

## COMPARACIÓN DE LOS MODELOS HEC-RAS Y MIKE 11 PARA EVALUAR LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA EN EL RÍO URUGUAY INFERIOR

ZABALETT, ALEJANDRO<sup>1</sup>; CARDINI, JULIO C.<sup>2</sup> Y REGUERO, GIMENA P.<sup>3</sup>

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)  
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU) - Universidad Tecnológica Nacional,  
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260)  
1: e-mail: zabaleta@frcu.utn.edu.ar  
2: e-mail: cardinij@frcu.utn.edu.ar  
3: e-mail: gpsouto@gmail.com

**Resumen.** *La calidad de agua bacteriológica del río Uruguay depende fundamentalmente de las descargas cloacales e industriales de las localidades ribereñas de ambas márgenes. En estudios previos se ha evaluado la incidencia de las descargas de líquidos cloacales crudos de las ciudades de Concordia y Salto en la zona de Colón, ubicada 80 km aguas abajo en el Río Uruguay, a través de una modelación unidimensional de calidad de agua, empleando el Modelo MIKE11. Se evaluó además el impacto de diferentes niveles de tratamiento de los líquidos cloacales en la concentración de bacterias coliformes en las playas. Se presenta una implementación del Software HEC-RAS para el río Uruguay, el cual fue calibrado hidrodinámicamente y luego se lo empleó para verificar los resultados previamente obtenidos con el modelo MIKE 11, hallándose una adecuada correspondencia.*

**Palabras clave:** Calidad de aguas, Río Uruguay, Modelación matemática.

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del estudio consistió en evaluar la incidencia de los vertidos cloacales de las ciudades de Concordia (República Argentina) y Salto (República Oriental del Uruguay) en la calidad del agua del Río Uruguay, y su efecto sobre la ciudad de Colón (República Argentina) varios kilómetros aguas debajo de las descargas, mediante la implementación del modelo unidimensional HEC-RAS, para su comparación con los resultados de estudios previos modelados con el software MIKE 11 [1].

### 2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó un compendio de toda la información existente y pertinente al tramo del río Uruguay, entre Concordia-Salto y Nueva Palmira. Las fuentes de información son los relevamientos realizados por la CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay), la disponible en Internet y en las instituciones públicas.

Dado que en algunos casos la información no es suficiente se adoptaron metodologías adecuadas para implementar correctamente la modelación.

#### 2.1. Datos Geométricos

La información topobatimétrica disponible consiste en imágenes satelitales, relevamientos antecedentes y cartas náuticas que permitieron generar un modelo digital de la superficie del terreno referidas a un mismo nivel de referencia, en este caso el Cero MOP y georeferenciado a POSGAR faja 6.

## **2.2. Caudales río Uruguay**

Se recopiló la serie de caudales diarios erogados aguas abajo de la presa de Salto Grande, correspondiente al período 01/01/1980 – 30/06/2015, provista por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, y la serie idéntica para los caudales erogados por la Presa El Palmar, sobre el Río Negro (ROU).

Por otra parte, se obtuvo del DINAGUA (Dirección Nacional del Agua, Uruguay) la información limnimétrica en el puerto uruguayo de Nueva Palmira y Salto correspondientes al período 1980-2015, y de la DNVN (Dirección Nacional de Vías Navegables, Argentina) los niveles en los sitios argentinos de Concepción del Uruguay, Boca de Gualeguaychú y Colón.

A partir de los datos mencionados, se generó una serie caudales y niveles para la calibración del modelo hidrodinámico. Para la estudio de descargas cloacales se analizó en primer lugar una corrida realizada para el año 2004, individualizando las fechas en que, en Concepción del Uruguay se dan los niveles bajos (26/05/04 al 02/06/04) y medios (12/11/04 al 18/11/04) de nivel de agua, a los efectos de estudiar la influencia de las descargas de Concordia y Salto sobre la ciudad de Colón, como indicador del efecto sobre la zona de intenso uso balneario/turístico del río, que se desarrolla desde dicha ciudad hasta Concepción del Uruguay.

Finalmente, los datos de caudales medios para los afluentes Gualeguaychú ( $150 \text{ m}^3/\text{s}$ ) de la ribera argentina, y Negro ( $650 \text{ m}^3/\text{s}$  [2]) de la uruguayo se adquirieron a través de la información disponible en Internet. En particular, el caudal del río Gualeguaychú en su desembocadura es muy variable por efecto de la influencia de la marea meteorológica, y el valor utilizado es una aproximación basada en aforos efectuados por el Comité Científico de CARU, en el marco del Plan de Monitoreo de la Planta Orión (UPM – ex Botnia) [3].

## **2.3. Descargas cloacales**

Para efectuar la estimación de las descargas cloacales, ante la imposibilidad material de muestrear estadísticamente la calidad de los líquidos descargados, se emplearon los procedimientos que se resumen a continuación:

- Parámetros de cantidad de conexiones cloacales y dotaciones medias correspondientes.
- Condiciones típicas de variabilidad diurna y anual de las dotaciones de agua y descargas.
- Cierres aproximados de balances de masa de coliformes fecales para las fechas de medición, teniendo en cuenta los valores de base que llegan desde aguas arriba de Colón, y los valores medidos en las diferentes transectas muestreadas.

A los efectos del estudio, se establecieron caudales y descargas de coliformes medios para ambas ciudades con el objetivo de obtener una primera aproximación del fenómeno y poder comparar los resultados con los calculados mediante el MIKE 11

De acuerdo a la información recopilada la descarga cloacal de la Ciudad de Concordia la población de la ciudad, según el Censo del año 2001, es de 141.528 habitantes, asumiendo una población servida de 145.000 habitantes (dato proporcionado por los responsables del servicio para el año 2006) cuya descarga sale predominantemente por la Cloaca ubicada hacia el sur de la ciudad (San Luis/25 de Mayo). El caudal másico de dicho vertido se estima de la siguiente manera.

Se asume que un valor de 3,5 habitantes servidos por conexión sobre un total de 25.000 conexiones cloacales informadas, equivaldría a una población servida de 87.500 habitantes.

