

## PROGRAMA DE MONITOREO INTEGRAL DE CALIDAD DEL AGUA DEL SUBSISTEMA XANAES

Bazán, R<sup>1,2</sup>; Larrosa, N<sup>1</sup>; Cossavella, A<sup>3</sup>; Bonansea, M<sup>4</sup>; Pagot, M<sup>1</sup>; Rodríguez, M<sup>1</sup>; Rodríguez, M<sup>6</sup>; Monarde, F<sup>3</sup>; Primo, L<sup>5</sup>; Martínez, R<sup>5</sup>; Nadal, F<sup>1,6</sup>; Brito, R<sup>3</sup>; Busso, F<sup>5</sup>; Bonfanti, N<sup>5</sup>; López, A<sup>1</sup>; Rodríguez, A<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEF y N-UNC)

<sup>2</sup>Instituto Superior de Estudios Ambientales (ISEA-UNC)

<sup>3</sup>Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia

<sup>4</sup>CONICET. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Cátedra Ecología, (U.N.R.C)

<sup>5</sup>Aguas Cordobesas S.A.

<sup>6</sup>Centro de la Región Semiárida, Instituto Nacional del Agua (CIRSA, INA)

Av. Vélez Sársfield 1106 – Teléfono y fax: 0351 4333078 E-mail: [rbazan@efn.uncor.edu](mailto:rbazan@efn.uncor.edu)

**Palabras clave:** embalse, diseño, monitoreo, calidad

### RESUMEN

Para el de monitoreo de un cuerpo de agua se requiere establecer el objetivo de estudio. La selección de sitios y la frecuencia de muestreo dependen en gran medida de la morfología, hidrodinámica y fuentes de aporte y las variables medidas varían según el uso del recurso. Con el objetivo de determinar el estado trófico del embalse Los Molinos, se iniciaron en el año 1999 monitoreos estacionales de calidad de agua y sedimentos. Los muestreos fueron conducidos por la FCEFyN con la participación de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (actualmente, Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia).

De acuerdo al plan de agua segura (PSA) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el 2001 se incorporó la empresa Aguas Cordobesas S.A. con el propósito de ampliar las variables medidas y aumentar la frecuencia de monitoreo. Desde el año 2005 se observó un cambio en el uso del suelo de la cuenca, lo cual originó la obtención del mapa de cobertura y uso de suelo. A partir las observaciones de campo y floraciones permanentes de cianobacterias se consideró necesario evaluar con el CIRSA-INA la calidad del agua para el uso específico de recreación. En la actualidad, el diseño de monitoreo ha sido rediseñado, incorporándose el canal Los Molinos-Córdoba el cual es utilizado principalmente para potabilización y abastecimiento de las localidades aledañas y de una parte de la ciudad de Córdoba y riego.

Los estudios realizados señalan al embalse Los Molinos como un cuerpo de agua monomítico cálido, mesotrófico a eutrófico, con floraciones permanentes de cianobacterias en los últimos dos años, deterioro de la calidad de sus aguas particularmente en primavera verano, reducción de los pastizales y zonas boscosas, marcada presión antropogénica por la instalación creciente de asentamientos urbanos y turísticos sin planificación ni control y una calidad ambiental de las playas que varía de excelente a mala.

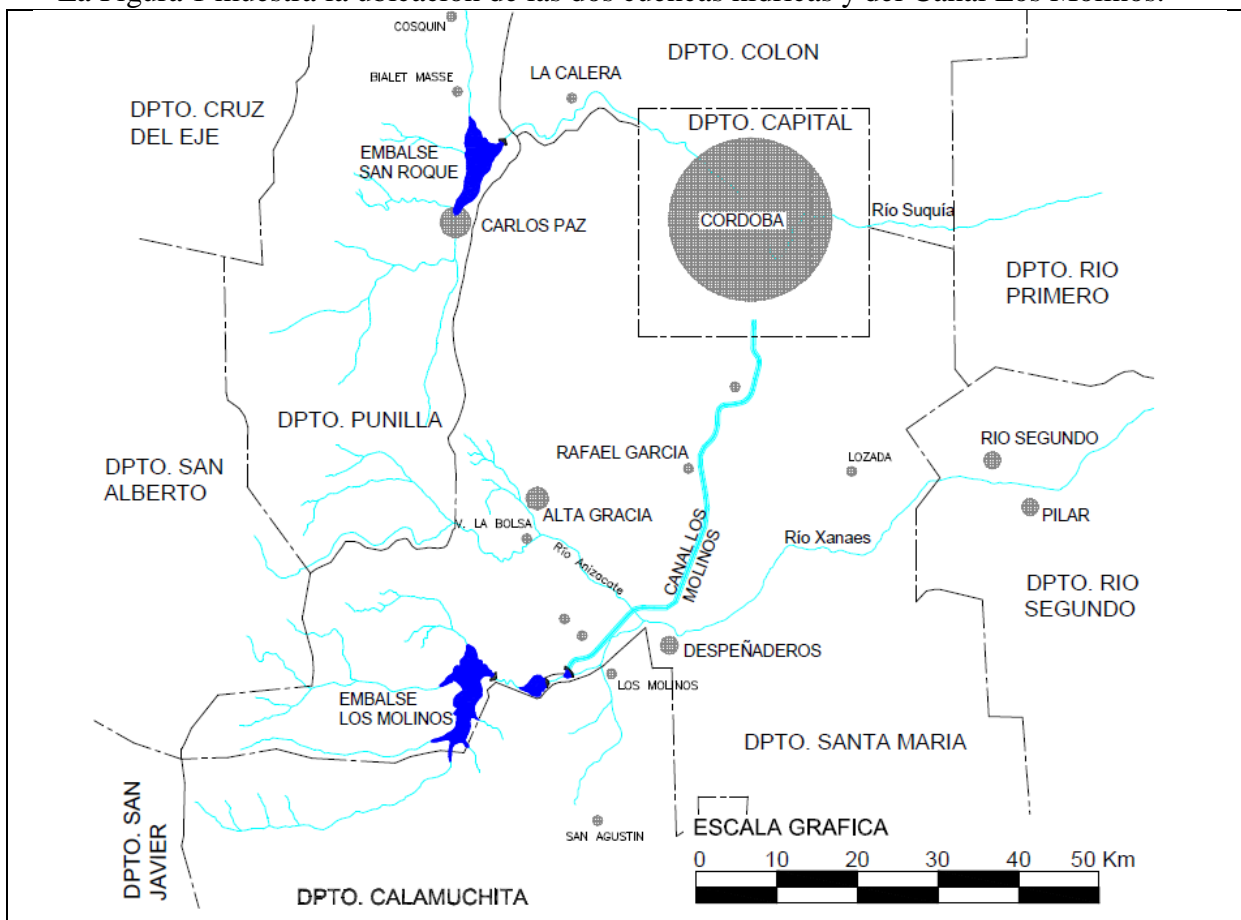
Este programa de monitoreo, es producto de la sinergia y articulación institucional y ha permitido identificar nuevas problemáticas emergentes del proceso de eutroficación, reflejando la importancia del seguimiento continuo y preservación de este recurso hídrico fundamental para la provincia.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Córdoba y zona de influencia satisface sus requerimientos de agua desde dos cuencas principales. La primera y mayormente utilizada es la cuenca del río Suquía, y la segunda en importancia, la cuenca del río Xanaes (mediante el trasvase por el canal Los Molinos-Córdoba); abasteciendo un 70 y 30 % de la ciudad, respectivamente. Se encuentra en la región central de la provincia homónima con una población de 1.330.000 habitantes y 224.000 en la zona del gran Córdoba; según datos del último censo (INDEC, 2010).

