

# **SITUACIONES DE MÁXIMA VULNERABILIDAD DE LAS ÁREAS METROPOLITANAS DE RESISTENCIA, CORRIENTES ANTE DERRAMES DE PRODUCTOS TÓXICOS DE UNA EMBARCACIÓN MERCANTIL**

**CONAGUA 2017. CÓRDOBA, ARGENTINA, 2017**

**Guillermo José Mendez**

Administración Provincial del Agua  
Ruta Nacional Nicolás Avellaneda km 12,5 – Tel: +54 362 441 9996 interno 126  
E-mail: guillermojosemendez@hotmail.com

## **RESUMEN**

Las ciudades de Corrientes y Resistencia, asentadas en la ribera del Paraná, son vulnerables a sucesos de contaminación generados por el derrame de productos tóxicos de una embarcación mercantil. Pese a esto, se desconoce las posibles consecuencias de tales hechos, más específicamente el grado de dispersión que pueden presentar un eventual contaminante derramado sobre las aguas del Paraná. El problema requiere de mediciones sistematizadas en virtud de la complejidad hidrodinámica de la zona de estudio. En el presente trabajo se desarrolló un modelo simple bidimensional de calidad de aguas en función de obtener resultados de concentraciones de contaminantes y sus tiempos de llegada a los puntos críticos de las áreas metropolitanas, simulando escenarios de derrame de productos tóxicos en forma puntual. Previamente se realizaron ensayos de dispersión en el río Paraná que permitieron obtener los valores de coeficientes de dispersión lateral ( $D_y$ ) y longitudinal ( $D_L$ ) de 0,248 m<sup>2</sup>/s y 3,017 m<sup>2</sup>/s, respectivamente. Como hipótesis de análisis, se consideró un derrame en forma puntual e instantánea de 2.000 m<sup>3</sup> de combustible fósil. Fue posible trazar mapas de manchas de contaminación para distintos escenarios con los tiempos de llegada del contaminante a los puntos críticos, contemplando diferentes velocidades de flujo.

## **ABSTRACT**

The cities of Corrientes and Resistencia, based by the Paraná River, are vulnerable to pollution events generated by the spill of toxic products from a merchant vessel. Despite this, there are no certainties about the possible consequences of those events, more specifically the dispersion grade presented by the eventual pollutant spilled on the waters of the Paraná. The problem requires systematic measures under the hydrodynamic complexity of the studied zone. In the present work, a bi-dimensional model of water quality was development in order to archive concentration of pollutant values and its times of arrive to the critical point. Previously, dispersion test was made in the Paraná River, thus allowed to obtain values of coefficients of lateral dispersion ( $D_y$ ) and longitudinal ( $D_L$ ) of 0,248 m<sup>2</sup>/s y 3,017 m<sup>2</sup>/s, respectively. An instantaneous and puntual leak of 2.000 m<sup>3</sup> of fossil fuel was considered as an analysis hypothesis. Maps of pollution spot for different scenarios with the time of pollutant arrive to the critical point were possible to draw, thus considered different velocities of flow.

## **INTRODUCCIÓN**

Los ríos Paraná y Paraguay conforman, conjuntamente con el río de la Plata la denominada Hidrovía Paraguay – Paraná que, con una longitud de 3.442 km, constituye el sistema fluvial troncal de la Cuenca del Plata. La Hidrovía se ha consolidado como una formidable vía de transporte de todo tipo de mercadería y es, por tanto, un servicio estratégico para Argentina, Brasil, Bolivia y Uruguay.

Su importancia regional va en aumento, dado que, se observa un constante incremento del tráfico fluvial y la carga transportada en las últimas décadas, debido fundamentalmente al crecimiento de la producción regional, como así también, a los niveles elevados de los ríos Paraguay y Paraná en el período comprendido entre los años 1980-1999, con lo cual desaparecieron temporalmente las dificultades de profundidad en los llamados pasos críticos.

Este incremento trajo aparejado un aumento de accidentes fluviales, con distintos orígenes y consecuencias. Los accidentes más sensibles fueron aquellos que provocaron el derrame del combustible traficado, ya que, en algunos casos las manchas de contaminación afectaron las tomas de agua para consumo, generando la interrupción del sistema de potabilización de las ciudades. El riesgo de sucesos de contaminación se agrava con la presencia del tráfico ilegal de combustible en la zona, una deficiente señalización en muchos sectores de la Hidrovía y carencia de datos oficiales que den certeza sobre los volúmenes de mercadería que se movilizan.

Por tanto, las ciudades como Corrientes y Resistencia, asentadas en la ribera de estos grandes ríos son vulnerables a sucesos de contaminación generados por el derrame de productos tóxicos de una embarcación mercantil. Esto se ve magnificado por el hecho de que las tomas de agua de Resistencia y Corrientes abastecerán en poco tiempo a 1.371.000 personas.