La suma de todas las parcelas de consumo lleva al valor medio total anual, generalmente designado como “consumo per cápita”, que puede estimarse a partir de la Tabla 1.

| Población                           | Servicio con Medidores | Servicio sin Medidores |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Hasta 5.000 habitantes              | 100-150 litros/cap.    | 200-300 litros/cap     |
| De 5.000 a 25.000 hab.              | 150-200 litros/cap.    | 300-400 litros/cap     |
| De 25.000 a 100.000 hab.            | 200-250 litros/cap     | 400-500 litros/cap     |
| Encima de 100.000 hab. <sup>1</sup> | 250-300 litros/cap     | 500-600 litros/cap     |

Nota: <sup>1</sup> Dentro de este rango se encuentran las ciudades de Concordia y Salto, aunque la ciudad de Salto apenas supera el límite del rango anterior, y la población servida es inferior a 100.000 hab.

**Tabla 1. Valores típicos de la Cuota per cápita de poblaciones con y sin servicio de medidores**

Si se adopta una dotación media de 500 l/hab/día (valor mínimo en el intervalo que corresponde a la ciudad de Concordia) para la población de 145.000 hab., resultarían 72.500 m<sup>3</sup>/día, lo que difiere con lo informado por el prestador del servicio (59100 m<sup>3</sup>/día). Esto representa un 82% de la dotación estimada.

Entonces, estimando una población servida con red cloacal de 87.500 habitantes, y considerando que el flujo cloacal típicamente es del 70% del uso doméstico, se obtiene un caudal cloacal medio diario  $Q = 87.500 \text{ personas} * 500 \text{ l/hab/día} * 70\% * 82\% = 29.964 \text{ m}^3/\text{día} = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$  para la ciudad de Concordia.

La descarga industrial posee una influencia menor en el caudal erogado por el sistema, y no aporta una cantidad significativa de coliformes fecales [4], por lo que no es considerada en el presente cálculo.

Según Kiely [5], la calidad bacteriológica de un líquido cloacal crudo, puede estimarse en el siguiente rango:

- Para coliformes totales: entre 100 y 1000 x 10<sup>6</sup> UFC/100 ml,
- Para coliformes fecales: entre 10 y 100 x 10<sup>6</sup> UFC/100 ml (un orden de magnitud menor).

La carga másica considerada en Concordia, en condiciones medias, es entonces de:  $0,29 \text{ m}^3/\text{s} * 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 2,9 * 10^6 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$  (coliformes fecales).

Para la ciudad de Salto, a través de un procedimiento similar, se estimó un caudal medio igual a  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Finalmente la carga másica adoptada en condiciones medias, considerando una concentración igual a la asumida para Concordia (10.000.000 UFC/100ml), es de  $0,16 \text{ m}^3/\text{s} * 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 1,6 * 10^6 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ . (coliformes fecales).

Como condición de base inicial de concentración de coliformes fecales se utilizó un valor de 50 UFC/100ml, compatible con los datos medidos.

### 2.3. Cálculo de velocidad de decaimiento para los coliformes

El modelo requiere la especificación del coeficiente de decaimiento de coliformes (K) para representar la evolución de la concentración. En la Tabla 2 se presentan valores típicos de K extraídos de bibliografía para diferentes cursos de agua en distintas estaciones climáticas.

| Curso          | Estación | K (1/hora) |
|----------------|----------|------------|
| Río Ohio       | Verano   | 0,049      |
|                | Invierno | 0,045      |
| Río Missouri   | Invierno | 0,020      |
| Río Sacramento | Verano   | 0,072      |
| Río Cumberland | Verano   | 0,023      |

**Tabla 2. Valores de la velocidad de mortalidad de bacterias (K) en diferentes cursos**

Siendo  $K = 1/T_a$  (tiempo de decaimiento) resulta (1,2):

$$T_a = T_{90} / \ln(10) = T_{90} / 2,3 \quad (1)$$

$$T_a = T_{99} / \ln(100) = T_{99} / 4,6 \quad (2)$$

Donde  $T_{90}$  y  $T_{99}$  = tiempo necesario para que la concentración se reduzca en un 90% y 99% por mortandad, respectivamente.

Por ejemplo, para el valor de  $K = 0,020$  1/hora =  $5,6 \times 10^{-6}$  1/seg, corresponde un  $T_a = 50$  horas y por lo tanto un  $T_{90} = 115$  horas = 4,8 días, y  $T_{99} = 230$  horas = 9,6 días. Si se adopta un valor de  $T_{99} = 7$  días, para condiciones de invierno, el valor de  $T_a$  equivalente es 1,52 días = 36,5 horas, resulta  $K = 0,0274$  1/hora =  $0,658$  1/día =  $7,6 \times 10^{-6}$  1/seg.

Para la condición de verano, se estima el coeficiente aplicando la siguiente relación:

$$K (T=20^\circ) = K(T) / 1,07^{(T-20)} \quad (3)$$

Donde  $K$  = decaimiento de bacterias coliformes (1/seg)

$T$  = la temperatura del agua en °C

= 1,07

El valor resultante de  $K (T=30^\circ) = 0,076$  1/hora resulta por ejemplo similar al medido en el río Sacramento en verano (0,072 1/hora). Corresponde a  $T_a = 13.2$  horas, y  $T_{90} = 30.5$  horas. Por otro lado, según los análisis de sensibilidad realizados, la influencia del coeficiente de decaimiento en el área de estudio es muy baja, dado que el tiempo de tránsito del agua es generalmente más bajo que las horas del tiempo de decaimiento  $T_a$  antes definido.

Los valores adoptados para las simulaciones son de  $K = 0,03$  1/hora = 0,72 1/día para la condición de invierno, y de  $K = 0,076$  1/hora = 1,83 1/día para la de verano.

### 3. SOFTWARE UTILIZADO

El programa Hydrological Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) es un software desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers (USACE), diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales en redes de canales naturales o artificiales. La primera versión del HEC-RAS se desarrolló en Julio de 1995, desde entonces se realizaron varias versiones principales hasta que en la 4.0 (marzo de 2007) se incorporó por primera vez el módulo de calidad de agua. Razón por la cual se decidió aplicar dicho modelo en el estudio.

#### 3.1. Descripción del modelo HEC-RAS

El procedimiento numérico del modelo tiene como objetivo la resolución de la ecuación de Bernoulli para el flujo permanente gradualmente variado y de las ecuaciones de Saint Venant para flujo impermanente. En el presente estudio, se lo empleó en forma impermanente..

