

CETA

CENTRO DE ESTUDIOS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA

Ciencia, Tecnología e Innovación

Revista del CETA
Centro de Estudios y Tecnología del Agua
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

Número 3



Universidad Nacional de Córdoba

RECTOR
Dr. Hugo Juri

VICE-RECTOR
Dr. Ramón Pedro Yanzi Ferreira

SECRETARIO GENERAL
Ing. Roberto Terzariol

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

DECANO
Mg. Ing. Pablo Recabarren
VICE-DECANA
Mg. Ing. Adriana Ceratto
SECRETARIO GENERAL
Ing. Daniel Lago
SECRETARIO ACADÉMICO (ÁREA INGENIERÍA)
Dra. Magalí Evelin Carro Perez
SECRETARIA ACADÉMICA (ÁREA BIOLOGÍA)
Biol. Analía González
SECRETARIO ACADÉMICO (ÁREA GEOLOGÍA)
Geol. Raúl Eduardo Paredes
SECRETARIA ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POST-GRADO (ÁREA CIENCIAS NATURALES)
Dr.a Marcela Cioccale
SECRETARIO ACADÉMICO DE INVESTIGACIÓN Y POST-GRADO (ÁREA INGENIERÍA)
Dr. Federico Pinto
PROSECRETARÍA ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POST-GRADO (ÁREA DE INGENIERÍA)
Dr. Jorge Finochietto
PROSECRETARÍA ACADÉMICA ÁREA INGENIERÍA
Ing. Lisandro Capdevila
PROSECRETARÍA DE VINCULACIÓN TECNOLÓGICA
Ing. Fernando Bianco
SECRETARÍA DE EXTENSIÓN
Ing. Agr. Luis Bosch

Centro de Estudios
y Tecnología del Agua
Facultad de Ciencias
Exactas, Físicas y Na-
turales, UNC.

DIRECCIÓN
Dr. Carlos M. García

SECRETARÍA
Dr. Gerardo Hillman

Revista del CETA

DIRECTOR
Dr. Andrés Rodríguez

EDICIÓN CIENTÍFICA
Dr. Carlos M. García

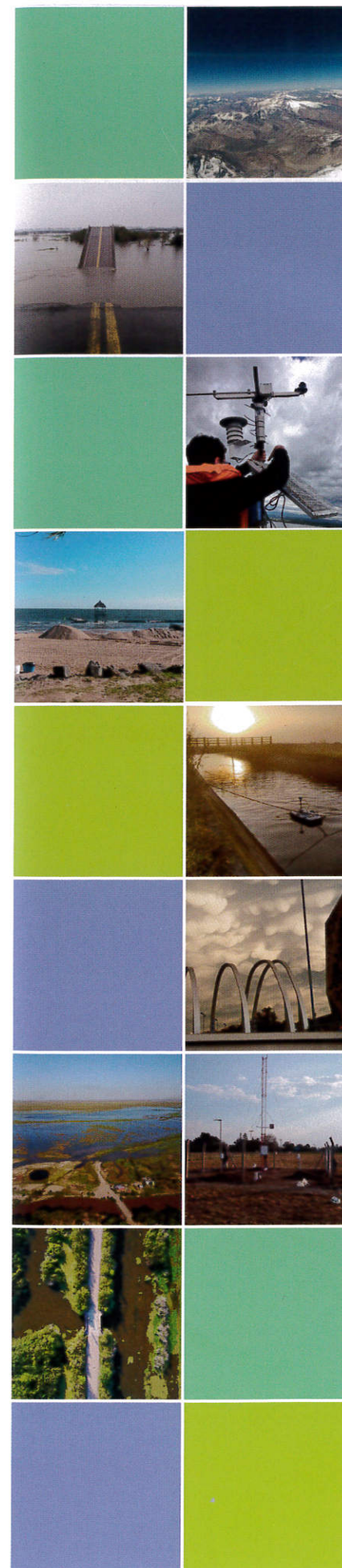
COORDINACIÓN CIENTÍFICA
Ing. Ricardo Ingaramo

COORDINACIÓN EDITORIAL
Lic. Zusana Boneu

DISEÑO
Agustina Sastre

Vol. 1, N° 3 - 2017

ISSN 2525-0582



Sumario

- 7** *Editorial*
- 9** *Observatorio Meteorológico de Córdoba (OMHM) de Córdoba. Integración de sensores hidro-meteorológicos para monitoreo y alerta en la Región Centro de Argentina*
- 15** *Recursos humanos e integración*
- 17** *Aniversario. 80 años de gestión del agua en la Provincia de Córdoba*
- 19** *XXVI Congreso Nacional del Agua 2017*
- 20** *Premio INA en CONAGUA*
- Artículos científicos de CONAGUA 2017*
- 21** *Coefficientes de decaimiento areal de la lluvia en el gran San Miguel de Tucumán según la escala de la tormenta.*
F. BAZZANO, G. CAAMAÑO NELLI, J. L. MINETTI, G. RAJMIL
- 28** *Evaluación de wetlands de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de efluentes de un tambo robot.*
M. C. SCHIERANO, M. A. MAINE, M. C. PANIGATTI
- 36** *Análisis de estadística inferencial de información pluviométrica histórica en presencia de efectos de cambio y variabilidad climática.*
M. M. BARAQUET, N. F. GUILLÉN, C. M. GARCÍA
- 46** *Efecto de la afluencia incremental de la chi en la planificación de sistemas hidrotérmicos.*
L. ACOSTA ZUÑIGA, R. J. DE ANDRADE
- 53** *Detección y caracterización de floraciones algales en el Embalse San Roque a partir de sensores remotos.*
A. GERMÁN, A. FERRAL, D. ROMERO ARIJON, I. BERNASCONI
- 59** *VIII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos.*
- 60** *Premio Fundación INMAC*
- Artículos científicos Ríos 2017*
- 61** *Influencia de las corrientes secundarias sobre el sedimento suspendido en meandros de un grande cauce. Validación de modelo numérico Telemac 2D.*
R. DOMÍNGUEZ, R. SZUPIANY, P. TASSI, G. PETKOVSEK