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un modelo simple bidimensional de calidad de aguas, a fin de alcanzar resultados de concentraciones de contaminantes y tiempos de llegada a los puntos críticos de las áreas metropolitanas, simulando escenarios de derrame de productos tóxicos en forma puntual.

El presente estudio fue financiado por la Organización de Estados Americanos (OEA), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF/FMAM) a través del “Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en Relación con los Efectos de la Variabilidad y el Cambio Climático” del Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC – Plata), cuyo objetivo es fortalecer la cooperación transfronteriza entre los gobiernos para garantizar la gestión de los recursos hídricos compartidos de la cuenca de manera integrada y sostenible, en el contexto de la variabilidad y el cambio climático, capitalizando oportunidades para el desarrollo.

## MODELO UTILIZADO

Se utilizó un modelo bidimensional (Ecuación 1) apto para cauces de anchos mojados de consideración, como los ríos Paraná y Paraguay. El modelo asume que una mezcla instantánea sobre la sección transversal del río entero no se llevará a cabo y supone que si lo hará en forma inmediata sobre la vertical. Debe tenerse en cuenta que se considera al eje x alineado (localmente) con la corriente (Jolánkai, 1992).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial C}{\partial y^2} - u_x \frac{\partial y}{\partial x} \quad (1)$$

Para la resolución de la Ec.1 se consideró una situación simplificada, es decir, con flujo uniforme ( $u$ ,  $D_L$  y  $D_y$  constantes), un cauce de sección transversal rectangular y muy ancho (es decir, no hay efectos de la margen opuesta) y un aporte instantáneo ("pulso") de una masa  $M$  [M] de contaminante en el punto  $x = 0$ ,  $y = 0$ . La solución planteada se describe en la Ecuación 2 .

$$C(x, y, t) = \frac{M}{H \cdot 4\pi t \cdot \sqrt{(D_L \cdot D_y)}} \exp - \left[ \frac{(x - U_x \cdot t)^2}{4D_L \cdot t} - \frac{y^2}{4D_y \cdot t} \right] \quad (2)$$

Si la descarga es continua, con caudal  $q_f$  (l/s) y concentración  $C_f$  (mg/l), y el curso es rectangular y muy ancho, se puede aplicar la Ecuación 3, donde solo interviene el coeficiente de dispersión transversal.

$$C(x, y) = \frac{C_f \cdot q_f}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot u \cdot D_T \cdot x}} \cdot \exp\left(-\frac{y^2 \cdot u}{4 \cdot D_T \cdot x}\right) \quad (3)$$

### ENSAYOS DE DISPERSIÓN

Los coeficientes de dispersión longitudinal ( $D_L$ ) y transversal ( $D_y$ ) son parámetros fundamentales para alcanzar un modelo de contaminación preciso, por tanto, se recurrió a determinaciones de campo, utilizando curvas medidas con ensayo de trazadores.

El ensayo de dispersión consistió en la descarga de un trazador químico colorante en un punto determinado del canal. El trazador debe ser de similares características al contaminante utilizado, de fácil detección aún a bajas concentraciones y no debe ser tóxico para humanos y la vida acuática.

A los fines de este estudio se recurrió al uso de la fluoresceína que es un colorante orgánico con el nombre completo de ácido benzoico registrado por el Chemical Abstracts Service (CAS) con el número CAS 2321-07-5. Se encuentra más comúnmente como sal sódica de tal ácido, que es un polvo rojizo muy soluble en agua y diluida en esta tiene un color amarillo limón fluorescente. Su fórmula es  $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ .

El ensayo se realizó el lunes 7 de marzo de 2016 en el río Paraná, aguas arriba de la nueva toma de Resistencia, tal como puede observarse en la Figura 1.



Figura 1.- Ubicación del Ensayo de campo.

Se contó con la participación de personal de la Dirección de Preservación del Recurso, del Laboratorio de Aguas de la Administración Provincial del Agua de la Provincia del Chaco y de la Dirección de Fauna, Parques y Ecología de la Subsecretaría de Recursos Naturales de la provincia del Chaco; dispuestos en dos embarcaciones. Las tareas se ejecutaron ante la vigilancia de personal de la Prefectura Naval de Barranqueras.

Se registraron datos climatológicos y características del agua a fin de documentar correctamente los resultados del ensayo y posibilitar la comparación con futuras pruebas de dispersión en la zona de estudio (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Datos climatológicos y características del agua durante el ensayo

Altura del río	7,23 m
Caudal del río	36.032 m <sup>3</sup> /s
Velocidad del viento	14 km/h
Velocidad del agua	8 a 9 km/h
Temperatura del agua	15,6
pH del agua	7,8
Conductividad del agua	135 $\mu$ s/cm
O <sub>2</sub> disuelto en el agua	6,17 mg/l

El ensayo de campo consistió en la ejecución de dos pruebas de dispersión. La primera denominada “Ensayo de dispersión transversal” y la segunda designada “Ensayo de dispersión longitudinal.”

