



SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE RÍOS EN LAS SIERRAS DE CÓRDOBA

Laura Colladon^{1,2} y Esteban Vélez^{1,3}

¹ Centro de la Región Semiárida (CIRSA), ² Instituto Nacional del Agua (INA)

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Medrano 235, Villa Carlos Paz, Córdoba. Tel.: 03541-430443

E-mail: lauracolladon@gmail.com, esteban@onenet.com.ar

RESUMEN

Desde hace 25 años, Instituto Nacional del Agua (INA), a través del Centro de la Región Semiárida (CIRSA) opera un Sistema Telemétrico de transmisión de datos hidrometeorológicos a tiempo real (STC), en la Cuenca del Río San Antonio, principal afluente al Embalse San Roque (Pcia. de Córdoba). A partir del año 2009, en el marco de un convenio firmado con la Provincia, se está ampliando la red a otras cuencas, principalmente de la zona serrana.

El Sistema de monitoreo permite, entre las variables más importantes, la medición de precipitación y niveles de río. La toma de datos continuada, su correcto resguardo y procesamiento es esencial para la realización de estudios hidrológicos e hidráulicos.

Entre las principales aplicaciones, a partir de la recepción de los datos a tiempo real, se encuentran el Sistema de Alerta de Crecidas (SAC) y de Alerta Temprana de Lluvia (ATLL), complementado con pronóstico de nivel y caudal.

Los datos recolectados, hacen posible el desarrollo de estudios referidos a la planificación de riberas para mitigar impactos de crecientes repentinas, índices de riesgo, estudios de impacto ambiental, entre otros.

ABSTRACT

For the last 25 years, The National Institute of Water (INA), through the Center of the Semi-arid Region (CIRSA) operates a Real Time Telemetry System (STC), for the San Antonio River basin, part of the resources flowing into San Roque Lake in Córdoba province. The original system was expanded to other basins up to 25 remote stations in the province. Since 2009 related to a new agreement with the S.S.R.H. of Córdoba, CIRSA has a project for the whole installation and starting-up of 37 stations for new sites in different basins.

The system supplies real time data (event transmissions) for precipitation and water level in rivers. Using these data, during summer seasons CIRSA has a flood warning system (SAC) for the San Antonio River basin and Early Rain Detection (ATLL) for other basins in the province.

With the gathered data the system contributes with public safety, property protection, lifesaving practices and general flood warning and preparedness and make possible the development of several studies referred to planning of riversides, to mitigate impacts of flooding, indexes of risk, studies of environmental impact, etc.

INTRODUCCIÓN

En el marco del convenio “Instalación y puesta en marcha de las Estaciones Hidrometeorológicas Telemétricas del Gobierno de la Provincia de Córdoba Expdte N° 0416-054635/2008- de fecha 20/06/2009”, firmado entre el INA-CIRSA y la S.S.R.H. de la Provincia de Córdoba, se está llevando a cabo la instalación de una red de estaciones automáticas, para la medición a tiempo real, de precipitación y niveles de río, en la provincia de Córdoba, con particular énfasis en la zona serrana. Esta red expande y amplía a otras cuencas y áreas, la ya existente en las Cuencas del Río San Antonio (CSA), parte del Río Cosquín (CRCsq) y Mina Clavero-Panaholma(CMC)

El objetivo específico del Sistema de monitoreo es la medición de precipitación y niveles de río. La toma de datos continuada y su correcto resguardo y procesamiento es esencial para la realización estudios hidrológicos e hidráulicos.

Estos sistemas de medición, proporcionan a las comunidades herramientas para manejo del riesgo en la región, constituyendo una de las medidas no estructurales más significativas de previsión. Una aplicación específica importante, por las características turísticas de la zona, es la elaboración y puesta en marcha de modelos de pronóstico de crecidas a tiempo real. Además, genera una valiosa herramienta para la toma de decisión respecto de la planificación

El objetivo del trabajo es mostrar la ampliación de la red instalada en la provincia. Adicionalmente se mencionarán las herramientas desarrolladas, las aplicaciones realizadas sobre la red primigenia y la perspectiva de lograr los mismos resultados en el resto de la zona monitoreada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de ensayo

Las Sierras de la Provincia de Córdoba se localizan entre los 30° y 34° de latitud sur y los 63° y 65° de longitud oeste, constituidas por tres cordones de orientación norte-sur: Oriental, Central y Occidental.