El abastecimiento hídrico de la región se realiza en forma directa desde la cuenca del río Suquía, cuyo almacenamiento principal es el embalse San Roque. Este cuerpo de agua manifiesta desde hace unas décadas un eminente grado de deterioro de la calidad de sus aguas y avance del proceso de eutroficación. Es así, que la cuenca del río Xanaes, es considerada la segunda fuente de abastecimiento para la ciudad. Rodríguez *et al.* (1999), Moya *et al.* (2002) y Castelló *et al.* (2000) señalan que los aportes de la misma pueden satisfacer las demandas futuras de la región con mayor seguridad y reduciendo los períodos críticos durante las épocas de sequía.

La Figura 1 muestra la ubicación de las dos cuencas hídricas y del Canal Los Molinos.



**Figura 1: Ubicación geográfica de las cuencas Suquía y Xanaes. Fuente Castelló (2009)**

El subsistema Xanaes tiene como principal fuente al embalse Los Molinos formado por el aporte de sus cuatro tributarios principales los ríos: Los Reartes, del Medio, Los Espinillos y San

Pedro, con una superficie del espejo de agua de 2.110 ha que actúa como reservorio de una cuenca de 978 km<sup>2</sup>. Su afluente el río Los Molinos posee un módulo de aproximadamente 10 m<sup>3</sup>/s.

El sistema de aprovechamiento nace en la torre de toma situada a 250 m del dique, a cota 736 m.s.n.m., desde donde atraviesa la sierra por un túnel de 5 km y el agua es transportada por dos tuberías de presión que alimentan la central hidroeléctrica Los Molinos I (MI) que posee cuatro turbinas que producen en total 48 MW de potencia. Luego de ser turbinadas las aguas son vertidas al dique compensador La Quintana, donde se unen nuevamente con las provenientes del embalse Los Molinos (las cuales han sido evacuadas por los descargadores de fondo o por el vertedero). En el dique compensador se ubica la obra de toma para la central hidroeléctrica Los Molinos II (MII) provista de una turbina que genera 4 MW. El propósito del embalse La Quintana es doble, ya que es utilizado para generación de energía eléctrica y riego. A pocos metros aguas abajo de las descargas de la central (MII), se unen las aguas transportadas por el río Los Molinos en el Azud derivador de La Quintana, obra cabecera del canal Los Molinos-Córdoba. Por medio de este azud, cuya obra de toma se encuentra sobre la margen izquierda del río, se deriva agua al canal, la cual es conducida por éste hacia la ciudad de Córdoba para abastecimiento a la planta potabilizadora Los Molinos (EPEC, 2008).

Para el de monitoreo de un cuerpo de agua se requiere establecer el objetivo de estudio. La selección de sitios (diseño espacial horizontal y vertical) y la frecuencia de muestreo dependen en gran medida de la morfología, hidrodinámica y fuentes de aporte, ya sean puntuales y/o difusas. Las variables medidas varían según el uso del recurso. El embalse Los Molinos es un cuerpo de agua multipropósito, es monitoreado de manera sistemática desde el año 1999 hasta la actualidad. A través de los años, el monitoreo se ha rediseñado en función de las problemáticas existentes y de la revalorización de alguno de sus usos. En una primera instancia, con el objetivo de determinar el estado trófico del embalse y cuantificar las distintas fuentes de aporte, se iniciaron monitoreos estacionales de calidad de agua y sedimentos, conducidos por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (F.C.E.F. y N.) de la Universidad Nacional de Córdoba (U.N.C.) con la participación de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (actualmente, Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia).