El ensayo de dispersión transversal implicó la emisión del trazador en forma continua en el lugar indicado en la Figura 1 y la captura de muestras se realizó a diferentes distancias del foco de emisión, que fueron de 2 a 120 m.

Previamente, se tomaron muestras del trazador, a fin de determinar las concentraciones de fluoresceína en el laboratorio, como se observa en la Figura 2.



**Figura 1.** Toma de muestras del trazador antes del ensayo

La descarga planteada en el ensayo de dispersión, provocó una mancha verde limón de 100 m de largo y 3 m de ancho, que era difuminada a medida que el colorante se alejaba del foco de emisión.

La captura de muestras se realizó en forma manual e instantánea, mediante el muestreador DH3 (ARG-P-H-09 según nomenclatura norteamericana). El mismo consiste en un tubo de acrílico con una válvula mariposa en cada extremo del tubo, que no genera alteraciones por presiones hidrostáticas y no es desarenador (Ruberto et al, 2009).

La metodología utilizada, consistió en la recolección de muestras, mediante el captador DH3. Se colocó el muestreador con las válvulas abiertas de manera que ni este ni la embarcación interfiriese al flujo. Llegado el momento se cerraron instantáneamente las válvulas y se volcó el contenido a recipientes plásticos (Figura 3).



**Figura 3.-** Recolección de muestras durante el ensayo de dispersión transversal

Se capturaron 16 muestras, de las cuales una se captó antes de descargar el trazador, a efectos de determinar el blanco en el laboratorio, es decir, para calcular la intensidad de fluorescencia presentada por el agua del río Paraná, sin la presencia de fluoresceína.

El ensayo de dispersión longitudinal implicó la emisión del trazador en forma instantánea. Así se volcó 9,5 l de fluoresceína con una concentración de 64,35 g/l. La captura de muestras se realizó a distintos momentos en una distancia de 25 m del foco de emisión. De esta manera se buscó obtener el coeficiente de dispersión transversal, ajustando la Ec 3. En virtud de la velocidad de flujo que acortó el tiempo de duración del ensayo y, consecuentemente los períodos de captura, se optó por tomar las muestras directamente desde los frascos.

Una vez finalizado el ensayo de campo, las muestras fueron cubiertas con bolsas de polietileno negro, para protegerlas de la luz solar y evitar su degradación.

Las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio de agua del Centro de Ecología Aplicada (CECOAL) perteneciente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina (CONICET), en la ciudad de Corrientes, donde se determinaron las concentraciones del trazador mediante un fluorómetro de filtro (Figura 4).



**Figura 4.-** Fluorómetro marca Aminco (laboratorio de agua - CECOAL)



Fue necesario ajustar una curva de relación de intensidad de fluorescencia (IF) versus concentración de fluoresceína, a partir de dilución conocida del producto con agua destilada. Se constató una relación lineal entre las variables analizadas y la curva presentó un ajuste aceptable, tal como puede observarse en la Figura 5.

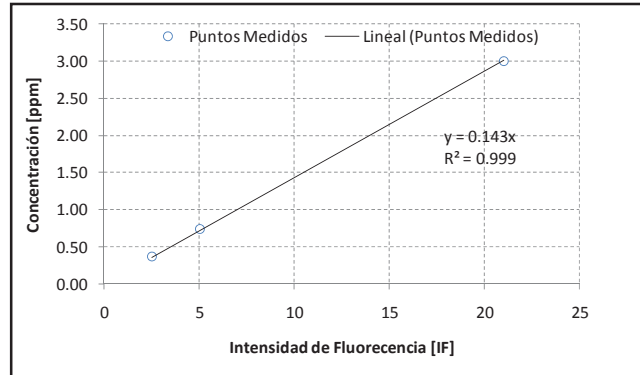


Figura 5.- Curva de relación IF versus concentración de Fluoresceína.

Los análisis se ejecutaron siguiendo el procedimiento sugerido por Wilson et al (1986). En virtud de ello, se optó por un primer filtro de 440 nm de longitud de onda y un segundo filtro de 520 nm.

Las muestras se analizaron el mismo día de realizado el ensayo de campo, para minimizar el posible deterioro de la fluorescencia debido a otros productos químicos o sustancias presentes en el agua. Las concentraciones fueron referidas a la concentración que presentó la muestra considerada como "blanco", presentando esta una intensidad de fluorescencia de 4, es decir, una concentración de fluoresceína de 0,57 ppm.

Se realizó el ajuste de los coeficientes de dispersión transversal y longitudinal por separado. El primer coeficiente ajustado fue el de dispersión transversal ( $D_y$ ). Para ello se utilizaron los datos obtenidos en el ensayo de dispersión transversal.

