

MODELACIÓN MATEMÁTICA BIDIMENSIONAL DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE DE SALTO GRANDE

Julio C. Cardini, Alejandro Zabalett, Cecilia M. Cardini, Daniel Mársico y Néstor Oliver

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)
Universidad Tecnológica Nacional, Regional Concepción del Uruguay
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803
e-mail: cardinij@fibertel.com.ar, zabaleta@frcu.utn.edu.ar

Resumen. *El estudio se realizó con el objetivo de conocer las interacciones que se desarrollan en el embalse de Salto Grande respecto de los nutrientes aportados por fuentes externas, y en función de sus características hidrodinámicas. El embalse de Salto Grande en época estival tiende 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.*

La modelación hidrodinámica se realizó con en el modelo MIKE-21 HD obteniendo el campo de velocidades para estiaje ($1.500 \text{ m}^3/\text{s}$) y crecida ($15.000 \text{ m}^3/\text{s}$). Se ha implementado el módulo de eutrofización del modelo MIKE-21 ECOLAB en base a una plantilla en la cual se introdujeron datos de nutrientes obtenidos de fuentes bibliográficas y mediciones, como ejercicio de manejo del software y sus variables, dado que actualmente no se cuenta con suficiente información de campo para efectuar la implementación detallada y la calibración de un modelo de calidad del agua del embalse. La información de campo surge 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 GECRU.

En verano según la modelación 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), siendo más intenso el proceso en estiaje. Ello se corresponde 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. En invierno, a pesar de mantenerse el aporte de nutrientes, no hay eutrofización.

Palabras clave: Modelación Matemática, Eutrofización, Embalse Salto Grande.

1. INTRODUCCIÓN

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 tiene por objeto presentar el Estudio sobre 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.

El objetivo del presente estudio es el de conocer las interacciones que se desarrollan en el embalse respecto de los nutrientes que son aportados al mismo desde fuentes externas (aportes de aguas residuales domésticas y lavado de campos cultivados por escorrentía), considerando la carga de base de nutrientes en el embalse y en función de las características hidrodinámicas del mismo.

Para ello, se tuvieron en cuenta distintos antecedentes de estudios en la zona, por un lado, la aplicación de un software de modelación bidimensional hidrodinámica y de transporte de contaminantes del Embalse de Salto Grande (MIKE 21), desarrollada durante el año 2006 por el Grupo GECRU (Grupo de Investigación de la Contaminación del Río Uruguay) para investigar el efecto de vertidos accidentales de hidrocarburos.

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

2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO APLICADO

El modelo seleccionado para estudiar la calidad del agua del Embalse de Salto Grande (ESG) corresponde al Modelo 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.

Durante el año 2006 el Grupo GECRU aplico al ESG el modelo hidrodinámico y de dispersión de contaminantes MIKE 21 Flow Model. El modelo 2D hidrodinámico empleado fue ajustado previamente por el Grupo GECRU en la zona de río aguas debajo de Salto Grande, ajustando sus coeficientes para representar adecuadamente las velocidades y niveles del flujo medios en el campo, y luego se lo implementó para el interior del embalse.

El módulo ECO Lab aplicado en el presente estudio se basa en el modelo hidrodinámico aplicado con anterioridad, presentándose en las figuras siguientes los resultados de la modelación hidrodinámica mediante los campos de velocidades para caudales de 1500 m³/s y de 15000 m³/s.