De acuerdo al plan de agua segura (PSA) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2001 se incorporó la empresa Aguas Cordobesas S.A. con el propósito de ampliar las variables medidas, aumentar la frecuencia de monitoreo y control continuo de la fuente de abastecimiento. En la Figura 2 se observa el mapa de uso de Suelo de la Agencia Córdoba DACyT (2003), donde se destaca en color amarillo el uso agropecuario en todo el perillago del embalse. Por los registros a campo, se observa que a partir del año 2005 se hace notorio el crecimiento de los asentamientos urbanos en la zona del perillago y en las comunas de Los Reartes y Potrero de Garay; con el consecuente cambio en el uso del suelo. En Molinero Rodríguez (2008) se destaca el embalse por el importante atractivo turístico que representa para sus visitantes, tanto como recurso natural, por su ubicación privilegiada y por el número de actividades recreativas que en él se realizan.

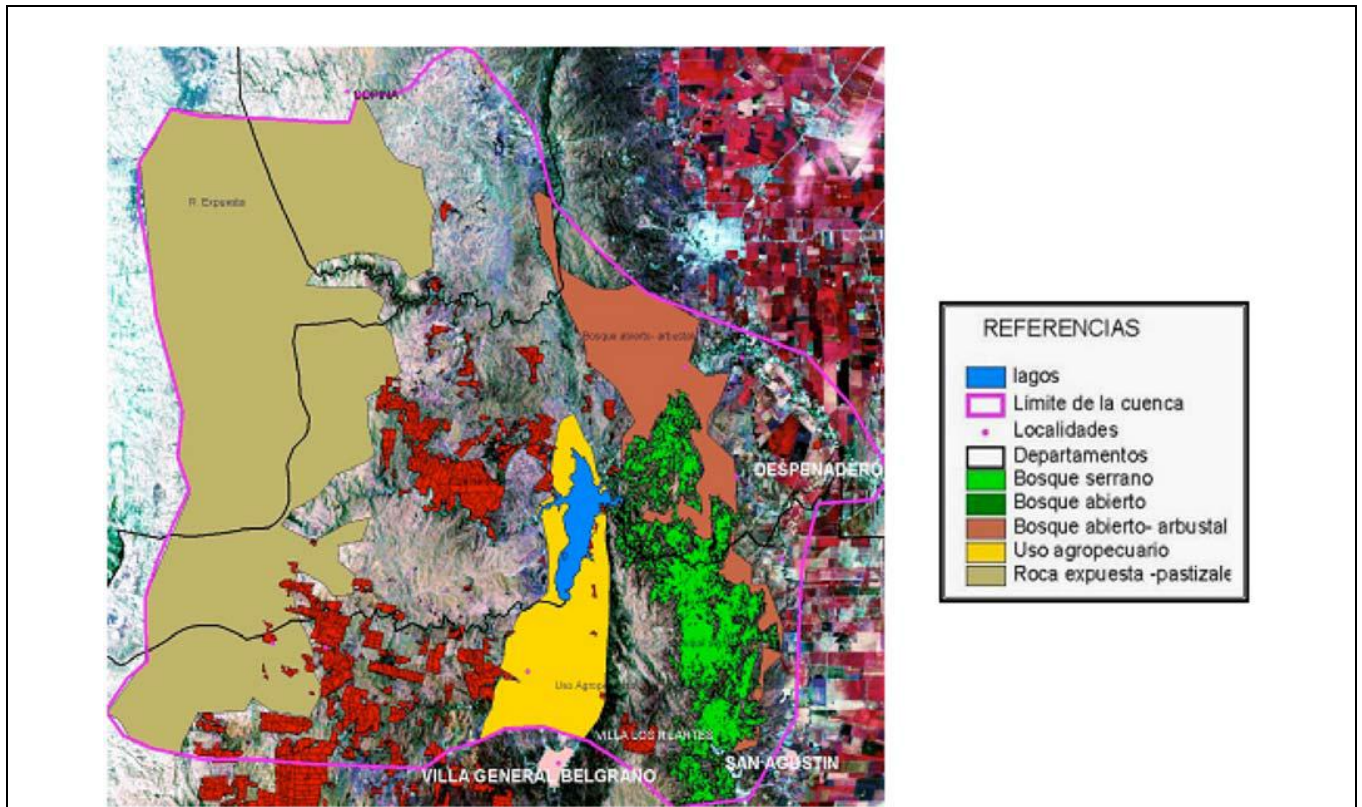


Figura 2: Mapa de Uso de Suelo de la Cuenca del embalse Los Molinos. Fuente: Agencia Córdoba (DACyT, 2003).

A partir de estos antecedentes y al permanente desarrollo de cianobacterias y floraciones tóxicas (que constituye un riesgo para la salud pública) en el año 2010 junto con el Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (CIRSA-INA) se decidió realizar monitoreos de calidad de agua para uso recreativo, muestreando las playas y sitios de interés. Adicionalmente, se comenzaron las actividades de relevamiento de campo y de gabinete para la obtención del mapa de cobertura y uso de suelo, realizado junto a la Cátedra Ecología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Debido a que la calidad del agua del embalse es diferente a la que ingresa a la planta potabilizadora Los Molinos, desde diciembre de 2012 se ha incorporado en el diseño de muestreo el dique Compensador La Quintana y el canal Los Molinos-Córdoba, completándose así el subsistema Xanaes remarcando la importancia de un monitoreo de gestión integrada desde la fuente de abastecimiento hasta la planta potabilizadora. El Canal Los Molinos-Córdoba posee 65 km de longitud y en su recorrido atraviesa zonas de cultivos de soja. Lamentablemente, este trasvase no ha podido proporcionar la operatividad, seguridad y eficiencia necesarias para las exigencias del sistema del Gran Córdoba. Desde el año 1993, se registran problemas estructurales debido a que el canal Los Molinos-Córdoba atraviesa suelos loésicos y manifiesta fenómenos de autocolapso Castelló, (2009) y Terzariol (2011). Además, desde el año 2010 existen denuncias de los vecinos de la zona que manifiestan presencia de agroquímicos en el agua del canal. Esta situación causó la intervención de la Fiscalía de instrucción de Alta Gracia. Durante los años 2011 y 2012 el canal Los Molinos-Córdoba presentó problemas de olor y sabor generados por la presencia de depósitos de *Oscillatoria sp.*, una cianobacteria productora de metabolitos olorosos. Actualmente, el canal Los Molinos-Córdoba provee

