

Captura y transmisión automática de datos hidro-meteorológicos

Emiliano López^{}, Leticia Rodríguez^{*} y Carlos Vionnet^{*,&}*

^{*}Centro de Estudio Hidro-Ambientales (CENEHA) - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral. [&]CONICET

E-mail: elopez@fich.unl.edu.ar

RESUMEN: Desde hace años el CENEHA monitorea los niveles freáticos (NF), la temperatura (T) y el potencial matricial del suelo (ψ) en varias estaciones semiautomáticas ubicadas en Colonia Vignaud (Córdoba), y en Santo Domingo y Ataliva (Santa Fe), todas ellas pertenecientes a la Cuenca del A° Cululu.

Los datos se colectan in-situ mediante una serie de sensores de diversos orígenes. Dichos dispositivos se operan mediante diferentes aplicaciones de escritorio desarrolladas por sus fabricantes. Estos programas son de tipo caja negra y carentes de flexibilidad, imposibilitando el acceso remoto a la información de forma inmediata y económica. Esto último es particularmente acuciante puesto que es necesario visitar los sitios 3 o 4 veces al año, como mínimo, para descargar los datos almacenados en períodos de 3 a 4 meses.

Para solucionar este inconveniente se ha propuesto acoplar a las estaciones un nodo central encargado de interrogar los diferentes equipos en forma sucesiva, operando automáticamente la aplicación del fabricante. El software desarrollado reconfigura los data-loggers con parámetros establecidos desde un sitio web, y captura y transmite los datos a un servidor público para su posterior procesamiento y uso.

Con este fin se implementó una conexión inalámbrica entre los nodos y las escuelas rurales que cuentan con acceso a Internet y que participan del proyecto. El servidor procesa los datos recibidos de cada nodo, almacenándolos en una base de datos normalizada para su posterior acceso mediante una interfaz web disponible en Internet. El resultado de este desarrollo ha sido un sistema confiable y escalable que permite automatizar la captura de datos y reconfigurar dispositivos de diferentes fabricantes.

A los efectos de ilustrar la versatilidad del sistema propuesto, se están implementado dos modelos que simulan la evolución de NF y Ψ , incorporando automáticamente los datos requeridos desde la base de datos.

INTRODUCCIÓN

Una red de drenaje superficial transporta los excedentes hídricos de la cuenca de aporte, proceso directamente vinculado a la precipitación, y por ende, a los efectos del denominado Cambio Climático (CC). El rincón sur de América del Sur es la región subcontinental del planeta que registra el mayor incremento de la precipitación anual sobre los valores medios históricos del siglo XX (Giorgi, 2002). Estos incrementos anuales no se distribuyen uniformemente ni en el tiempo ni en el espacio. Mientras que las precipitaciones suelen concentrarse en los meses de verano y otoño (FICH-INA-INTA, 2007), lluvias muy intensas suelen abatirse sobre áreas reducidas con severos impactos socio-económicos, tal como ocurriera en la ciudad de Santa Fe en los años 2003 y 2007 (Vionnet et al., 2006; FICH-INA-INTA, 2007).

El aumento regional de las precipitaciones tuvo un claro correlato en la descarga de los ríos de la región Litoral-Mesopotámica (Krepper et al., 2008), y en el ascenso de la freática (Ferreira y Rodríguez, 2005; FICH, 2007). Los caudales medios anuales de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay experimentaron una tendencia positiva desde mediados de los 70' (García y Vargas, 1998). Notoriamente el río Salado, a la altura de la RP 70 en la Provincia de Santa Fe, incrementó 180 % su caudal máximo, medio y mínimo, mientras que los Niveles Freáticos (NF) de la región centro de la provincia registraron una elevación media de 9 m en tres décadas (Ferreira y Rodríguez, 2005). Estos incrementos en los indicadores hidrológicos contrastan con los extensos períodos de sequía que afectan la región, proceso que algunos especialistas atribuyen a "La Niña". Nuñez 2007 ya afirmaba que entre los efectos del CC para la región centro de la RA cabía esperar un aumento en la frecuencia y magnitud de eventos extremos de crecidas y sequías, y con ello, una aceleración de los procesos que componen el ciclo hidrológico.

