estimado o erróneo sin posibilidades de estimar por lo que resulta faltante. La información climática y meteorológica ha de quedar disponible para su utilización en procesamientos más complejos y para su publicación.

Entre los distintos servicios que FruTIC brinda a sus usuarios gracias a la información suministrada por RedMeteo, describiremos los tres más importantes al lograr, a partir de información climática, generar un resultado práctico en el ámbito citrícola, ya que evalúan el impacto de una enfermedad según las condiciones ambientales y el calendario de Riego publicado por la FAO [6]. Los mismos se desarrollan a continuación.

-Modelo de Cancrosis.

La Cancrosis es una enfermedad de los cítricos considerada cuarentenaria por la Unión Europea. Esta enfermedad en la fruta genera una disminución del valor comercial y daños en la planta en general. A fin de que los productores de fruta logren realizar alguna acción preventiva antes de la cosecha, se ha implementado el modelo desarrollado en INTA denominado “Ecuaciones Predictivas de la Intensidad de la Cancrosis de los Cítricos en base a Variables Meteorológicas” [11]. A partir de ello, el productor recibe una estimación que se basa en las condiciones ambientales, de la intensidad esperada de Cancrosis unos meses antes de la cosecha.

El modelo evalúa el desarrollo de las temperaturas y la precipitación, utilizando la ecuación predictiva del Pomelo, por ser la variedad cítrica más sensible a la enfermedad. La ecuación correspondiente se conforma luego de contar el total de días con precipitación mayor a

12mm (DPr) , suma de total de días que registren temperatura mayor a 31.5°C ó menores a 12°C (DTxnN). Siendo: $IP \% = - 5.021 + 8.8244 DPr - 0.4578 DTxnN$ [9].

Se ha implementado el modelo procesándose automáticamente y al alcanzar la acumulación térmica necesaria para su evaluación, se estima el nivel de Intensidad de Cancrosis esperado, si el resultado es mayor al umbral especificado se envían alertas a los productores de frutas (vía mail, sms, o web) informando el posible impacto negativo de la enfermedad para el año agronómico.

-Modelo de Alternaria (ALTER RATER)

Se denomina así a un sistema de puntuación elaborado por especialistas de la Universidad de Florida en EEUU, mediante el cual se asignan valores diarios de riesgo epidemiológico para la ocurrencia de infecciones del hongo causante de la mancha marrón de los cítricos (*Alternaria alternata*) en función de tres variables climáticas, los registros diarios de lluvias, horas de rocío o mojado foliar y temperatura.[12]

Dependiendo de los valores que indiquen en conjunto estas variables, se asigna un valor o puntaje diario. Quienes han desarrollado este sistema de puntuación establecieron tres niveles de riesgo, en función de la susceptibilidad varietal y de la “historia de los lotes”, alto, medio y bajo riesgo y en función de su categorización, varían los intervalos entre las aplicaciones fungicidas que se recomiendan. Según el programa ALTER RATER, las pulverizaciones fungicidas deben repetirse cuando el cómputo del ALTER RATER alcanza valores de 50, 100 o 150 según se trate de lotes con alto, medio o bajo riesgo respectivamente [1]. Las experiencias de control químico llevadas a cabo en otras regiones cítricas del país y del mundo han puesto en evidencia que aún no hay disponibles medidas de manejo realmente efectivas. Por lo tanto se ha automatizado la captura de datos de RedMeteo y en FruTIC se procesa a disposición de los usuarios la información diaria de los puntajes que brinda el sistema ALTER RATER. Además, los usuarios de FruTIC que ingresen los registros de aplicaciones fitosanitarias recibirán automáticamente una notificación (vía mail, sms, o web) cuando el Modelo de Alternaria verifique que se ha alcanzado el puntaje necesario para aplicar una nueva cura según las condiciones ambientales predisponentes.

-Balance hídrico y necesidades de riego en cítricos

Se elaboran balances hidrológicos mensuales y diarios y necesidades hídricas del cultivo cítrico con datos procedentes de las estaciones que posean una serie histórica.

Los mismos son ajustados a los dos tipos de suelos más comunes presentes en las quintas cítricas, arenosos y mestizos. La metodología para el cálculo es la descrita por Pascale et al.(2006). [13]

Además se genera un Calendario de Riego intentando ajustar el riego neto necesario, dependiendo de los parámetros de riegos incorporados al FruTIC para cada quinta cítrica, donde son parametrizables los valores correspondientes de la profundidad de las raíces, el kc del cultivo, el tamaño de las plantas, el área de cobertura, el tipo de suelo, las propiedades hídricas del suelo, al agua fácilmente aprovechable, el punto de marchites permanente [6]. Por último se incorpora el riego aplicado al lote como entrada de agua además de la precipitación. De esta forma se utiliza la información climática de RedMeteo para realizar un uso eficiente del agua, lo que significa, una mejor calidad de la fruta, al no sufrir estrés hídrico, una reducción en los costos de riego y un mejor uso de los recursos naturales, al no aplicar mayor cantidad de agua que la necesaria.