La región presenta un relieve con fuertes accidentes asociados a la tectónica (escarpes, cornisas, quebradas. etc.). El basamento cristalino está caracterizado por rocas de origen ígneo y metamórfico. Los afloramientos rocosos son una característica de la región, observándose un alto porcentaje de roca desnuda. Los sedimentos modernos de cubierta son de poca magnitud. Los suelos, someros y discontinuos que derivan de la alteración directa de las rocas cristalinas, son de baja consistencia, por lo general arenosos, sueltos y de poco espesor.

La vegetación natural condicionada por la altitud, es en los niveles inferiores de tipo arbóreo y arbustivo y en los niveles medios y superiores, de tipo arbustivo y herbáceo respectivamente, condicionada su densidad por el aspecto geológico, según la continuidad de las cubiertas de suelo con respecto a la roca desnuda (Barbeito O.y Ambrosino S., 1983). En la actualidad está siendo alterada por efecto de incendios descontrolados y la acción del hombre: pastoreo, desmonte, plantación de especies foráneas y urbanización, éstas últimas fundamentalmente en zonas de asentamientos turísticos.

La temperatura media anual varía en función de la altitud, correspondiendo la mínima a las Cumbres de Achala (> 2200 msnm) y la máxima a los niveles inferiores (600-700 msnm). Así la media para la región es de 13,5°C., descendiendo hasta los 8,7°C, para la zona alta y alcanzando los 15,5°C en la parte baja. (Colladon, 2004).

En verano se produce un fenómeno regional sobre las sierras, constituido por tormentas eléctricas con nubes de desarrollo vertical, de ciclos extremadamente rápidos. Esto da lugar a que alrededor del 80% de la precipitación anual se produzca entre los meses de octubre y marzo.

La red de drenaje, se encuentra condicionada por un fuerte control estructural que produce tramos rectilíneos o curvaturas angulosas; discurre sobre rocas del basamento que alterna con materiales modernos de naturaleza fluviotorrencial.

Las cuencas de las sierras cordobesas se encuadran dentro de los sistemas hidrológicos típicos, pues posee fuertes pendientes, un punto de salida bien definido, clara divisoria de aguas, baja permeabilidad y altos índices de escorrentía. Esto condiciona a las crecientes que se caracterizan por ser repentinas, de generación rápida y gran poder destructivo. Constituyen la amenaza natural por excelencia.

En el cordón Central con altitudes por sobre de los 2.000 msnm. (Sierras de Comechingones, Cumbres de Achala y Sierras Grandes), tienen nacientes los principales sistemas hidrológicos de la Provincia. Son estos ríos los que proveen, por sí mismos o a través de embalses, el agua para consumo a Córdoba Capital y a las principales localidades de los valles serranos.

Medición de variables hidrológicas- Sistema Telemétrico del CIRSA (STC)

En la región, varios organismos nacionales y provinciales han tenido a su cargo las mediciones hidrológicas. En general, en las décadas precedentes la provincia ha desatendido esta labor. En muchos casos, las mediciones se fueron espaciando con el tiempo y tendieron a desaparecer y en otros se truncaron de una vez, debido a la privatización. De allí la importancia de este proyecto, sobre la Instalación y puesta en marcha de las Estaciones Hidrometeorológicas Telemétricas del Gobierno de la Provincia de Córdoba, porque está permitiendo la reanudación de las mediciones.

La medición continuada de las variables hidrometeorológicas origina series temporales de datos. Su correcto resguardo y su adecuado procesamiento permiten generar bases de registros que son esenciales para realizar estudios meteorológicos, hidrológicos, hidráulicos y ambientales, confiables. La recolección electrónica de datos a tiempo real provista por sensores mejora la calidad y la seguridad de la información hidrometeorológica, ya que supera la observación directa y/o la conversión analógica que requieren los datos suministrados por instrumentos mecánicos convencionales.

La red del INA-CIRSA, fue ideada para estudios de investigación y dentro de éstos el principal objetivo fue el desarrollo de modelos de eventos. La red original constaba de 10 estaciones en la CSA y 2 puestos de medición en la CRCsq, posteriormente se incorporaron 2 estaciones más en CSA, 4 puestos en la CMC y 3 puestos sobre la Cca. del Río Anisacate y Los Espinillos

A diferencia de las estaciones nuevas, la red original mide además de lluvia y nivel, otras variables meteorológicas como temperatura y humedad ambiente, dirección y velocidad del viento, presión barométrica, radiación solar y evaporación. Constituyéndose, la del Río San Antonio, como la cuenca mejor medida de la zona serrana, por la densidad espacial y frecuencia temporal de la toma de datos de las variables meteorológicas e hidrológicas.