entre un 30 a 50% de la cantidad de agua que puede transportar, debido a las fisuras y pérdidas que presenta.

El objetivo principal del presente trabajo es:

Dar valor a los monitoreos de calidad de agua como herramienta fundamental para la implementación de medidas de gestión y seguimiento continuo, destacando la importancia de analizar y evaluar la problemática hídrica de manera integral.

Los objetivos secundarios son:

- a) Describir la evolución y optimización del diseño de monitoreo según los resultados obtenidos y los usos del cuerpo de agua.
- b) Mostrar la evolución de la calidad del agua mediante el uso de indicadores de eutroficación.
- c) Evaluar el cambio de uso de suelo en la cuenca del embalse mediante la aplicación de imágenes satelitales.
- d) Promover la articulación y cooperación interinstitucional y multidisciplinar con el objetivo de mejorar la implementación de los recursos materiales, tecnológicos y humanos.
- e) Contribuir a la formación de recursos humanos especializados en calidad de agua.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Monitoreo del Embalse**

En el diseño de monitoreo adoptado se fijaron seis estaciones de muestreo (DLR: Desembocadura Los Reartes, C: Centro, DLE: Desembocadura Los Espinillos, DSP: Desembocadura San Pedro, P: Presa y T: Toma), teniendo en cuenta las desembocaduras de los ríos, centro, presa y el área de la toma hacia la central hidroeléctrica Los Molinos. El diseño se basó en los usos del cuerpo de agua, en los objetivos de estudio y en las normas internacionales ISO 5667/1 (Guía para el diseño de programas de monitoreo). Luego de tres años de monitoreo mensual y tras la observación y análisis estadístico de los datos *in situ*, físico-químicos y biológicos de las estaciones de monitoreo T y P (en la última profundidad de muestreo) en el año 2005 se optimizó el diseño de monitoreo. Se eliminó la estación de monitoreo T ya que no se encontraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo mencionados y se comenzó a tomar muestras en DSP (hasta el momento sólo se medían los parámetros *in situ* por falta de capacidad de laboratorio). Además, se estableció que en las tres desembocaduras de los principales tributarios, las muestras serían compuestas (o integradas en el perfil del agua). En cada estación de monitoreo se realizaron mediciones *in situ*: coordenadas de ubicación geográfica mediante un GPS, temperatura atmosférica empleando un termómetro manual y transparencia del agua utilizando un disco de Secchi. Temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad y turbiedad del agua se midieron utilizando sondas Horiba U-10, U-23 y W-22XD. La metodología de medición y toma de muestra se describe en Bazán (2006).

### **Monitoreo de los Tributarios**

Durante el tiempo en estudio se realizó el muestreo y aforo de los cuatro tributarios principales, con el objetivo de estimar las cargas de aportes de nutrientes. El aforo del escurrimiento superficial en el río se realizó con el método por vadeo según la norma ISO 2537. Se utilizó como instrumento de medición de velocidad un molinete hidráulico. Las tareas de campo consistieron en la demarcación y

relevamiento de la sección transversal y la medición de la profundidad y la velocidad del flujo en cada franja vertical. En gabinete se determinó la velocidad media en cada vertical, las áreas parciales y la integración o sumatoria de los caudales parciales (Bazán, 2006).

### **Monitoreo de las Playas**

De acuerdo a las actividades realizadas y número de turistas que visitan el cuerpo de agua se seleccionaron tres playas para su estudio: Bahía el Negro, Solar del Lago y Valle Fantástico, nombradas de sur a norte. En estos sitios elegidos, se tomaron muestras de agua en tres temporadas de primavera-verano durante los años 2010 a 2013 (en los meses de septiembre a marzo). Se midieron *in situ*: profundidad máxima, condiciones ambientales, transparencia de disco de Secchi, temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y conductividad mediante sonda Horiba U-10. En laboratorio se analizaron grupo coliforme, *E. coli*, Enterococos, identificación y abundancia de algas y cianobacterias, clorofila-a y microcistina total.

Para evaluar la calidad del agua de las playas se aplicó un índice de calidad de agua (ICA) para uso recreativo desarrollado por Brandalise *et al.* (2012) y modificado por Nadal *et al.* (2012). Este ICA considera a *Escherichia coli* y a las cianobacterias como indicadores de importancia sanitaria, a la transparencia como indicador de la estética del recurso y a la temperatura del agua como parámetro de agradabilidad.