Discusión

No se tiene conocimiento de la existencia de otros sistemas que realicen una homogeneización de tantas fuentes de datos meteorológicos. Si bien existen muchos sistemas que centralizan datos meteorológicos RedMeteo es el único que estandariza información proveniente de varias fuentes. El CIOMTA [20] fue el primero en realizar una validación tan específica de los datos meteorológicos y una estimación automática de las variables Temperatura y Precipitación en la Argentina. RedMeteo agrega además de una nueva infraestructura tecnológica, mayor flexibilidad para la incorporación de nuevas variables y lo que es más importante, estaciones meteorológicas con sólo una configuración inicial, si pertenece a una fuente de datos ya incorporada. Si la estación pertenece a otro origen, es necesario desarrollar sólo el módulo de captura que realice la conversión de unidad de medida y formato correspondientes a dato horario. Desde allí, todo el procesamiento es estándar para las estaciones meteorológicas, sólo difieren en su tratamiento, las fuentes que sólo envían sus datos en forma diaria.

Otro punto interesante a destacar corresponde a las fórmulas seleccionadas para la estimación de datos. Para los autores, es más conveniente poseer un dato estimado con un error conocido, que no altere la distribución de la variable estimada, que la no existencia del dato. Además algunas de las fórmulas aplicadas son derivadas a partir de variable medidas, por lo que el valor de estas variables es mucho más útil que un dato faltante. Vale la pena aclarar que en algunos casos la falta de datos se origina por imposibilidad económica de enfrentar los costos de la medición de ciertas variables meteorológicas o el mantenimiento correcto de las estaciones.

Agradecimientos

A los Ingenieros Norberto Fernández, Rafael Rodríguez y Ricardo Moschini del Instituto de Clima y Agua (INTA Castelar), y al Lic. Alberto Flores de la Universidad de Buenos Aires.

Referencias

- [1] MILERA, S.; GARRÁN, S.; MIKA, R.; FRANCO, S.; STABLUM, A.; IBARROLA, S.; MARNETTO, S. 2010 “El Proyecto FruTIC: Un Sistema Interactivo De Información Actualizada Del Clima Y La Fenología De Los Cítricos Para Manejar Con Mayor Eficiencia Sus Plagas. Trabajo presentado en Taller de Climatología RIAC. Venezuela.
- [2]ADCON TELEMETRY- SMART WIRELESS SOLUTIONS **addUPI** URL Programming Interface Version 1.0
- [3] ASEAGRO. Documentación de A733 addWAVE GSM/GPRS-RTU universal para adquisición y transmisión de datos.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA- Apéndice 1: Rangos para validación, Listado de extremos para validación por rangos en la estación agrometeorológica de INTA Castelar.
- [5] VANLESBERG, L. IBARROLA, S. CROTTI, Ch. (2004). “Datos meteorológicos, su control y tratamiento”. CIOMTA - Centro de Investigación, Observación y Monitoreo Territorial y Ambiental. Universidad Católica de Santa Fe. Santa Fe – Argentina. Trabajo desarrollado en CIOMTA y presentado a técnicos de reparticiones gubernamentales de Corrientes, Entre Ríos, Tucumán
- [6] ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56 “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” ISSN 0254-5293

- [7] (A) System Description of the WOFOST 6.0 Crop Simulation Model Implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms. Catno: CL-NA-15956-EN-C. EUR 15956, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
 (b) Technical description of interpolation and processing of meteorological data in CGMS” Erik van der Goot, November 1997 Stefania Orlandi, December 2003
- [8] BLACK, J.N., 1956. The distribution of solar radiation over the earth’s surface. Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. B 7:165-189.
- [9] BRISTOW, K.L. y G.S. CAMPBELL, 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and Forest Meteorology 31:159-166.
- [10] Unidad de Agro-clima y Sistemas de información del INIA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Uruguay. Las Brujas Giménez A., Castaño J.P., Ceroni M. Furest J.M., Aunchayna R., Precipitación Efectiva. <http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/ipa.htm>
- [11] MOSCHINI R.C., CANTEROS B., MARTÍNEZ M. I.”Ecuaciones Predictivas de la Intensidad de la Cancrosis de los Citrus en base a Variables Meteorológicas.” INTA Castelar CIRN-Instituto de Clima y Agua, EEA INTA Bella Vista. Corrientes.
- [12] L. W. Timmer, Holly Darhower, and Alka Bhatia. The ALTER-RATER, A New Weather-Based Model for Timing Fungicide Sprays for Alternaria Control. PP-175. Universidad de Florida. IFAS extension. <http://edis.ifas.ufl.edu/CH183>.
- [13] Pascale, J.A, Damario E.A. Bioclimatología agrícola y agroclimática. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 2004.
- [14] WMO 2006 – Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation Preliminary seventh edition WMO-No. 8 Secretariat of the World Meteorological Organization – Geneva – Switzerland 2006
- [15] ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56 “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” ISSN 0254-5293
- [16] WMO 1989- Proceedings of international workshop on precipitation measurements-Switzerland – 584 pp.
- [17] Walpole Ronald E.- Probabilidad y Estadística para Ingenieros-6ta Edición-Edit. Prentice -Hall Hispanoamericana, S.A. Mexico, 1999.
- [18] Manual de INTA Castelar. Rangos para validación, Listado de extremos para validación por rangos en la Estación Agrometeorológica del Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar.
- [19] Documentación sobre homogeneización entre datos producidos por estaciones Meteorológicas Automáticas y las Convencionales. Ing. Agr. Rafael O. Rodríguez - Instituto de Clima y Agua del INTA.
- [20] CIOMTA. Centro de Investigación Observación y Monitoreo Territorial y Ambiental. Proyecto “Cambio Climático y Sumideros de Carbono. www.ciomta.org.ar.