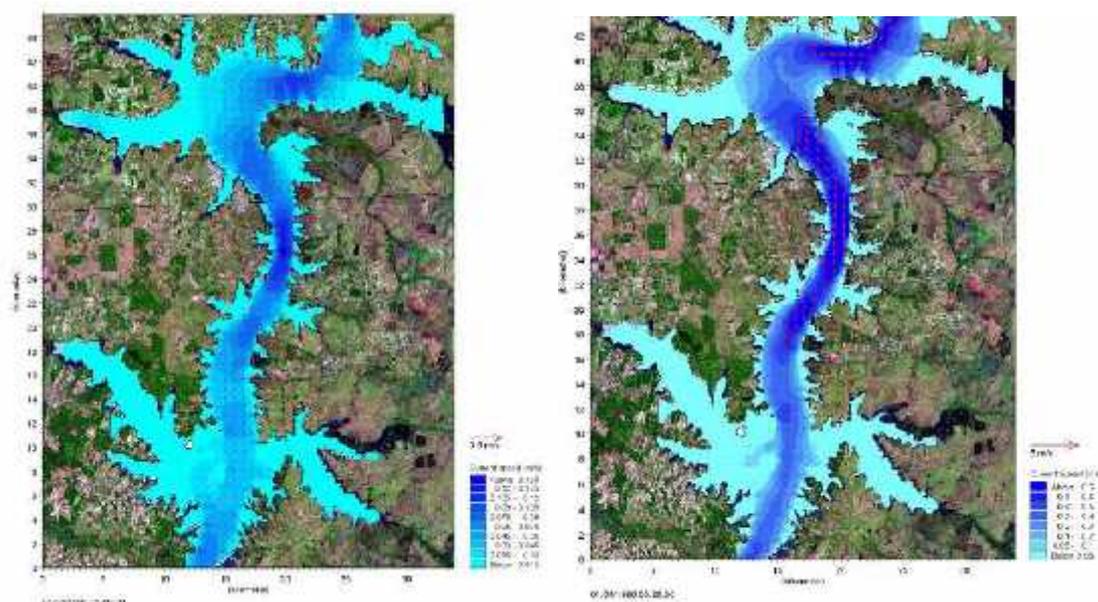


Figura 2. Campo de velocidades en el embalse de Salto Grande para caudales de 1500 m³/s (izquierda) y de 15000 m³/s (derecha)

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 que 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).

Se especifica un valor para la variable así como un rango en el cual es esperable encontrar dicha variable. 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. Estas ecuaciones

diferenciales, las cuales describen la interacción entre las variables de estado y los procesos son especificadas bajo “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.
- Eutrophication Model1SedimentBenthicVegetation.ecolab: Modelo Clásico de Eutrofización que incluye vegetación béntica y la dinámica de los nutrientes en el sedimento.
- Eutrophication Model2.ecolab: Incluye variaciones diurnas de Oxígeno Disuelto (OD) y el N inorgánico que se separa en amoníaco y nitrato.

3. ESTUDIOS ANTECEDENTES Y MEDICIONES DE CAMPO

3.1 Revisión y análisis de Antecedentes

Se ha recopilado y analizado en detalle la información disponible en los antecedentes de estudios previos realizados sobre la dinámica de autorización y crecimiento algal en el embalse y aguas abajo del mismo ([1] a [7]).

En la Figura 3 se observa un diagrama de los factores que según la bibliografía estimulan un “Bloom” de crecimiento de algas, y los efectos en el medio, que a su vez, retroalimentan el ciclo. El embalse de Salto Grande presenta estas condiciones en algunas zonas, dado el elevado grado de eutrofización de sus aguas (enriquecimiento en fósforo y nitrógeno), por lo que se observa crecimiento de estas algas y afloramientos importantes especialmente en la temporada estival.

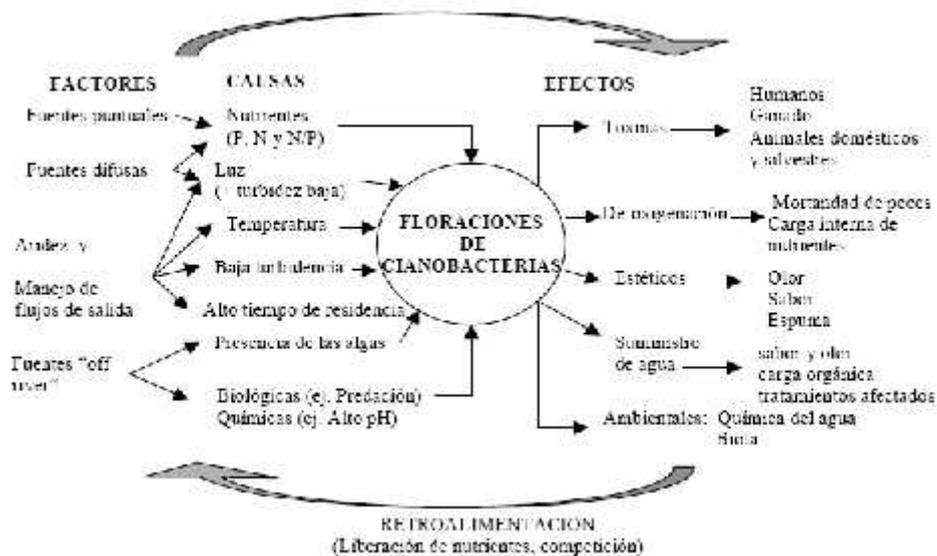


Figura 3. Diagrama simplificado de los factores que determinan las causas de las floraciones de cianobacterias y sus efectos sobre los sistemas acuáticos, su biota y sus potenciales usos.