Aún en períodos de sequía como el ocurrido en la región durante 2008/2009 (Leis, 2008), estos episodios de lluvias extremas refuerzan la necesidad de contar con herramientas predictivas de transformación lluvia-caudal alimentadas por una red de observación y alerta hidro-meteorológica (Slaughter et al., 2001). En el contexto actual de modificación/aceleración del ciclo hidrológico se ha enfatizado el valor del monitoreo de variables tales como los NF a largo plazo (Taylor y Alley, 2001).

Más recientemente se ha planteado la necesidad de tener acceso a los sitios de monitoreo de campo y a las bases de datos que incluyen información detallada sobre la variabilidad de las variables y parámetros hidro-ambientales con el fin de avanzar en la hidrología operativa (Becker, 2006; Vereecken et al., 2008).

Contrariamente a la experiencia de Norte América y los países de Europa, donde la plena disponibilidad de instrumental de monitoreo hidro-ambiental es asequible, los países emergentes como la Argentina por lo general se enfrentan a la falta de financiación para abordar el tema de manera integral, por lo tanto una práctica común es instalar en un mismo sitio de campo equipamiento de diversos fabricantes, esquema que se repite en diferentes puntos geográficos.

Esta diversidad de dispositivos y ante la carencia de equipos de transmisión de datos en tiempo real a precios accesibles, requiere que las tareas de captura y configuración del equipamiento se realicen in-situ, utilizando un software diferente para el data-logger de cada equipo y dificultado la automatización de los diversos sistemas comerciales de una forma integral, simple, robusta y de bajo costo.

Otro inconveniente es la ausencia de un formato de salida estándar, lo que genera una dificultad extra en el pre-procesamiento de los datos para ser utilizados en modelos de simulación.

La principal motivación de este trabajo ha sido diseñar e implementar un sistema colector de datos único, automático y escalable que permita gestionar en forma simple, económica y robusta múltiples dispositivos instalados en diversos puntos de observación geográficamente dispersos en la cuenca del Arroyo Cululú, Provincia de Santa Fe, Argentina (Figura 1).

Para resolver estos problemas y mejorar el proceso de recolección y transmisión de datos de campo se utilizan tecnologías inalámbricas, herramientas de redes y sistemas. Serôdio et al., 2001 ha dado cuenta de la gran asistencia y confiabilidad de utilizar protocolos y aplicaciones estándar de comunicaciones TCP/IP.

Estas tecnologías han sido combinadas con un lenguaje de scripting de alto nivel posibilitando automatizar e integrar la descarga de datos y gestión de cada dispositivo independientemente de su fabricante, dando como resultado un sistema de monitoreo y recolección de datos hidro-ambientales automático.

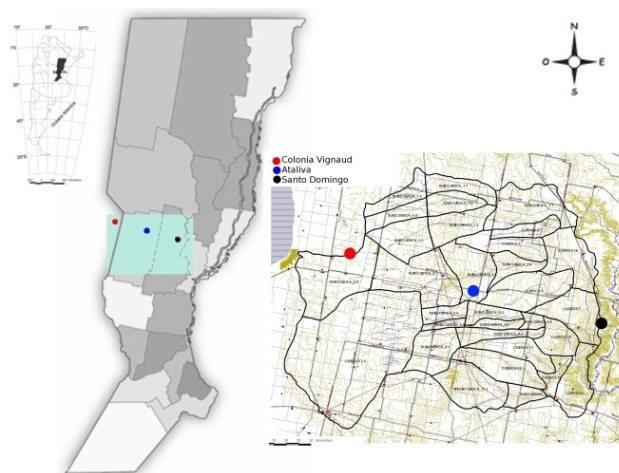


Figura 1.- Cuenca del Arroyo Cululú, Santa Fe, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

La automatización del proceso de captura y transmisión de datos para diferentes equipos requirió el desarrollo de software y la implementación de un servidor central público que recibe los datos provenientes de diferentes puntos de observación (PO).