Avances en el monitoreo y modelado hidroecológico de embalses en Córdoba: caso Lago San Roque

*1. JONATHAN MUCHIUT
MAYCO DAGATTI
ANDRÉS RODRIGUEZ
FEDERICO PRYSTUPCZUK
REINALDO GONZÁLEZ REYES
SANTIAGO RODRIGUEZ GLEZ.
MARIANO CORRAL
PAOLO GYSSELS
2. LUIS ALBERTO MURGIO.
3. HORACIO HERRERO
NICOLÁS GUILLÉN
4. MARÍA INÉS RODRIGUEZ
LUCIANA MENGÓ
DANIELA SILVINA ARÁN
5. ANA LAURA RUIBAL CONTI
MARCIA RUIZ

Introducción

Una gran cantidad de cuerpos de agua como lagos y reservorios son usados para diversos fines-actividades recreativas, producción hidroeléctrica, fuentes de agua para riego, industria y consumo humano, y control de crecidas-. Los requisitos para cada uno de estos usos difieren, y muchas veces son contrapuestos. Esto hace del agua un recurso que debe ser gestionado como un servicio cuyo usuario final es la comunidad en general, inmerso en un ecosistema que le es propio. Es así que la calidad del agua condiciona el fin que a la misma se le puede dar y al mismo tiempo dicho fin condiciona a aquélla.

La calidad del agua puede determinarse a través de la medición de concentraciones de diversas sustancias tanto de origen orgánico como inorgánico. En muchos países, los distintos usos que existen, están regulados por normas que establecen parámetros de calidad, lo que hace que el control de éstas sustancias sea necesario, sea mediante la regulación y control de los ingresos desde la cuenca de aporte y/o por el aumento y mejora de los procesos de mezcla.

La mezcla es resultado de la turbulencia y la advección diferencial en el agua. En lagos y reservorios tiene como fuentes naturales principales la energía proveniente de los flujos entrantes, flujos salientes, la interface aire-agua y del oleaje, convección y fuerza de Coriolis.

El fitoplancton -o algas microscópicas- presente en los cuerpos de agua aumenta su biomasa debido a la interacción de ciertos factores como temperatura, radiación solar y nutrientes disueltos en los mismos. Debido al aumento de la biomasa fitoplanctónica, el lago o reservorio comienza a perder calidad estética, capacidad de transporte en ciertos puntos, a generar inconvenientes en las plantas potabilizadoras y a presentar un potencial riesgo a la salud de la población expuesta, entre otros inconvenientes. Este crecimiento puede exacerbarse y acentuarse en el tiempo, dando paso al fenómeno conocido como desarrollo masivo de algas, floraciones algales o blooms y continúa hasta que la concentración de los nutrientes en el agua no es la suficiente, la temperatura o luz no es la necesaria, y/o debido a la presencia de predadores -zooplancton-, momento a partir del cual la biomasa comienza a decaer.

La descomposición de las algas consume el oxígeno en las profundidades, provocando hipoxia que puede llevar a un estado de anoxia y resultar en la muerte de aquellas especies sin suficiente resiliencia. Debido a que el único recurso necesario para el crecimiento del fitoplancton capaz de ser controlado o al menos regulado de forma directa por el hombre es el conjunto de nutrientes -principalmente el nitrógeno y fósforo-, es entonces el factor que debe ser limitante. Lo mismo se logra de diversas for-

*1. Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC.
2. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC.
3. Secretaría de Recursos Hídricos, Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos, provincia de Córdoba.
4. Instituto Nacional del Agua.
5. Instituto Nacional del Agua - CIRSA.

la siguiente ecuación $V_m = \alpha * V_s$. Los líderes del proyecto eligieron $\alpha = 1$ según su experiencia en la medición en los ríos de Córdoba cuando estos están en condición de crecida. El caudal obtenido durante el evento es de 1.86 m³/s.

El resultado principal aquí es el hecho de que el video de alta calidad (alta definición y centrado en una sección transversal conocida) recibida fue realizada por un trabajador de la Defensa Civil y ahora es parte de su rutina para grabar un video en una ubicación específica cuando ocurre una inundación repentina.



Figura 1. Instantánea del río inundado Río Ceballos y su campo de desplazamiento medio no rectificado.