La obtención del coeficiente de dispersión transversal, se realizó ajustando una curva que representando el modelo indicado en la Ec 3. registre el menor valor de errores medios cuadrados respecto a los valores medidos. Así se obtuvo que el coeficiente de dispersión transversal, del río Paraná en la zona de estudio durante el ensayo, fue de  $0,248 \text{ m}^2/\text{s}$ . En la Figura 6 se puede observar la curva ajustada de la Ec. 3 para  $D_y = 0,248 \text{ m}^2/\text{s}$  y los valores medidos utilizados para tal ajuste.

La obtención del coeficiente de dispersión longitudinal, se realizó ajustando una curva que representando el modelo indicado en la Ec 2, registre el menor valor de errores medios cuadrados (EMC) respecto a los valores medidos y considerando constante a  $D_y = 0,248 \text{ m}^2/\text{s}$ . De esta manera, el valor de  $D_L = 3,017 \text{ m}^2/\text{s}$  fue el que presentó menores valores de EMC, por lo que se adoptó para la modelación consecuente de los distintos escenarios de contaminación. En la Figura 7 se puede observar la curva ajustada de la Ec. 2 para  $D_L = 3,017 \text{ m}^2/\text{s}$  y los valores medidos.

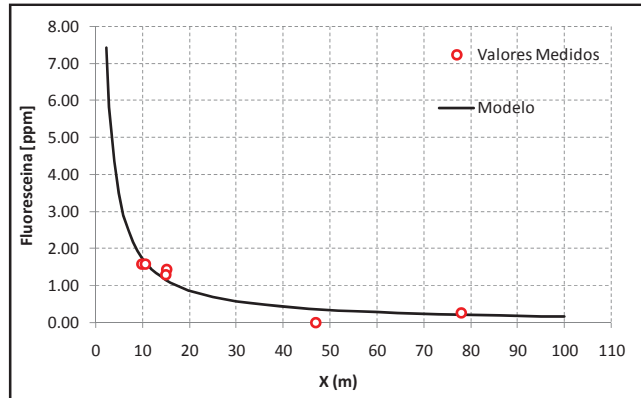


Figura 6.- Curva de calibración del coeficiente de dispersión transversal –  $D_T=0,248 \text{ m}^2/\text{s}$

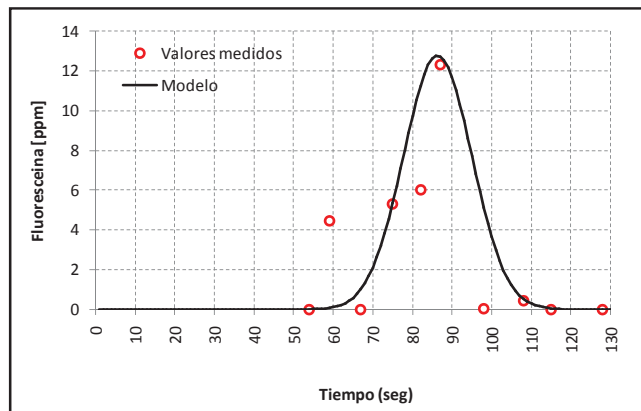


Figura 7.- Curva de calibración del coeficiente de dispersión longitudinal -  $D_L=3,017 \text{ m}^2/\text{s}$

Se destaca que el valor del coeficiente de dispersión longitudinal ( $D_L$ ) es 12,17 veces superior al coeficiente de dispersión transversal, indicando una fuerte dispersión en sentido del flujo en desmedro de una dispersión transversal a este. Esta marcada dispersión en un solo sentido plantea la imposibilidad de eventos de contaminación que afecten conjuntamente a las riberas correntinas y chaqueñas, es decir, que abarquen todo el ancho del río Paraná.

Esta marcada dispersión en un solo sentido esta concordancia con el flujo que presentan las aguas de los ríos Paraná y Paraguay, aguas abajo de su confluencia. En efecto, las aguas de ambos ríos transcurren independientes y paralelas, casi sin mezclarse, aún a pesar de que el río Paraná tiene un giro abrupto a la altura de las ciudades de Corrientes y Resistencia.

Sin embargo, esta mezcla lenta entre ambos río no siempre se cumple. Al respecto Lane et al (2008) sostienen que pueden presentarse dos situaciones: la primera en que la mezcla completa se produce en más de 400 km de longitud aguas abajo de la confluencia y la segunda cuando se genera una mezcla completa en solo 8 km. El condicionante de esta diferencia es la relación de Momentum entre el río Paraná y el Paraguay. Cuando el río Paraná presentan valores de Momentum predominantemente mayores a los del Paraguay se produce una mezcla lenta entre ambos ríos, en tanto que cuando el río Paraguay presenta valores de Momentum similares al del Paraná se produce una mezcla rápida. Este último caso no solo demuestra la variabilidad del coeficiente de dispersión transversal respecto a la condiciones de flujo de ríos Paraná y Paraguay, sino también, evidencia una modificación de las líneas de corriente, aguas abajo de su confluencia.