### **Monitoreo del Azud Compensador y Canal Los Molinos-Córdoba**

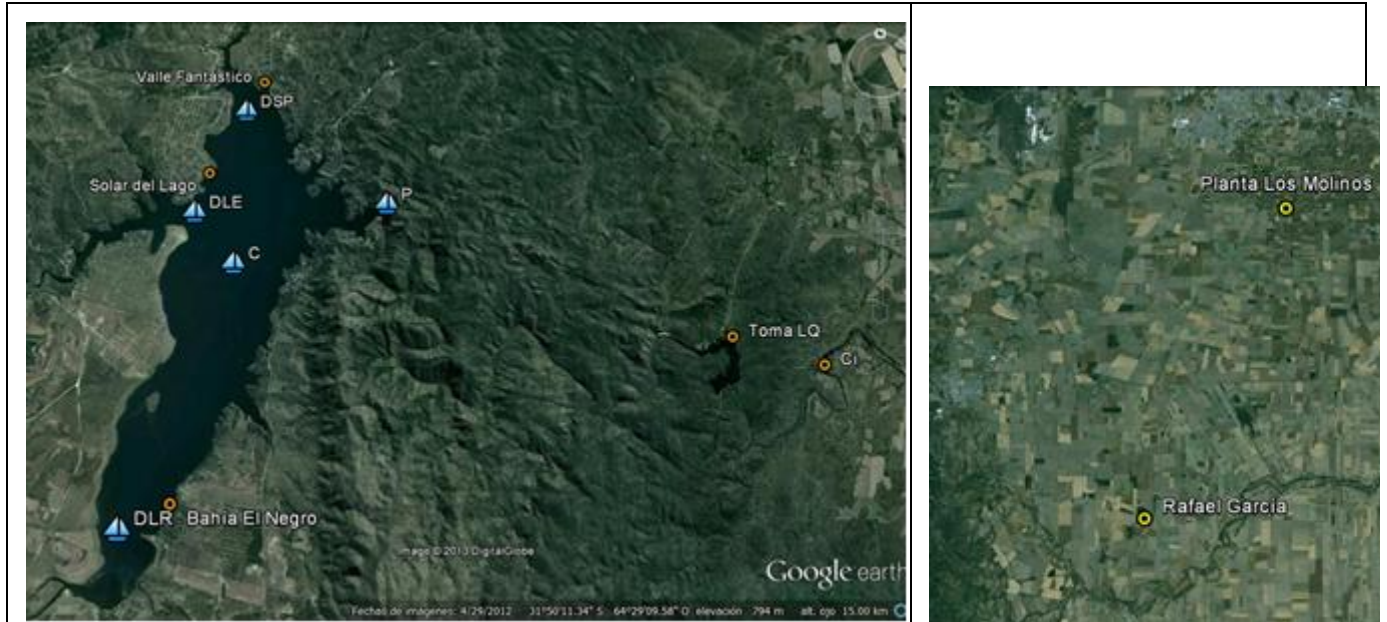
Desde diciembre de 2012 se incorporaron en programa de monitoreo, el azud compensador La Quintana y el Canal Los Molinos-Córdoba. A la fecha se han realizado 2 campañas de muestreo que incluyen mediciones *in situ* y toma de muestras para su posterior análisis en laboratorio. En el azud compensador La Quintana debido a su pequeño tamaño y facilidad de acceso, se seleccionó un punto de muestreo a nivel subsuperficial en la toma que alimenta la segunda central hidroeléctrica LMII. Se tomó una muestra para análisis de parámetros físico-químicos, fósforo total, fósforo reactivo soluble, fitoplancton, clorofila-a y geosmina.

En el canal Los Molinos se establecieron tres puntos de muestreo. En la Tabla 1 se detallan éstos sitios, sus coordenadas geográficas, progresiva en km y determinaciones de laboratorio.

**Tabla 1: Sitios de muestreo en el Canal Los Molinos**

<b>Sitio</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Distancia aproximada al inicio del canal (km)</b>	<b>Determinaciones</b>
Inicio del Canal (Ci)	31° 50' 26.64" S 64° 24' 41.26" O	0	Físico-químico; Fitoplancton ; Glifosato; Endosulfan, Geosmina
Cruce con ruta C 45 (Rafael García)	31° 39' 16.00" S 64° 15' 39.06" O	40	PT y PRS; Glifosato; Endosulfan, Geosmina
Planta potabilizadora Los Molinos (Rejas)	31° 31' 46.81" S 64° 9' 30.27" O	60	Físico-químico; PT y PRS; Glifosato; Endosulfan, Fitoplancton; Geosmina

En la Figura 3 se ubican los sitios de muestreo en el embalse Los Molinos, embalse La Quintana y del Canal Los Molinos-Córdoba (El tramo de recorrido del canal es de 60 km aproximadamente).



**Figura 3: Ubicación de los Puntos de Muestreo. Fuente: Agencia Córdoba (DACyT, 2003).**

Con barcos se marcan los puntos profundos del embalse Los Molinos En círculos anaranjados se marcan los puntos de muestreo de las playas en embalse Los Molinos, toma en La Quintana y del Canal Los Molinos-Córdoba.

### **Calidad de Agua y Eutroficación**

Para evaluar el proceso de eutroficación se contemplan diferentes estrategias que van desde la inspección visual, aplicación de imágenes satelitales y el uso de parámetros indicadores. Uno de los métodos más sencillos es la aplicación de los Índices de Carlson.