El módulo de calidad de agua permite modelar constituyentes arbitrarios, conservativos o no conservativos de primer orden, según la ecuación (4).

$$A_c = K * C \quad (4)$$

Donde,  $A_c$  = concentración arbitraria (en este caso, UFC/100ml)  
 $K$  = constante de decaimiento (valor negativo) o crecimiento (1/día)  
 $C$  = concentración del constituyente (UFC/100ml)

#### 3.2. Implementación

En el presente estudio, se aplicó el modelo a toda la extensión de río Uruguay desde aguas abajo de la represa de Salto Grande hasta Nueva Palmira, abarcando un total de 340 Km aproximadamente. Él mismo se encuentra representado mediante 113 secciones transversales con distancias entre ellas de entre 2500 y 6500 m aproximadamente.

Para representar correctamente la capacidad de transporte del río aguas debajo de Fray Bentos, se realizaron 2 conexiones entre el río principal y los afluentes Gualeguaychú y Negro, representados con secciones transversales cada 10 km. Ver Figura 1.

Para representar los cauces y las planicies de inundación, se utilizó la información topobatimétrica antes descripta.

Para determinar las condiciones hidrodinámicas a modelar, se analizó la información de niveles de agua en Concepción del Uruguay, individualizando las fechas en que se dan los niveles bajos y medios de las aguas, a los efectos de estudiar la influencia de las descargas de Concordia y Salto sobre la ciudad de Colón. Se eligió el período de invierno que va desde 26/05/04 al 2/06/04 coincidente con un mínimo en Concepción del Uruguay y el de verano, entre 12/11/2004 y 18/11/2004 correspondiente a un nivel medio.



Figura 1. Red hídrica implementada para el estudio del río Uruguay

En el apartado de calibración, se presenta el ajuste del modelo con los datos medidos para ambos ciclos.

### 3.3. Calibración hidrodinámica

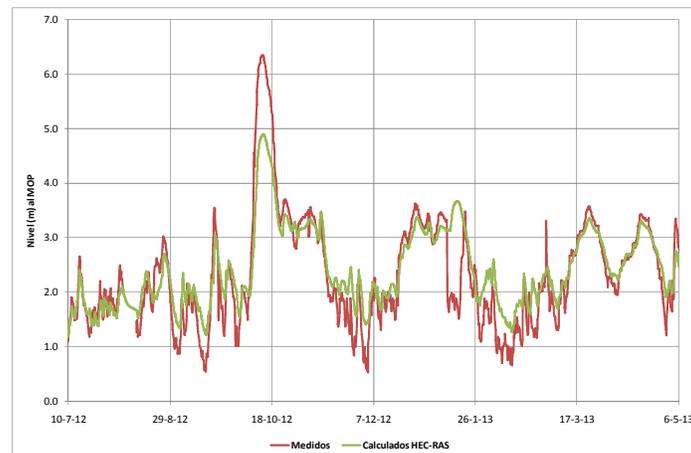
Para la calibración hidrodinámica, se forzó al modelo a partir de una serie de caudales horarios determinados mediante una ley Altura - Caudal a la altura de la ciudad de Concordia (descarga de la represa Salto Grande), entre el 01/07/12 y el 30/06/13.

Para la condición de borde aguas abajo, se utilizaron niveles horarios medidos en la localidad de Nueva Palmira.

Una vez definidas las condiciones de borde, para su calibración se compararon los niveles medidos y calculados en las estaciones de Concepción del Uruguay, Colón y boca del Gualeguaychú, variando el coeficiente de Manning. El valor del coeficiente de rugosidad calibrado, adoptado para todo el cauce del Uruguay es variable entre 0,022 y 0,035 y entre 0,05 y 0,15 en la planicie, mientras que para el Gualeguaychú fue de 0,035 en el cauce y de 0,08 en la planicie y para el Negro de 0,030 en el cauce y de 0,05 en planicie.

De la Figura 2 a la Figura 4, se presentan los niveles medidos y calculados de las estaciones de Concepción del Uruguay, Colón y boca del Gualeguaychú (datos horarios). Se puede apreciar que el modelo representa adecuadamente las principales fluctuaciones del nivel del río, con excepción de situaciones de crecidas excepcionales como la ocurrida en octubre de 2012. Esto indica que el mismo debe ser aún calibrado para condiciones de desborde fluvial generalizado, tarea que será objeto de un próximo paso de la investigación, pero que no tiene influencia práctica en la representatividad del mismo en condiciones hidrológicas normales, que son las que se analizan en relación con la calidad del agua. Por otro lado, se puede apreciar que existen oscilaciones de alta frecuencia cuya amplitud el modelo no alcanza a representar en detalle. Este efecto se ha identificado previamente durante las modelizaciones hidrodinámicas efectuadas por el GEGRU con el modelo MIKE 11 desde el año 1999, y se debe a la influencia del viento sobre la superficie acuática, mejorándose la representación cuando se incluye este parámetro.

En la Figura 5 se presenta el ajuste del modelo para los intervalos de tiempo que se modelaron en la etapa de explotación, y que coinciden con un nivel mínimo (1 m) y medio (3 m) de agua en la ciudad de Concepción del Uruguay.