Datos de Contacto:

Silvina Franco. ACDI. La Rioja 2350 (3000) Santa Fe, Argentina. Email: sfranco@frutic.org.ar

Figuras:

Figura 1: Mapa de Estaciones Meteorológicas manejadas por CIOMTA.[2]

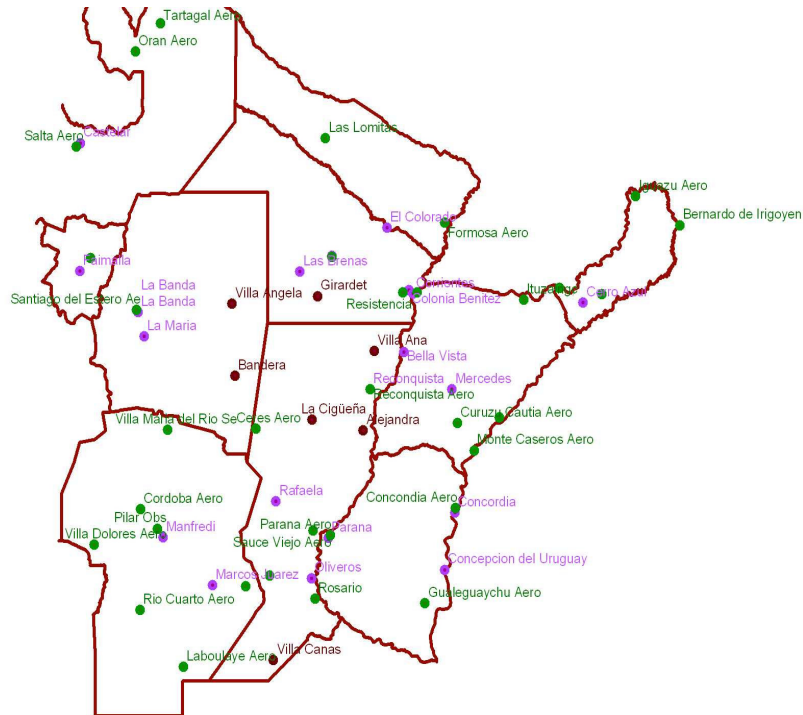


Figura 2: Especificación del ámbito de aplicación addUPI

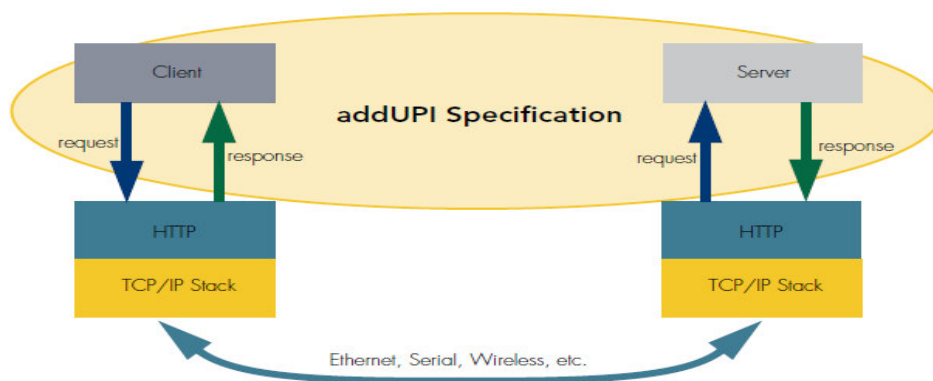


Figura 3: Estación meteorológica Colonia San Francisco.



Figura 4: Vista lógica – Modelo global de arquitectura del sistema RedMeteo.

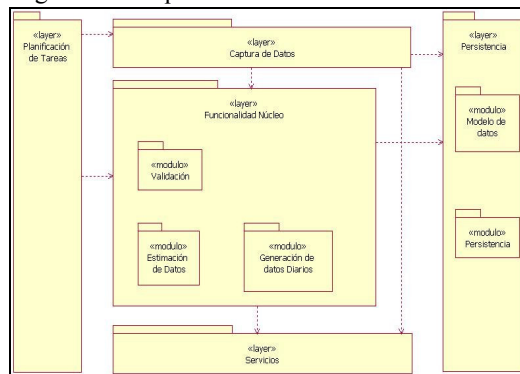


Figura 5: Vista de implementación de las aplicaciones FruTIC y RedMeteo.