Carlson (1977) propuso este índice y, actualmente es uno de los más utilizados varía entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrófico. Se obtiene a través de la transparencia determinada con el disco de Secchi (DS), por ejemplo, un valor de TSI = 0 corresponde a una profundidad del DS 64 m y cada incremento de 10 m en TSI representa una reducción del 50 %. El mismo índice puede determinarse a partir de otros parámetros, como la concentración de clorofila a (Clo-a) y fósforo total (PT), cuya relación con la transparencia se ha deducido previamente. Las fórmulas propuestas por Carlson (1977) se observan en las ecuaciones 1 a 3. En el cálculo del índice se consideraron los datos superficiales anuales del sitio de muestreo correspondiente al centro del embalse.

$$ITC (DS) = 60 - 14,41 \ln(DS) \quad [1]$$

$$ITC (Clo-a) = 9,81 - \ln(Clo-a) + 30,6 \quad [2]$$

$$ITC (PT) = 14,42 \ln(PT) + 4,15 \quad [3]$$

## **Mapa de Cobertura y Uso de Suelo**

Durante el año 2011, se realizaron relevamientos a campo para obtener un mayor conocimiento de las coberturas que componen la cuenca del embalse Los Molinos. Como base del procesamiento digital, se utilizó una imagen satelital de la zona de estudio (Path: 229; Row: 82) con fecha 21-01-2011, correspondiente al sensor pasivo Thematic Mapper (TM), transportado por el satélite Landsat 5. Para el análisis, procesamiento e interpretación de la información satelital se utilizó el software ENVI (Versión: 4.2). Se llevaron a cabo tareas de pre-procesamiento en la imagen satelital para reducir o corregir las distorsiones radiométricas y geométricas que se generan al momento de la adquisición de la misma (Sriwongsitanon *et al.*, 2011). Estas correcciones son el primer paso a realizar antes de aplicar cualquier análisis de interpretación (Song *et al.*, 2001), ya que si no se tiene en cuenta el efecto que produce la atmósfera se puede generar una incorrecta interpretación de los resultados. Se transformaron los valores de nivel digital (ND) de los pixeles a valores de radiancia. Mientras que para corregir los efectos atmosféricos se aplicó el modelo de substracción de objetos negros (DOS) (Chavez, 1996).

Para realizar la etapa de georreferenciación, se tomaron 64 puntos de control distribuidos homogéneamente por toda la escena. Se aplicó el método de imagen a imagen (image to image), tomando como imagen base una escena del área de estudio adquirida desde Earth Science Data Interface (ESDI, 2012) la cual ya se encuentra georreferenciada y rectificada con puntos de control. El error medio cuadrado (RMSE) alcanzado fue igual a 0.5 pixel (30 m/pixel); el cual teniendo en cuenta los relieves del terreno y las recomendaciones de Chuvieco (2002), se consideró como aceptable. De acuerdo a la ubicación de la zona de estudio, se transformó la imagen al sistema de referencia Argentino (POSGAR 94) - Zona 4, con datum WGS-84.

Para realizar la clasificación de la cuenca, se enmascaró la zona que no correspondía a la misma y se realizó una clasificación no supervisada (método IsoData). El análisis se complementó con relevamientos a campo y diversos procesos de interpretación. De esta manera, se creó una imagen con once clases o categorías diferentes, lo que permitió la obtención del mapa temático de coberturas y uso del suelo en la cuenca del embalse, pudiendo además generar un inventario de las superficies abarcadas por cada categoría.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El estado trófico es un buen indicador del estado de la calidad de un cuerpo de agua léntico. En la Figura 4 se observa la variación anual de los Índices de Carlson. Entre los valores de 40 y 50 se considera un estado de mesotrofia. Por arriba de este valor la condición trófica cambia a eutrofia. Se observa que hasta el año 2007 el embalse Los Molinos presentó un estado mesotrófico con tendencia a la eutrofia. Observándose un máximo de los índice de Carlson de PT durante los años 2003 a 2007. A partir del año 2008 se observa una leve disminución en todos los índices especialmente de Clo-a y DS.

Esta tendencia de disminución podría ser consecuencia de la medida implementada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentos que restringió el cultivo de papa en la región. Además, esta Secretaria realiza el control en la fauna acuática y pesca furtiva. Sin embargo, se resalta que para el índice de Carlson calculado en función del PT, los valores de los dos últimos años (2010 y 2011) se encuentran muy cercanos 50, denotando un estado de eutrofia.



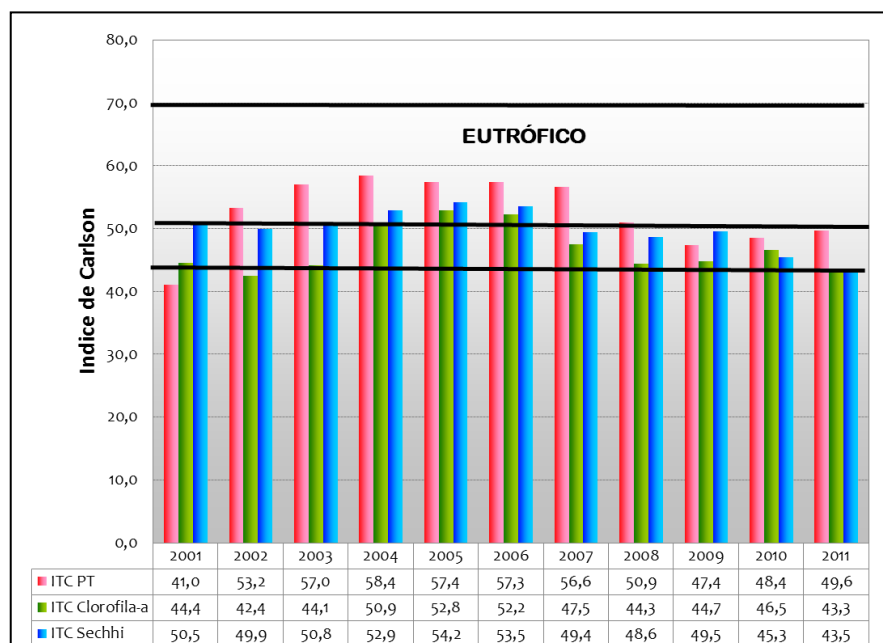


Figura 4: Variación anual del Índice de Carlson para los tres parámetros de eutroficación.