Se destaca que ambos coeficientes de dispersión variarán dependiendo de las velocidades corte del flujo y, por tanto, serán distintos entre escenarios de análisis. Sin embargo, para conocer la sensibilidad del coeficientes de dispersión con respecto a las velocidades de flujo es necesario realizar ensayos de dispersión sistematizados en distintos niveles del río Paraná, tarea que demandaría varios años. Si se considera que los ensayos de dispersión se realizaron con altura del río Paraná de 7,23 m en el Hidrómetro, durante una crecida cuyo tiempo de recurrencia se estima supera los 5 años, es posible que los valores obtenidos de coeficiente de dispersión sean mayores a los que pudieran darse ante escenarios hidrológicos más usuales.

### ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Los escenarios de simulación se plantearon en función de representar situaciones que, además de ser críticas, pueden ser relativamente usuales para sendas ciudades. En virtud de ello, se adoptaron los valores y magnitudes de variables hidrológicas y climatológicas que diferenciaron a cada escenario.

Se adoptaron alturas y caudales máximos y mínimos anuales de los ríos, asociados a probabilidades del 50% de excedencia o de ocurrencia de valores menores, respectivamente (TR = 2 años). Se utilizaron velocidades medias, materializadas de la relación entre el caudal y la sección de flujo.

La NOAA (2001) considera que, en general, el movimiento del contaminante puede estimarse como la suma vectorial de la deriva por viento (usando el 3% de su magnitud), la corriente de superficie, y la extensión y turbulencia de gran escala (difusión). Por tanto, las direcciones del viento, elegidas para cada escenario, fueron aquellas que derivan las manchas de contaminación hacia la ribera donde se ubican las tomas de agua. Las velocidades del viento utilizadas surgieron del valor de la mediana de la serie de valores máximos anuales.

Se consideró a la gasolina o nafta de 85 octanos como agente contaminante. Este compuesto tiene una solubilidad muy baja en el agua y un peso específico de 708 g/l (inferior al del agua), por lo cual, el mismo tiene a mantenerse sobrenadando. El tiempo de degradación en presencia de oxígeno es relativamente alto, por lo que se consideró a dicha sustancia como conservativa. Como hipótesis de falla se optó por un derrame en forma puntual e instantáneo de 2.000 m<sup>3</sup> de combustible.

En la Tabla 2 se pueden observar los escenarios planteados para la simulación de eventos de contaminación generados por el derrame de productos tóxicos de una embarcación mercantil.

**Tabla 2.-** Escenarios planteados para la simulación

Escenario	Ciudad	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Velocidad del flujo [m/s]	Velocidad del viento [km/h]	Dirección del Viento
Bajante TR=2 años	Corrientes	11.478	1,49	3.75	N
	Resistencia			3.54	S
Creciente TR=2 años	Corrientes	30.104	0,19	3.75	N
	Resistencia			3.54	S



**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En situaciones de creciente la incidencia del viento en la marcha del contaminante es prácticamente nula. Por tanto, la trayectoria de la pluma de contaminación en este escenario es coincidente con la líneas de corriente que en virtud de la confluencia del río Paraguay con el Paraná y de la curvatura de este último en la zona de estudio, impactan en la ribera chaqueña solo aquellas que aguas arriba trascurren por el riacho Antequeras, brazo occidental del Paraná en la isla Tala, tal como puede verse a Figura 8. En contraposición en momento de estiaje, como el escenario planteado en Bajante, las velocidades de flujo son bajas y existe influencia del viento. Esto provoca que la zona de derrame, de riesgo para la nueva toma de agua, se traslade unos 6.900 m aguas abajo, donde el canal de navegación transcurre entre la isla Antequera y la isla del Medio (Figura 9).

Para un escenario de Creciente la trayectoria de la pluma de contaminación impactará en la ribera correntina solo si el eventual derrame se genera unos 600 m aguas abajo de la isla del Cerrito, tal como puede observarse en la Figura 10. En contraposición en momento de estiaje, como el escenario planteado en Bajante, si bien existe influencia del viento, la trayectoria del contaminante indica que la mancha impactará en la ribera occidental de la isla del Medio. De ocurrir el derrame, aguas abajo del Km 10 del canal de navegación, el impacto en la costa correntina se daría unos 500 m aguas abajo de la punta Mitre, sin afectar la actual toma de agua, siempre considerando un viento norte de 3,75 km/h (Figura 11).

