

IMPLEMENTACION DE UN MODELO MATEMATICO PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO PARANÁ DE LAS PALMAS

De León Alicia, Elorriaga Marisol, Varanese Cristina y Romano Georgina Alejandra

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Delta

Laboratorio Químico y Centro de Investigación y Desarrollo en Energía y Ambiente CP 2804-Campana

Tel./ Fax : 54-03489-420249/420400/422018/437617 e-mail: varanese@frd.utn.edu.ar / meloriaga@frd.utn.edu.ar / georginaromano88@gmail.com

RESUMEN: En la ciudad de Campana, el Río Paraná de Las Palmas es utilizado para el desarrollo de diferentes actividades recreativas, resultando una oferta turística de notable valor. El vuelco de efluentes de industrias de la zona y descargas de plantas de tratamiento de cloacales resulta un peligro para su calidad como aguas recreativas. El trabajo aborda: establecer el impacto de la carga de contaminantes debido a vuelco de efluentes y analizar la situación legal para aguas de recreación. Se utilizó un modelo matemático para evaluar el impacto de dichas descargas. El modelo indica que el impacto costero es bajo y solo medible cerca de cada punto de vuelco.

Palabras claves: Río Paraná de las Palmas, calidad de agua, efluentes, contaminación.

INTRODUCCIÓN

La creciente crisis hídrica mundial amenaza la seguridad, estabilidad y sostenibilidad ambiental de los países en desarrollo. El incremento de la producción industrial y agropecuaria, registrado en todo el mundo, no solo representa un aumento de los líquidos descargados en los cuerpos receptores sino también la adición de nuevos contaminantes. Como consecuencia del aumento de la población se han producido algunos efectos y cambios en los recursos hídricos que en muchos casos no son bien conocidos.

En la Cuenca del Plata y en la subcuenca del Paraná el desarrollo antrópico ha sido intenso y ha tenido consecuencias para el ambiente con desafíos conocidos y problemas emergentes, por lo cual es de destacar la necesidad del estudio de impacto de los efluentes vertidos en el mismo, con la idea de poder identificar las causas de posibles contaminaciones y poder proponer un programa que permita preparar y llevar adelante soluciones.

La ciudad de Campana se levanta sobre la margen derecha de uno de los brazos del Río Paraná de las Palmas.

Cuenta con un alto grado de industrialización y niveles de urbanización, siendo una de las regiones del país con el mayor crecimiento poblacional. En el sector manufacturero se destaca la presencia de grandes establecimientos que concentran la mayor parte de la mano de obra ocupada en la región, predominando las industrias siderúrgicas, químicas y metalúrgicas.

Campana cuenta con varias instalaciones portuarias situadas sobre la margen derecha del Río Paraná de las Palmas, separadas entre sí y distribuidas a lo largo de 5 km, frente a la ciudad y a sus importantes establecimientos industriales.

En este municipio localizado sobre el río Paraná del las Palmas, en el sector bonaerense del eje industrial Rosario-La Plata, se conjugan riesgos tanto de origen natural como tecnológico. En efecto, el área está sujeta a periódicas inundaciones derivadas de la dinámica de los ríos Paraná y de la Plata, que afectan principalmente los respectivos sectores insulares y algunos barrios del casco urbano. Por otro lado, se trata de una ciudad con un marcado perfil industrial. El establecimiento de puertos privados, la instalación de nuevas industrias y el aumento en la producción de las ya instaladas en los últimos años hace suponer el acrecentamiento de vertidos de efluentes tratados y sin tratar así como también la factibilidad de derrames en la zona de estudio.

Lo expuesto anteriormente provoca en gran parte de la población inseguridad con respecto a la calidad del agua del Río Paraná, a la calidad de aire y a las posibilidades de algún tipo de accidente que pueda ocurrir en algunas de las industrias.

Es por ello que es importante hacer un análisis de la calidad del agua del Río Paraná, evaluando la evolución histórica de la misma, y la situación presente, para desmitificar o no el temor que siente hoy día la población. Las hipótesis de accidentes industriales comprometen población, bienes e infraestructura expuesta y obligan a la toma de decisiones, constituyendo riesgos en todas sus dimensiones.