Conclusión

Cazadores de Crecidas es un proyecto de Ciencia Ciudadana que tiene como objetivo recopilar datos valiosos de colaboración distribuida con el fin de reducir las incertidumbres en la curva de aforo durante los eventos de crecida repentina. El principal problema al que se enfrentaba el proyecto es que muchos de los videos no eran adecuados para su procesamiento porque no cumplían con las condiciones requeridas. Los líderes de Cazadores de Crecidas capacitaron para este proyecto a bomberos y personal de la Defensa Civil que son los primeros en llegar a los ríos cuando ocurren crecidas repentinas. Se ha procesado un ejemplo de un video recibido de la Defensa Civil. Ahora es parte de la rutina del personal que se ha

capacitado grabar videos de alta calidad cada vez que ocurre una crecida repentina. Los líderes del proyecto esperan recibir una cantidad considerable de nuevos videos de los grupos entrenados durante la próxima temporada de lluvias.

Las consecuencias directas en compartir los resultados de esta investigación con los organismos de gestión son: el mapeo de las amenazas del agua y del medio ambiente, las vulnerabilidades y los riesgos que enfrentan los nuevos escenarios climáticos; la propuesta de políticas para la gestión de obras de regulación y explotación en el marco de estos escenarios. Las decisiones basadas en datos medidos impactarán significativamente en la reducción de las pérdidas de vidas y daños materiales causados por estos eventos de crecidas repentinas. Para la comunidad científica la posibilidad de extender las curvas que relaciona altura con caudal, utilizando las mediciones de valores extremos de caudal, disminuirán dramáticamente el error inducido por la extrapolación de estas curvas. Curvas de aforo más precisas implican mejores modelos de pronóstico calibrados en un rango mayor de condiciones de flujo.

Referencias bibliográficas

Detert, M., Weitbrecht, V. (2015). A low-cost airborne velocimetry system: proof of concept. *J. Hydraul. Res.* 53, 532. doi:10.1080/00221686.2015.1054322.
Fujita, I., Muste, M., Kruger, A. (1998). Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. *J. Hydraul. Res.* 36, 397-414. 080/00221689809498626
Hauet, A., Kruger, A., Krajewski, W. F., Bradley, A., Asce, A. M., Muste, M., Asce, A. M., Creutin,

J., Wilson, M. (2008). Experimental System for Real-Time Discharge Estimation Using an Image-Based Method 13, 105-110.

Le Boursicaud, R., Pénard, L., Hauet, A., Thollet, F., Le Coz, J. (2015). Gauging extreme floods on YouTube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. *Hydrol. Process.* n/a-n/a. doi:10.1002/hyp.10532

Le Coz, J., Hauet, A., Pierrefeu, G., Dramais, G., Camenen, B. (2010). Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers. *J. Hydrol.* 394, 42-52. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.05.049

Le Coz, J., Patalano, A., Collins, D., Guillén, N.F., García, C. M., Smart, G.M., Bind, J., Chiaverini, A., Le Boursicaud, R., Dramais, G., Braud, I. (2016). Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand. *J. Hydrol.* 541, 766-777. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.07.036

Patalano, A., García, C. M., Rodríguez, A., 2017. Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). *Comput. Geosci.* 109. doi:10.1016/j.cageo.2017.07.009

Patalano, A., Moreno, L., García, C. M., Guillén, N.F. (2015). Desarrollo e Implementación Del Proyecto "Cazadores De Crecidas" En Ríos De La Provincia De Córdoba, in: *IV Simposio Sobre Métodos Experimentales En Hidráulica*. La Plata, Argentina.

Thielicke, W., Stamhuis, E. J. (2014). PIVlab - Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *J. Open Res. Softw.* 2. doi:10.5334/jors

mas: mediante el tratado del agua residual, cambios de prácticas en actividades humanas como la agrícola, distribución de nutrientes en diferentes cuerpos receptores, modificación de los productos que generan nutrientes, entre otros.

El problema de eutrofización puede entonces definirse como un exceso en el ingreso y acumulación de nutrientes orgánicos e inorgánicos en un cuerpo de agua que, junto a condiciones ambientales y meteorológicas adecuadas, aumentan la producción primaria o estimulan el aumento de biomasa, generando inconvenientes para ciertos usos y usuarios de dicho recurso.

Estado actual de los embalses de Córdoba. Lago San Roque

La mayoría de los embalses de la provincia de Córdoba presentan niveles de eutrofización elevados, teniendo como causa principal la falta de regulación y control de la cuenca de aporte, vinculados a la producción de nutrientes provenientes de residuos urbanos, industriales y agrícolas que llegan de manera directa o indirecta al cuerpo de agua.

El Embalse San Roque (ESR) constituye una de las dos fuentes de suministro de agua potable para la Ciudad de Córdoba. Experimenta floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas verdes-azules *Microcystisaeruginosa* y de los dia-noflagelados *Ceratiumhirundinella*, con concentraciones de clorofila-a que superan los 50 µg L-1 durante los meses de verano y otoño (ver Figura 1).