La presencia de algas en el agua origina problemas de varios tipos:

- a) El incremento en la biomasa además de ocasionar problemas estéticos como la presencia de espumas y olores desagradables, también altera el sabor del agua.
- b) El proceso de descomposición de los florecimientos acuáticos causa desoxigenación alterando la química del agua, cambios que influyen en la supervivencia de los animales acuáticos y en el ecosistema, con efectos negativos:
 - en aguas para usos recreativos,
 - en las operaciones de captación y potabilización de agua para consumo,
 - presencia de metabolitos indeseables que causan problemas de: olores y sabores en el agua (olor a tierra), toxinas que pueden afectar al hígado (hepatotoxinas) o al sistema nervioso (neurotoxinas).

En las distintas escalas temporales estudiadas en los antecedentes, 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 durante otoño, invierno y primavera reducen el tiempo de residencia e impiden el desarrollo del fitoplancton. En verano, los menores aportes y el aumento del tiempo de residencia favorecen el rápido crecimiento de las poblaciones de microalgas. Es en este período más crítico, que debemos esperar 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.

3.2 Muestreos realizados por el GECRU y análisis conjunto de resultados

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, el cual fue llevado a cabo en Septiembre de 2010 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.

De este modo, resultó necesario 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.

Asimismo, dentro de la clasificación anterior se muestrearon puntos tanto sobre la margen argentina como la margen uruguaya del embalse, los cuales se han diferenciado de la siguiente forma:

- SG-AR: Salto Grande (margen argentina)
- SG-UR: Salto Grande (margen uruguaya)
- AF-AR: Afluentes (margen argentina)
- AF-UR: Afluentes (margen uruguaya)

La ubicación de las muestras se ilustra en la figura siguiente:

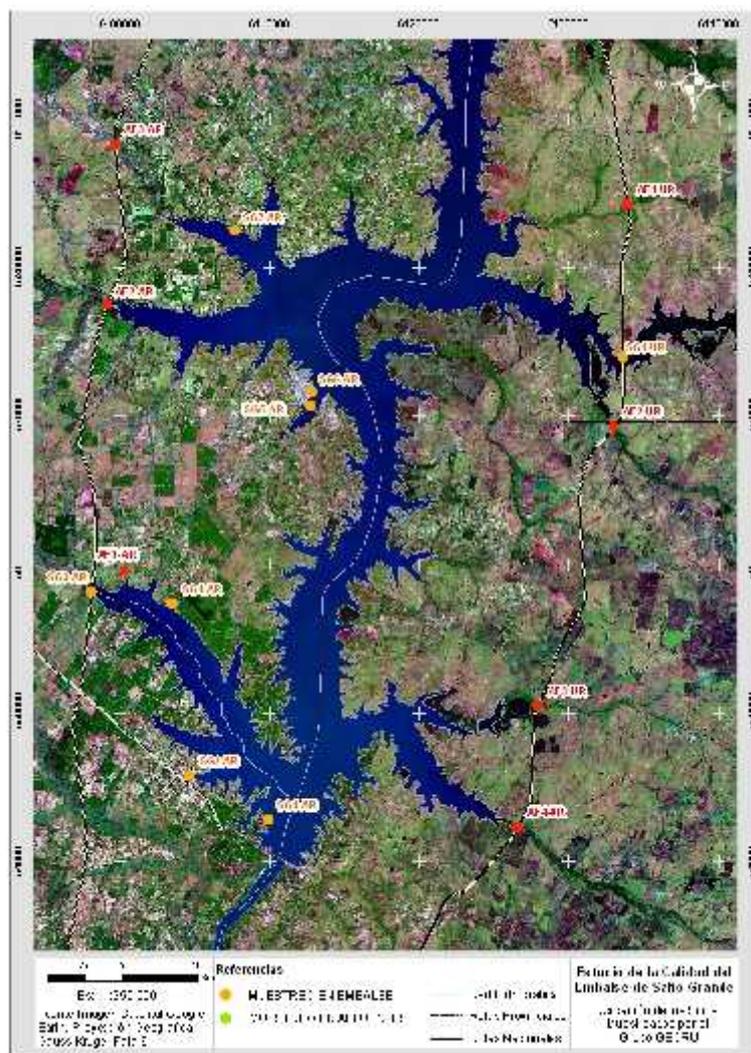


Figura 4. Ubicación de los sitios muestreados por el Grupo GECRU. Septiembre de 2010.

Los siguientes parámetros fueron analizados: pH, OD, DBO₅, Nitrato, Amonio, Nitrógeno T, Fosfato, Fósforo Inorgánico.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en aquellas muestras correspondientes a la zona del embalse y en la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de aquellas muestras correspondientes a los afluentes del mismo.