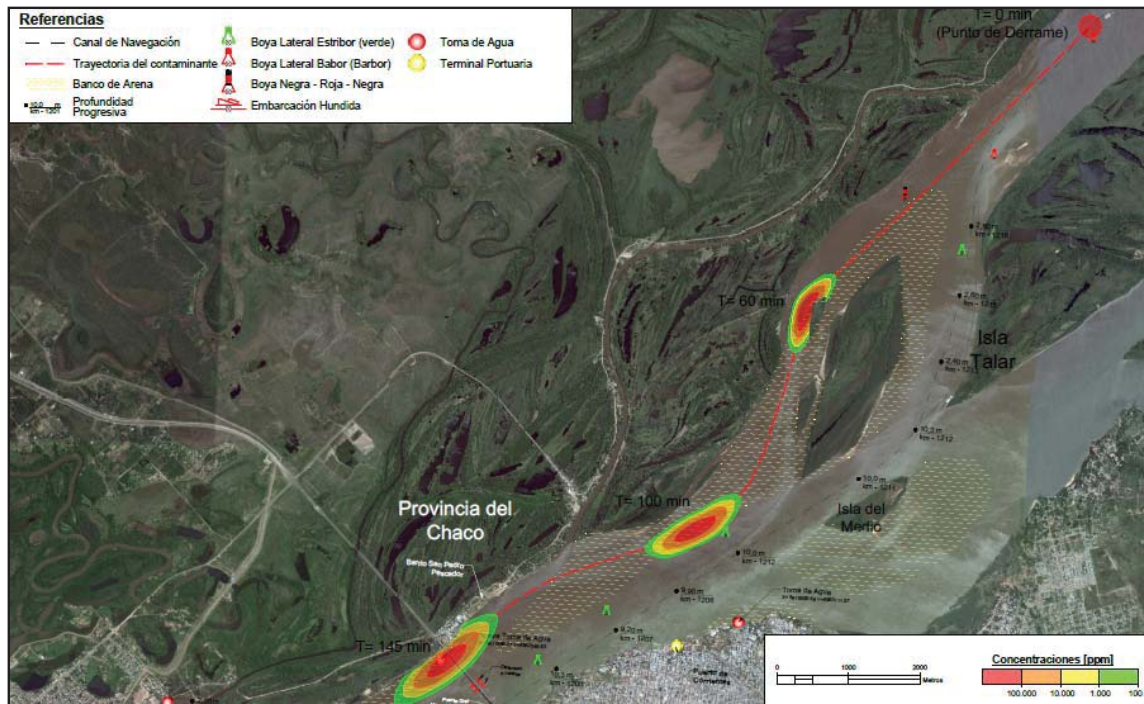


Figura 8.- Mancha de contaminación ante una Creciente de TR= 2 años y viento del sur.

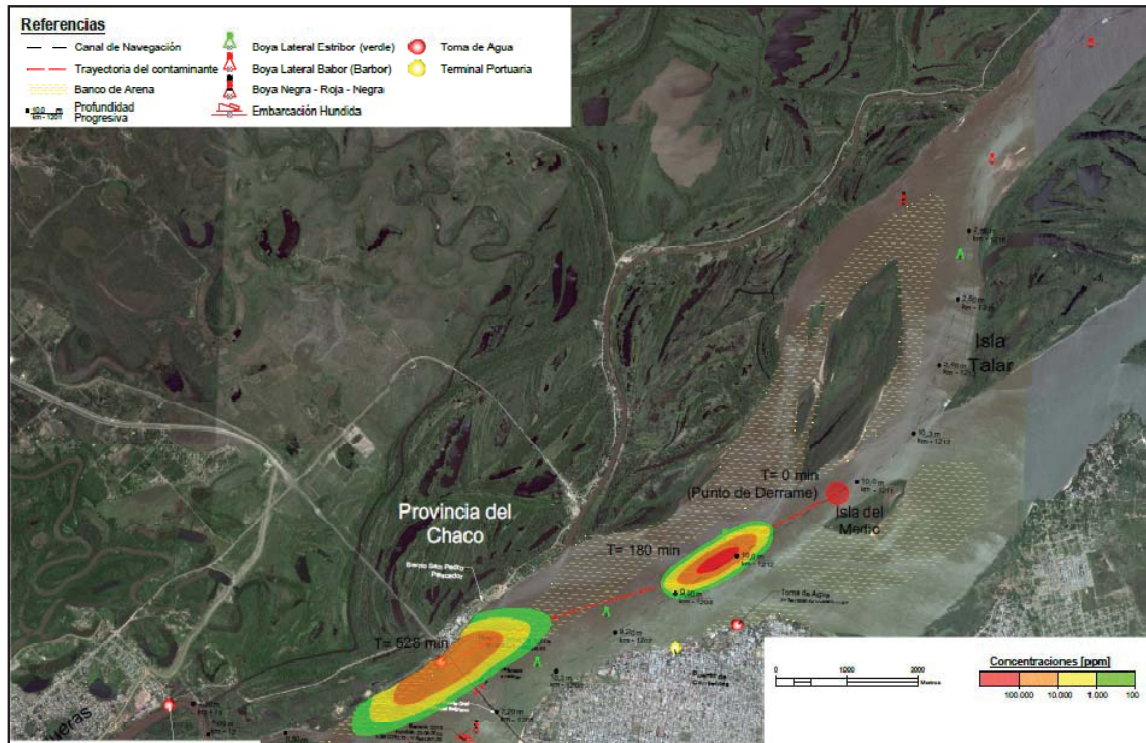


Figura 9.- Mancha de contaminación ante una Bajante de TR= 2 años y viento del sur.