La remediación del estado hipertrófico que presenta este cuerpo de agua comenzó a principios del año 2001, mediante desarrollos llevados a cabo por el Centre for

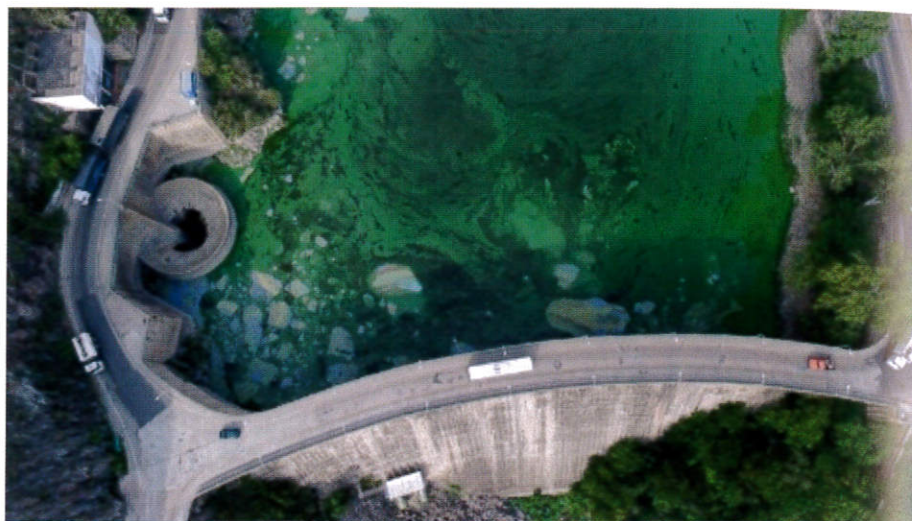


Figura 1. Floración de *Microcystis aeruginosa* del 20 de enero del 2018, próximo al cierre del Embalse San Roque.

Water Research, de la University of Western Australia, que ha diseñado estaciones denominadas LDS -Lake Diagnostic System- que operan y funcionan actualmente en lagos de todo el mundo.

Del conjunto de sensores hidrometeorológicos instalados, el de mayor importancia es el de la cadena térmica, capaz de medir temperaturas en toda la columna del ESR. De esta manera es posible predecir y estudiar los procesos de estratificación térmica que producen y agravan los fenómenos de eutrofización, y con ellos la generación de blooms algales.

A la par se ha implementado un sistema del destratificación artificial, que consiste en un conjunto de 7 difusores, cada uno de 925 metros de longitud, que descargan un total de 933 l.s⁻¹ de aire comprimido en la base del reservorio. La ventaja de contar con una LDS es que ésta permite determinar aquellos períodos en los cuales el lago comienza el proceso de estratificación -al tener un registro de mediciones de temperatura a lo largo de toda la columna de agua en tiempo real- y así gestionar y optimizar los momentos de trabajo de las bombas de-aire.

Estación de Monitoreo de Lagos (EML)

La estación de monitoreo de lagos, análoga a la LDS (Figura 2), se puede definir como un conjunto de sensores hidrometeorológicos, biológicos y químicos montados sobre una boya que, correctamente anclada en un punto de conveniencia dentro de un lago o reservorio, es capaz de recibir y almacenar los datos, para ser transmitidos de forma inalámbrica a un servidor remoto donde serán procesados.

El diseño propuesto y llevado a cabo en su instalación en el año 2001 en el ESR por parte de la institución australiana CWR con-

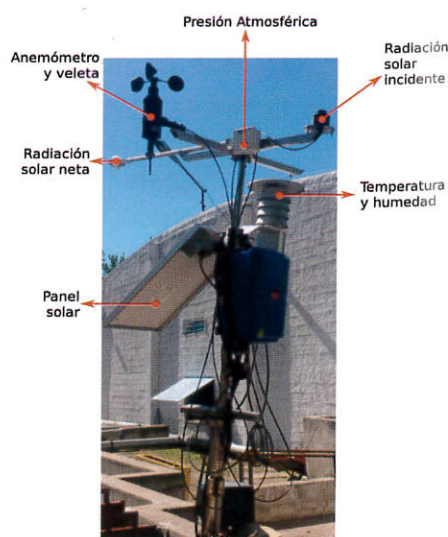


Figura 2. Estación de Monitoreo de Lagos, con los sensores.

sistía en dos lastres -cargas suspendidas-, apartados del eje vertical del instrumento mediante una boya sumergida, y un ancla -carga en el fondo del cuerpo de agua- sobre dicho eje. Para que éste último funcione como tal, era de vital importancia un sistema mecánico -malacate- capaz de ascender o descender el ancla, operación que era realizada manualmente, lo que generaba inconvenientes.

La nueva EML (ver Figura 3) presenta un diseño diferente, similar a una instalada por los italianos en sus lagos, donde se utiliza un lastre sobre el eje del instrumento, y un ancla ubicada a cada costado. El cabo que une estas últimas con la estación se encuentra dividido en tres partes, separadas por dos boyas, la primera sumergida y la segunda flotante. Este sistema permite, dada una elevación de la superficie de agua, tensar las cuerdas de tal manera que las mismas se presenten en forma de línea recta. El objetivo es, por tanto, diseñar estos elementos para que, dado un máximo nivel de agua, los cabos sean sometidos a esfuerzos de tracción menores a su resistencia y menores a aquellos que harían que el ancla se suspenda y comience a trabajar como muerto. Para niveles menores de agua, las cuerdas dejan de trabajar a tracción y permiten un movimiento oscilante de la estación en el plano horizontal relativamente pequeño.