Parámetro	SG1-AR Salto Grande	SG2-AR Salto Grande	SG3-AR A° Guale- guaycito	SG4-AR Cruce Embalse	SG5-AR Pte a Vieja Federación	SG6-AR Puerto Federación	SG7-AR Balneario Chajarí	SG1-UR Río Arapey
Temperatura	18,20	19,80	19,30	20,40	19,20	20,10	19,80	14,60
pH	7,80	8,10	7,40	7,70	7,40	7,40	7,40	7,10
OD	9,20	10,60	7,00	8,70	8,80	8,00	8,60	8,10
DBO ₅	1,20	2,10	0,40	3,70	1,90	1,40	1,00	1,40
Nitrato	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Amonio	0,15	ND	ND	ND	ND	ND	0,10	0,10
Nitrógeno T	0,20	ND	ND	ND	ND	ND	0,20	ND
Fosfato	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fósforo Inorgánico	0,07	ND	0,05	ND	0,06	ND	ND	0,08

Tabla 1. Resultados de las muestras correspondientes al embalse (concentraciones en mg/l, Temperatura en °C y pH en Unidades de pH).

Parámetro	Límite de detec- ción	AF1-AR A° Sin Nombre	AF2-AR A° Mandisoví Grande	AF3-AR A° Mandisoví Chico	AF1-UR A° Boycua	AF2-UR A° Palomas	AF3-UR A° Itapebí Chico	AF4-UR A° Itapebí Grande
Temperatura	-	22,10	18,50	18,20	12,20	14,60	14,70	15,60
pH	-	7,40	7,40	7,50	7,00	7,30	7,50	7,70
OD	-	7,60	6,70	6,10	6,20	7,60	7,60	8,30
DBO ₅	-	7,40	4,10	2,40	1,40	1,60	0,70	1,40
Nitrato	1,00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Amonio	0,05	0,05	0,05	0,10	0,50	0,05	0,05	0,05
Nitrógeno T	0,10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfato	0,10	ND	ND	ND	0,20	ND	ND	ND
Fósforo Inorgánico	0,01	0,05	0,05	0,10	0,05	ND	ND	0,05

Tabla 2. Resultados de las muestras correspondientes a los afluentes del embalse (concentraciones en mg/l, Temperatura en °C y pH en Unidades de pH)

ND: Valores que indican resultados por debajo del límite de detección.

A los fines de caracterizar la calidad del agua del embalse y sus afluentes, complementariamente a los resultados de los muestreos realizados por el Grupo GEGRU se han tomado en consideración los muestreos que la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) junto con la Comisión Técnico Mixta de Salto Grande (CTMSG) se encuentran desarrollando en la zona de estudio, en los puntos indicados en la Figura 4. Estos muestreos 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).

El Programa de Vigilancia tiene como objetivo mantener informada a la población ribereña sobre el estado de situación de la proliferación de floraciones algales en las zonas balnearias del Embalse de Salto Grande, para lo cual realiza un muestreo semanal/quincenal de calidad de agua durante el período estival (enero – abril).

Por otro lado, el Programa de Estado Trófico comprende una serie de tareas cuyo objetivo es el de contar información para evaluar el estado de los nutrientes en el Embalse, para ello se llevan a cabo campañas semanales/quincenales de muestreo donde se recopila información hidrológica, meteorológica, y de calidad del agua.

En la Tabla 3 se comparan los promedios generales que representan la calidad del agua en el embalse en época estival y la calidad del agua de los aportes al mismo, ya sea desde aguas arriba como desde los cursos afluentes a éste.



Figura 4. Ubicación de las estaciones de muestreo de la CARU – CTMSG y el Grupo GECRU.

Nomenclatura:

CTMSG-PET: Sitios de muestreo CTMSG en el marco del “Programa Estado Tráfico”.

CTMSG-PV: Sitios de muestreo CTMSG en el marco del “Programa Vigilancia”.

CARU-PET: Sitios de muestreo de la CARU en el marco del “Programa Estado Tráfico”.

CARU-PV: Sitios de muestreo de la CARU en el marco del “Programa Vigilancia”.