OBJETIVOS

Relevar la información de los vuelcos industriales de las industrias del Partido de Campana que vierten sus efluentes líquidos en el Río Paraná de Las Palmas.

Relevar la información de los vuelcos cloacales en el Río Paraná de Las Palmas.

Aplicar modelos matemáticos de dispersión de contaminantes para evaluar la calidad del agua del Río Paraná de Las Palmas.

METODOLOGÍA

La metodología propuesta para alcanzar los objetivos generales ha sido la siguiente:

- Búsqueda bibliográfica para la obtención de información histórica en la zona de estudio.
- Encuestas a las Secretarías de Medio Ambiente de las ciudades de Zárate y Campana.
- Relevamiento de las Industrias situadas en la zona de estudio y requerimiento de información sobre los efluentes que descargan y también sobre las plantas de tratamiento que las mismas poseen, para determinar la carga y tipo de contaminantes provenientes de la actividad industrial.
- Relevamiento de plantas de tratamiento cloacal y sistema sanitario de la zona de estudio.
- Compilación, integración y evaluación de la información existente.
- Aplicación de un modelo matemático bidimensional.

DESARROLLO

1. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES

Se presenta el desarrollo realizado para evaluar la calidad y cantidad de vertidos desde las distintas fuentes detectadas. Los datos se obtienen directamente a partir de encuestas a las empresa que han colaborado, en caso contrario se hicieron estimaciones a partir de la información obtenida de otras industrias de similares características.

Se utilizaron también datos bibliográficos de páginas de empresas de caracterización de efluentes según el rubro industrial y la Resolución N° 336/2003 del Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Provincia de Buenos Aires.

1.1. Fuentes industriales

1.1.1. Industrias presentes en el área

La tabla 1 muestra las empresas situadas sobre la margen del Río Paraná de Las Palmas y las industrias que, a través de arroyos tributarios, derivan sus efluentes al mismo, en la zona de estudio. La figura 1 presenta la localización de cada planta.

INDUSTRIA	RUBRO	DESTINO DEL EFLUENTE
CABOT ^[1]	Negro de humo (carbono industrial en forma de partículas)	Al Río Paraná
CARBOCLOR ^[2]	Solventes, oxigenados, alifáticos y aromáticos	Al Río Paraná
ESSO ^[3]	Petroquímica	Al Río Paraná
TENARIS- SIDERCA ^[4]	Siderúrgica	Al Río Paraná
PETROBRAS ^[5]	Fertilizantes	Al Arroyo del Potrero
PRAXAIR ^[6]	Gases medicinales y para laboratorios	Al Río Paraná
VALOT ^[8]	Papelera a partir de recortes y rezagos de papel y cartón	Al Río Paraná
MINETTI ^[7]	Cementera	Al Río Paraná
ARENERA MARIPASA	Arenera	Al Río Paraná
ARENERA CAMPANA	Arenera	Al Río Paraná
PTO. EUROAMÉRICA	Carga y descarga de frutos	Al Río Paraná
TAGSA	Puerto y acopio de sustancias químicas	Al Río Paraná

Tabla 1 – Descripción del destino del efluente

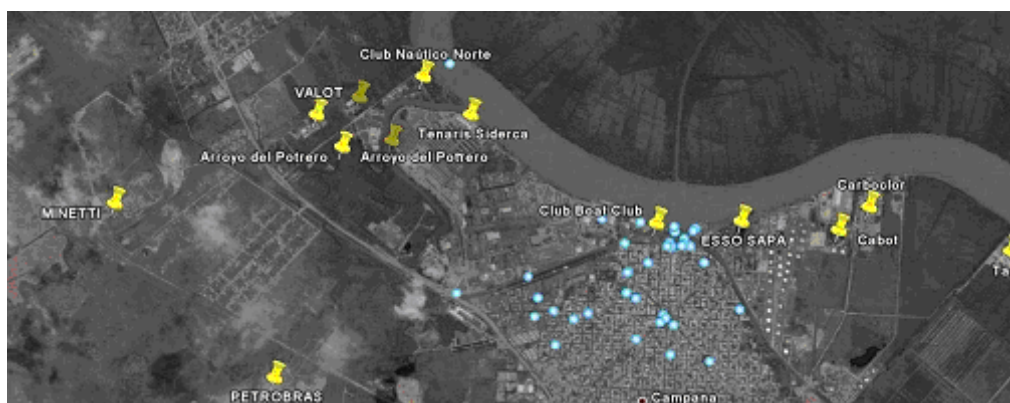


Figura 1 - Ubicación de plantas industriales.