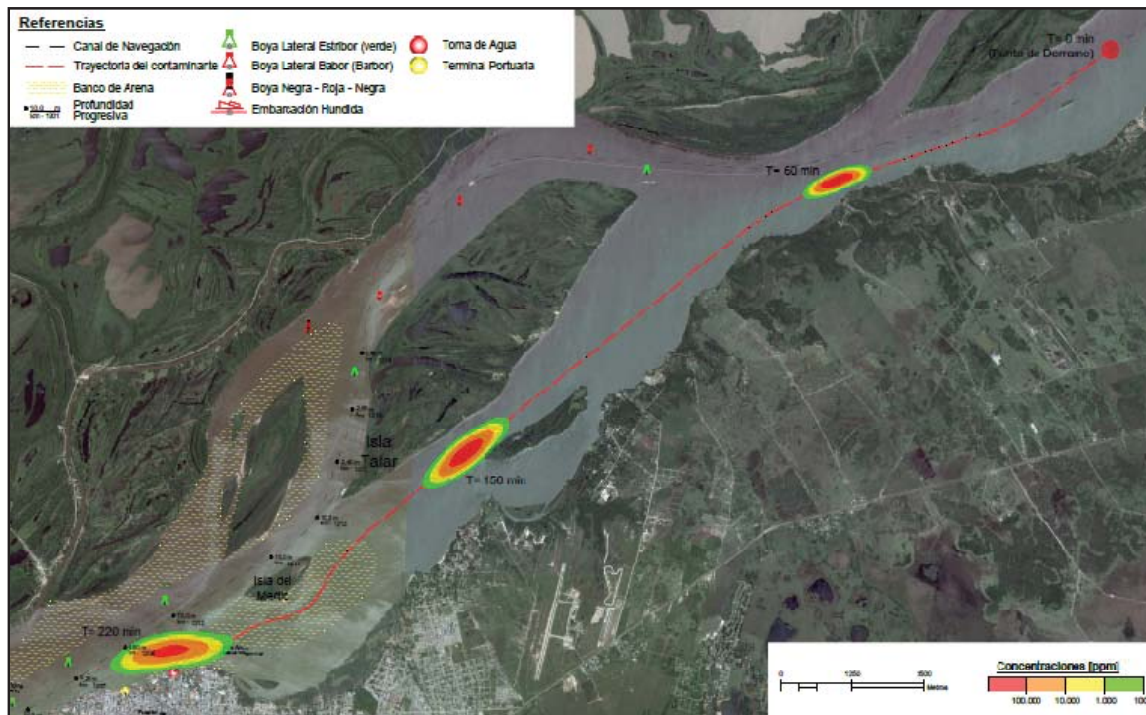


Figura 10.- Mancha de contaminación ante una Creciente de TR= 2 años y viento del norte