En octubre de 2009 comenzó la primera etapa de instalación y puesta en marcha de las estaciones hidrometeorológicas telemétricas adquiridas por el Gobierno de la Provincia de Córdoba.

Al día de hoy el CIRSA ha instalado una red de 56 estaciones remotas. Cada estación está compuesta por tantos sensores como variables mida. La cantidad de estaciones instaladas por cuenca/subcuenca, con detalle de cantidad de sensores de lluvia y nivel y totales para las demás variables meteorológicas, puede verse en la Tabla 1. Estas estaciones remotas forman parte de un sistema de adquisición, transmisión, procesamiento y presentación de datos que conforman el sistema telemétrico (STC), el cual es operado desde la estación Central de recepción ubicada en la sede Villa Carlos Paz del INA. CIRSA.

La zona que abarca la cobertura del STC y su esquema de funcionamiento puede verse en la Figura 1. Y en las figuras 2 a 6 se muestran la ubicación de las nuevas estaciones, por cuenca o región.

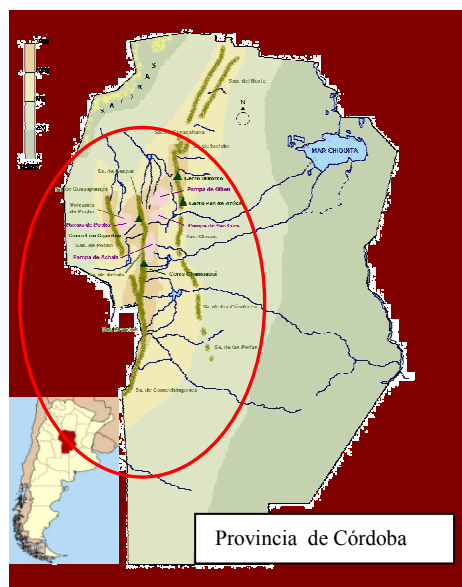


Figura 1: Provincia de Córdoba, zona de cobertura del sistema actual (izq.) Esquema de su funcionamiento (der.)

Tabla1: cantidad de sensores instalados por cuenca, especificados por tipo de medición.

SISTEMA	CUENCA/SubCUENCA	CANT. SENSORES			CÓDIGO DE ESTACIONES
		LLUVIA	NIVEL	OTROS	
Laguna de Mar Chiquita	Río Suquía/Río San Antonio	12	4	22	<u>100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 900, 1010, 1200, 1800, 1700</u>
	Río Suquía /Perilago LSR	1	1	5	<u>1100, 2000</u>
	Río Suquía /Río Cosquín	6	3	0	<u>1400, 2100, 2400, 2700, 3900, 2900</u>
	Río Suquía /A ^a Saldán	8	4	0	<u>3051, 4050, 4100, 4400, 4500, 4600, 4800, 4200</u>
	Río Suquía /A ^a La Cañada	1	0	0	<u>4700</u>
	Río Suquía /Cuenca Media Río Suquía	1	1	0	<u>4900</u>
	Río Xanaes / Río Anizacate	8	4	0	<u>1600, 2200, 2600, 2800, 3000, 3200, 3301, 3800</u>
	Río Xanaes /Río Santa Rosa	1	0	0	<u>5060</u>
	Río Xanaes/Río Los Espinillos	1	0	0	<u>2500</u>
Río Carcarañá	Río Cuarto	5	2	0	<u>5100, 5300, 5400, 5500, 5700</u>
A ^o menores O.de Cba.	Río de Los Sauces / Río Mina Clavero	5	2	4	<u>3350, 3400, 3500, 3600, 3700</u>
	Río de Los Sauces / Río Panaholma	1	1	0	<u>4000</u>
Sin drenaje superficial S.Cba	A ^o El Gato, A ^a El Ají	5	2	0	<u>5200, 5600, 5800, 5900, 6000</u>

Sensores de la Red del CIRSA- subrayados. Los demás sensores pertenecen a la Provincia de Córdoba