GECRU-SG: Sitios de muestro del GECRU (UTN-FRCU) en el Embalse Salto Grande

GECRU-AF: Sitios de muestreo del GECRU en Afluentes del Embalse Salto Grande

Sitio	Temp. Sup °C	OD mg/l	DBO mg/l	pH	Clorof. "a" mg/m ³	P Total mg/l	P Inor- gánico mg/l	Fos- fato mg/l	N Total mg/l	N Amoniacal mg/l	Nitrito mg/l	Nitrato mg/l
Promedio Aguas Arriba/Afluentes	20,79	7,38	2,33	7,18	8,56	0,09	0,17	0,05	0,32	0,10	0,01	0,89
Promedio Embalse	21,81	8,17	1,64	7,42	9,60	0,06	0,04	0,10	0,27	0,08	0,01	0,90

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

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. En la Figura 5 se ilustran los datos correspondientes a clorofila “a”.

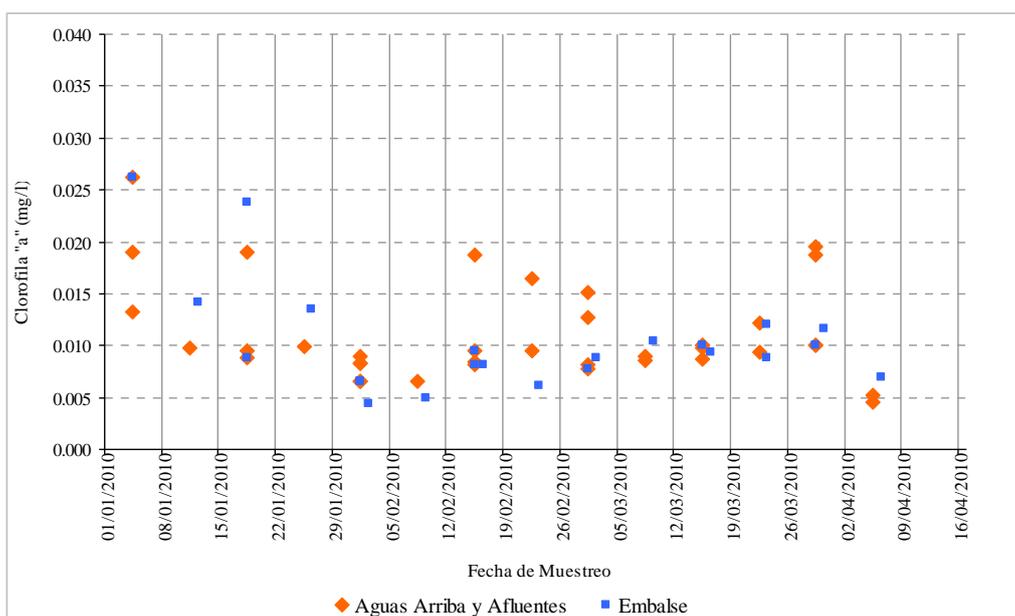


Figura 5. Concentración de Clorofila “a” en el período de medición enero – abril de 2010 (Fuente: CARU-CTMSG)

4. APLICACIÓN DEL MODELO DE EUTROFICACIÓN

El modelo de Eutrofización 1 (Clásico) del ECOLab se implementó en el embalse de Salto Grande, en base a una plantilla en la cual se introdujeron los datos provenientes de fuentes bibliográficas los cuales han sido citados anteriormente y serán resumidos en este punto.

Se ha definido una fuente de aporte de nutrientes ubicada en la Ciudad de Federación sobre la margen argentina del embalse que coincidiría con un efluente de agua residual doméstica de la mencionada ciudad. Las cargas han sido estimadas en base a bibliografía sobre cargas típicas en efluentes cloacales.

De esta forma, se presentan los resultados obtenidos para el balance de nutrientes en el embalse considerando una descarga estimada en un punto de la batimetría y se observa el campo de influencia que la misma tendría en su entorno.

Cabe destacar que se ha implementado el modelo de eutrofización en forma preliminar, como ejercicio de manejo del software y sus variables, considerando que actualmente no se cuenta con la información de campo necesaria y suficiente para la implementación detallada y calibración de un modelo de calidad del Embalse de Salto Grande.

Se ha realizado una campaña de muestreo para obtener datos reales y valederos de la totalidad de los parámetros que se requieren para implementar un modelo de Eutrofización del embalse, pero los esfuerzos en tal sentido deberían ser más sistemáticos y abarcativos. La información relevada por la CTMSG resulta de gran interés y utilidad, pero no está enfocada en generar información para una modelación matemática sino más bien para realizar un seguimiento del estado de situación en algunos sitios dentro del embales.