Para aumentar la seguridad en cuanto al sistema de flotación, se colocarán nuevas boyas suspendidas por sobre el nivel de la superficie del lago, que sólo trabajarán en caso de imprevistos. Por último, la boya principal de la estación estará en el centro de un sistema de señalización compuesto por una circunferencia de 8 metros de radio, correctamente señalizada.

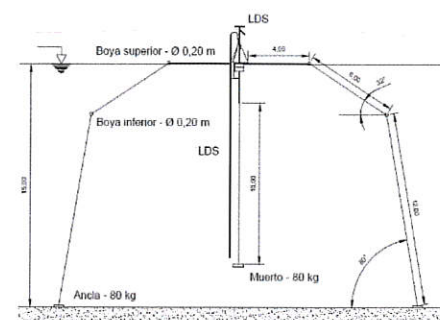


Figura 3. Diseño de la nueva estación, con dos anclas de 80 kg en los costados y un lastre central que cuenta con el mismo peso. La tracción en los cabos se logra con boyas sumergidas de 0,20 m de diámetro.

Los parámetros físicos que se miden en la superficie del lago son: temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, radiación solar incidente, y radiación solar neta -representa la radiación solar incidente menos la reflejada por el cuerpo de agua, es decir, la energía realmente absorbida por el lago, disponible en parte para el crecimiento de las algas-. Por debajo de la superficie, se cuenta con la cadena térmica ya mencionada y un sensor de presión hidrostática a partir del cual se registra la altura del nivel de agua en tiempo real.

Sumado a esto, el diseño de la estación incluye un puerto de comunicación destinado a la conexión de una sonda multiparamétrica (Aqua TROLL 400), que dota al sistema de medición la capacidad de registrar niveles de conductividad, pH, oxígeno disuelto, entre otros.

La transmisión de los datos recolectados se realiza de manera inalámbrica mediante un módulo GPRS incluido en la estación, que permite utilizar la red de telefonía existente para establecer una conexión por Internet. Puede operar con cualquiera de las tres prestadoras del servicio existentes en el país, lo que posibilita seleccionar aquella que presente mayor señal

y mejor calidad del servicio en el lugar de instalación. Para realizar dicha tarea se hace uso del protocolo de transferencia de archivos (FTP), mediante el cual se escriben los datos correspondientes en un archivo existente en el servidor remoto encargado de recibir y almacenar de manera permanente los datos, permitiendo su acceso desde cualquier terminal conectada a Internet.

El desarrollo electrónico del sistema incluye un módulo GPS que suministra con precisión la fecha y hora del momento en que se toman los datos de los sensores. Toda esta información es almacenada en una memoria no volátil -tarjeta micro SD-, para luego ser transmitidos al servidor. La estación cuenta con un sistema de telemetría de respaldo, formado por un transmisor de radiofrecuencia que permite descargar manualmente los datos ubicando un receptor en la costa del lago. La energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de todo el sistema es provista mediante un panel solar de 20W, un regulador de carga y una batería de tecnología plomo-ácido de 12V - 7Ah.

Todos los procesos llevados a cabo en la estación -adquisición de datos, procesamiento, almacenamiento, transmisión, etc.- son controlados por la computadora de a bordo (ver Figura 4), basada en un micro controlador con arquitectura ARM Cortex-M3 de 32 bits y procesador de 84 MHz. El software desarrollado y embebido en este microcontrolador permite seleccionar el período de recolección y el período de transmisión de los datos, habilitar o deshabilitar sensores, monitorear el consumo de energía de todo el sistema, entre otras prestaciones. La computadora de a bordo va dentro de un gabinete plástico construido bajo el

estándar IP67, de modo que pueda ser sumergido por debajo de la superficie del lago, situación favorable para la disipación térmica de la electrónica que compone el sistema.

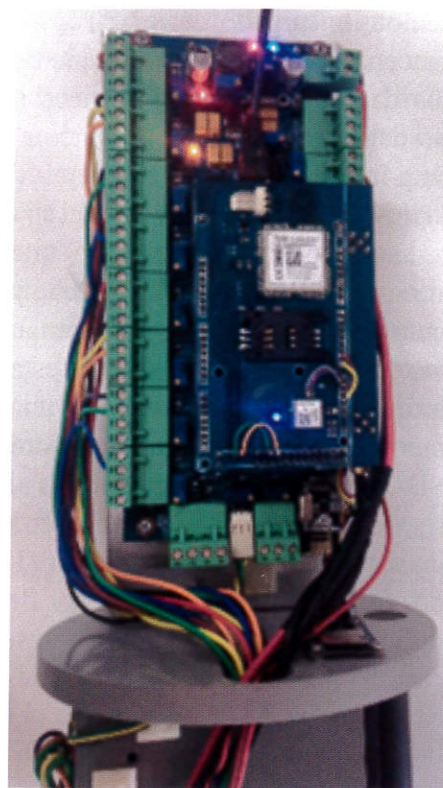


Figura 4. Computadora principal de la EML

Modelación numérica. Sobre Delft 3D y MIKE 21 2D

La necesidad de aplicar herramientas que pronostiquen la variación de la calidad del agua se ha incrementado en los últimos años como consecuencia de los procesos de eutrofización presentes en los cuerpos de agua en el mundo. Las aproximaciones más sencillas se ejemplifican por el desarrollo y aplicación de **modelos input-output** o **estacionarios** que consideran al sistema como perfectamente mezclado.