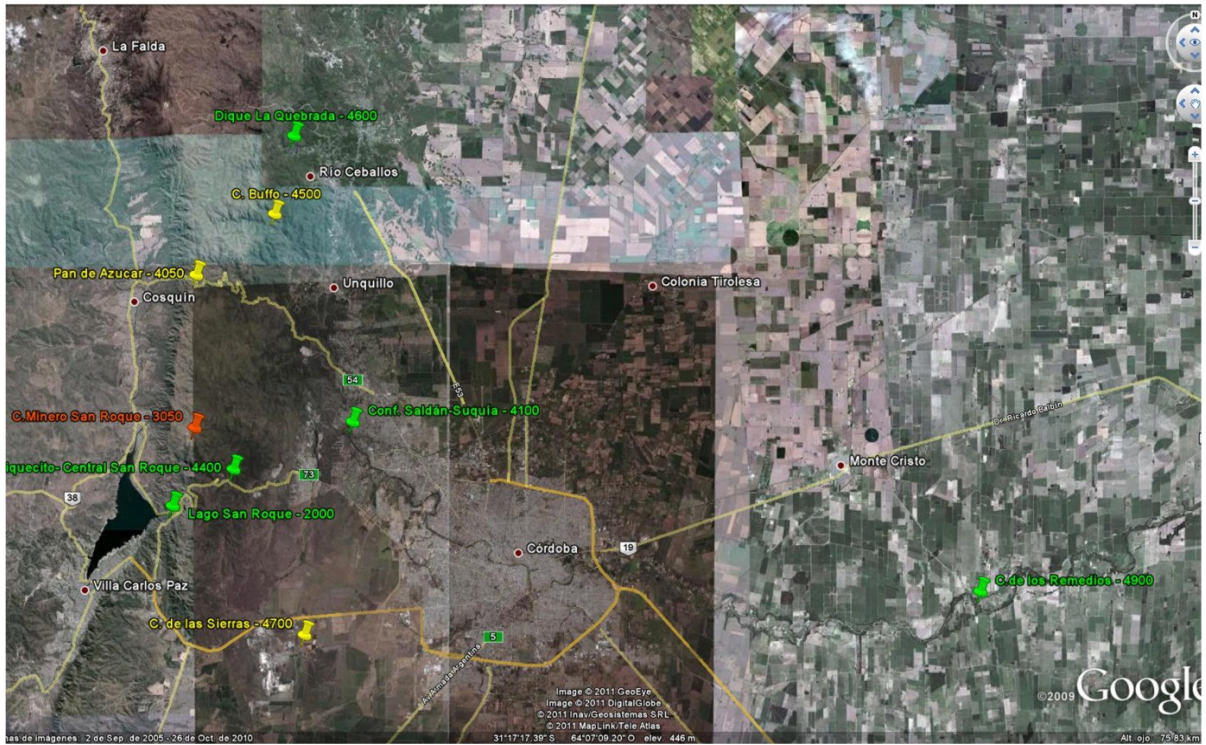


Figura 2: Estaciones de medición en la Cuenca del A^a Saldán, Cca. Alta y Media del Río Suquia.