**Figura 2. Niveles medidos y calculados en la estación hidrométrica de Concepción Del Uruguay**

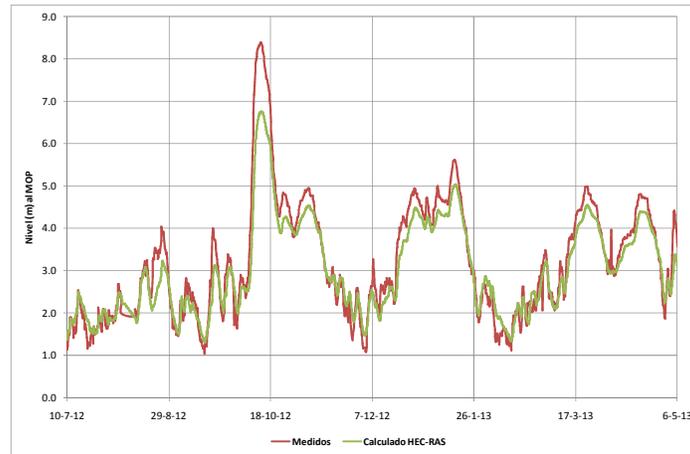


Figura 3. Niveles medidos y calculados en la estación hidrométrica de Colón

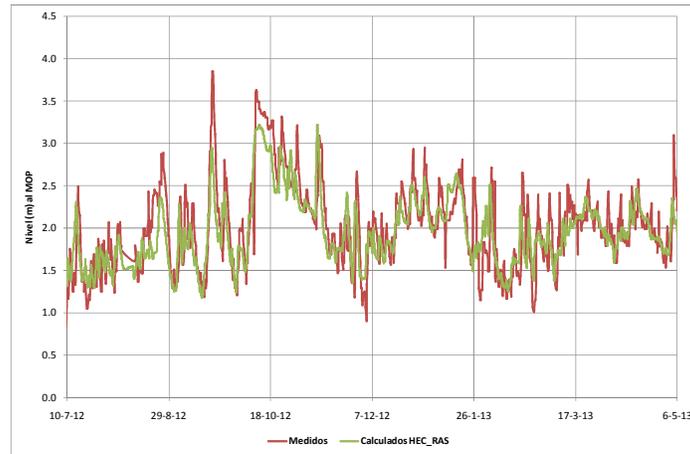


Figura 4. Niveles medidos y calculados en la estación ubicada en la boca del Gualeguaychú

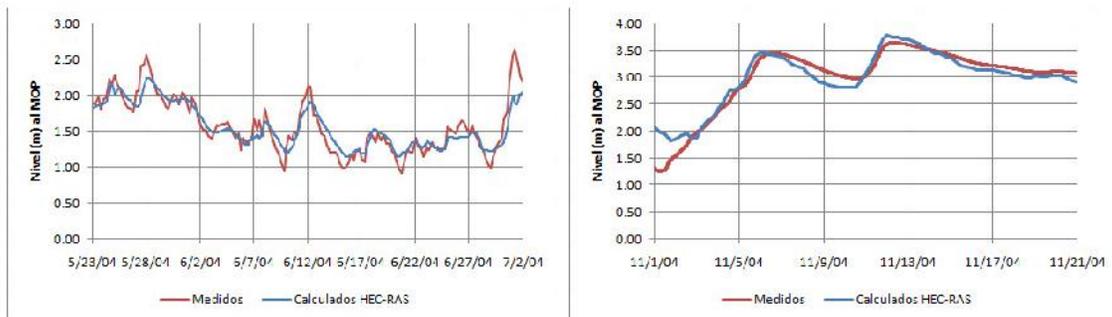


Figura 5. Niveles medidos y calculados en Concepción del Uruguay, para los períodos de explotación

### 3.4. Explotación

Como se describió en el apartado 2, se establecieron caudales de descarga cloacales medios para las ciudades de Salto ( $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y Concordia ( $0,29 \text{ m}^3/\text{s}$ ), concentraciones de coliformes que si bien son estimativas y preliminares, permiten representar adecuadamente el orden de magnitud del fenómeno.

Se realizaron diversas simulaciones con distintas condiciones hidrodinámicas a los efectos de analizar la influencia de las descargas sobre la ciudad de Colón, como indicador del efecto sobre la zona de intenso uso balneario/turístico del río, que se desarrolla desde dicha ciudad hasta Concepción del Uruguay. Se estudió la variación espacial y temporal de la contaminación analizando diferentes condiciones de base iniciales de contaminantes y coeficientes de decaimiento según la época del año en consideración.

En la Tabla 3 se presentan los escenarios simulados, distinguiendo además de los dos períodos de aguas medias y bajas en concepción del Uruguay, dos condiciones de base inicial para la concentración de coliformes.

| Nivel de agua en Conc. del Uruguay       | Aguas bajas             |       | Aguas medias            |       |
|------------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| Período simulado                         | 26/05/2004 - 02/06/2004 |       | 12/11/2004 - 18/11/2004 |       |
| Conc. de base inicial (millón UFC/100ml) | 0,00005                 | NO    | 0,00005                 | NO    |
| Velocidad de decaimiento (1/hora)        | 0,030                   | 0,030 | 0,076                   | 0,076 |

**Tabla 3. Parámetros de las descarga utilizadas en la modelación de explotación**

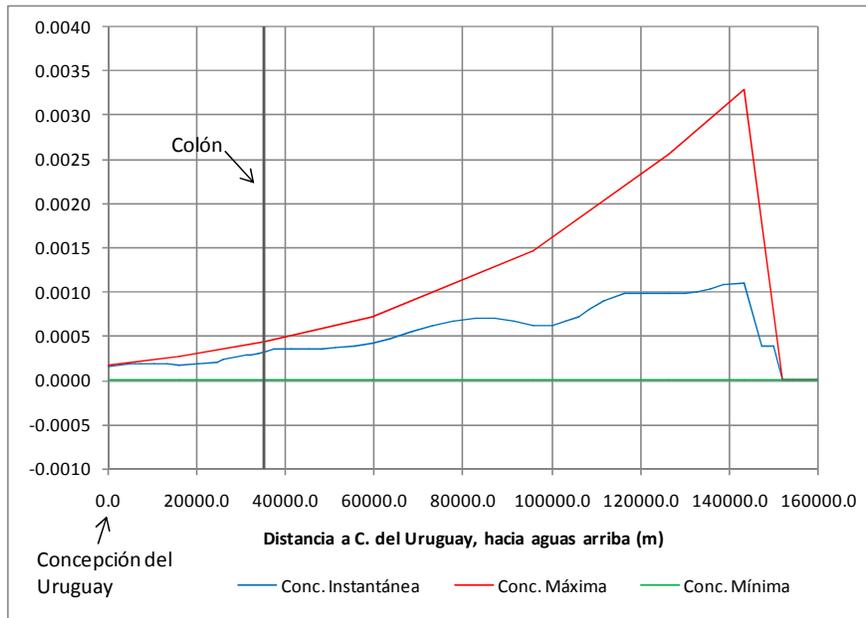
Se realizo un estudio de sensibilidad para los coeficientes de dispersión del modelo, obteniendo que los resultados del HEC-RAS que mejor se aproximan a los del MIKE 11 se obtienen al utilizar un valor de  $15 \text{ m}^2/\text{s}$ , el cual se encuentra dentro del intervalo que según la literatura se encuentra entre 5 y  $20 \text{ m}^2/\text{s}$  para ríos.