Una segunda aproximación, referida a menudo como **modelación ecológica** agrega específicamente algunos de los factores químicos y biológicos que se encuentran ausentes en los modelos

estacionarios. Las interacciones entre los procesos físicos y los bioquímicos descritos por estos modelos están representados en forma simplificada.

La tercera aproximación comprende la extensión de **modelos hidrodinámicos**, capaces de resolver las ecuaciones de mecánica de fluidos para luego ser acoplados a modelos ecológicos.

Típicamente, los modelos que representan la variación en el tiempo de los procesos ecológicos intervienen ecuaciones de conservación y transporte con coeficientes que requieren de su calibración mediante la realización de experimentos en campo, toma de muestras, análisis de imágenes satelitales, entre otros.

El software de modelación numérica **Delft 3D** está compuesto por una serie de módulos acopla-

dos entre sí capaces de resolver numéricamente y en tres dimensiones: flujos, transporte de sedimentos, calidad de agua, cambios morfológicos y ecología. Con respecto al fenómeno de eutrofización y estratificación, es posible modelar flujos entrantes y salientes, estratificación inicial del flujo entrante, flujos debido a oleaje y a corrientes de viento, estratificación térmica del cuerpo de agua, intercambio de calor superficial, transporte de contaminantes, proceso de eutrofización ($N - NH_4^+$, $N - NO_3^-$, $P - PO_4^{3-}$ y Si), precipitación y evaporación, transporte de sedimentos y flujos hidrodinámicos internos (*Delft3D, Functional Specifications, 2013. Deltares, 3.14 ed. 2*).

El software, además, presenta gran versatilidad en cuanto al ingreso y egreso de datos, asociados

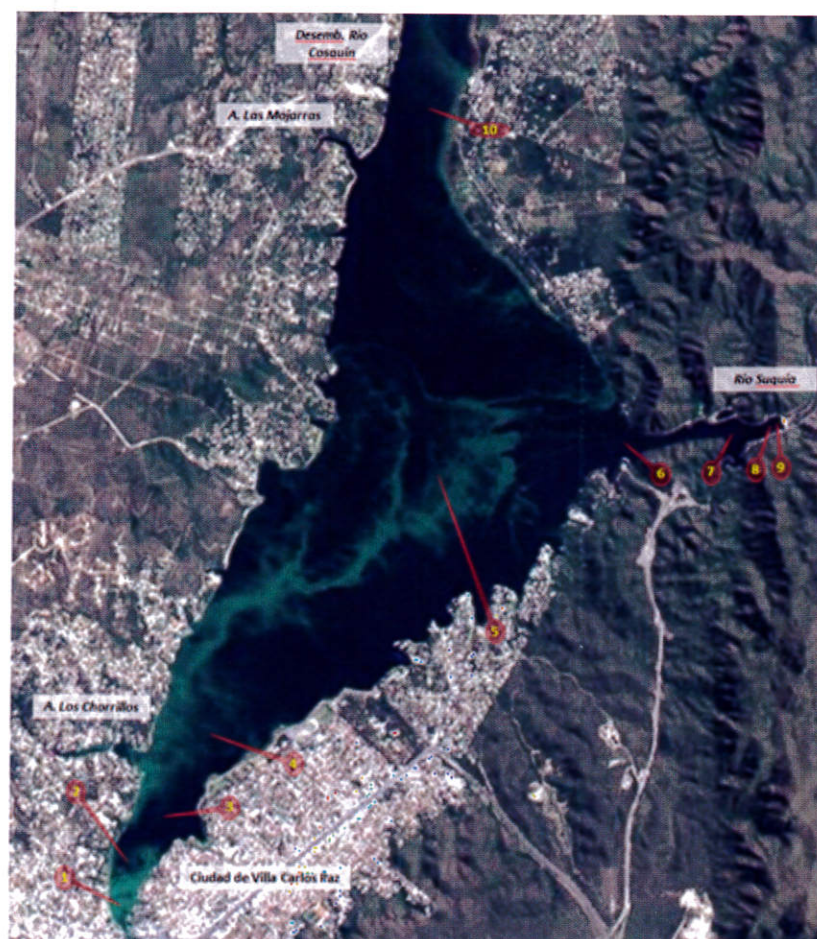


Figura 5. Imagen satelital del Lago San Roque. Se puede apreciar la mancha generada por el bloom algal de febrero del año 2017, originándose principalmente en los tributarios del sur (Los Chorrillos y San Antonio). Además, se encuentran marcados los puntos de muestreo.

a interfaces gráficas, y además posee código abierto. Por otra parte, el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba cuenta con la licencia del software, por lo que se encuentra actualizado y operativo.

La calibración se llevará a cabo a través de mediciones en un total de 10 puntos (ver Figura 5) distribuidos de la siguiente manera: 4 en la zona sur, 1 en la zona central, 1 en la zona norte y los últimos 4 en la garganta. A su vez, se contará con el apoyo de imágenes satelitales, a partir de la cual puede apreciarse la mancha generada por ciertos blooms algales.

