

## AVANCES EN LA MODELIZACIÓN DEL PROCESO DE CRECIMIENTO ALGAL EN EL EMBALSE DE SALTO GRANDE Y EL RÍO URUGUAY

**Julio Cardini<sup>1</sup>, Alejandro Zabalett<sup>2</sup>, Cecilia Cardini, Romeo Confalonieri, Diego Duarte, Luciano Pavón Mena y Cristian Schild**

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del Uruguay. Grupo GECRU (Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay). Ingeniero Pereira 676 Concepción del Uruguay. Entre Ríos. E-mail: cardinj@frcu.utn.edu.ar<sup>1</sup>, zabaleta@frcu.utn.edu.ar<sup>2</sup>. TE/Fax: 03442425541 / 03442423803

### RESUMEN

El embalse de Salto Grande en época estival tiende a eutrofizarse, generándose intensas floraciones algales, que impactan sobre la calidad de agua del río Uruguay aguas abajo, afectando las áreas balnearias de las que depende la actividad turística. Se evaluó mediante modelización matemática la evolución de la clorofila “a” en el embalse y en el río, como indicador del proceso de crecimiento algal y del nivel de eutrofización.

La modelación hidrodinámica del embalse se realizó con en el modelo MIKE-21 HD obteniendo el campo de velocidades para estiaje (caudal 1.500 m<sup>3</sup>/s) y crecida (15.000 m<sup>3</sup>/s). Se implementó el módulo de eutrofización del modelo MIKE-21 ECOLAB utilizando información de monitoreos periódicos que la Comisión Administradora del río Uruguay (CARU) y la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTMSG) realizan como parte del Programa de Vigilancia (PV) y del Programa Estado Trófico (PET), y muestreos del “Grupo de Estudio Contaminación del Río Uruguay” (GECRU). Los nutrientes considerados son Nitrógeno (N) y Fósforo (P), siendo este último el limitante del proceso de eutrofización.

En verano (con altas temperaturas) los resultados tanto para crecida como para estiaje muestran un fuerte incremento de la concentración de clorofila “a” en los brazos del embalse debido a la escasa circulación de agua, siendo más intenso el proceso en estiaje. La concentración de clorofila “a” resultante indica que el embalse se vuelve eutrófico, coincidentemente con los comunicados de la CARU.

Se implementó un modelo del tramo Concordia-Salto a Gualguaychú-Fray Bentos del río Uruguay, utilizando el software WASP5 a fin de simular la evolución del nutriente limitante (P) y de la concentración de clorofila “a”, considerando las concentraciones ingresantes desde el embalse y los aportes de las descargas cloacales de las ciudades ribereñas. Se simuló condiciones de estiaje y crecida con temperaturas del agua típicas de invierno (19°) y verano (28°). Ingresando desde el embalse concentraciones altas de clorofila “a”, el crecimiento algal a lo largo del río es mayor cuando la temperatura del agua es elevada. En crecida, los incrementos de clorofila “a” son inferiores a los de estiaje, debido al menor tiempo de residencia del agua.

**Palabras Clave:** Modelación Matemática, Eutrofización, Embalse Salto Grande. Río Uruguay.

## INTRODUCCION

La provincia de Entre Ríos, por las características geográficas que la representan, está íntimamente vinculada con los grandes cursos de agua que la rodean, uno de los cuales es el río Uruguay. La calidad de agua del río es uno de los factores más importantes que condicionan la vida de las ciudades ribereñas, dado que los principales usos son el consumo humano, la recreación de los pobladores y como cuerpo receptor de los efluentes líquidos generados por la población, por lo tanto resulta vital el estudio de la calidad de este recurso natural.

El Embalse de Salto Grande es un cuerpo de agua que en época estival suele tender a eutrofizarse, generándose floraciones algales de gran intensidad (en ocasiones tóxicas), que impactan sobre la calidad de agua del río Uruguay aguas abajo, afectando las áreas balnearias de las que depende la actividad turística.

Se ha desarrollado un estudio preliminar de la calidad del agua del Embalse de Salto Grande mediante la aplicación del modelo matemático MIKE 21 Flow Model desarrollado por el DHI (Danish Hydraulic Institute), en conjunto con su módulo ECO Lab, desarrollado para describir variables químicas, biológicas ecológicas y procesos e interacciones entre variables de estado y procesos físicos de sedimentación de componentes.

Mediante este software se evaluó la evolución de la clorofila “a” en el embalse, como indicador de la biomasa de algas, teniendo en cuenta los nutrientes que son aportados al mismo desde fuentes externas (principalmente Nitrógeno y Fósforo por aportes de aguas residuales domésticas y lavado de campos cultivados por escorrentía), en función de las características hidrodinámicas del mismo, evaluando así el potencial de crecimiento algal, para escenarios de crecida y estiaje, y de invierno y verano.

Para ello, se recopilaron documentos y antecedentes de estudios que aportan datos referidos a la calidad del agua del embalse, en cuanto a las variables fisicoquímicas y biológicas, especialmente sobre la carga de nutrientes.