### 3.5. Evolución espacial de concentración de bacterias coliformes entre Concordia y Colón

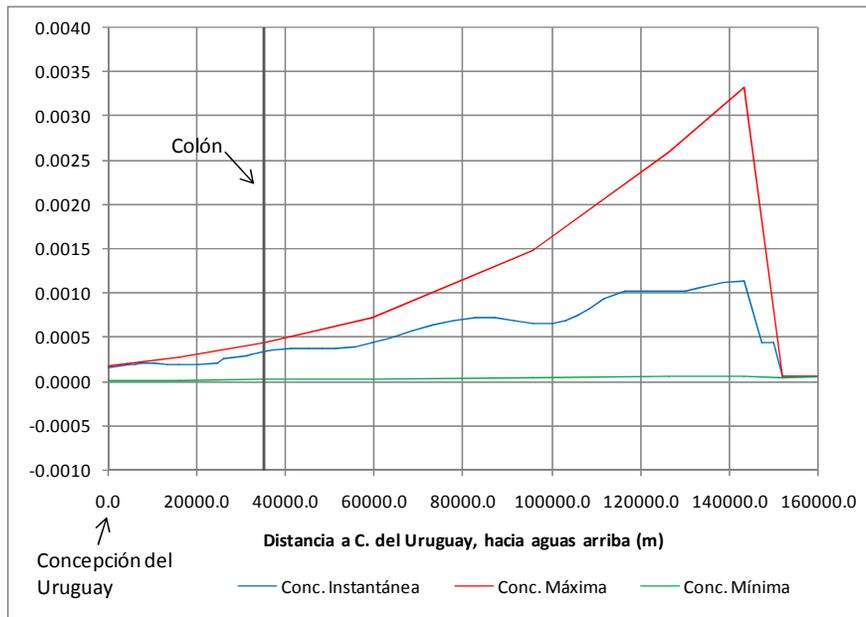
En la Figura 6 y la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos a lo largo del río Uruguay entre la represa de Salto-Grande y la ciudad de Concepción del Uruguay, para aguas bajas en invierno y con distintas concentraciones de base inicial para los coliformes fecales.

En la Figura 8 y la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos a lo largo del río Uruguay, para aguas medias en verano y con distintas concentraciones de base inicial para los coliformes fecales.

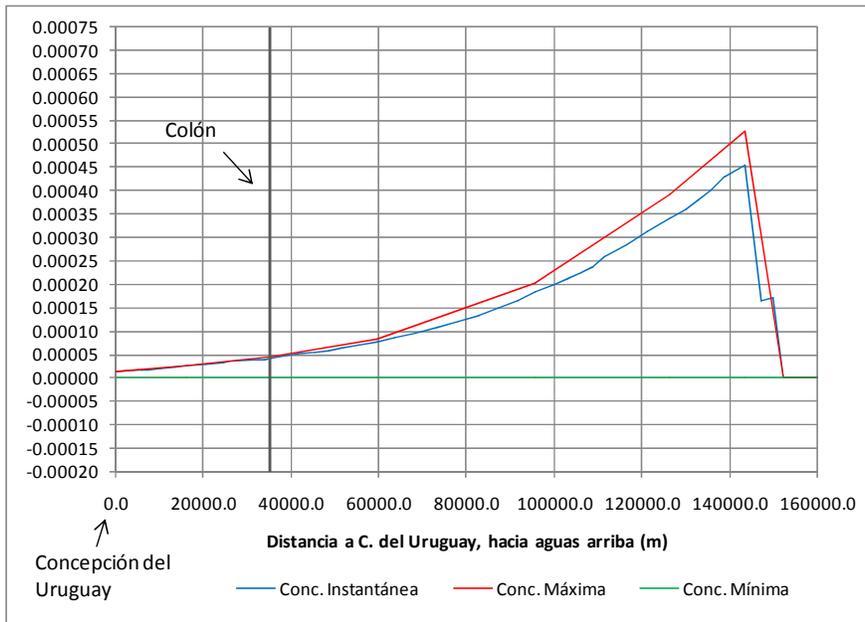
Se puede apreciar que si bien las concentraciones en el río por dilución son del orden de los miles de UFC/100ml, empleando condiciones realistas de decaimiento bacteriano, a la altura de Colón las mismas descienden a valores del orden de 300 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución) hasta 45 UFC/100ml en condiciones de aguas medias (mayor decaimiento y dilución).



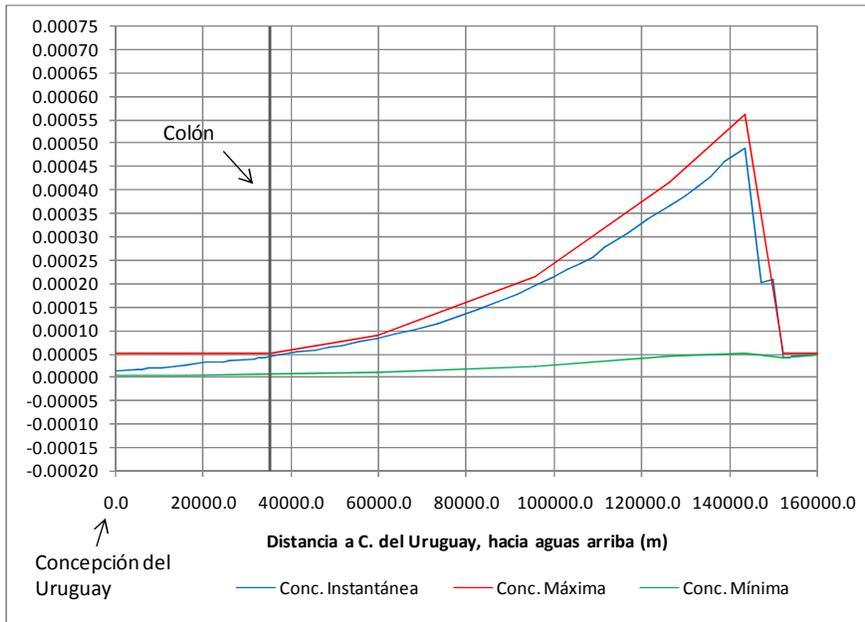
**Figura 6. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, SIN concentración de base inicial y con un coeficiente invernal de decaimiento. Aguas bajas**



**Figura 7. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, CON concentración de base inicial y con un coeficiente invernal de decaimiento. Aguas bajas**



**Figura 8. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, SIN concentración de base inicial y con un coeficiente estival de decaimiento. Aguas medias**



**Figura 9. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, CON concentración de base inicial y con un coeficiente estival de decaimiento. Aguas medias**

Estos resultados implican que gran parte de la contaminación bacteriológica que el río tiene a la altura de Colón, está causada por las descargas de las ciudades de Concordia y Salto que se vuelcan aguas arriba a más de 80 km de distancia, las cuales en condiciones de aguas medias aportan unas 45 UFC/100ml acercándose a los valores de base del río, al límite de balneabilidad (200 UFC/100ml).