Figura 3: Estaciones de medición en la Cuenca del Río Cosquín

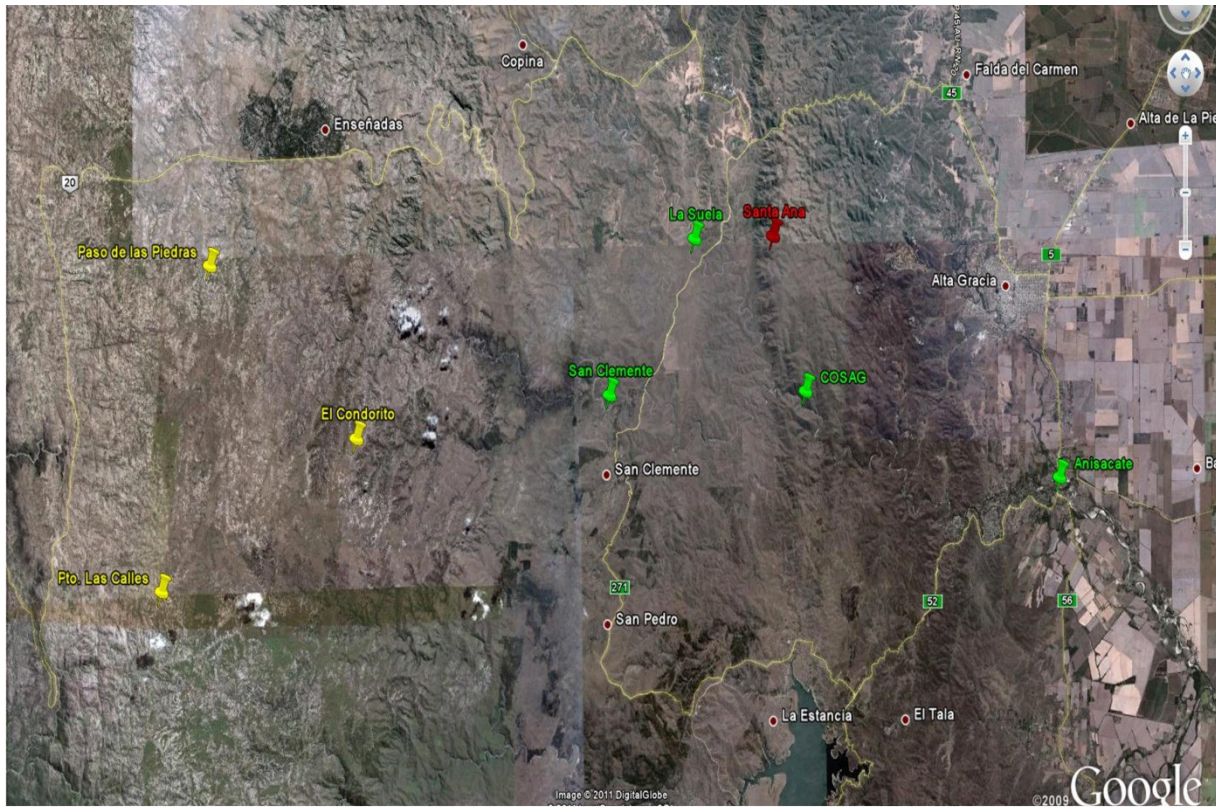


Figura 4: Estaciones de medición en la Cuenca del Río Anisacate y aporte al Embalse del dique Los Molinos.