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, necesario para brindar estabilidad al proceso. Ello redundó en un tiempo de ejecución de 4 horas por cada día de simulación (más de 2 días y medio de duración para corridas de 16 días de evolución del sistema), en una PC con procesador Intel® Core™ 2 Quad, 2,33 GHz, 2,96 GB de RAM, bajo Windows XP Service Pack 3. Debido a los largos tiempos de proceso, se concluye que será necesario utilizar para aplicaciones futuras un hardware de mayor capacidad (con procesador Intel I7 o similar), software de 64 Bits y/o reducir el número de elementos de la grilla que fue adoptado para estas simulaciones en 680 x 920 elementos con 50 m de espaciamiento.

La siguiente tabla indica las condiciones de descarga asumidas para las simulaciones efectuadas en época estival. Para la descarga cloacal de Federación se adoptaron en muchos casos valores idénticos a los del cuerpo de agua, a los efectos de no modificar los mismos y ante la dificultad de establecer valores más 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/m³ tal como se desprende de las mediciones efectuadas. Los demás valores fueron estimados considerando las diferentes fuentes de datos disponibles.

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

Tabla 4 Concentración de las variables en la fuente y su concentración de base en el embalse.

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

La Plantilla de Eutrofización considera 89 constantes de reacción de distinto tipo, y para las cuales se mantuvieron los valores por defecto propuestos por la misma. La simulación se realizó especificando una tasa de deposición de Nitrógeno en el fondo nula.

La Figura 6 muestra la evolución 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 7 y 8 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 9 ilustra el resultado para época invernal, cuando aún en estiaje no se produce crecimiento algal.

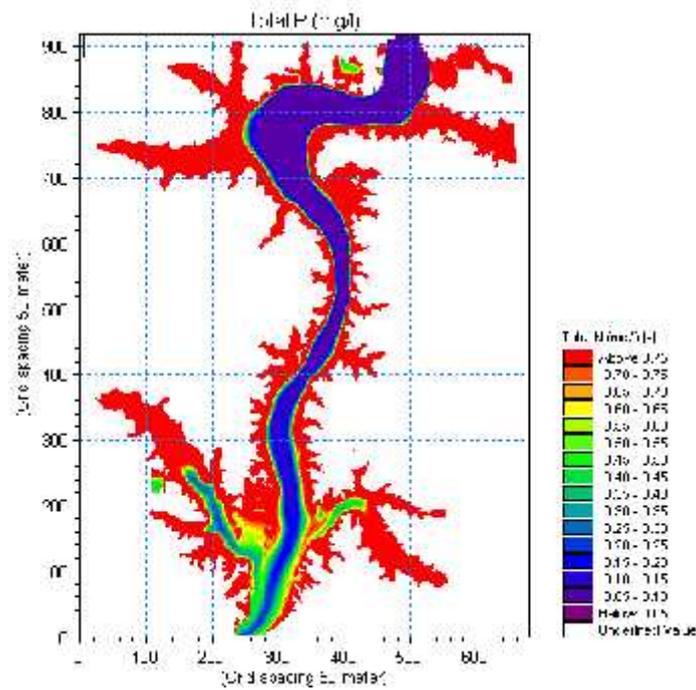


Figura 6. Concentraciones de Fósforo Total en el Embalse de Salto Grande luego de 16 días de verano considerando un caudal de estiaje de 1.500 m3/s.

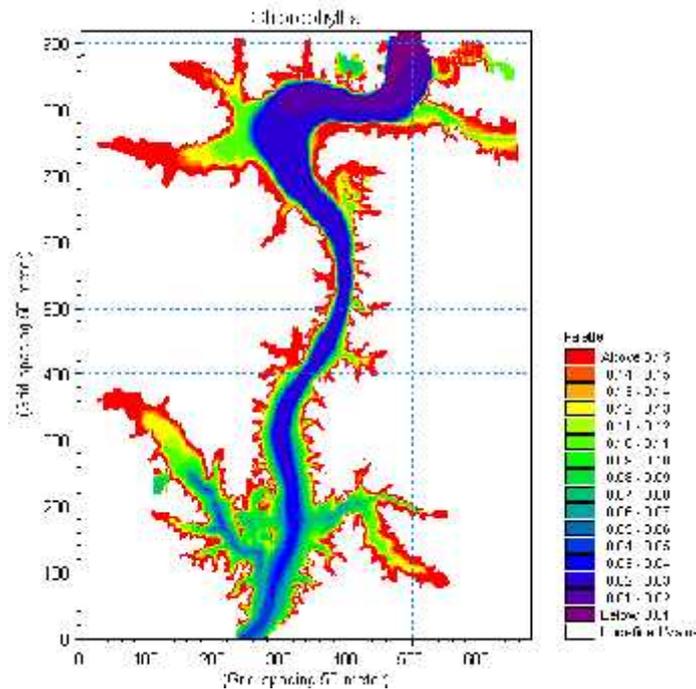


Figura 7. Concentraciones de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 16 días de verano considerando un caudal de estiaje de 1.500 m3/s.