Asimismo, se evaluó la evolución de la calidad del agua a lo largo del río Uruguay, aguas abajo del embalse, considerando el Fósforo como nutriente limitante del crecimiento algal, y evaluando las tendencias de la concentración de clorofila “a” para los distintos escenarios de caudal fluvial y temperatura del agua, mediante la aplicación del Software WASP.

Se trata de una investigación en desarrollo, realizada con la participación de integrantes del GECRU y de alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, los cuales realizaron las mediciones de campo y la aplicación del modelo matemático WASP, como parte de su tesina. La investigación se sigue desarrollando a partir de la base de los estudios que se presentan en el presente trabajo, mediante la implementación del software HEC-RAS para la simulación de la calidad de agua del río Uruguay.

## OBJETIVOS

El objetivo del estudio es profundizar en el conocimiento de las interacciones que se desarrollan en el Embalse de Salto Grande y en el río Uruguay aguas abajo del mismo, respecto de los aportes al mismo de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) desde fuentes externas (aportes de aguas residuales domésticas y lavado de campos cultivados por escorrentía), en función de las características hidrodinámicas del mismo y de las condiciones climáticas, evaluando el potencial de crecimiento algal, a través de la evolución de la clorofila “a” como indicador. Asimismo, se busca brindar formación en modelización ambiental a estudiantes y becarios de la UTN, Regional Concepción del Uruguay, estudiando problemáticas relevantes del área de influencia.

## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación del área de estudio

En la Figura 1 se presenta la ubicación del embalse de Salto Grande y el río Uruguay.

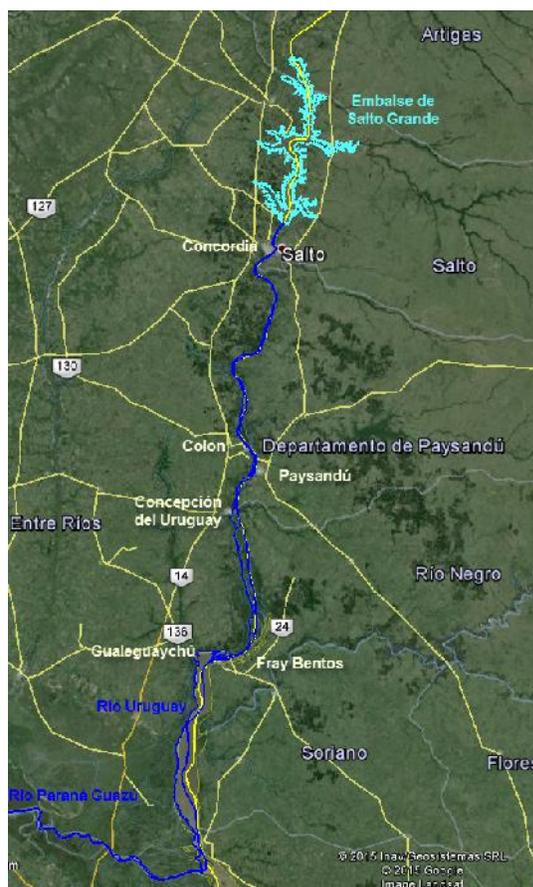


Figura 1. Croquis de ubicación del área de estudio

### Procedimientos generales empleados para la modelización del embalse de Salto Grande

El modelo seleccionado para estudiar la calidad del agua del Embalse de Salto Grande (ESG) es el MIKE 21 Flow Model desarrollado por el DHI (Danish Hydraulic Institute) con su módulo ECO Lab, facilitado al GECRU a través de una Licencia de Estudiante.

El módulo ECO Lab contiene las descripciones matemáticas de una serie de ecuaciones diferenciales de un ecosistema incluyendo los procesos que afectan ese ecosistema. Estas descripciones matemáticas están divididas en 6 tipos de componentes: Variables de estado, Constantes, Variables Forzantes, Variables auxiliares, Procesos y Salida/resultado.

El primer paso para el desarrollo de los procesos del modelo es decidir que variables de estado serán necesarias para describir cierto ecosistema. Las variables de estado representan esas variables que describen el estado del ecosistema y que se desea predecir. Se debe especificar en qué parte del ambiente acuático se encontrará la variable de estado, considerando las siguientes opciones: WC Water Colum (Columna de Agua), WS Water Surface (Superficie del Agua), WB Water Bed (Fondo del lecho), SED Sediment (Sedimento).

Posteriormente se definen las constantes, las cuales son tasas específicas de coeficientes, exponentes, concentración de máxima saturación y otras constantes universales. Las variables forzantes se utilizan como argumentos en las expresiones matemáticas de procesos, las cuales pueden variar en el tiempo y espacio, y representan variables de índole externa que tienen efectos en el ecosistema. Ejemplos típicos son la temperatura, radiación solar y el viento.