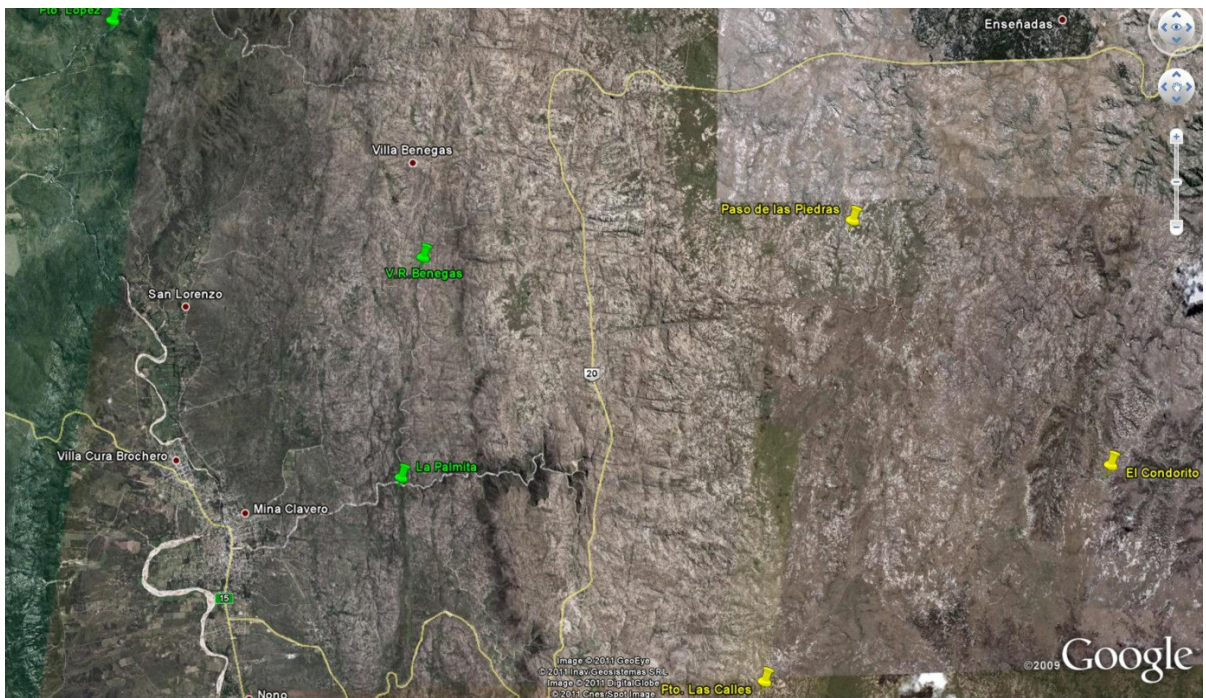


Figura 5: Estaciones de medición en la Cuenca del Río De Los Sauces

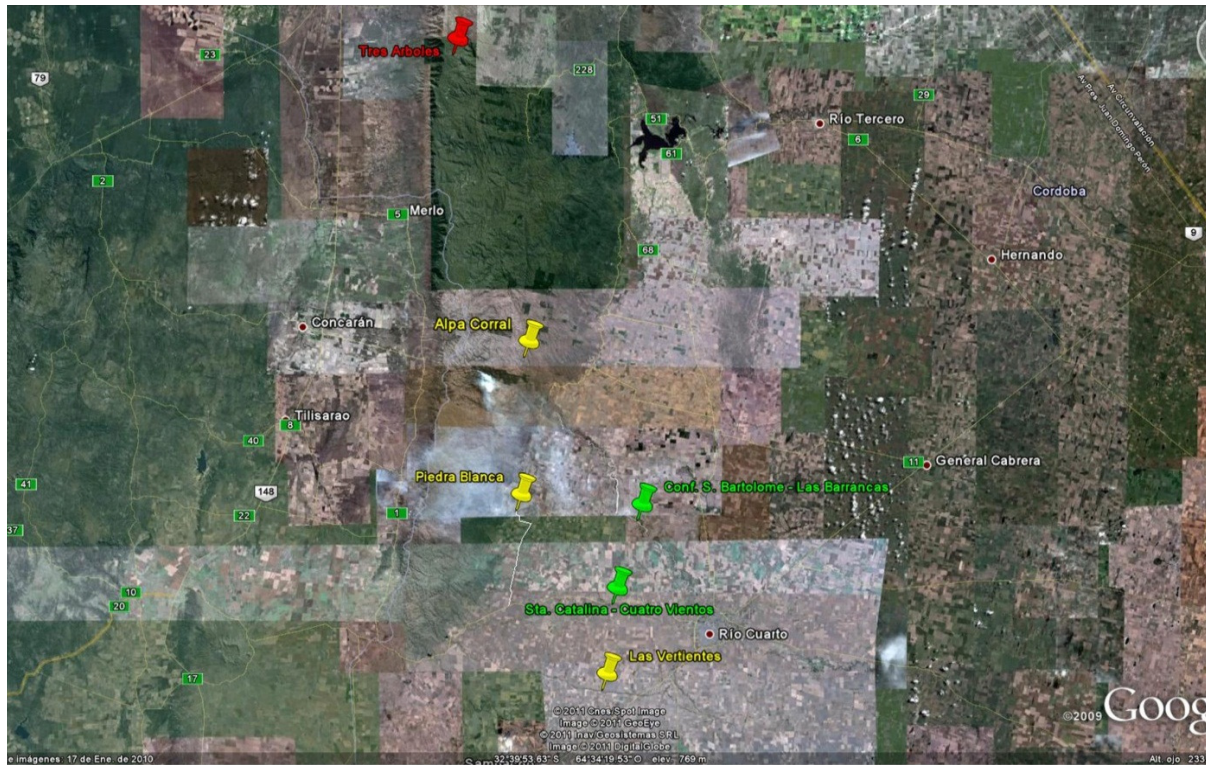


Figura 6: Estaciones de medición en la Cuenca Alta del Río Cuarto

INSTALACIÓN DE LAS ESTACIONES REMOTAS

En virtud de lo establecido en el Acta Complementaria N° 1, del Convenio Marco de Colaboración Recíproca N° 850, suscripta por el Instituto Nacional del Agua y la Secretaría de Obras Públicas de la Provincia de Córdoba, el Centro de la Región Semiárida del INA, comenzó en octubre de 2009 la etapa de instalación y puesta en marcha de las Estaciones Hidrometeorológicas Telemétricas adquiridas por el Gobierno de la Provincia de Córdoba.

En función de la distribución de estaciones previamente acordada con la S.S.R.H., se comenzó con la realización de las verificaciones de pruebas de radioenlaces, con el sistema disponible de enlaces actual y/o con el futuro a adicionar, considerado necesario, para el buen funcionamiento de las estaciones a instalar.

Dentro del plan de tareas y siguiendo el cronograma de instalación, para los nuevos puntos, se relevaron distintas áreas y sitios a los fines de determinar la factibilidad de instalación para cada caso, y su integración por cuenca, en función de todos los aspectos técnicos y logísticos involucrados.