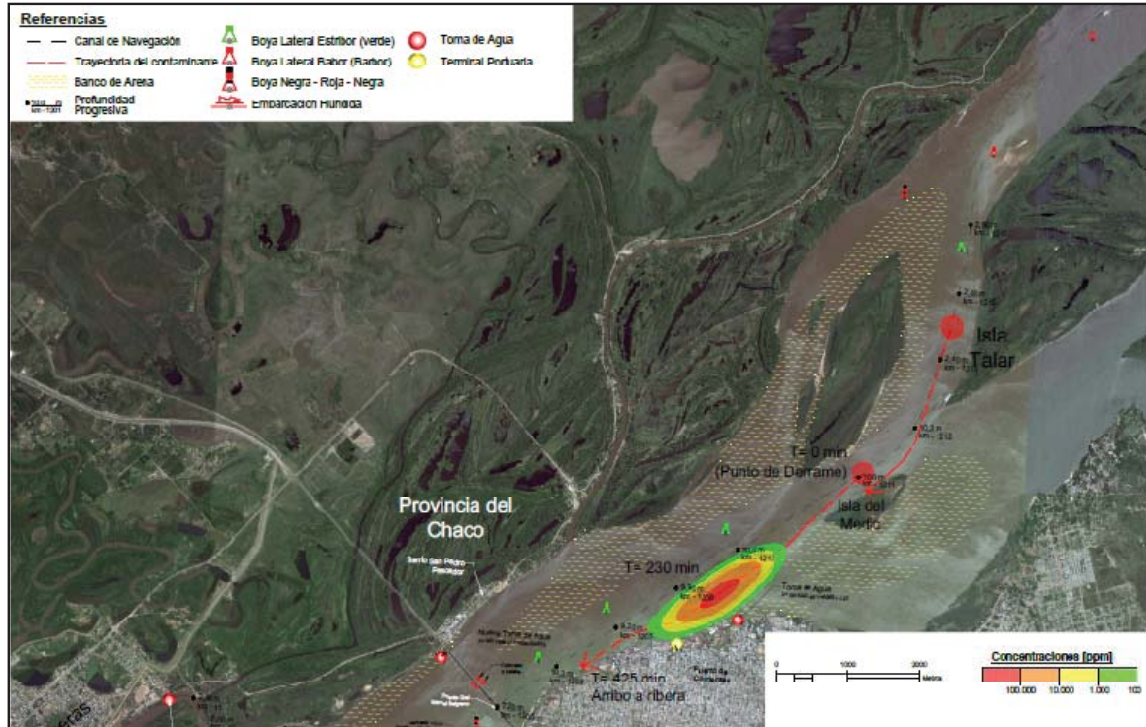


Figura 11.- Mancha de contaminación ante una Bajante de TR= 2 años y viento del norte

**CONCLUSIONES**

En este trabajo, fue posible desarrollar un modelo simple bidimensional de calidad de aguas, a fin de alcanzar resultados de concentraciones de contaminantes y sus tiempos de llegada a los puntos críticos de las áreas metropolitanas, simulando escenarios de derrame de productos tóxicos en forma puntual. Mediante ensayos de dispersión se ajustó el modelo con valores de coeficientes de dispersión transversal y lateral de 0,248 m<sup>2</sup>/s y 3,017 m<sup>2</sup>/s, respectivamente.

En el escenario planteado con un estiaje de 2 años de recurrencia, denominado "Bajante", las velocidades de flujo son bajas y existe influencia del viento. Esto provoca que la zona de derrame, de riesgo para la nueva toma de agua de Resistencia, se traslade unos 6.900 m aguas abajo, donde el canal de navegación transcurre entre la isla Antequera y la isla del Medio.

Ante la ocurrencia de una avenida de dos años de recurrencia, cuyo escenario se denominó Creciente, se comprobó que el punto crítico de derrame se encuentra a 12.960 m aguas arriba de la nueva toma de agua de Resistencia y el pico del polutograma se registraría en la misma, 145 min después de ocurrido el derrame. Para un escenario de Bajante el punto crítico de derrame se encuentra a 6.045 m y el pico del polutograma se registraría 528 min después.

Para un escenario en Creciente del río la trayectoria de la pluma de contaminación impactará en la ribera correntina solo si el eventual derrame se genera unos 600 m aguas abajo de la isla del Cerrito. Para el escenario planteado en Bajante, si bien existe influencia del viento, la trayectoria del contaminante indica que la mancha impactará en la ribera occidental de la isla del Medio. De ocurrir el derrame, aguas abajo del Km 10 del canal de navegación, el impacto en la ribera correntina se daría unos 500 m aguas abajo de la punta Mitre, sin afectar la toma

de agua, Se comprobó que el punto crítico de derrame ante el escenario de Creciente se encuentra a 19.966 m aguas arriba de la toma de agua de la ciudad de Corrientes y el pico del polutograma se registraría en la misma, 220 min después de ocurrido el derrame.

*Agradecimientos.* Centro de Ecología Aplicada (CECOAL) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Dirección Nacional de Vías Navegables (DVN). Evaluación de Recursos S.A. (EVARSA). Ezcurra & Schmidt S.A. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Instituto Nacional del Agua (INA). Prefectura Naval Argentina (PNA). Si se desean incluir agradecimientos, los mismos se presentarán en este formato. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la República Argentina (SSRH).

#### LISTA DE SÍMBOLOS

$C(x,y,t)$ : concentración media del contaminante sobre la vertical.

$D_y$ : coeficiente de difusión transversal [ $m^2/s$ ].

$D_L$ : coeficiente de difusión longitudinal [ $m^2/s$ ].

$H$ : profundidad del cauce [ $m$ ].

$u$ : velocidad de flujo [ $m/s$ ].

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Jolánkai, G.** (1992). "Hydrological chemical and biological processes of contaminant transportation and transport in river and lake systems". International Hydrological Programme. IHP - IV Project H-3.2. Paris. 192 pp.

**Ruberto, A., Mendez, G. y Martínez, A.** (2009). "Muestreador de aguas pluviales urbanas". In: XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut.

**Wilson, J., Cobb, E. y Kilpatric, F.** 1986. "Fluorometric Procedures For Dye Tracing". United States Geological Survey (USGS). Techniques of Water Resources Investigations. Chapter A12. Washington. 43 pp.