Además, es importante destacar que existe un sistema de arroyos que escurren por zonas industriales y descargan al Paraná. Como se puede ver en la figura 2, tanto el Arroyo Pesquería como el Arroyo del Potrero se unen y forman el Arroyo de La Cruz, que desagua finalmente en el Río Paraná. De esta forma, las Plantas Depuradoras, Petrobras y Minetti tienen un mismo punto de vuelco en el Río Paraná, conformado por la descarga del mencionado Arroyo De La Cruz.

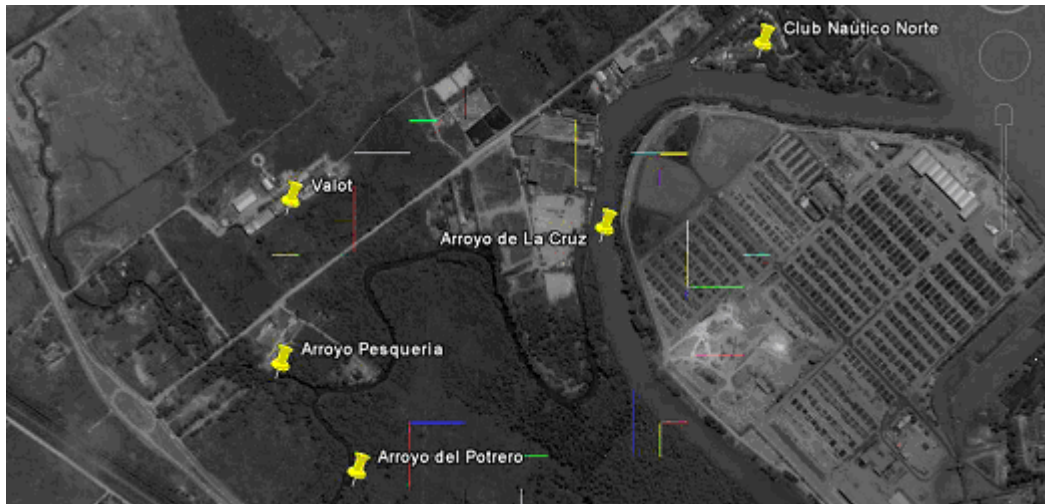


Figura 2 - Arroyos que desaguan al Paraná.

Se consideraron como parámetros de interés para esta investigación a los “contaminantes de criterio” que son aquellos para los que se han establecido límites para proteger la salud y bienestar humano^[9]. La Tabla 2 expone un resumen de la información referente a empresas que poseen plantas de tratamiento, una breve descripción de las mismas y sus contaminantes de criterio.

INDUSTRIA	RUBRO	CONTAMINANTES DE CRITERIO
CABOT	Negro de humo (carbono industrial en forma de partículas)	Aceites, negro de humo
CARBOCLOR	Solventes oxigenados, alifáticos y aromáticos	Hidrocarburos sobrenadantes Aceites flotantes
ESSO	Petroquímica	Hidrocarburos y fenoles
TENARIS- SIDERCA	Siderúrgica	Grasas c/ metales pesados, cromo, plomo, H ₂ S, escoria
PETROBRAS	Fertilizantes	Nitrógeno, urea
PRAXAIR	Gases medicinales y para laboratorios	
VALOT	Papelera a partir de recortes y rezagos de papel y cartón	Restos de fibras en suspensión, y de cargas de papel en suspensión

Tabla 2 – Empresas con plantas de tratamiento y los contaminantes de criterio

1.2. Fuentes domiciliarias

1.2.1. Población servida. Red cloacal en la ciudad de Campana

Según el censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda efectuado en el año 2001 la población del Partido de Campana era de 83698 habitantes.