Como descriptores de la calidad del agua de las playas, se muestran en la Tabla 2 un resumen de los datos de *E. coli*, transparencia de disco de Secchi y temperatura. La transparencia de disco de Secchi promedio osciló entre 1 y 1,5 m, siendo la mayoría de las veces limitado por la profundidad. Las concentraciones de *E. coli* son variables, tanto espacial como temporalmente. El valor de 800 ufc/100 mL fijado por CoNaMA (1986) como límite satisfactorio, sólo se superó en una campaña en la playa Valle Fantástico. Los géneros predominantes de cianobacterias fueron *Dolichospermum sp.* y *Microcystis sp.*

Tabla 2: Resumen de parámetros de calidad de playas.

Sitio		Temperatura °C	Secchi (m)	<i>E. coli</i> NMP/100 mL
Valle Fantástico	Promedio	21,15	1,59	159,65
	Desvío estándar	3,66	0,81	375,24
	Mínimo	15	0,75	1,8
	Máximo	26	3,25	1400
Bahía El Negro	Promedio	21,71	1,16	23,41
	Desvío estándar	3,22	0,43	42,31
	Mínimo	14	0,50	1,80
	Máximo	26	1,90	170
Solar del Lago	Promedio	21,68	1,57	110,34
	Desvío estándar	3,42	0,58	241,19
	Mínimo	15	0,60	1,80
	Máximo	26,1	2,75	790

A partir de la clasificación de la imagen satelital Landsat 5 TM del área de estudio, se generó el mapa temático de la cuenca del embalse Los Molinos, en la Figura 5 se observan los tipos de cobertura y usos del suelo. La cuenca abarca una superficie de 910,9 km<sup>2</sup>. La misma está compuesta por diferentes categorías o unidades fisonómicas, en donde se observa un predominio de pastizales, que ocupan una superficie de 349,7 km<sup>2</sup> (35,3%), seguidos por arbustales que abarcan un área de 211,3 km<sup>2</sup> (23,2%) y roca expuesta (180,66 km<sup>2</sup>; 18,2%). Las unidades de mayor impacto ambiental, ocupan una superficie de 132,1 km<sup>2</sup> (14,5%). Estas unidades están compuestas por bosques implantados (7,7%), uso agropecuario (3,6%), uso urbano o poblados (2,7%), rutas y caminos (0,5%).

Al comparar los resultados obtenidos con relevamientos realizados en años previos (Molinero Rodríguez, 2008) se observó un aumento considerable de la categoría uso urbano y en menor medida de las actividades agrícola-ganaderas y la retracción de las regiones boscosas. En este sentido, la Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia, recientemente clausuró un emprendimiento urbanístico localizado en el perilago. Actualmente, ésta Secretaría se encuentra abocada a elaborar un proyecto de normativas a cumplimentar por los ocupantes del dominio público a fin de establecer las exigencias a cumplimentar para la instalación de kioscos, paradores, camping y emprendimientos que de alguna manera puedan afectar el recurso. Además, la Ley 9219/05 prohíbe el desmonte total en la provincia por el término de diez años, entiéndase por desmonte total, la eliminación completa de un bosque nativo con la finalidad de afectar esa superficie a actividades que impongan un cambio en el uso del suelo.