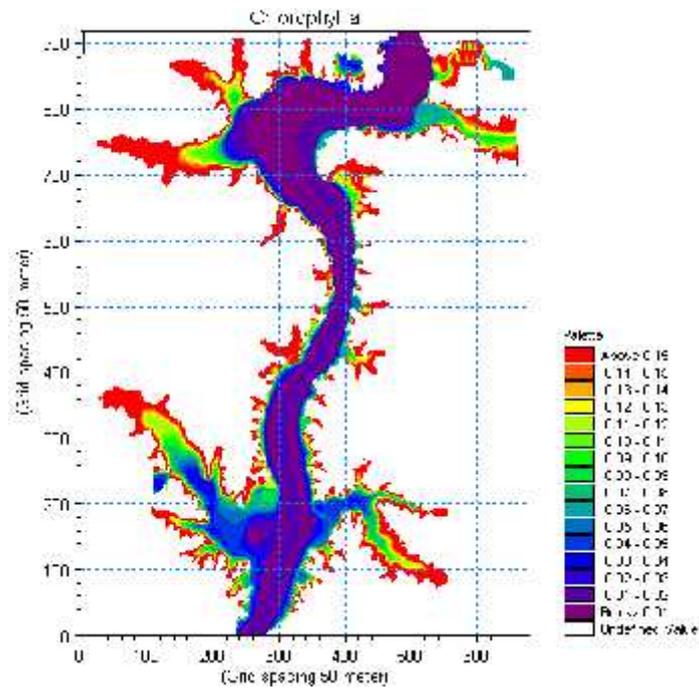


Figura 8. Concentraciones de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 12 días de verano considerando un caudal de crecida de 15.000 m³/s.

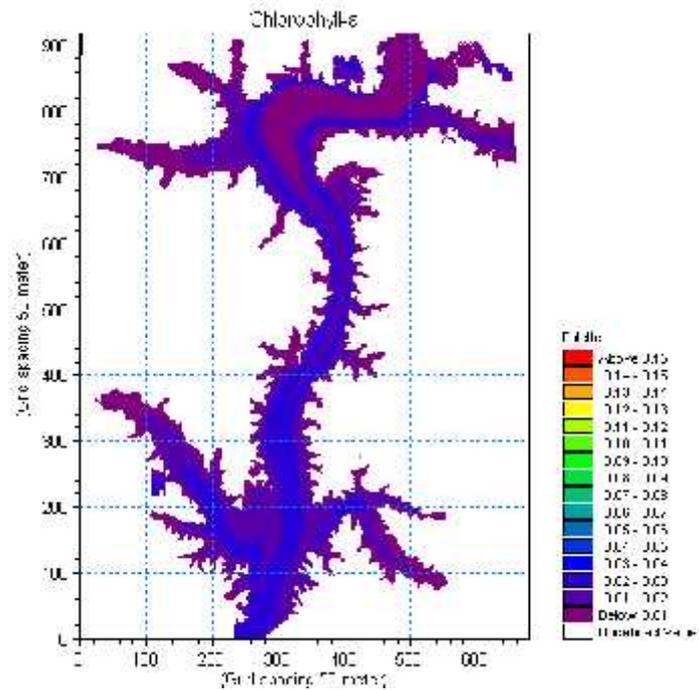


Figura 9. Concentraciones de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 16 días de invierno considerando un caudal de estiaje de 1.500 m³/s.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En verano y para ambas condiciones hídricas simuladas según los resultados del modelo 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, únicamente se redujo la concentración de Clorofila “a”, por lo que el proceso de eutrofización no se produce.

Lo verificado en período de verano se corresponde con 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.

En los comunicados de Marzo (semana del 7 al 11) y de Abril (semana del 04 al 08) se informan los resultados de las campañas de control realizadas en diferentes playas / localidades según los índices que arrojan los resultados de dichos muestreos. Los resultados de los informes mencionados 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, en estos informes 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 Gualaguycito, 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 10 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 m³/s, con los resultados antes mencionados de las campañas que desarrolla la CARU con la CTMSG para 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.

Durante el 2013, se han realizado mediciones en el embalse de Salto Grande con un Fluorómetro adquirido por el GECRU para estudios algales, corroborando preliminarmente los resultados obtenidos mediante el modelo matemático. Como próximo paso se prevé ampliar la modelación matemática abarcando el río Uruguay aguas abajo del embalse.