En cuanto al servicio sanitario se ha obtenido la siguiente información:

- La población que cuenta con inodoro con descarga de agua y desagüe a red pública es de 32463 habitantes correspondiente al 52,45 % de la población censada.
- La población que cuenta con inodoro con descarga de agua y desagüe a cámara séptica o pozo ciego es de 12415 habitantes, correspondiente al 38% de la población censada.
- La población que cuenta con inodoro con descarga de agua y desagüe a poza ciego u hoyo, excavación en la tierra, etc, es de 11638 habitantes, correspondiente al 18, 8 % de la población censada.

1.2.2. Planta Depuradora I

La planta actualmente está trabajando al doble de su capacidad, por lo tanto solo la mitad del caudal que ingresa a la misma es tratado completamente. La otra mitad recibe un tratamiento parcial.

El caudal que proviene de los camiones atmosféricos que trabajan en el Partido de Campana, solo recibe una cloración.

A partir de diversos cálculos se concluye que el caudal diario que es enviado a la cava, punto de vuelco de planta Depuradora I y atmosféricos es de 12700 m³/ día.

1.2.3. Planta Depuradora II

Esta planta trabaja con los efluentes de los barrios alejados del centro de la ciudad. El caudal tratado es de 2000 m³/día.

2. MODELO MATEMATICO

2.1. Descripción del modelo

En general, para predecir el destino y transformación de contaminantes en ríos, se utilizan modelos unidimensionales (1D). Ahora bien, el modelo 1D de calidad subestima el impacto relativo de los vertidos, puesto que presupone mezcla completa a lo ancho del río. Para el tramo del río bajo estudio, el cual presenta anchos del orden de los 500 metros y caudales del orden de los 4.000 m³/s, queda claro que la utilización de un modelo 1D no es adecuada. Por ejemplo, el vertido de cualquier planta de tratamiento de efluentes líquidos se realiza sobre la margen derecha del río, por lo que la pluma de contaminación resultante circulará concentrada sobre la línea de costa y no tendrá energía suficiente para mezclarse completamente a lo ancho del río.

Para determinar la importancia de este fenómeno, se utilizó un modelo bidimensional de calidad de aguas. El mismo está basado en la ecuación 2D de advección-difusión siguiente:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - kC$$

donde C es la concentración de contaminante, t el tiempo, u la velocidad media del río, x la distancia a lo largo del río, y la distancia a lo ancho del río, D_L y D_T los coeficientes de difusión efectiva longitudinal y transversal, respectivamente, y k la tasa de reacción del contaminante.

Bajo las siguientes hipótesis:

- El flujo en el río es uniforme (condición de flujo estacionario que responde a que los cambios fluviales en velocidad y tirante son pequeños durante el lapso de estudio).
- El río se puede representar mediante un canal prismático regular,
- Los vuelcos se realizan en forma puntual (dado que los caños de vertido son de dimensiones pequeñas frente al curso que recibe los efluentes).
- Los vertidos son continuos (lo cual corresponde con la actividad industrial de las empresas mas importantes y en lo referido a descargas cloacales).

Se puede obtener una solución analítica para el modelo 2D de transporte de contaminantes en agua:

$$C(x, y) = \frac{C_f q_f}{h \sqrt{\pi u D_T x}} \exp\left(-\frac{y^2 u}{4 D_T x} - k \frac{x}{u}\right)$$

donde h es la profundidad local, C_f la concentración del contaminante en el vertido, y q_f el caudal del vertido.

La ecuación anterior se puede aplicar sucesivamente para cada vertido, provisto un sistema en común y aplicando el principio de superposición. La hipótesis bajo este procedimiento es que no hay interacción del contaminante con el medio. Para el caso de DBO, esto es una aproximación.

Esta ecuación, permite obtener los campos de concentración horizontales.

2.2. Implementación

2.2.1 Morfología del río Paraná

El origen del modelo se ubicó en la progresiva fluvial km 103,5.