En condiciones de aguas bajas, debido a la menor dilución, las concentraciones que arriban a la zona de Colón pueden llegar a exceder el límite de balneabilidad fijado por la CARU.

No hay diferencias significativas en los escenarios con y sin concentración de base inicial.

### 3.6. Evolución temporal de coliformes en Colón

A continuación se presentan las variaciones de coliformes fecales, en la cercanía de la ciudad de Colón para niveles de agua bajo y medio, considerando el decaimiento estacional correspondiente. Se observa que la concentración con decaimiento invernal oscila en Colón entre 250 y 450 UFC/100ml y alrededor de los 45 UFC/100ml para aguas medias y decaimiento estival.

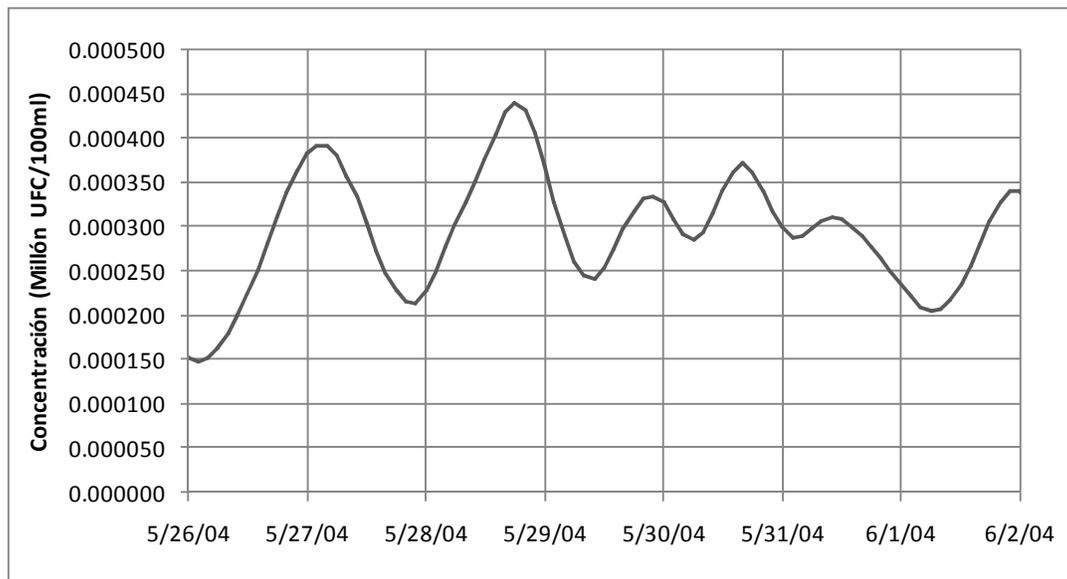


Figura 10. Variación de los coliformes fecales a la altura de la ciudad de Colón, para un nivel de aguas bajas y decaimiento invernal.

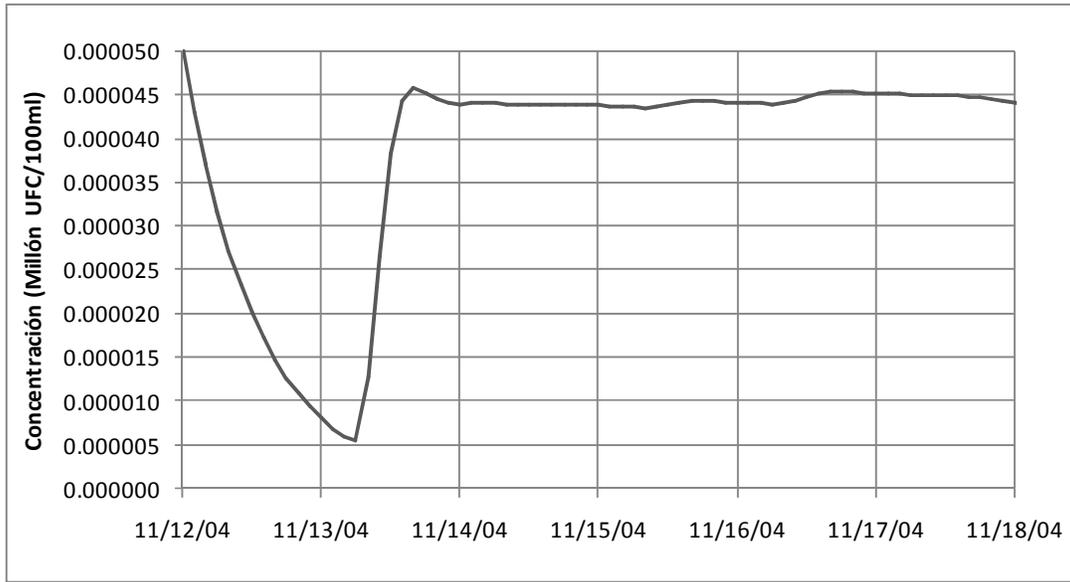


Figura 11. Variación de los coliformes fecales a la altura de la ciudad de Colón, para un nivel de aguas medias y decaimiento estival.

### 3.7. Comparación de resultados de los modelos HEC-RAS y MIKE 11

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos mediante el MIKE 11 para su comparación con la modelación del HEC-RAS.