Componentes del sistema

El sistema consta de dos componentes físicos principales: un nodo central (NC) y un servidor público (SP). El NC es el encargado de dialogar con los data-loggers (DL) y, mediante un enlace inalámbrico con puntos de acceso a Internet ubicados en las inmediaciones de escuelas rurales donde están instalados los equipos de campo, transmitir y recibir datos y configuraciones hacia el SP ubicado en Internet (Figura 2). El SP se encuentra conectado a Internet y en funcionamiento ininterrumpido corriendo subsistemas necesarios para dar soporte a los NC y a los usuarios mediante una interfaz web.



Figura 2.- Componentes del sistema.

El NC (Figura 3) consiste en una mini computadora (12x12cm) basada en microprocesadores de bajo consumo Atom corriendo como Sistema Operativo (SO) Windows XP con las aplicaciones correspondientes a cada data-logger, además de software de administración y comunicación para otorgarle funcionalidades para sincronizar los datos colectados hacia el SP. En este equipo corren las aplicaciones desarrolladas, encargadas de utilizar el software particular de cada data-logger, para la gestión de los equipos y descarga de datos.

Es práctica común el uso de una arquitectura centralizada (Wang et al., 2008), de manera tal que los datos proveniente de mediciones sean concentrados en una unidad central (también llamada maestro) (Steinberger et al., 2009), diseñando unidades esclavas ubicadas en el sitio de campo (Matese et al., 2009) (a veces denominadas clientes),

El SP corre un SO GNU/Linux brindando un conjunto de servicios para dar soporte a los diferentes PO. La transmisión de datos se realiza a través del servicio Rsync, la información se almacena en un servidor de base de datos (BD) MySQL, que a su vez da soporte a un sitio web (basado en Apache/PHP) que permite realizar consultas interactivas y configurar parámetros de los diferentes equipos.



Figura 3.- NC en caja estanca.

Secuencia de funcionamiento

El funcionamiento del sistema sigue una secuencia específica (Figura 4). El ciclo comienza a partir del auto-encendido del NC, con una sincronización desde el SP al NC de los archivos de configuración (1). Posteriormente se realiza la captura de los datos desde los data-loggers hacia el NC (2). El tercer paso de la secuencia consiste en el borrado de la memoria y la re-inicialización del dispositivo de medición teniendo en cuenta los parámetros de configuración descargados en el primer paso. Esta secuencia se repite para cada data-logger instalado en el PO.

El objetivo de máxima para esta secuencia es retornar al funcionamiento autónomo a los data-loggers en forma inmediata. Finalizada la captura de datos, el equipo es puesto en funcionamiento. Una vez concluido este proceso con todos los DL se procede a la sincronización de los datos crudos hacia el SP (8).

Captura de datos y gestión de dispositivos

La comunicación con los data-loggers es únicamente a través de su propio software. Las acciones que permiten las aplicaciones gráficas (GUI) generalmente son referidas a la configuración global y parámetros de medición. Cualquiera de estas acciones deben hacer obligatoriamente uso del software GUI de origen que acompaña a cada equipo.

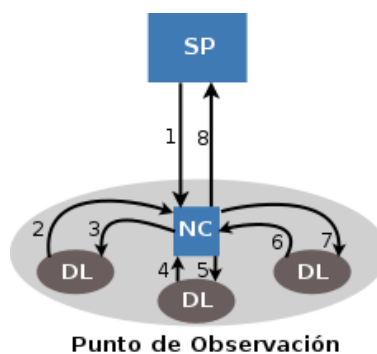


Figura 4.- Secuencia del sistema.

La automatización en la captura de datos y la gestión de los DL se llevó a cabo utilizando diferentes

lenguajes de scripting. El mejor desempeño se obtuvo utilizando *Autoit*. Este lenguaje de scripting permite diseñar un “envoltorio” de la aplicación gráfica, logrando abstraer e independizar las particularidades de las diferentes GUI, posibilitando así la automatización de tareas que de otro modo serían manuales.