Las variables auxiliares se utilizan como argumentos en las expresiones matemáticas de procesos, pero a veces, son utilizadas para especificar resultados directamente. Los procesos describen las transformaciones que afectan el estado de las variables. De esta manera, los procesos son usados como argumentos en ecuaciones diferenciales que el modelo resuelve para determinar el estado de las variables de estado.

El programa tiene plantillas que describen las relaciones físicas, químicas y ecológicas en el ambiente, entre las cuales se encuentran las relacionadas con la Eutrofización, habiéndose empleado la primera de ellas en el estudio realizado (Eutrophication Model1.ecolab: Modelo Clásico de Eutrofización). Por lo tanto, en esta aplicación inicial, no se incluyen algunos procesos, tales como la evolución de la vegetación béntica y la dinámica de los nutrientes en el sedimento, y las variaciones diurnas de Oxígeno Disuelto (OD).

En las distintas escalas temporales estudiadas en los estudios antecedentes disponibles sobre la calidad de agua en el embalse (Cayetano, 2008; Chalar, 2002 y 2006; De León, 2003; Janiot, 2001), fueron identificadas diferentes funciones de fuerza relacionadas con los aportes hidrológicos y sus consecuencias en la concentración de fósforo total (PT) y biomasa fitoplanctónica. En los ciclos interanuales resultan de gran relevancia los efectos del Niño y la Niña, en la magnitud e intensidad de los aportes hidrológicos al embalse Salto Grande. La alta carga de PT al sistema originada por erosión y escorrentía superficial indica la gran vulnerabilidad de los recursos acuáticos de la cuenca del río Uruguay. En los ciclos anuales, los grandes aportes de caudal durante otoño, invierno y primavera reducen el tiempo de residencia y dificultan el desarrollo del fitoplancton. En verano, los menores aportes con el aumento del tiempo de residencia y la mayor temperatura del agua favorecen el rápido crecimiento de las poblaciones de microalgas. Es en este período más crítico, que suceden los mayores problemas de disponibilidad y calidad de agua. En una escala de tiempo restringida al ciclo estival, se identificó al manejo de la cota del embalse como una de las variables clave en el control de la biomasa fitoplanctónica.

En función de las incertidumbres que se plantearon al momento de definir las concentraciones de nutrientes en el embalse, así como las cargas de aportes provenientes de fuentes puntuales por actividades antrópicas tanto directas al embalse o bien a través de los afluentes del mismo, se puso en evidencia la necesidad de realizar un plan de muestreo con el objetivo de obtener datos reales que permitieran ajustar las concentraciones de nutrientes, oxígeno disuelto, DBO, entre otros en el modelo, considerando los dos tipos de datos requeridos: Concentración inicial en el embalse y Aportes puntuales desde las fuentes. Los siguientes parámetros fueron analizados: pH, OD, DBO<sub>5</sub>, Nitrato, Amonio, Nitrógeno T, Fosfato, Fósforo Inorgánico.

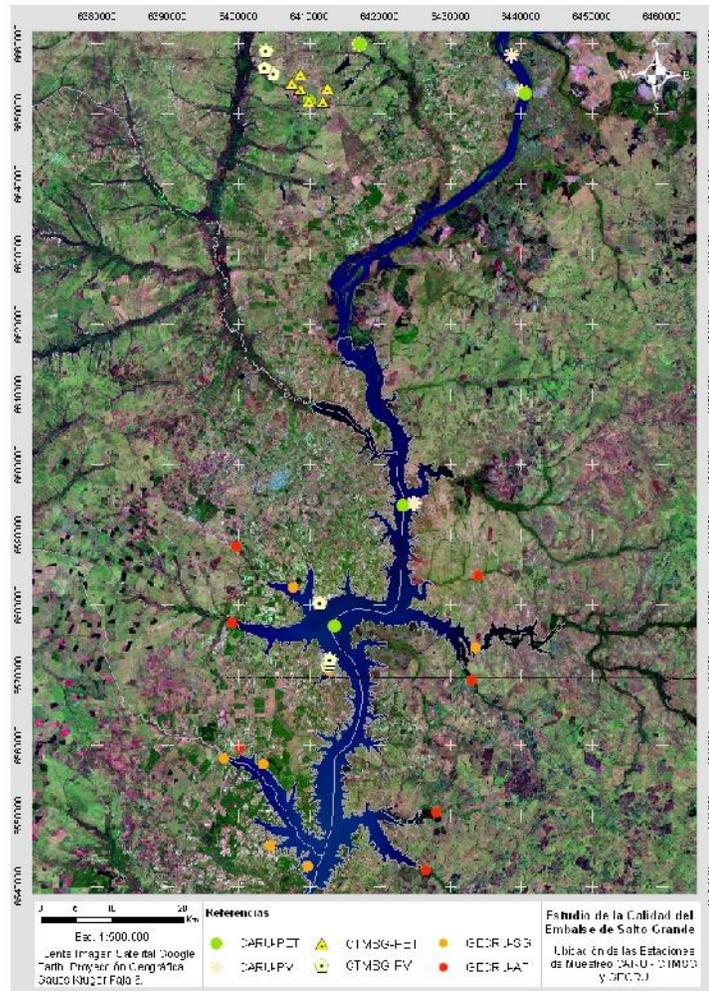
Se incluyó el monitoreo de los afluentes, entendiendo que los mismos reciben cargas de fósforo y nitrógeno provenientes de los campos cultivados por escorrentía, y finalmente desembocan en el embalse. Se definió una serie de puntos de medición divididos en dos grupos principales:

SG (Salto Grande): Se denominan de este modo a aquellos puntos de monitoreo que determinarían la calidad de agua en el embalse, los cuales se ubican en sitios fácilmente accesibles a través de rutas y caminos principales o consolidados.

AF (Afluentes): Se determinan de este modo a aquellos puntos de monitoreo que determinarían las cargas aportadas al embalse, los cuales se ubican en sitios accesibles a distintos afluentes del mismo.

Complementariamente a los resultados de los muestreos realizados por el Grupo GEGRU se han considerado los muestreos que la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) junto

con la Comisión Técnico Mixta de Salto Grande (CTMSG) ha desarrollado en la zona, en los puntos indicados en la Figura 2. Los mismos se realizan en el marco de los programas “Programa de Vigilancia” (CARU) y “Programa de Generación de Información que aporte al estudio del estado trófico del Embalse Salto Grande” (CTMSG). La información hasta el año 2010 fue proporcionada por la CARU.



**Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo de la CARU – CTMSG y el Grupo GECRU.**

La implementación del Módulo de Eutrofización se realizó con un paso de tiempo Hidrodinámico y del módulo de Advección Dispersión y Ecolab de 30 segundos, para brindar estabilidad al proceso. El número de elementos de la grilla adoptado para estas simulaciones fue de 680 x 920 elementos con 50 m de espaciamiento.

La Tabla 1 indica las condiciones de descarga asumidas para las simulaciones efectuadas en época estival. Para la descarga cloacal de Federación se adoptaron para varios parámetros valores idénticos a los del cuerpo de agua, a los efectos de no modificar los mismos y ante la dificultad de establecer valores precisos. Se especificaron en cambio las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo en sus diversas componentes, estimadas para la descarga cloacal.

La concentración de clorofila “a” en el embalse y aportes desde aguas arriba fue especificada en el orden de 10 mg/m<sup>3</sup> tal como se desprende de las mediciones efectuadas. Los demás valores fueron estimados considerando las diferentes fuentes de datos disponibles.

**Tabla 1 Concentración de las variables en la fuente y su concentración de base en el embalse.**

Variable	Concentración Inicial (mg/l)	Concentración Fuente Federación (mg/l)	Concentración ingreso borde superior río Uruguay (mg/l)
Fitoplancton C	0,1	0,1	0,1
Fitoplancton N	0,014	0,014	0,014
Fitoplancton P	0.002	0.002	0.002
Clorofila a	0.01	0.01	0.01
Zooplancton C	0.003	0.003	0.003
C Detritos	0.5	0.5	0.5
N Detritos	0,08	10	0,08
P Detritos	0,01	3.0	0,01
Amonio Total	0,1	0,1	0,1
Nitrato	0,5	10	0,5
Fósforo Inorg.	0,05	7	0,05
Oxig. Disuelto	7	6	7

Nota: C = Carbono, P = Fósforo, N = Nitrógeno

### **Procedimientos generales empleados para la modelización del río Uruguay**

Se empleó para la simulación el software WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), el cual es un sistema computacional capaz de predecir y simular el transporte de sustancias presentes en diferentes cuerpos de agua. Este modelo permite predecir respuestas en la calidad del agua ante fenómenos naturales o eventos de polución causados por actividades humanas. Para ello utiliza subrutinas predefinidas que representan distintos tipos de procesos de calidad del agua (cinéticas, estructuras de reactividad, etc.). El programa WASP5 incluye dos subrutinas: TOXI5, para productos tóxicos, y EUTRO5, para situaciones convencionales.

La simulación se llevó a cabo en el primer nivel de complejidad, es decir cinética simple de eutrofización, ya que éste simula el crecimiento y la muerte de fitoplancton interactuando con uno de los ciclos de nutrientes. Se adoptaron para la modelación el nitrógeno y fósforo, pero como el contenido en la materia viva de dichos nutrientes posee la relación N:P = 14:1; de aquí se deduce que se necesita más nitrógeno que fósforo, por lo que este sería el deficitario. Por lo tanto, en este trabajo se ha considerado al fósforo (P) como nutriente limitante del crecimiento de algas.