A partir de este sitio, y utilizando las cartas náuticas correspondientes, se levantaron los datos de ancho y profundidad de margen derecha cada 500 metros. Ver tabla 3.

Los datos que conforman la tabla 3 fueron extraídos de la Carta Náutica H-1004 del Río Paraná de Las Palmas desde el km 83,2 al km 105 (Dirección Nacional de Vías Navegables, año 2001, restitución aerofotogramétrica con apoyo 2001). Se trata de algo más de 20 km de recorrido, definido como la zona de estudio.

2.2.2 Caudal del Río Paraná

Los datos fueron provistos por el Servicio de Alertas Hidrológico del INAH^[11]. Si bien se dispone de más datos, se trabajó con el periodo 2006-2008 a los efectos de contar con información actualizada.

El caudal medio del Río Paraná para el período 2007-2008 es de 5.456 m³/s.

Distancia al 0 (m)	Ancho (m)	Referencia	Profundidad (m)
0	500	Bal Km 103,5	5,4
500	525		4,2
1000	400		7
1500	375		6,7
2000	400		5,1
2500	425		10
3000	400	Valot	8,2
3500	375	C.N.N, Arroyo de La Cruz	8,8
4000	475	Muelle Siderca	8,6
4500	450		12,5
5000	450		13
5500	400	C.B.C	15
6000	450		20
6500	350	ESSO	15
7000	350	ESSO	20
7500	325		18
8000	425	CARBOCLOR	12
8500	450	CABOT	10
9000	550		5,8
9500	525		5,9
10000	375		4,6
10500	400		6,7
11000	400		7,5
11500	450		8
12000	425		8
12500	400		6
13000	425		8
13500	350		no hay dato
14000	450		no hay dato
14500	375		10
15000	425		12
15500	500		7,8
16000	550		9,6
16500	425		10
17000	350		7,8
17500	500		8
18000	450		8,4

Tabla 3 - Distancia, ancho y profundidad.

2.2.3 Datos utilizados en el modelo

Las concentraciones de las descargas, C_f , fueron tomadas de la tabla 4 (parámetros de descarga después del tratamiento), para cada una de las empresas, y se utilizaron los valores de DBO y DQO promedios de las figuras 5 y 6 para las Plantas Depuradoras I y II, respectivamente.

INDUSTRIA	PARAMETROS DE INTERES, ANTES DEL TRATAMIENTO						Reducción por tratamiento			PARAMETROS DE INTERES, DESPUES DEL TRATAMIENTO					
	DBO		DQO		SSEE		DBO	DQO	SSEE	DBO		DQO		SSEE	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad				Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
CABOT							0 %	0 %	95 %	4	mg/l	31	mg/l	12,5	mg/l
CARBOCLOR							0 %	0 %	95 %	50	mg/l	154	mg/l	12,5	mg/l
ESSO	250	mg/l	600	mg/l	300	mg/l	70 %	80 %	80 %	50	mg/l	120	mg/l	50	mg/l
TENARIS - SIDERCA										50	mg/l	250	mg/l	50	mg/l
PETROBRAS	60	mg/l	180	mg/l	30	mg/l	95 %	95 %	NA	3	mg/l	9	mg/l	30	mg/l
VALOT	300	mg/l	250	mg/l	150	mg/l	95 %	95 %	70 %	15	mg/l	62,5	mg/l	45	mg/l
MINETTI	60	mg/l	200	mg/l						50	mg/l	200	mg/l	50	mg/l

Tabla 4 – Valores estimados de descarga antes y después del tratamiento y reducción por tratamiento