Previo a la reinicialización del data-logger se verifican los parámetros de configuración. Esta información se obtiene en la primera etapa de la secuencia descrita previamente (Figura 4). La información relativa a la configuración de los DL y al comportamiento del NC se almacena en archivos ASCII por cada punto de observación, siendo modificados por usuarios autorizados a partir del sitio web (Figura 5).

The screenshot shows a web-based configuration interface with the following sections and fields:

- CONFIGURACIÓN GLOBAL:**
 - Estación: Santo Domingo (dropdown)
 - Startup: 00:00 (text input)
 - Shutdown: 00:16 (text input)
- SPECTRUM Watchdog:**
 - Modelo: 800 (text input)
 - SN: 2337 (text input)
 - Muestreo: 60 minutos (dropdown)
 - Descargar: Si (dropdown)
 - Sensor A: On (dropdown)
 - Sensor B: On (dropdown)
 - Sensor C: On (dropdown)
 - Sensor D: On (dropdown)
 - Sensor E: Off (dropdown)
 - Sensor F: Off (dropdown)
 - Sensor G: Off (dropdown)
 - Sensor H: Off (dropdown)
- GENICA Limnigrato:**
 - Modelo: LF325 (text input)
 - SN: 23 (text input)
 - Muestreo: 30 minutos (dropdown)
 - Descargar: No (dropdown)

An 'Actualizar' button is located at the bottom right of the form.

Figura 5.- Configuración desde el sitio web.

Transmisión de los datos

La transmisión de los datos capturados se realiza desde el NC al SP, mientras que la información necesaria para la configuración de los equipos es en sentido inverso. El formato en texto plano de los archivos generados por los dispositivos se transmite mediante el protocolo de transferencia de datos y backup diferencial *Rsync*, contando con la capacidad de continuar transferencias fallidas o truncas sin la necesidad de retransmitir la información previamente enviada. El SP cuenta con un directorio por cada PO, un subdirectorio para cada DL y uno destinado a los valores de configuración. Una vez finalizado el proceso de transmisión los directorios de cada DL es espejado en el SP.

Las transferencias son comandadas por el NC. Desde éste se ejecutan las acciones para subir los datos o descargar las configuraciones (Figura 6). Ante una falla en el acceso a Internet, se capturan los datos y se reinician los DL con valores predeterminados, manteniendo en un directorio local la información hasta el

próximo secuencia.

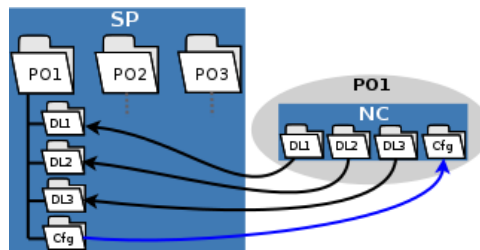


Figura 6.- Directorios y sentido de la sincronización.

En la sincronización ascendente (NC a SP) se transfieren los datos crudos, estando inmediatamente disponibles a través de un repositorio de archivos, manteniendo inalterado el formato de salida que brinda cada data-logger. De esta manera, se puede acceder a la información a través de dos vías: desde el repositorio, a los archivos originales y desde el sitio web, consultando la base de datos con las mediciones procesadas.

La comunicación entre los NC y las unidades centrales de información es dependiente de la tecnología disponible en el sitio geográfico. Para el presente trabajo la conexión a Internet se realizó a través de un enlace inalámbrico 802.11 entre el NC y un punto de acceso disponible. Las transmisiones inalámbricas comúnmente utilizadas van desde los servicios GSM, SMS y GRPS para sitios aislados (Tseng et al., 2006; Jiang et al., 2008, Kofman y otros 2009), a aquellas redes basadas en protocolos TCP/IP (Serôdio et al., 2001).

Procesamiento de los datos

En el SP se ejecutan en forma automática a intervalos de tiempo regulares y configurables un conjunto de scripts que clasifican y almacenan las mediciones. El procesamiento consiste en corroborar la existencia de datos nuevos y en caso afirmativo insertarlos en la BD, estando estas tareas desacopladas entre sí. Para llevar a cabo el procesamiento se utilizó una estructura de tres directorios: el repositorio que recibe los datos proveniente de los NC, un directorio con los archivos ya procesados, y un directorio que contiene los archivos por procesar.