Las simulaciones se realizaron con las siguientes hipótesis de temperatura del agua y aportes de Clorofila "a" desde el embalse, considerando valores obtenidos en los muestreos disponibles:

- H1: Temperatura máxima del agua (28°C). Clorofila "a" máxima (100 ug/l).
- H2: Temperatura máxima del agua (28°C) Clorofila "a" mínima (37 ug/l)
- H3: Temperatura mínima del agua (19°C). Clorofila "a" máxima (100 ug/l)
- H4: Temperatura mínima del agua (19 °C). Clorofila "a" mínima (37 ug/l)

Estas hipótesis se combinaron con condiciones de estiaje (1.500 m<sup>3</sup>/s), crecida moderada (8.000 m<sup>3</sup>/s) y condiciones medias (5000 m<sup>3</sup>/s), calculándose la hidrodinámica de los diferentes tramos en que se subdividió el río, mediante la aplicación de un modelo matemático hidrodinámico previamente implementado por el GEGRU empleando el software MIKE11.

En cuanto a las descargas cloacales, se incluyeron las correspondientes a las ciudades de Concordia-Salto, Colon, Paysandú y Concepción del Uruguay. Los datos de caudales

correspondientes a las descargas fueron tomados de la base de datos que el grupo GEGRU elaboró para un estudio previo de impacto bacteriológico de las descargas en el río Uruguay.

**Tabla 2. Caudales medios diarios anuales para las distintas ciudades en estudio para el año 2013.**

Ciudad / punto de descarga	Tramo WASP (km)	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
Concordia	0-6,4	0,3396
Salto	0-6,4	0,1726
Colon	115,0-116,0	0,0372
Paysandú	125,0-127,0	0,1986
Concepción del Uruguay	145,0-146,0	0,1778

Considerando concentraciones características de los distintos nutrientes de las aguas residuales en mg/l, se realizó el producto, obteniendo el caudal másico diario ingresado al modelo.

## RESULTADOS

### Resultados para el embalse de Salto Grande

La Tabla 3 presenta los resultados típicos obtenidos para diferentes parámetros en los afluentes y en el embalse.

**Tabla 3. Comparación calidad del agua promedio en el embalse y de los aportes al mismo.**

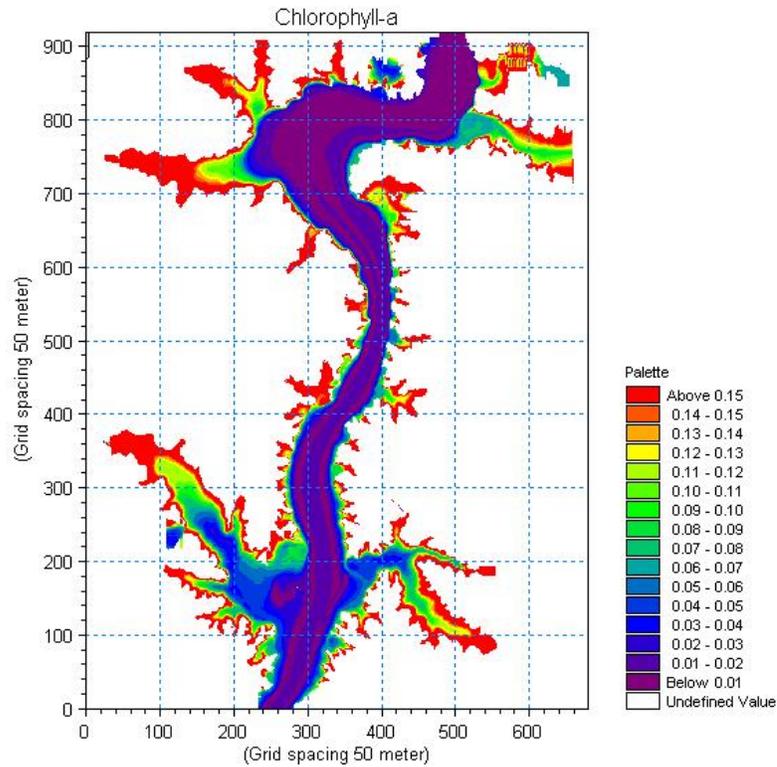
Sitio	T. Sup	OD	DBO	pH	Clor. "a"	P Total	P Inorgánico	Fosfato	N Total	N Amónico	Nitrato	Nitrato
	°C	mg/l	mg/l		mg/m <sup>3</sup>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Aguas Arriba/Afluentes	20,8	7,4	2,3	7,2	8,6	0,09	0,17	0,05	0,32	0,10	0,01	0,89
Embalse	21,8	8,2	1,6	7,4	9,6	0,06	0,04	0,10	0,27	0,08	0,01	0,90

No se aprecian diferencias significativas entre las concentraciones halladas en los ingresos al embalse y el embalse en sí mismo, únicamente se observan algunas diferencias en cuanto a mayores concentraciones ingresantes de fósforo total, fósforo inorgánico y nitrógeno total y amoniacal que las medidas en el embalse.