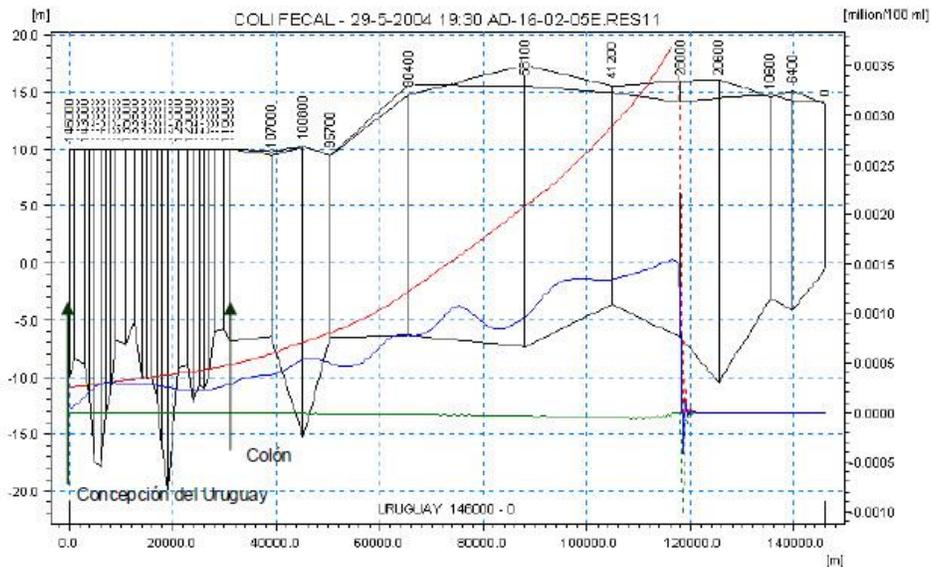


Figura 12. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, SIN concentración de base inicial y con un coeficiente invernal de decaimiento. Aguas bajas

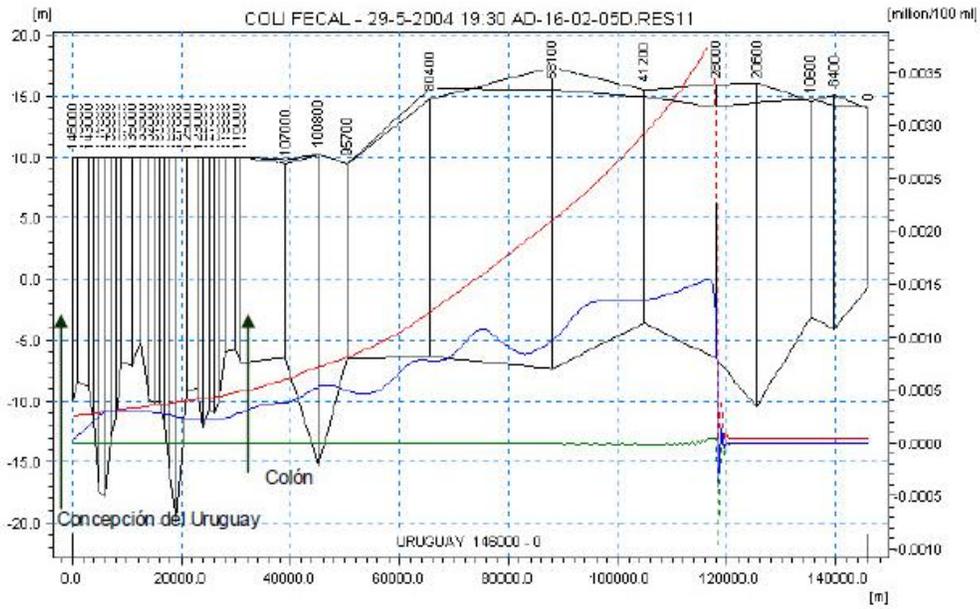


Figura 13. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, CON concentración de base inicial y con un coeficiente invernal de decaimiento. Aguas bajas

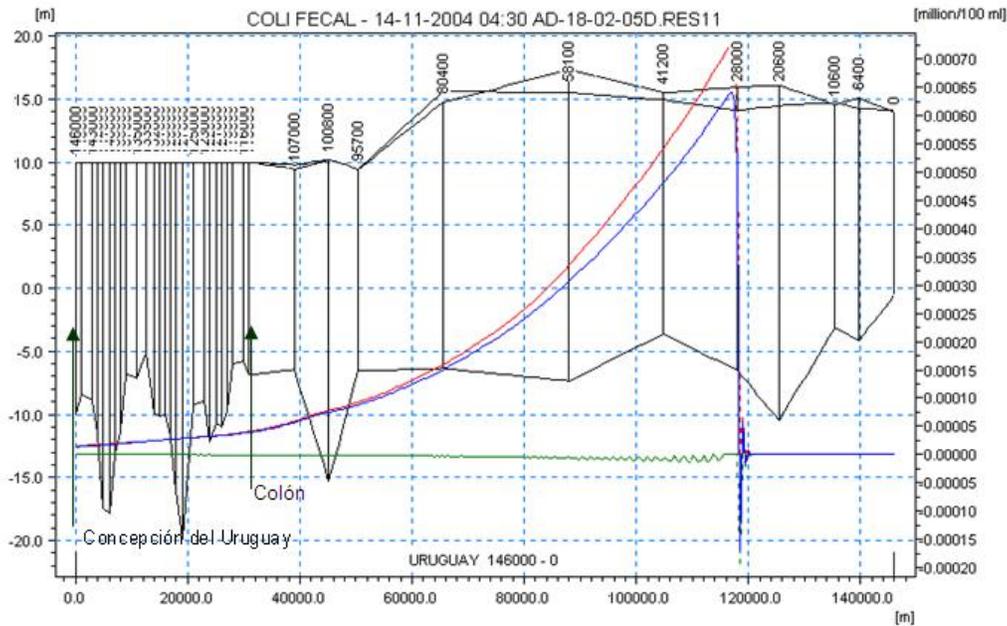


Figura 14. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, SIN concentración de base inicial y con un coeficiente estival de decaimiento. Aguas medias