La primera etapa del procesamiento consiste en ejecutar a intervalos de tiempo programados un programa que realiza una copia de aquellos archivos que se encuentran en el repositorio público y que no están en el directorio de archivos ya almacenados, es decir, los archivos nuevos. De esta manera, el directorio destino incluye sólo aquellos archivos pendientes de ser procesados.

En forma asíncrona, otro programa procesa los archivos nuevos, obteniendo la fecha y hora, y el valor de la medición, que son guardados en la BD. Posteriormente se actualiza el directorio de archivos ya procesados eliminándolo finalmente del directorio de archivos por procesar. Los programas que realizan estas tareas fueron desarrollados utilizando BASH y PHP.

Acceso a los datos

Debido a la simplicidad de las interfaces web, es común que se brinde el acceso a los datos recolectados a través de sitios web dinámicos (Yang et al., 2011), por este motivo se desarrolló un portal que brinda la posibilidad de realizar consultas en forma personalizada (Figura 7), permitiendo seleccionar entre los diferentes puntos de observación (en este caso Ataliva, Colonia Vignaud, Santo Domingo, Santa Fe), el tipo de variable (temperatura ambiente, temperatura o humedad del suelo a diferentes profundidades, evapotranspiración, precipitación y nivel freático) y el intervalo temporal.

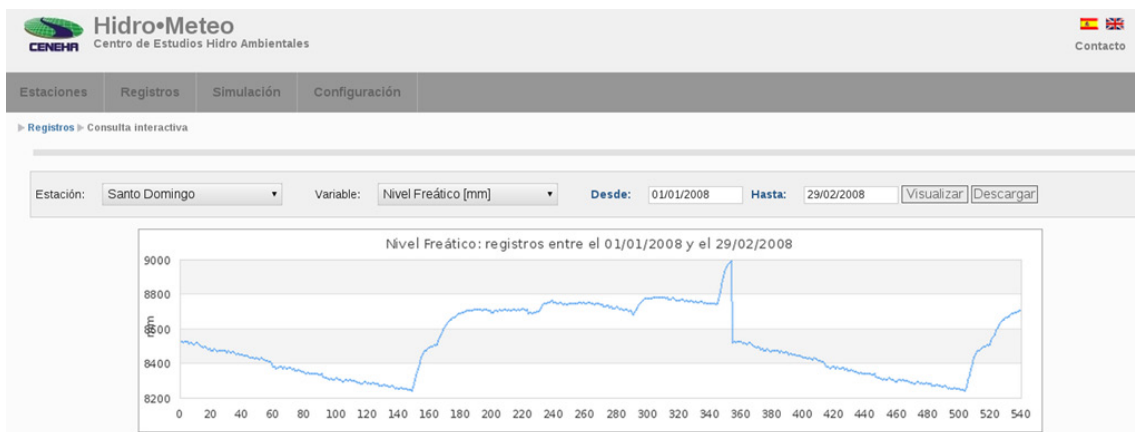


Figura 7.- Sitio web, consulta interactiva.

Como resultado se obtiene una pre-visualización de la consulta pudiendo descargarla en un archivo de texto plano en formato CSV (del inglés, Comma Separated Value). Esta funcionalidad se programó con lenguaje PHP, SQL y AJAX.

Finalmente, la alternativa para obtener los datos directamente de un repositorio de archivos consiste en una interfaz web, desarrollada con la misma tecnología que en el caso anterior, la diferencia radica en que aquí solamente se listan los archivos crudos recibidos en la etapa de sincronización, manteniendo el formato de salida original de los dispositivos.

RESULTADOS

Se desarrolló un prototipo para el NC, implementando los subsistemas necesarios en el SP. El NC prototipo fue conectado a dos dispositivos data-logger: un freatógrafo de origen nacional (Freatógrafo LF-325, Genica Ingeniería), para medir el nivel freático, más un equipo Norteamericano (Watchdog Weather Station, Spectrum Technologies Inc) que registra humedad y temperatura del suelo a diferentes profundidades y temperatura ambiente.