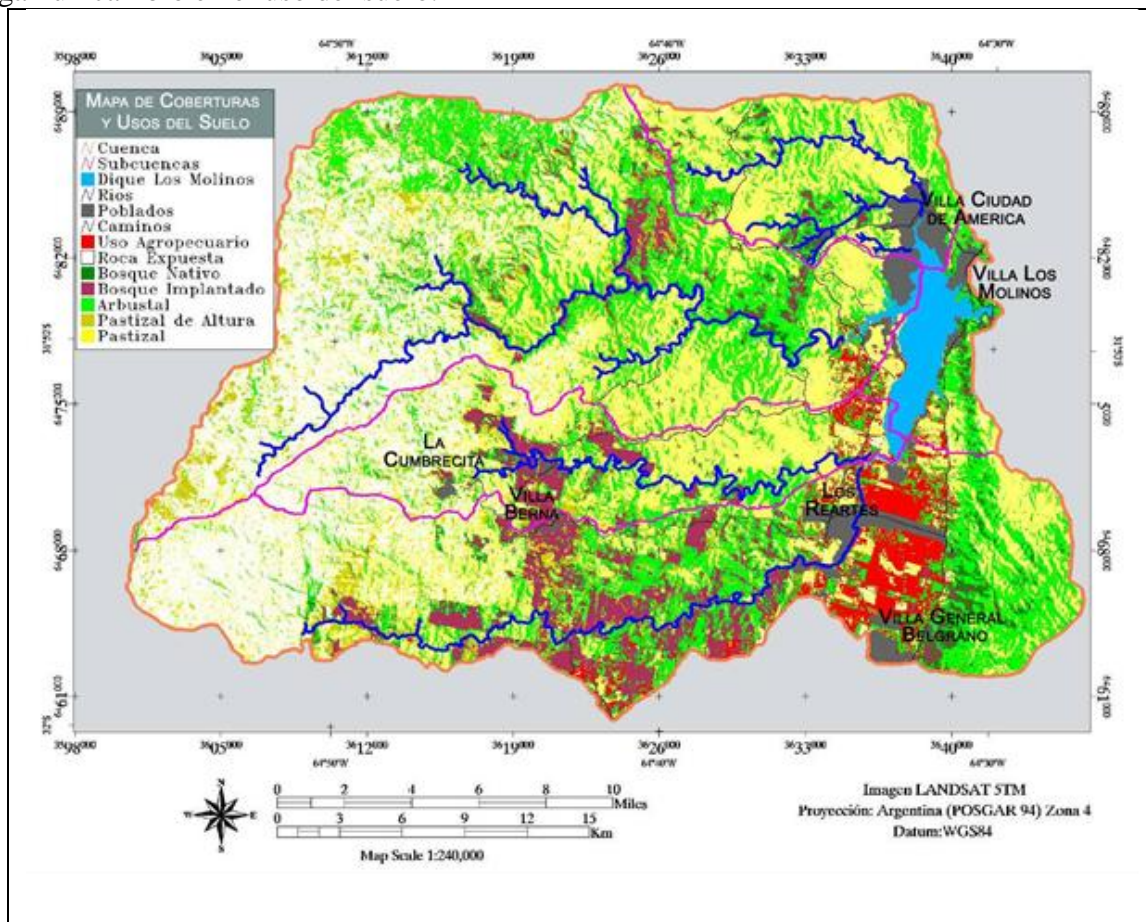


Figura 5: Mapa de Cobertura y Uso de Suelo de la cuenca del embalse Los Molinos.

## CONCLUSIONES

Este estudio a largo plazo, se ha convertido en una herramienta esencial para el seguimiento, control y toma de decisiones para la preservación y gestión del embalse. El enfoque integral del diseño de monitoreo sentará las bases para la generación de datos confiables, sistemáticos e integrados que permitirán tener una visión global del comportamiento del subsistema Xanaes, sus fortalezas y debilidades.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo ponen de manifiesto los diferentes disturbios que sufre la cuenca. Los cuales han llevado a un alerta sobre el crecimiento de los asentamientos urbanos y el avance de la frontera agrícola sin ningún tipo de control ni planificación, en especial en aquellas zonas ubicadas en el perillago. Estas actividades pueden favorecer, a futuro, los procesos de eutrofización y deterioro de la calidad del agua del embalse. Se resalta la importancia de control y gestión del mismo y planificación territorial

Es importante resaltar que si no se toman medidas de prevención y mitigación de la eutrofización el escenario futuro del embalse Los Molinos, es similar al actual del San Roque (en este momento en estado de hipereutrofia, con ICA menores debido a que posee floraciones de cianobacterias más frecuentes). Teniendo en cuenta que, el embalse Los Molinos es la segunda fuente de abastecimiento a la ciudad de Córdoba, se recomienda el control de la ocupación territorial en todo el perillago del embalse y zonas críticas como lo son las comunas de Potrero de Garay y Los Reartes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bazán, R. (2006).** “Evaluación de la Calidad del agua, nivel de eutrofización y sus consecuencias en el embalse Los Molinos (Córdoba)”. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba.
- Brandalise, V., et al. (2012).** “Índice de calidad de agua para uso recreativo en ambientes con cianobacterias”. I Encuentro de Investigadores en Recursos Hídricos. Buenos Aires, Argentina.
- Castelló E., Rodríguez A., Moya G., Bartó C., Chini I. y Menajovsky S. (2000).** “Evaluación de alternativas para aprovechamiento del recurso hídrico superficial en el Gran Córdoba, Argentina”. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – Córdoba 2000. Córdoba, Argentina.
- Castelló, E. (2009).** “Determinación de la capacidad hidráulica del canal Los Molinos-Córdoba”. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Mención en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de Córdoba.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (1986).** Resolução CONAMA Nº 20
- Chavez, P., 1996.** “Image-based atmospheric corrections-revisited and improved”. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62, 1025-1036.
- Chuvieco, E. 2002.** “Teledetección Ambiental”. Ed. Ariel S.A., España.
- Carlson, R.E. (1977).** “A trophic state index for lakes”. Limnol. Oceanog. 22:361–369
- EPEC, “El complejo Los Molinos”.** 2008, <http://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/losmolinos.pdf> [Consulta: jueves 27 de febrero de 2013]

**ISO 2537.(1988).** *“Liquid flow measurement in open channels”*.

**ISO 5667/1.(1980).** *“Water quality - Sampling - part 1: Guidance on the design of sampling programmes”*.

**ISO 5667/2. (1991).** *“Water quality - Sampling - Part 2: Guidance on sampling techniques”*.

**Molinero Rodríguez, A. (2008).** *“Impacto del turismo en la cuenca del embalse Los Molinos, Córdoba, Argentina.”*  
Trabajo final de carrera, Universidad de Valencia, Campus de Gandía.

**Moya G., et al. (2002).** *Aprovechamiento del recurso hídrico superficial ante la ocurrencia de periodos de sequía en el Gran Córdoba, Argentina.* XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

**Nadal, F., et al. (2012).** *“Evaluación y valoración de la calidad del agua del embalse San Roque (Córdoba) para uso recreativo”*. IV Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, Córdoba, Argentina.

**Rodríguez, A., et al. (1999).** *“Análisis de la Cantidad de Agua en el Sistema Suquía-Xanaes”* – Primera Etapa, Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

**Song, C., et al. (2001).** *“Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects?.”* Remote Sensing of Environment, 75, 230-244.

**Sriwongsitanon, N., et al. (2011).** *“Influence of atmospheric correction and number of sampling points on the accuracy of water clarity assessment using remote sensing application”*. Journal of Hydrology, 401, 203-220.

**Terzariol, R. (2011).** *“Daños en el canal Los Molinos-Córdoba atravesando suelos colapsables de Argentina”*. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 12(1) 129