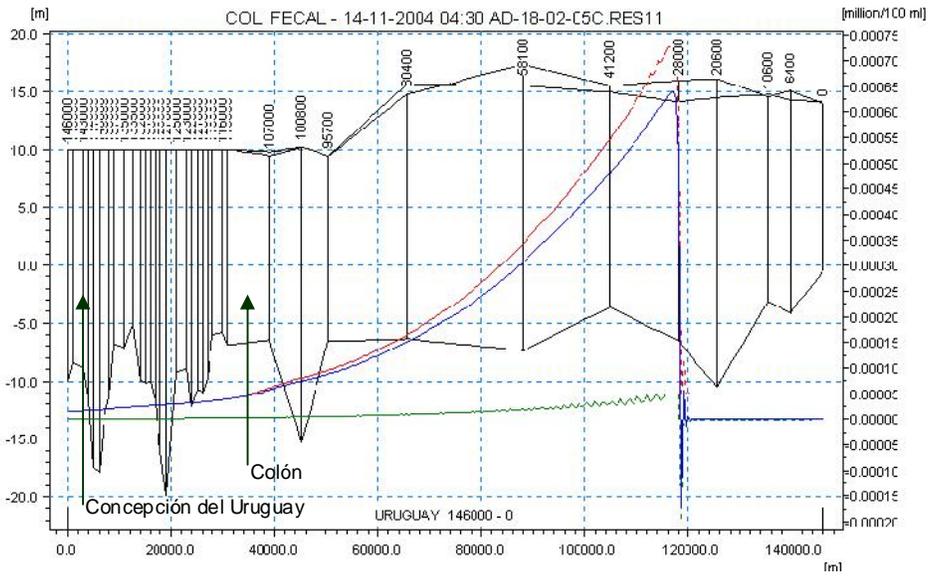


Figura 15. Concentración modelada de Coliformes fecales (millón UFC/100ml) a lo largo del río Uruguay, CON concentración de base inicial y con un coeficiente estival de decaimiento. Aguas medias

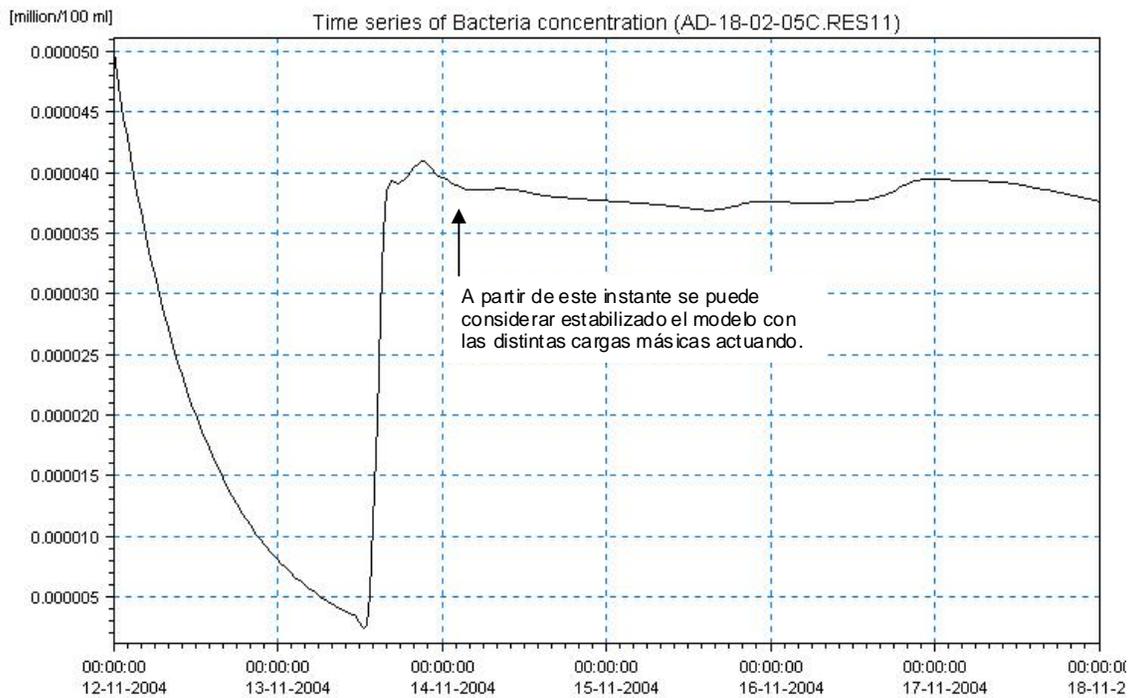


Figura 16. Variación de los coliformes fecales a la altura de la ciudad de Colón, para un nivel de aguas medias y decaimiento estival.

#### 4. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

A partir de la información recopilada se calibró el modelo HEC-RAS permitiendo obtener resultados continuos de concentración de coliformes fecales, asociando los módulos hidrodinámico y de calidad de agua, a lo largo del tramo del río Uruguay estudiado.

La concentración total de contaminantes resultante por la influencia directa de las descargas cloacales de las ciudades de Concordia y Salto sobre la ciudad de Colón es del orden de 300 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución), y de hasta 45 UFC/100ml en condiciones de aguas medias en verano (mayor decaimiento y dilución), difiriendo sólo el 10 UFC/100ml para éste último escenario con los resultados del MIKE 11.

Mediante la modelación se concluye, al igual que para el estudio previo con MIKE 11, que la descarga cloacal afecta a la ciudad de Colón, incrementando los niveles de base en el curso fluvial, alcanzando valores próximos al nivel Guía para uso recreativo con contacto directo.

Por lo tanto, la implementación del HEC-RAS verificó los resultados previamente obtenidos con el modelo MIKE 11, hallándose una adecuada correspondencia.

#### REFERENCIAS

- [1] Zabalett, Alejandro, Tesis presentada para el grado de Magíster en Ingeniería Ambiental “*Impacto del tratamiento de aguas residuales sobre la calidad bacteriológica de las aguas del río Uruguay en el tramo Concordia-Concepción del Uruguay*”. Concepción del Uruguay, Octubre de 2012.
- [2] <http://www.montevideo.com.uy/enciclopedia/riosn.htm>
- [3] Informes correspondientes al monitoreo del Comité Científico en la planta Orión (UPM-Ex Botnia) y el río Gualaguaychú en su desembocadura en el río Uruguay. <http://www.caru.org.uy>
- [4] Henry, Glynn, y Heinke, Gary, *Ingeniería Ambiental*, Prentice Hall, pp 231, 430, (1999).
- [5] Kiely, Gerard, *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, Interamericana de España, pp. 678, (1999).
- [6] VII Censo General de Población, III de Hogares y V de Viviendas. Instituto Nacional de Estadística de la República Oriental del Uruguay, Zona Urbana Depto. de Salto (1996).