El prototipo, aunque simplificado, ha demostrado la factibilidad de integrar diferentes equipos comerciales en un sistema único y de bajo costo, permitiendo la gestión remota de los mismos y con una elevada capacidad de adaptabilidad y escalabilidad.

Etapa de pruebas

Inicialmente el NC fue probado durante 6 meses en un entorno seguro, bajo condiciones controlables en las instalaciones del CENEHA. En esta instancia se corroboró el comportamiento bajo diferentes circunstancias: cortes del suministro eléctrico, fallas en el acceso a Internet, etc.

De las fallas detectadas, la más relevante fue debida a cortes en el acceso a Internet una vez iniciada la transferencia de los datos. El archivo incompleto fue sincronizado exitosamente al repositorio, procesado y copiado al directorio de archivos ya almacenados para evitar ser procesado nuevamente. Esta última acción evita que al completarse el archivo trunco, los datos faltantes sean procesados. La solución se llevó a cabo programando un script BASH automático que detecta las diferencias entre el directorio de archivos procesados y los ubicados en el repositorio de datos.

En la segunda etapa de pruebas se instaló el NC bajo condiciones ambientales equivalentes al de los puntos de observación. Se realizó en el campus de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe. Se ubicó al NC en campo estableciendo un enlace inalámbrico, de aproximadamente 100 m, con la oficina de Internet de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (Figura 8).



Figura 8.- Santa Fe (izq), PO en campus UNL (centro), NC instalado (der).

Modelación

Se desarrolló un modelo simplificado que vincula datos medidos mas información remota para estimar la variación del nivel freático (dNF). A través de un módulo extra en la interfaz web es posible subir datos de precipitación y evapotranspiración (ET) de diferentes orígenes (archivos de texto e imágenes satelitales). La extracción de ET de las imágenes satelitales fue programado en lenguaje Python, recibiendo desde la interfaz web (en PHP) los valores de latitud y longitud correspondientes al PO y finalmente almacenándolo en la BD.

El modelo -aún en desarrollo- contrasta y simula la variación mensual del NF (dNF) a partir de mapas que contienen valores de evapotranspiración real (ETR) -calculada a partir de T_s y NDVI (Di Bella, 2000)- correlacionándolos con información de campo (precipitaciones acumuladas mensuales y profundidad media mensual de niveles freáticos) a partir de la diferencia entre la precipitación (P) y la ETR, esta funcionalidad es accesible desde el sitio web desarrollado. (Figura 9).



Figura 9.- Valores de P, ETR, NF y dNF para un PO y un intervalo temporal.

CONCLUSIONES

Los datos de campo son el insumo indispensable en la simulación de modelos hidro-ambientales. El uso de instrumental proveniente de diversos fabricantes en un sitio de campo imposibilita el acceso remoto a la información registrada de forma automática, integral y a un bajo costo.

Por ello se diseñó e implementó un sistema de monitoreo automático integral para capturar y transmitir datos registrados por diferentes dispositivos comerciales. El uso de herramientas estándar de redes y comunicaciones, y administración de sistemas; en combinación con el software desarrollado dio como resultado un sistema confiable, tolerante a fallas, flexible, escalable y fácilmente adaptable a otro tipo de dispositivos.

El prototipo desarrollado tuvo un comportamiento predecible. Se realizaron un conjunto de pruebas para verificar el funcionamiento de los dispositivos, de los programas desarrollados y del diseño realizado, corrigiendo fallas en etapas tempranas y corroborando el adecuado desempeño en las etapas finales.

El sistema automático de colección de datos que se desarrolló es de gran utilidad como herramienta para dar soporte a modelos hidro-ambientales, concentrando los datos medidos en una base de datos normalizada permitiendo el acceso a los mismo a través de un sitio web interactivo en un formato estándar.