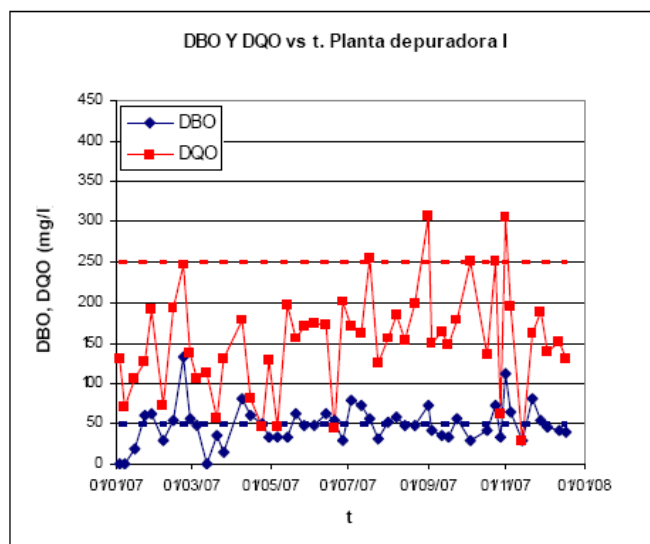


Figura 3 – Concentraciones de DBO y DQO en función del tiempo en efluente de la Planta Depuradora I y límites de vertido según Resolución 336/03.

Las concentraciones de las descargas, Q_f , fueron tomados de la tabla 5, para cada una de las empresas, y de los datos citados anteriormente para las plantas depuradoras.

Para la profundidad se aplicaron los valores de la tabla 3 localmente, esto es, se consideró en el modelo la profundidad en la zona de margen derecho en función de x , al considerarse que por el tipo de descarga, las plumas de los contaminantes se desarrollarán cerca de la costa.

Para determinar la velocidad media del Río Paraná, se determinó previamente el caudal medio resultando $5.456 \text{ m}^3/\text{s}$. Ya que las secciones tienen forma cambiante, se consideró un área media de 5.000 m^2 y un factor de margen de 0,85 para considerar el menor caudal que fluye por el corredor de margen. Se obtiene entonces $u = 0,93 \text{ m/s}$.

El parámetro de difusividad transversal se calculó mediante:

$$D_T = e_c hu^*$$

considerando los valores típicos para el río Paraná, y resultando $D_T = 0,12 \text{ m}^2/\text{s}$.^{[10],[11]}

Para las constantes de decaimiento por reacción se consideró, a partir de valores típicos:

- $\kappa_{\text{DBO}} = 0,1 \text{ día}^{-1}$
- $\kappa_{\text{DQO}} = 0,05 \text{ día}^{-1}$
- $\kappa_{\text{SSEE}} = 0 \text{ día}^{-1}$ (conservativo)

La Planta Depuradora I como la Planta Depuradora II, descargan sus efluentes al Arroyo del Potrero. Las descargas de Minetti y Petrobras, también van al Arroyo de la Cruz.

Como simplificación del modelo, se consideraron las cuatro descargas al Arroyo (Minetti, Petrobras y las dos Plantas Depuradoras) como descargas puntuales directamente en el Río Paraná de las Palmas.

Como condición de borde aguas arriba, y ante la falta de datos actualizados de calidad de aguas en la zona de Zarate, se consideraron concentraciones nulas para los 3 contaminantes. Por ello, los resultados presentados a continuación deben ser considerados como “sobre-concentraciones”

INDUSTRIA	CAUDAL		PLANTA DE TRATAMIENTO	CONTAMINANTES DE CRITERIO
	Valor	Unidad		
CABOT	417000	m ³ /año	Planta de separación de sólidos	Aceites, negro de humo
CARBOCLOR	2160000	m ³ /año	Acidez e hidrocarburos	Hidrocarburos sobrenadantes Aceites flotantes
ESSO	4608000	m ³ /año	Desalador (fenol a crudo), tratamiento con peróxido, planta de separación de finos, tanque equalizador, separador API	Hidrocarburos y fenoles, según encuesta
TENARIS - SIDERCA	3960000	m ³ /año		Grasas con metales pesados, cromo, plomo, H ₂ S, escoria
PETROBRAS	279000	m ³ /año	Strippeo de líquidos, luego lagunas estabilizadoras naturales	Nitrógeno, urea
PRAXAIR	6570	m ³ /año		
VALOT	302400	m ³ /año	Tratamiento primario, laguna aireada y una laguna no aireada	Restos de fibras en suspensión, y de cargas de papel en suspensión
MINETTI	3153,6	m ³ /año	No posee, solo planta de tratamiento de cloacales	

Tabla 5 – Caudal de efluentes, descripción de planta de tratamiento y contaminantes de criterio de cada una de las empresas

2.3. Resultados

A partir de los datos utilizados, la ubicación de las empresas y las consideraciones antes mencionadas acerca de las descargas al Arroyo de la Cruz, se obtuvo el efecto industrial y el de cloacales

En los gráficos que siguen se muestra la concentración del parámetro bajo análisis en función de la progresiva a lo largo del río y a cinco distancias desde la margen derecha: 0 m (costa), 25, 50, 100 y 500 metros.