A partir de su instalación y puesta en marcha, previa identificación de dueños de los sitios y obtención de los permisos correspondientes, las estaciones se operaron de manera complementaria con las de la red que el INA-CIRSA, dispone en la Provincia de Córdoba, informando que a la fecha, todas las estaciones de la SSRH en campo, se encuentran reportando datos a tiempo real. Se muestra imágenes en diferentes cuencas y durante diferentes estados de instalación de estaciones remotas en la Figura 7

Con los datos provistos por estos nuevos sensores, el CIRSA presta desde hace dos temporadas un servicio de Alerta Temprano de Lluvia (ATLL) a la Provincia de Córdoba. Su operación contempla guardias permanentes y la transferencia de información a Defensa Civil, Bomberos y Policía.



Figura 7: diferentes momentos en la instalación de estaciones remotas.

ESTUDIOS REALIZADOS

Con los datos recolectados por la red original del CIRSA, fue posible abordar y realizar una serie de estudios sobre la cuenca del Río San Antonio entre los que se puede citar:

- Desarrollo e implementación de:
modelos de pronóstico de crecidas a tiempo real para la ciudad de V^a Carlos Paz.
modelo de pronóstico de crecida del Embalse San Roque.
modelo continuo de lluvia-escorrentía.

- Definición y determinación de:
Márgenes inundables para diferentes Tiempos de Retorno, del Río San Antonio.
Índices de Riesgo de inundación en los principales balnearios sobre el San Antonio
Línea de Ribera para la ciudad de Villa Carlos Paz y comunas del Sur.
Coeficientes de atenuación de lámina de intervalos de máxima anual.

Adicionalmente se editan boletines mensuales y Anuarios para la CSA. La precipitación diaria de las estaciones de la CSA ha sido incorporada a la base de datos de la Red Hidrometeorológica Nacional.

Con los datos recibidos en tiempo real, cada temporada estival desde fines de los '80, se brinda el Servicio de Alerta de Crecidas (SAC) para la ciudad de Villa Carlos Paz y 5 comunas aledañas. Su operación contempla guardias activas-pasivas permanentes y la transferencia de información a Defensa Civil, Bomberos y Policía, incluyendo pronóstico de de nivel del pico de la crecida y su hora de arribo.

NUEVAS POSIBILIDADES

A partir de la recolección sistemática de datos en las nuevas estaciones, será posible extender estos estudios a las demás cuencas serranas de la provincia.

La experiencia adquirida tanto en el mantenimiento de la red como en el procesamiento de los datos, es fundamental para la realización de los estudios hidrológicos e hidráulicos que sean necesarios. Muchas de las herramientas tecnológicas desarrolladas para la CSA, son factibles de ensayar en las demás cuencas serranas.

Un gran desafío lo constituye la necesidad obtener las relaciones altura-caudal (h-Q) en todos los puntos donde se mide el nivel del río. Sólo las cuencas del Río San Antonio y del Río de La Suela (tributario del Río Anisacate) cuentan con curvas altura-Caudal elaboradas a partir de aforos realizados para todos los estadios del río.

Es una característica de los ríos serranos, tirantes muy bajos, de pocos centímetros y caudales menores a $1\text{m}^3/\text{s}$. durante la temporada seca, que se van incrementando a medida que ocurren las crecientes de la época estival. Los niveles y caudales de crecida superan ampliamente los valores de estiaje. Como ejemplo, según datos de la estación de aforos sobre el río San Antonio, el caudal pico de tiempo de retorno de 5 años, responde a una lectura de escala de 4,20 m y un caudal superior a los $1500\text{m}^3/\text{s}$ (Colladon y otros, 2005)

Para aforar sistemáticamente un río de montaña, se requieren diferentes técnicas: micromolinetes convencionales o flowtracker para los aforos por vadeo cuando los tirantes

son bajos y molinetes o perfiladores de corriente acústico Doppler (ADCP) para caudales medio y altos. En este último caso el aforo por molinete implica la instalación de un torno doble o un cable vagoneta en la sección de medición (Lobo y otros, 2011)

Hay ocasiones en que las técnicas mencionadas son imposibles de aplicar; el caso más común es en período de crecidas, en donde además de poner en riesgo la seguridad del aforador se puede dañar el instrumento debido a la presencia de transporte sólido. Las técnicas de velocimetría por imágenes de partículas (PIV) y de velocimetría por seguimiento de partículas (PTV) son técnicas no intrusivas que permiten medir campos de velocidad instantáneos (Tarrab y otros, 2011).