REFERENCIAS

- Becker, M. W. (2006). Potential for satellite remote sensing of ground water. *Ground Water*, 44(2):306–318.
- Di Bella, C., Rebella, C., and Paruelo, J. (2000). Evapotranspiration estimates using noaa avhrr imagery in the pampa region of argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 21(4):791–797.
- Ferreira, C. and Rodríguez, L. (2005). Usos de niveles freáticos para la caracterización de la recarga/descarga. Technical report, FICH, Mendoza, Argentina.
- FICH (2007). Influencia de los cambios físicos y climáticos en el régimen de escurrimiento del río salado-tramo inferior. Technical report, FICH, Santa Fe, Argentina.
- FICH-INA-INTA (2007). Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral-Mesopotamia. Actividades habilitantes para la 2da comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Technical report, FICH, INA, INTA, Argentina.
- García, N. and Vargas, W. (1998). The temporal climatic variability in the rio de la plata basin displayed by the river discharges. *Climatic Change*, 38(3):359–379.
- Giorgi (2002). Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. part i: observations. *Climate Dynamics*, 18:675–691. 10.1007/s00382-001-0204-x.
- Jiang, J.-A., Tseng, C.-L., Lu, F.-M., Yang, E.-C., Wu, Z.-S., Chen, C.-P., Lin, S.H., Lin, K.-C., and Liao, C.-S. (2008). A gsm-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *bactrocera dorsalis* (hendel). *Computers and Electronics in Agriculture*, 62(2):243–259.
- Kofman, H., Lucero, P., Serralunga, F., Trento, A. (2009), Desarrollo de una estación de monitoreo remoto en un río mediante GPRS. I Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica. Córdoba, Argentina.
- Krepper, C., García, N., and Jones, P. (2008). Low-frequency response of the upper paraná basin. *International Journal of Climatology*, 28(3):351–360.
- Leis, V. (2008). Comunicación del Servicio Meteorológico Nacional a la BBC mundo.com. http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/latin_america/newsid_7592000/7592905.stm.
- Matese, A., Gennaro, S. D., Zaldei, A., Genesio, L., and Vaccari, F. (2009). A wireless sensor network for precision viticulture: The nav system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 69(1):51 – 58.
- Núñez, M. (2007). Evidencias del cambio actual y proyecciones futuras del clima en argentina. Jornada de Divulgación: El cambio climático en la Provincia de Santa Fe. Aportes científicos y políticas de Estado. Rosario (Santa Fe). Argentina.
- Serôdio, C., Cunha, J. B., Morais, R., Couto, C., and ao Monteiro, J. (2001). A networked platform for agricultural management systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(1):75 – 90.
- Slaughter, C., Marks, D., Flerchinger, G., Van Vactor, S., and Burgess, M. (2001). Thirty-five years of research data collection at the reynolds creek experimental watershed, idaho, united states. Steinberger, G., Rothmund, M., and Auernhammer, H. (2009). Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65(2):238 – 246.
- Taylor, C. and Alley, W. (2001). Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data, volume 1217. Geological Survey (USGS).
- Tseng, C.-L., Jiang, J.-A., Lee, R.-G., Lu, F.-M., Ouyang, C.-S., Chen, Y.-S., and Chang, C.-H. (2006). Feasibility study on application of gsm-sms technology to field data acquisition. *Computers and Electronics in Agriculture*, 53(1):45 – 59.
- Vereecken, H., Huisman, J., Bogaen, H., Vanderborgh, J., Vrugt, J., and Hopmans, J. (2008). On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review. *Water Resour. Res.*, 44:W00D06.
- Vionnet, C., Tassi, P., Rodriguez, L., and Ferreira, C. (2006). Numerical modelling of the catastrophic flooding of Santa Fe City, Argentina. *International Journal of River Basin Management*, 4(4):301–314.
- Wang, X., Gao, W., Slusser, J., Davis, J., Olson, B., Janssen, S., Janson, G., Durham, B., Tree, R., and Deike, R. (2008). Usda uv-b monitoring system: An application of centralized architecture. *computers and electronics in agriculture*, 64(2):326– 332.
- Yang, Y., Wilson, L. T., Wang, J., and Li, X. (2011). Development of an integrated cropland and soil data management system for cropping system applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(1):105 – 118.