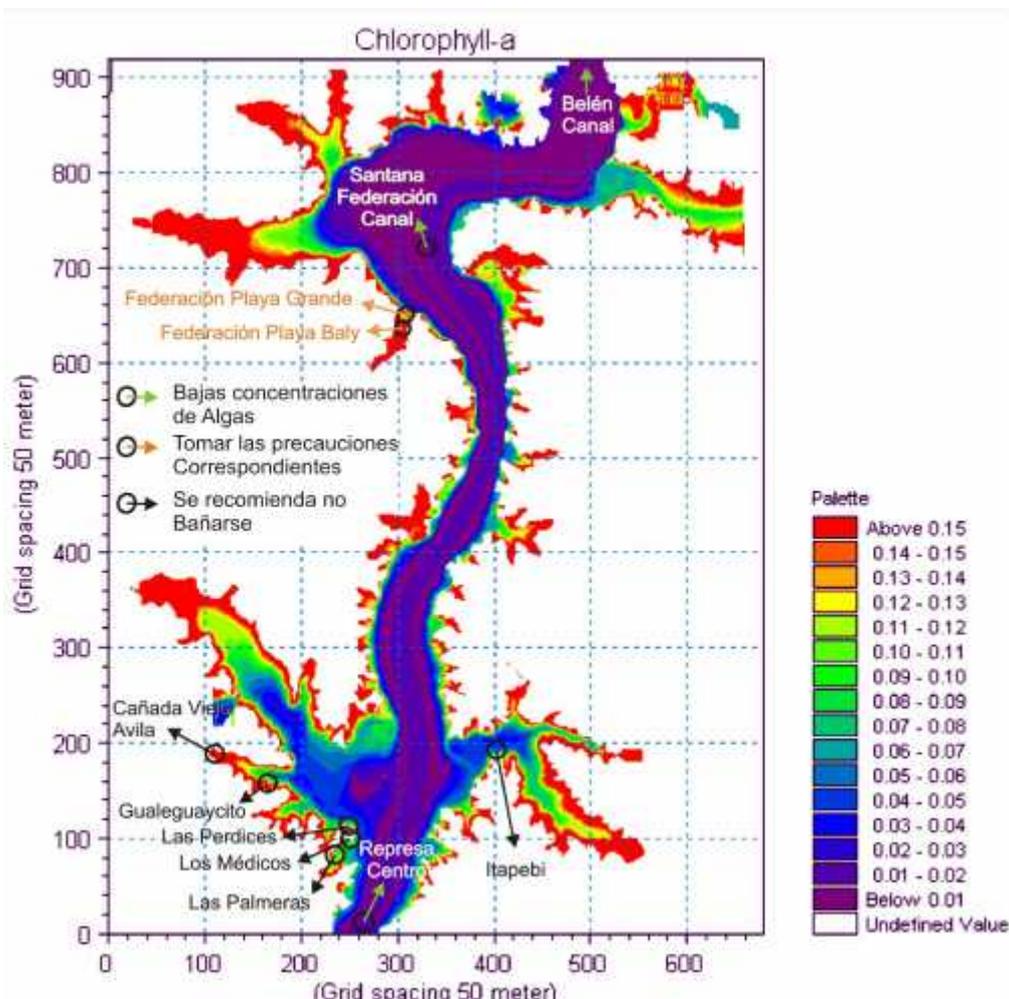


Figura 10. Superposición de resultado de la modelación de concentración de Clorofila a en el Embalse de Salto Grande luego de 12 días de verano considerando un caudal de crecida de 15.000 m³/s con resultados de campañas de la CARU de monitoreo de floraciones algales.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cayetano Arteaga María C., Raviol Fabricio H., Montti María I. & Chaulet María R., “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.
- [2] Chalar G., “Dinámica de la eutroficación a diferentes escalas temporales: Embalse

Salto Grande (Argentina-Uruguay)” Sec. Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

[3] Chalar G., De León L., Brugnoli E., Clemente J. y Paradiso M. “Antecedentes y nuevos aportes al Conocimiento de la estructura y dinámica del Embalse Salto Grande”. 2002.

[4] Comisión Técnica Mixta de Salto Grande – Departamento de Ecología y Medio Ambiente. “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). 11 y 12 de Noviembre de 1993. Colón, Entre Ríos. Argentina

[5] De León L. y Chalar, G., “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.

[6] Janiot L. y Molina D., “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). 29 y 30 de Noviembre de 2001. Colón, Entre Ríos. Argentina

[7] Paradiso M. y Chalar G., “Influencia de las condiciones ambientales de la Represa de Salto Grande Aguas Abajo”. Resultados Preliminares.