Una ventaja indiscutible es la estabilidad del cauce que presentan, en general, los ríos serranos. Así las relaciones altura-caudal son válidas durante periodos prolongados, siempre que no se altere la sección de medición o se realicen obras aguas arriba que de alguna manera modifiquen la relación.

La mayor demanda de datos hidrológicos para planificación territorial y diseño de obras es sobre características del flujo superficial.

DISCUSIÓN FINAL

La presión demográfica sobre la zona serrana está incidiendo de manera negativa sobre los recursos hídricos y la demanda de agua supera ampliamente las fuentes de abastecimiento existentes.

El primer paso para dar una respuesta correcta a estas necesidades es cuantificar el recurso que dispone la provincia.

La inadecuada urbanización de márgenes de ríos y lagos es otro problema a vencer y la delimitación de la línea de ribera y zonas de riesgo hídrico son una de la herramienta.

Por las características de las crecidas en las sierras cordobesas, cobra importancia pronosticarlas con suficiente anticipación para evacuar playas, campamentos y edificios ribereños. El Sistema de Alerta de crecidas es una pieza necesaria en la reducción de pérdidas por inundaciones.

La solución de todos estos problemas comienza, entre otras cuestiones, con una correcta medición de variables hidrológicas. De allí la importancia de esta red de monitoreo.

LISTA DE SÍMBOLOS

INA:	Instituto Nacional del Agua
CSA:	Cuenca del Río San Antonio
CIRSA:	Centro de la Región Semiárida
STC:	Sistema Telemétrico del CIRSA
SAC:	Sistema de Alerta de Crecidas
ATLL:	Sistema de Alerta Temprana de Lluvia
CRCsq:	Cuenca del Río Cosquín
CMC:	Cuenca del Río Mina Clavero
LSR:	Lago San Roque

REFERENCIAS

Barbeito, O. y S. Ambrosino (1983) Reconocimiento y caracterización de la vegetación natural. Cuenca Alta del Río Suquía. Informe Inédito. CIRSA. Córdoba, Argentina.

Colladon Laura (2004). Estadística Meteorológica. Temperaturas Medias Mensuales. 1994-2003. Cuenca del Río San Antonio. INA-CIRSA Villa Carlos Paz. Córdoba.

Laura Colladon, Gabriel Caamaño Nelli, Clarita Dasso (2005). “Inferencia de Grandes Crecidas para Planificación Territorial. Río San Antonio, Provincia de Córdoba”. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino (Rodríguez Rosa, et. al. Tomo III, pp753-760. Ed. Universitaria de La Plata ISBN 987-595-006-8. La Plata. Argentina.

Colladon, L.; Caamaño Nelli, E.; Vélez, E.; Ludueña, M. y Carballo, A. (2011) “Servicios de Alerta de Crecidas y Alerta Temprana de Lluvias”. Informe Final Temporada 2010-2011. Inédito. CIRSA. Villa Carlos Paz.

Lobo Patricia, Carlos M. García, Ricardo N. Szupiany (2011) “Metodologías experimentales óptimas para cuantificar el recurso hídrico superficial en la provincia de Catamarca”. II Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica. Resumen en CD. Bahía Blanca. Argentina.

Tarrab, L., Wernher Brevis, Carlos M. García, Ulrich Schaff, Matías Ragessi, Andrés Rodríguez. (2011) “Aplicación de técnicas ópticas para estimar caudales en instalaciones experimentales a gran escala”, II Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica. Resumen en CD. Bahía Blanca. Argentina.

Vélez, E.; Gonzalo S.; Ríos, O. (2010) “Estudio de Factibilidad para la Conformación de un Sistema de Alerta Temprana en 17 puntos de medición en cuencas hídricas de la Provincia de Córdoba” Convenio Instituto Nacional del Agua - Subsecretaría de Defensa Civil y Gestión de Riesgos Provincia de Córdoba. Informe Final. CIRSA. Villa Carlos Paz.

Vélez, E. (2009- 2010- 2011) “Instalación y puesta en marcha de las Estaciones Hidrometeorológicas Telemétricas del Gobierno de la Provincia de Córdoba” - Informes Técnicos de Avance de Obra. CIRSA. Villa Carlos Paz.



Instituto de Recursos Hídricos



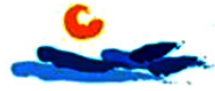
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



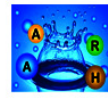
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Investig. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERÍA CIVIL & HIDRAULICA