Por otra parte, se utilizó otro software de modelación numérica el **DHI MIKE 21 Flow Model 2D** (DHI, 2016). Es flexible y genérico con posibilidades de describir las características hidrodinámicas y ecológicas de distintos tipos cuerpos de agua. Cabe destacar que a través de del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba se accedió a la licencia estudiantil (DHI, 2017).

A modo comparativo, se realizó una corrida preliminar (sin considerar características orográficas en la zona) con viento constante 5,5 m.s-1, dirección 0°. De esta manera se pueden visualizar semejanzas y diferencias entre los softwares y las modelaciones en 2D-3D (ver Figura 6 y 7).

La instalación de la LDS en el lago será, a su vez, un elemento fundamental para lograr la calibración del modelo en cuanto a las predicciones que del modelo numérico puedan obtenerse.

Sobre las futuras EML

Esta experiencia proyectada para el Lago San Roque será replicable a una futura red provincial del orden de 10 cuerpos de agua moni-

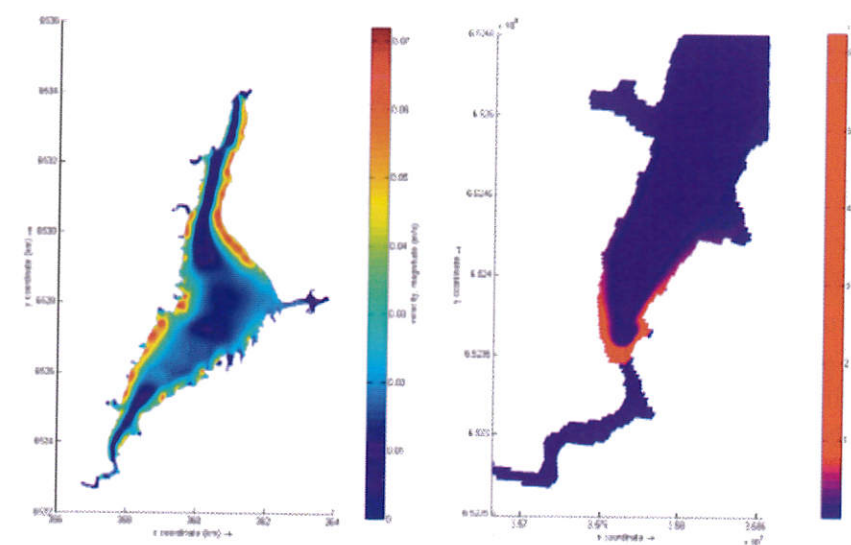


Figura 6. Modelación numérica mediante el software Delft 3D. A la izquierda se presenta el campo de velocidades para un viento constante y no uniforme de 5,5 m/s. A la derecha, la pluma generada por un trazador conservativo, para el mismo escenario hidrodinámico.

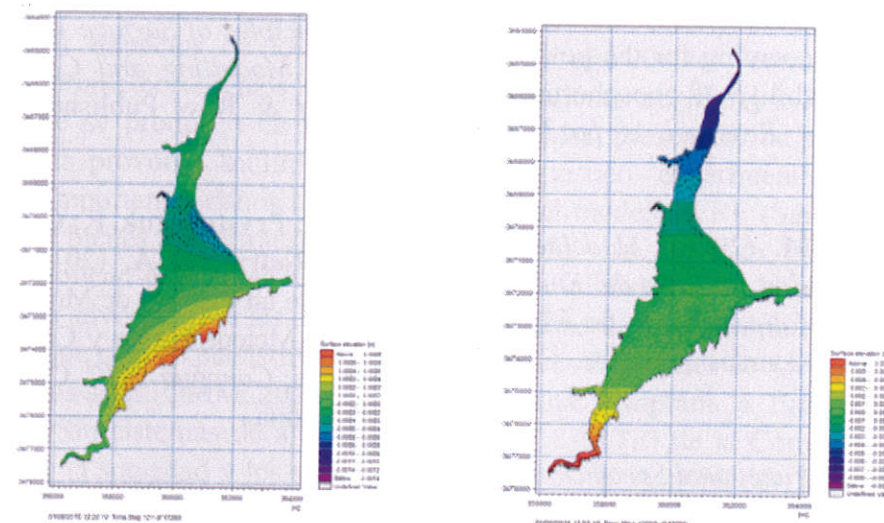


Figura 7. Modelación numérica mediante el software DHI MIKE 21 2D. A la izquierda se presenta el campo de velocidades con viento constante de 5,5 m.s-1, 0° al comienzo de la corrida. A la derecha, al final de la corrida.

treos, entre ellos Los Molinos, Cruz del Eje, Embalse, La Viña y El Cajón. El sistema de medición se encuentra en constante desarrollo y actualización. Una de las ramas en la que se está trabajando es en migrar al sistema de telefonía 3G, con mejores prestaciones en telecomunicación y conexión a Internet, lo que permitirá establecer una comunicación bidireccional e interactuar con el sistema a distancia.

También se reemplazará el software desarrollado por un RTOS (Real Time Operating System),

sistema operativo de tiempo real, que permitirá, en conjunto con la característica previa, realizar actualizaciones de firmware de manera remota.