2.3.1 Efecto Total

La superposición de los efectos industriales y cloacales produce las salidas del modelo presentadas a continuación.

Se ve que quedan definidas 2 zonas donde los impactos son mayores: el vuelco del arroyo Potrero, y la zona de vuelcos alrededor del km 10.

Resulta importante remarcar que, si bien los niveles de concentración observados con el modelo son bajos, luego del recorrido de 20 km la contaminación no ha disminuido considerablemente. Esto es, existe una tendencia a transportar la carga contaminante más allá de la zona de estudio, con potenciales impactos sobre zonas aguas debajo de Campana.

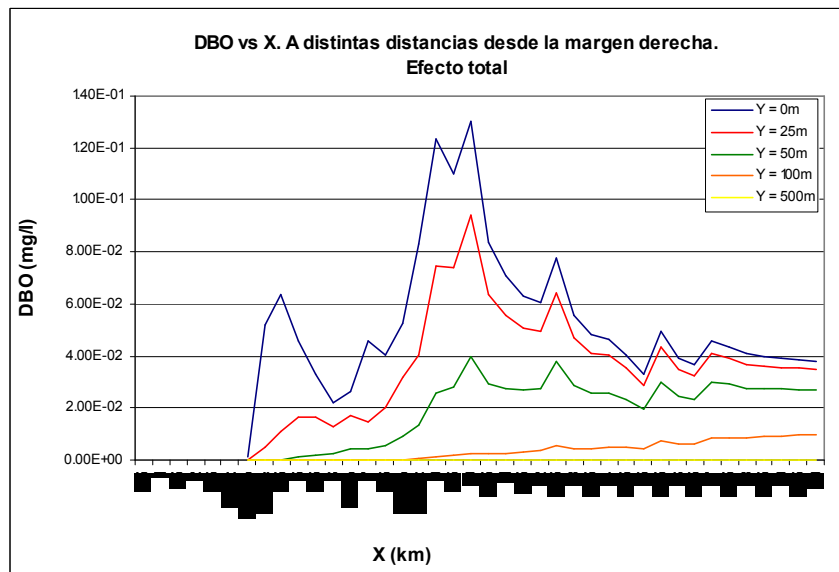


Figura 4 – Distribución de DBO, Efecto total

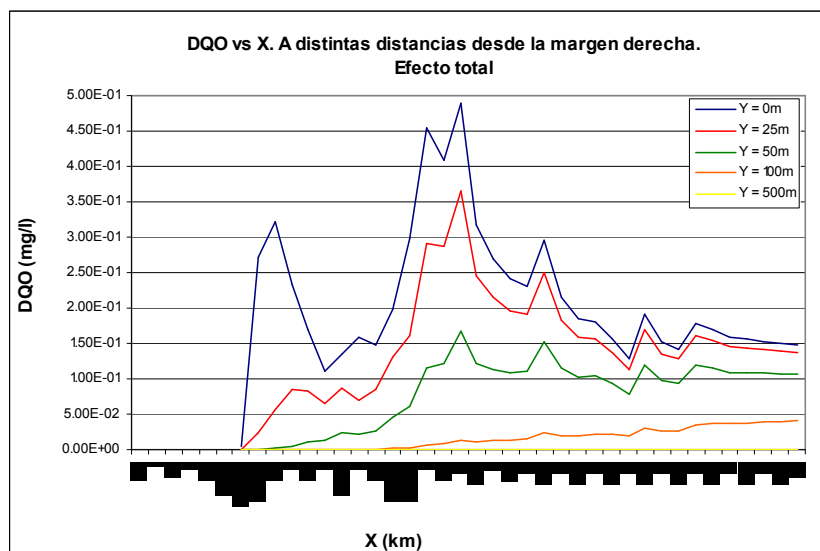


Figura 5 – Distribución de DQO, Efecto total

CONCLUSIONES

Se cumplió el primer objetivo, consistente en la recopilación de datos históricos y recientes para caracterizar la situación ambiental de las aguas del Río Paraná de las Palmas a la altura del tramo Campana.