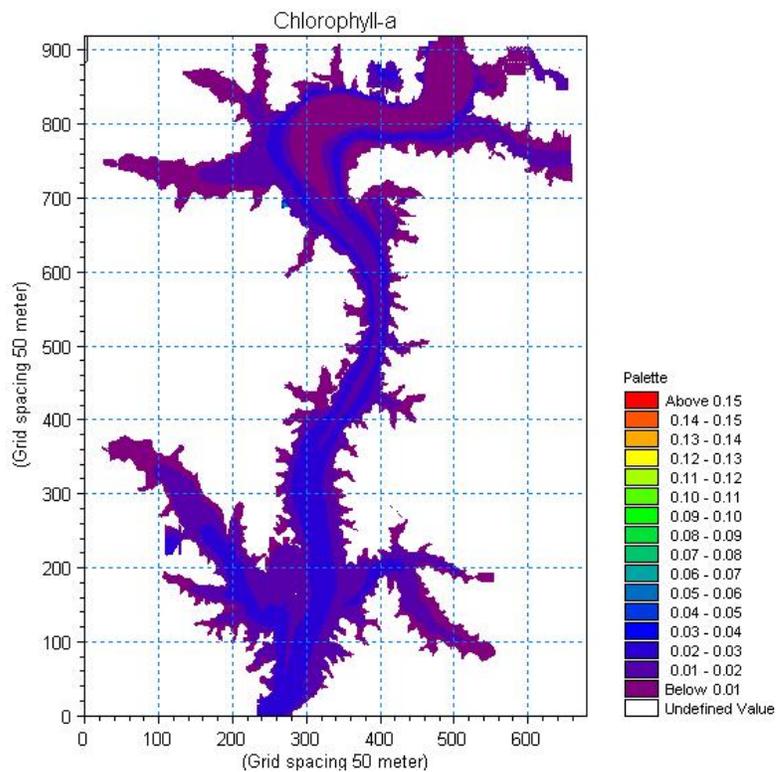
La Figura 3 muestra la evolución modelada de la concentración del Fósforo Total luego de un período de poco más dos semanas en condiciones de estiaje con altas temperaturas (época estival). El incremento del Fósforo en los brazos del embalse hace que el mismo no sea limitante del crecimiento algal. En las Figuras 4 y 5 se ilustran los niveles de Clorofila "a" en el embalse luego de unas dos semanas en verano, para condiciones de aguas bajas y altas (estiaje y crecida). Los altos niveles obtenidos son indicadores de una condición fuertemente Eutrófica, que es más intensa para aguas bajas debido a que el tiempo de retención aumenta.

En cambio, la Figura 6 ilustra el resultado para época invernal, cuando aún en estiaje no se produce crecimiento algal.





**Figura 5. Concentraciones de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 12 días de verano considerando un caudal de crecida de 15.000 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 6. Concentraciones de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 16 días de invierno considerando un caudal de estiaje de 1.500 m<sup>3</sup>/s.**

## **Resultados para el río Uruguay**

La variable con mayor influencia en el crecimiento algal (medido siempre en términos de la concentración de clorofila “a”) resultó ser la temperatura del agua, debido a que cuando la misma es máxima, la concentración de clorofila “a” en el río se incrementa fuertemente en relación con la concentración que ingresa desde el embalse (sea ésta baja o alta), duplicándose prácticamente en condiciones de estiaje.

En los otros escenarios con temperaturas del agua bajas, el incremento de la clorofila “a” o no se produce (cuando la concentración ingresante es alta) o es moderado (cuando la concentración ingresante es baja, tiende a subir ligeramente, especialmente en estiaje).

La tendencia del crecimiento algal varía hasta alcanzar una concentración de equilibrio, propia de cada segmento del río modelado en el WASP.

En condiciones de crecida y temperatura alta el crecimiento algal (incremento de clorofila “a”) es del 50% para la condición de ingreso mínimo de clorofila “a”, mientras que prácticamente no se modifica la concentración de clorofila “a” para el caso de ingreso máximo. En consecuencia, en crecida si el embalse aportara una concentración alta (por ejemplo del orden de 100 ug/l), la misma no se modificaría en el río (es decir, la mortalidad adoptada considerando la tasa típica adoptada sería similar a la tasa de crecimiento), mientras que si la concentración ingresante fuera baja (37 ug/l), la misma tendería a crecer hasta llegar a los 50 a 60 ug/l, mostrando una leve tendencia a la eutrofización por encima de lo que el embalse aporta.

El crecimiento algal en la época invernal, para las hipótesis de temperatura mínima, es inferior que en estiaje para la misma temperatura. Por un lado influye que el caudal considerado en invierno (5000 m<sup>3</sup>/s) si bien es menor que el de crecida, igualmente es muy superior al de estiaje (1500 m<sup>3</sup>/s), por lo que el tránsito de las algas por el río es más rápido y tienen menos tiempo para evolucionar. Por otro lado, la irradiación solar en invierno es menor que en verano, por lo que también se induce menor crecimiento.

## **CONCLUSIONES**

En verano y para ambas condiciones hídricas simuladas según los resultados del modelo MIKE 21 ECOLAB el embalse se vuelve eutrófico aumentando fuertemente la concentración de clorofila “a” en los brazos, debido a la baja circulación de agua (tal como ocurre según las mediciones disponibles), siendo más intenso el proceso en caso de estiaje.

En invierno en cambio, a pesar de que el aporte de nutrientes considerado se mantuvo, se redujo la concentración de Clorofila “a” ingresante, y el proceso de eutrofización del embalse no se produce.

Se ha realizado un contraste entre los resultados obtenidos y los comunicados que la CARU efectúa en el marco del Programa que la CARU y la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande realizan conjuntamente sobre el Seguimiento de Floraciones Algales en el río Uruguay en el Embalse de Salto Grande.

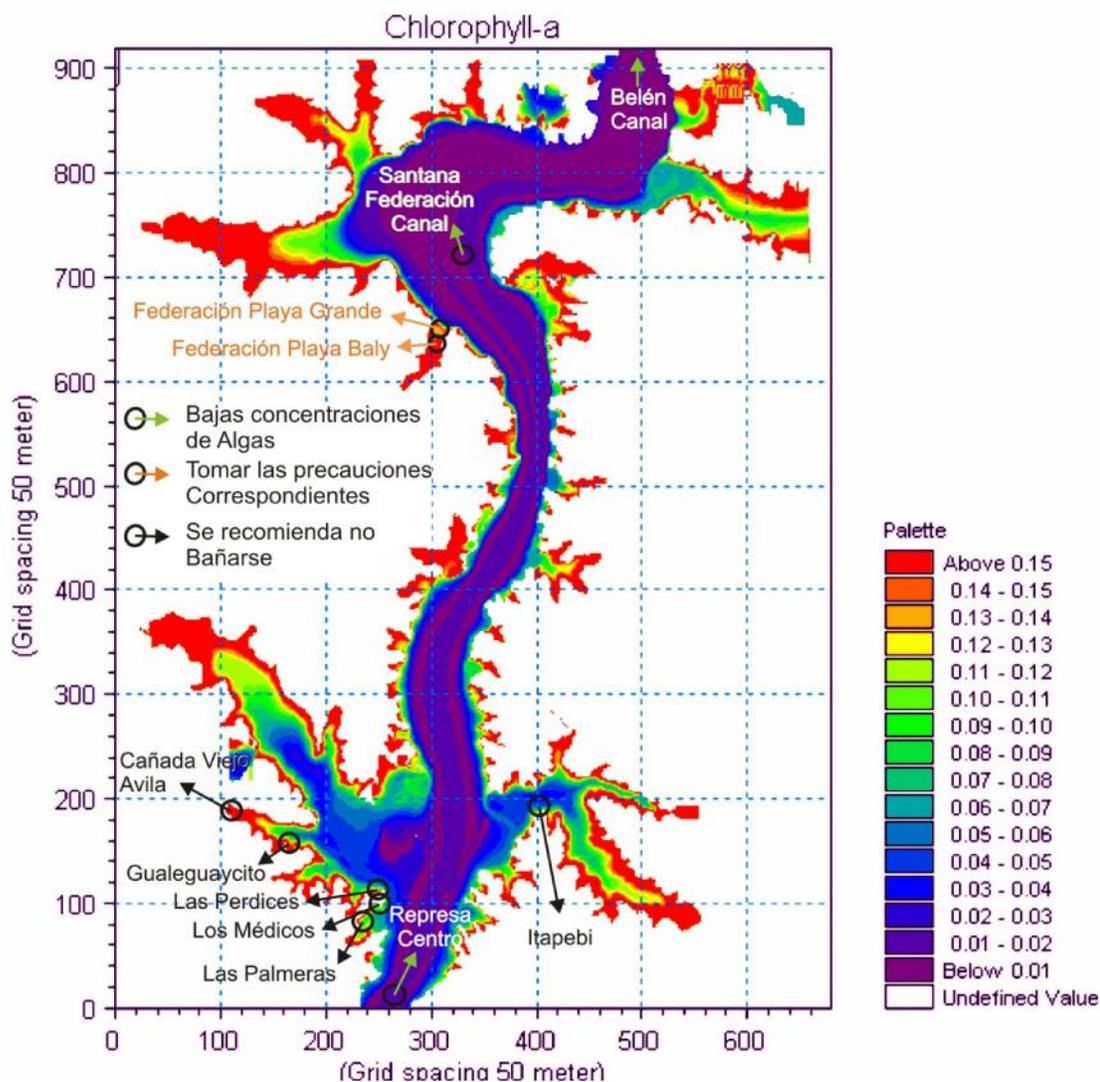
Los resultados de los informes de la época estival normalmente evidencian que las estaciones Canal entre Monte Caseros y Bella Unión, Federación Canal, Belén Canal y Represa Centro, que se encuentran más centradas en el embalse (dónde se presenta una mayor profundidad y una permanencia del agua menor), poseen índices que las califican aptas para baños sin restricciones sanitarias.

Por otro lado, se indica que las estaciones Federación Playa Grande y Federación Playa Baly presentan índices que las califican como tomar las precauciones correspondientes.

Finalmente, aquellas Playas / Localidades con índices tales que se recomienda no bañarse son Gualleguycito, Cañada del Viejo Águila, Las Palmeras, Las Perdices, Los Médicos e

Itapebi en la costa uruguaya. Todas estas estaciones dónde se realizan campañas de control y que presentan índices tales que representan un riesgo sanitario se encuentran sobre las costas, en balnearios que presentan poca profundidad y mayor tiempo de permanencia del agua, factores que junto con la carga de nutrientes que presenta el embalse y temperaturas elevadas fomentan la proliferación de algas.

En la Figura 7 se ha realizado una superposición del resultado de la modelación de concentración de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 12 días de verano considerando un caudal de crecida de 15.000 m<sup>3</sup>/s, con los resultados antes mencionados de las campañas que desarrolla la CARU con la CTMSG para monitoreo.



**Figura 7. Superposición de resultado de la modelación de concentración de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 12 días de verano considerando un caudal de crecida de 15.000 m<sup>3</sup>/s con resultados de campañas de la CARU de monitoreo de floraciones algales.**

Se ha indicado en forma diferente las estaciones que presentan bajas concentraciones de algas, las que requieren tomar precauciones y las que presentan un riesgo sanitario para bañarse, por lo que se recomienda no hacerlo.

La comparación muestra que el resultado del modelo se corresponde adecuadamente con los comunicados del programa que la CARU y la CTMSG realizan sobre el seguimiento de

floraciones algales, verificándose que el modelo representa al menos cualitativamente el fenómeno.

Respecto al comportamiento observado en el río Uruguay, luego de haber modelado para condición de estiaje y una concentración de clorofila “a” alta (100 ug/l) ingresante desde la represa, aumentando la temperatura del agua 9°C (de 19 a 28°C), se obtuvo que la influencia de éste aumento sobre la concentración de clorofila “a” a la altura de Concepción del Uruguay, fue de 109%. Para la misma situación, pero con una concentración de clorofila “a” baja de 37 ug/l, la influencia fue de 20,6%.

Como resultado de la modelación de dos hipótesis en estiaje, con igual temperatura (28°C), aumentando 63 ug/l la concentración de clorofila en la represa Salto Grande (de 37 a 100 ug/l), se obtuvo que la influencia de éste aumento sobre la concentración de clorofila “a” en Concepción del Uruguay, fue de 177%. Para la misma situación, pero con una temperatura de 19°C, la influencia fue de 60%.

Este resultado sugiere que una vez que ingresa en el río Uruguay un caudal de agua con concentraciones altas de clorofila “a”, el efecto de que la temperatura del agua sea elevada se potencia, favoreciendo el crecimiento algal a lo largo del río en mayor medida, que si la temperatura es más baja.

Por otro lado, se verificó que en el escenario de crecida, los incrementos relativos de clorofila “a” a lo largo del río, son inferiores a los del escenario de estiaje, lo cual se debe al menor tiempo de residencia del agua en crecida dentro del cauce en el tramo modelado.

Se ha logrado un primer nivel de aproximación de la evolución de la clorofila “a” en el río Uruguay con el modelo matemático WASP. En las siguientes etapas investigativas se seguirán realizando campañas de muestreos para calibrar una modelación que permita predecir la calidad del agua del río Uruguay aguas abajo de la represa de Salto Grande, frente a diferentes escenarios climáticos e hidrológicos.

## BIBLIOGRAFIA

**Cayetano Arteaga M. C., Raviol F. H., Montti M. I. y Chaulet M. R. (2008).** “Articulación vertical y horizontal: presencia de algas verdeazuladas en el lago de Salto Grande y Río Uruguay”. Facultad de Ciencias de la Alimentación, Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina.

**Chalar G.. 2006.** “Dinámica de la eutrofización a diferentes escalas temporales: Embalse Salto Grande (Argentina-Uruguay)” Sec. Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

**Chalar G., De León L., Brugnoli E., Clemente J. y Paradiso M. (2002)** “Antecedentes y nuevos aportes al Conocimiento de la estructura y dinámica del Embalse Salto Grande”. Comisión Técnica Mixta de Salto Grande – Departamento de Ecología y Medio Ambiente. 1993. “Estudios sobre la calidad de agua en el Embalse de Salto Grande” Seminario de Calidad de Aguas y Control de la Contaminación del Río Uruguay. Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). Colón, Entre Ríos. Argentina.

**De León L. y Chalar, G. (2003)** “Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina – Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial”. Sección Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

**Janiot L. y Molina D. (2001)** “Características Físicoquímicas del Río Uruguay en su Curso Inferior”. (Tramo de competencia de la Comisión Administradora del Río Uruguay). III Seminario de Calidad de Aguas y Control de la Contaminación del Río Uruguay. Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). Colón, Entre Ríos. Argentina.