Por otro lado, se desarrollarán e implementarán nuevos sensores: un equivalente electrónico al disco de Secchi, un sensor acelerómetro para dimensionar el oleaje, un giróscopo para conocer la posición de la estación, y un magnetómetro para saber la dirección.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la provincia de Córdoba.

Bibliografía

Bazán, R., Oroná, C., Cossavella, A. Corral, M., Rodríguez, M., Busso, F. y Bonfanti, E. (2002). *Análisis y modelado de las características limnológicas del embalse Los Molinos*. Resúmenes Seminario Taller: Calidad de aguas en embalses de la provincia de Córdoba, Argentina, pp. 18.

Chapra, S.C. (1982): A budget model accounting for the positional availability of phosphorus in lakes. *Wat. Res.*, vol. 16 pp. 205-209.

Corral, M. (2006). *Modelación de la calidad del agua del Embalse Los Molinos*. Tesis de Maestría en Recursos Hídricos. FCE-FyN-UNC.

Delft3D, Functional Specifications. (2013). Deltares, 3.14 ed. 2

DHI. (2016). *MIKE 21 Flow Model. Hydrodynamic Module. User Guide.* Denmark: Danish Hydraulic Institute

DHI. (2017). *MIKE Software. Student licensed Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.* Denmark: Danish Hydraulic Institute

Imberger, G. (2004). A Lake Diagnostic System for Managing Lakes and Reservoirs, *Water Resources Impact*, Vol. 6, N. 1, 7-10.

Rodríguez, M. I. and Ruiz, M. (2016). Limnology of the San Roque Reservoir, Chapter 2: in Manual: *The Environmental Han-*

doobok of Chemistry: ISSN: 1867-979X. Springer Berlin Heidelberg.

Rodríguez, M. I.; Mengo, L. Ruiz, M.; Ruibal Conti, A. L.; Arán, D.; Halac, S.; Sada, C.; Pussetto, N.; Dasso, C.; Bonfanti, E. y Busso, F. (2017). Evento Extremo de Floración de Cianobacterias en el Embalse San Roque, 23 y 24 de noviembre 2017 - VI Taller sobre Cianobacterias Toxígenas en Argentina- CEBB-MdP-CIB-FIBA – Mar del Plata – Argentina.

Thomann, R. V. y Mueller, J. A. (1987). *Principles of Surface Water Quality Modelling and Control.* Harper & Row Publishers. New York.

Dagatti, M.; Prystupczuk, F.; Corral, M., Rodríguez, A. (2017): Desarrollo de un Sistema de Monitoreo Hidro-Meteorológico y Calidad de Agua. *Conagua 2017.* Córdoba, Argentina.

Implementación operativa de un pronóstico numérico de alta resolución del Laboratorio de Hidráulica

*¹. ESTEFANÍA NIEVAS LIO
GONZALO ZIGARÁN
IVÁN ASINARI
IGNACIO MONTAMAT
AGUSTÍN MARTINA
JORGE SAFFE
ANDRÉS RODRÍGUEZ
². ANDRÉS LIGHEZZOLO
MARCELO SCAVUZZO
³. ANDRÉS PÉREZ HORTAL

Introducción

La Región Centro en la República Argentina es una asociación política conformada por las provincias de Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, que posee el tamaño y la escala adecuados para funcionar como una verdadera unidad operativa en la economía internacional. Los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos que se producen en nuestro Planeta provocan múltiples víctimas e importantes daños materiales en los bienes y la infraestructura, que implican consecuencias económicas adversas para las comunidades y que pueden persistir durante muchos años (OMM, 2015).

Sin sistemas de alerta temprana, la sociedad y los sectores productivos están en constante estado de vulnerabilidad.

Los recientes modelos numéricos de predicción del tiempo permiten obtener un conjunto de variables meteorológicas pronosticadas con anticipación de varios días y actualizado diariamente. Por esta razón estos modelos numéricos son el primer eslabón de un sistema de alerta temprana (WMO, 2010).

En este contexto se presenta a continuación una implementación del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock et al., 2005) llevada a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba.

Características generales de los modelos e implementaciones

Desde hace ya varios años existen diversas instituciones en todo el mundo que, si bien no están a cargo de la provisión de pronósticos operativos, corren modelos numéricos con diferentes finalidades. En el año 2009 el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) presentaba un sistema de pronóstico experimental basado en el modelo WRF (Saulo et al., 2008). Un segundo ejemplo es la implementación lograda en la Unidad de Consultoría de Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias (CAEARTE) de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), también basada en el modelo WRF (Lighezzolo et al., 2016).

En la mayoría de los centros operativos se utiliza una combinación de modelos globales y regionales.

El Global Forecast System (GFS) (NOAA/NCEP, 2017) es un modelo global que actualiza cuatro veces al día y pronostica hasta 16 días. El Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock et al., 2005) en un LAM (Limited Area Model) diseñado para utilizarse tanto en la investigación como para la realización de pronósticos operacionales.

Ambos modelos pueden funcionar en conjunto, anidando WRF en GFS, para producir un pronóstico de mayor calidad.

*¹. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

². Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), Córdoba Argentina.

³. McGill University, Montreal, Canadá.