A los datos históricos y bibliográficos existentes, se le sumó información nueva, generada en este trabajo, a partir de encuestas a industrias y servicios de tratamiento cloacal, análisis de la actividad de cada rubro industrial para determinar cargas típicas de contaminantes en efluentes líquidos y caudales., siendo hoy en día la única información disponible sobre las descargas industriales y cloacales que recibe el río Paraná de Las Palmas en el tramo Campana.

También se analizó el tipo de modelo matemático que se adecuaba a los datos disponibles, resolviéndose utilizar en esta etapa un modelo 2D para flujo continuo.

Se realizaron análisis diversos de datos para alimentar el modelo matemático, y se implementó una versión operativa que incluye la totalidad de los vertidos detectados.

Se utilizó el modelo para evaluar, independientemente, el impacto de las descargas industriales y las cloacales. Los valores obtenidos para las concentraciones en el río resultaron bajos y admisibles desde el punto de vista de la calidad de las aguas.

Se obtuvo un mayor impacto por carga orgánica desde las industrias, pero un mayor aporte de carga de DQO desde los cloacales. Se destaca aquí que los cloacales incluyen el vuelco de camiones atmosféricos.

El modelo permite observar con detalle 2 zonas de máximo impacto, asociadas a los vuelcos del arroyo el Potrero y en el km 10 (progresiva local).

También, el modelo predice un aumento local de concentraciones en estas zonas, pero un decaimiento suave aguas abajo, trasladándose potencialmente el impacto más allá de la zona estudiada.

El modelo indica que, en la zona de estudio, el impacto se concentra en los primeros 50 a 100 metros desde la costa.

ABSTRACT In Campana city, Paraná de Las Palmas River is used for the development of different recreational activities, resulting in a notable tourist offer value.

The shift of industrial effluents in the area and discharge of sewage treatment plants is a threat to recreational water quality.

The paper addresses: to establish the impact of the pollution load due to overturning of effluent and analyze the legal situation for water recreation.

We used a mathematical model to evaluate the impact of these discharges. The model indicates that the coastal impact is low and only measurable near each point of overturning.

Keywords: Paraná de las Palmas River, water quality, waste effluents, contamination.

Organismos consultados

- Municipalidad de Campana
- Subsecretaría de Medio Ambiente Campana
- Dirección de la Producción Campana
- Dirección de Control de los Servicios Sanitarios Campana

REFERENCIAS

- [1] Cabot 2011, disponible en : <http://w1.cabot-corp.com/index.jsp>
- [2] Carboclor 2011, disponible en: <http://www.carboclor.com.ar>
- [3] Esso 2011, disponible en: <http://www.esso.com.ar>
- [4] Tenaris 2011, disponible en: <http://www.tenaris.com>
- [5] Petrobras 2011, disponible en: <http://www.petrobras.com.ar>
- [6] Praxair 2011, disponible en: <http://www.praxair.com/sa/ar/arg.nsf>
- [7] Minetti 2011, disponible en: <http://www.grupominetti.com>
- [8] Valot 2011, disponible en: <http://www.valot.com.ar>
- [9] APHA - AWWA - WPCF, "Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater" (1989) 17th Edition
- [10] Tarela, P.A., van Avermaete, F., Calamante, A., Perone, E., Kuriyagawa, M. y Hirai, R., Diseño ambiental del emisario submarino de la ciudad de Río Gallegos, XX° Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, 10-13 mayo, Mendoza (2005)
- [11] J. Borús, M. Uriburu Quirno y D. Calvo, Evaluación de caudales diarios descargados por los grandes ríos del sistema del plata al estuario del Río de la Plata", Alerta Hidrológico - Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina