

INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO URUGUAY DE LAS DESCARGAS CLOACALES DE LAS CIUDADES DE CONCORDIA Y SALTO

Alejandro Zabalett¹, Julio Cardini¹, Daniel Mársico¹ y Néstor Oliver¹

1: Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803
e-mail: {zabaleta,cardinij,marsicod,olivern}@frcu.utn.edu.ar,
web: <http://www.frcu.utn.edu.ar/investigacion/gecru/web/index.htm>

Resumen. *Pretendiendo evaluar 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, se ha efectuado una modelación unidimensional de calidad de agua, empleando el Modelo MIKE11. Se estimaron las descargas máxicas diarias de Concordia y Salto y se modeló el impacto sobre la concentración de bacterias colifecales bajo diferentes hipótesis de caudal y temperatura. En aguas bajas, las concentraciones que arriban a la zona de Colón pueden llegar a exceder el nivel Guía promedio de balneabilidad establecido por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) que es de 200 UFC/100ml. Si se trataran los líquidos cloacales de la ciudad de Concordia, se reduciría a un 36 % la descarga, con lo que la influencia sobre la ciudad de Colón se verá reducida en la misma magnitud, alcanzando unos 107 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno. Si dentro de 30 años, se produjera únicamente el tratamiento de los líquidos de Concordia, se incrementaría en un 42% la concentración de colifecales en Colón respecto a la condición actual, ascendiendo a unos 180 UFC/100ml, valor cercano al nivel Guía promedio.*

Palabras Clave: Contaminación Cloacal, Río Uruguay, Modelación Matemática Unidimensional, Concordia, Colón.

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.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada para la investigación parte de la selección de un indicador de calidad de agua representativo del fenómeno que se desea estudiar (habiéndose elegido la concentración de bacterias coliformes fecales), la realización de muestreos de agua y análisis para determinar la distribución de dicha concentración en el río, la implementación y calibración de un modelo hidrodinámico para obtener el campo de velocidades del flujo en un sector fluvial representativo del área de estudio, y la posterior simulación del transporte de los contaminantes vertidos por las descargas cloacales de las ciudades del sector estudiado.

La obtención de un razonable ajuste de las concentraciones medidas en relación con los resultados del modelo, permite confirmar que el fenómeno de dispersión de contaminantes está correctamente analizado, simular otras condiciones hídricas no medidas, y obtener conclusiones válidas.

2.1 Modelación unidimensional

A través del modelo Unidimensional Hidrodinámico MIKE 11, previamente calibrado, se realizó una simulación de los niveles y caudales en el Río Uruguay desde Concordia (cercana a la Presa de Salto Grande) hasta Nueva Palmira. Este modelo requiere para su operación de la especificación de los niveles aguas abajo (en Nueva Palmira) y los caudales erogados por la represa Salto Grande aguas arriba, los cuales se determinan en función de los niveles del río en Concordia, aplicando una ley altura/caudal, verificada con datos de caudal de la represa.

Con los datos de niveles y caudales registrados durante para distintos puertos del río, se realizaron comparaciones entre los resultados de las corridas de modelo y los datos medidos, a partir de lo cual fue posible la calibración. Para el tramo considerado, se tomaron coeficientes de rugosidad ó Manning, variables longitudinalmente entre 0,021 a 0,040 concordantes con simulaciones realizadas para el período 2002-2003.

2.2 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 de 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, los caudales máximos, medios y mínimos diarios representan condiciones extremas y medias de carga contaminante descargada en el río, que combinadas con las condiciones de caudal fluvial que se produzcan, generarán un impacto variable sobre las concentraciones de contaminantes que se registren aguas abajo de las descargas.

En consecuencia, puede estimarse que los máximos impactos en términos de concentraciones de bacterias coliformes en el río se producirán en coincidencia con bajos caudales fluviales (que suelen producirse en verano), junto con máximos consumos de agua y por lo tanto máximas descargas medias diarias (que también ocurren en verano). Por lo tanto, se advierte que este proceso es muy dinámico y variable en el tiempo, siendo imposible caracterizarlo fehacientemente en forma “estática” empleando unas pocas mediciones “representativas”.

De acuerdo a la información recopilada la descarga cloacal de la Ciudad de Concordia se realiza principalmente a través de los colectores de calles San Luis y 25 de Mayo ubicados en la posición que se presenta en la Figura N° 1.

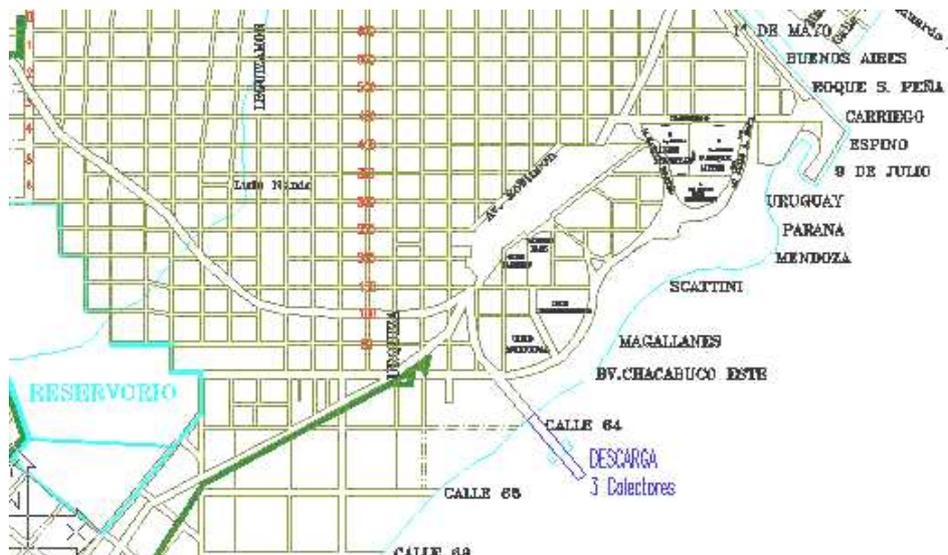


Figura N° 1. Ubicación de la descarga cloacal de la ciudad de Concordia

La población de la ciudad de Concordia según Censo del año 2001 es de 141.528 hab., asumiendo una población servida de 145.000 hab. (dato proporcionado por los responsables del servicio) cuya descarga sale predominantemente por la Cloaca San Luis/25 de Mayo, se estima el caudal másico 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 llevan al valor medio total anual, generalmente designado como “consumo per cápita”, que puede estimarse de la Tabla N° 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. ¹	250-300 litros/cap	500-600 litros/cap

Nota: ¹ 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 N° 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 m³/día, lo que difiere con lo informado por el prestador del servicio (59100 m³/día). Esto representa un 82% de la dotación estimada.

Si tomáramos 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 $Q = 87.500 \text{ personas} * 500 \text{ l/hab/día} * 70\% * 82\% = 29.964 \text{ m}^3/\text{día} = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$

La descarga industrial posee una influencia menor en el caudal erogado por el sistema, y no aporta una cantidad significativa de coliformes fecales [1], por lo que no es considerada en el presente cálculo.

En cuanto a la variabilidad diaria del flujo cloacal urbano (no industrial), se puede adoptar un factor del orden de 1,5. Si estos factores se aplican al flujo urbano, implica que en el día pico, el caudal máximo promedio diario podría alcanzar un valor del orden de 0,43 m³/s.

El valor de caudal mínimo puede obtenerse aproximadamente con el cálculo del producto del caudal cloacal medio diario (0,29 m³/s) por la variabilidad diaria mínima (0,7) lo que da un valor de 0,20 m³/s. A su vez, el caudal máximo horario puede calcularse con un factor adicional del orden de 1,5, a través del producto del caudal total medio diario (0,43 m³/s) por dicho factor (1,5) lo que da un valor de 0,65 m³/s.

Según Kiely [2], la calidad bacteriológica de un líquido cloacal crudo, puede estimarse en el siguiente rango:

- Para coliformes totales: entre 100 y 1000 x 10⁶ UFC/100 ml,
- Para coliformes fecales: entre 10 y 100 x 10⁶ UFC/100 ml (un orden de magnitud menor).

La carga másica máxima considerada en Concordia, en condiciones de caudal, es:

$$0,6 \text{ m}^3/\text{s} \times 10^8 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 6 \times 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} \text{ (coliformes fecales)}$$

Para la ciudad de Salto, la descarga cloacal se ubica aproximadamente en las coordenadas E 6407200, N 6528000 (Figura N° 2).

Los datos censales disponibles en la Tabla N° 2 muestran el crecimiento del Departamento y ciudad de Salto [3]. La tasa de crecimiento intercensal de la década precedente es del 15,6%, similar a la de Concordia, por lo que se estima para la actualidad una población de 108.000 habitantes, con una cobertura cloacal inferior a los 100.000 habitantes.

Considerando una media de 3,5 personas por vivienda (104.031 habitantes/ 29.235 viviendas) (INE-ROU, 1996), las viviendas conectadas corresponden a $16.000 * 3,5 = 56.000$ personas, y teniendo en cuenta una dotación de 400 lt/hab/día, resulta un caudal medio de $Q = 56.000$

personas * 400 l/hab/día * 70% = 15.680 m³/día = 0,18 m³/s.

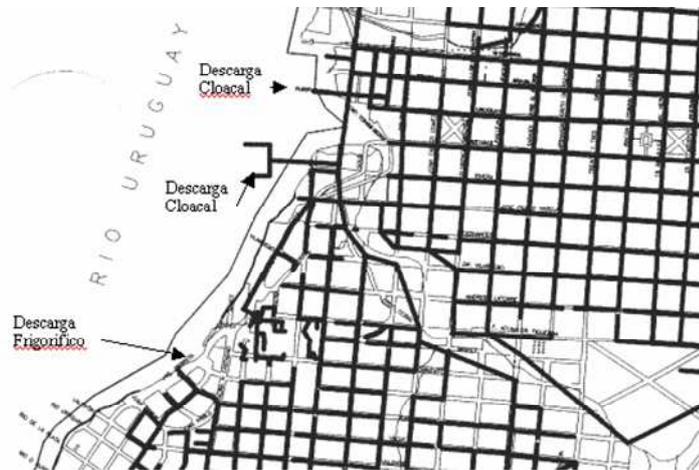


Figura N° 2. Descarga cloacal de la ciudad de Salto

Departamento Salto (Superficie: 14.163 Km ²)	Ciudad Salto
(1963) 92.216 habitantes	(1963) 57.714 habitantes
(1985) 108.487 habitantes	(1985) 80.823 habitantes
(1996) 118.013 habitantes	(1996) 93.417 habitantes

Tabla N° 2. Datos demográficos de los últimos censos del departamento y ciudad de Salto

Para Salto se informa al 2003 la existencia de 11.746 conexiones, correspondientes a una cobertura del 51% de una población de 82.779 habitantes (coincidentalmente, 3,5 habitantes/conexión). Considerando vertido directo, la concentración de bacterias coliformes en la descarga cruda debería ser similar a la adoptada para Concordia. Sin embargo, como se verá en lo sucesivo, esa hipótesis contradice los resultados de las mediciones de concentración de coliformes fecales en el río efectuadas en el año 2005, para las cuales se encontraron órdenes de magnitud muy superiores en la costa argentina que en la uruguaya.

Se debió suponer entonces, que al menos durante el período de tiempo en el que se realizaron las mediciones en el río, la concentración de coliformes en la descarga se encontraba reducida (hipótesis que se consideró que debía ser confirmada o refutada en estudios posteriores con mayor cantidad de información de campo).

El muestreo realizado en el año 2005, arrojó la existencia de niveles altos de contaminación también en cercanías de la costa uruguaya, con lo cual no fue necesario adoptar una hipótesis de reducción de la carga contaminante en este caso. Considerando entonces un caudal del orden de 0,2 m³/s y una descarga cloacal con una concentración igual a la asumida para Concordia (100.000.000 UFC/100ml), la carga máxima adoptada es de 0,2 m³/s x 10⁸ UFC/100 ml = 2 10⁷ UFC /100 ml. (coliformes fecales).

3. EVOLUCION ESPACIAL DE COLIFORMES ENTRE CONCORDIA Y COLON

3.1 Cargas másicas consideradas

Ciudad de Concordia

La carga másica considerada, en condiciones medias, para el Escenario Actual, es:

$$0,287 \text{ m}^3/\text{s} \times 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 2,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{UFC}/100 \text{ ml}$$

Para el Escenario a 30 años, si no se efectuara una planta de tratamiento, considerando una proyección demográfica con una tasa de crecimiento del 14.5 %, resultaría una descarga másica de $4,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{UFC}/100 \text{ ml}$

Ciudad de Salto

La carga másica considerada, en condiciones medias, para el Escenario Actual, es:

$$0,159 \text{ m}^3/\text{s} \times 10^7 \text{ UFC}/100 \text{ ml} = 1,59 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{UFC}/100 \text{ ml}$$

De igual manera a lo realizado para la ciudad de Concordia, para Salto un escenario a 30 años, de no efectuarse una planta de tratamiento, una tasa de crecimiento del 8 %, resultaría una descarga másica de $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{UFC}/100 \text{ ml}$.

3.2 Condiciones hidráulicas fluviales

Se analizó primeramente una corrida para el año 2004, individualizando las fechas en que, en Concepción del Uruguay se dan los niveles bajos, medios y altos de las aguas, 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. Se estudió la variación espacial y temporal de la contaminación analizando diferentes condiciones iniciales de contaminantes y coeficientes de decaimiento según la época del año en consideración. A continuación se desarrolla parte del estudio de la evolución de contaminantes realizado para Aguas Bajas.

3.3 Análisis para niveles de Aguas Bajas (1 metro en Concepción del Uruguay)

Sobre todo el período simulado de la corrida hidrodinámica, se eligió el período de invierno que va desde 26/05/04 al 2/06/04. Las descargas consideradas en Concordia y Salto, si bien son estimativas, permiten representar adecuadamente el orden de magnitud del fenómeno.

Primera Estimación: sin concentración de base inicial y sin decaimiento

La concentración para esta primera estimación, oscila entre 1.500 y 3.500 UFC/100ml.

Segunda Estimación: con concentración de base inicial y con decaimiento invernal (Colis 0.000050 millones UFC/100 ml iniciales, Decaimiento 0.03 1/hora)

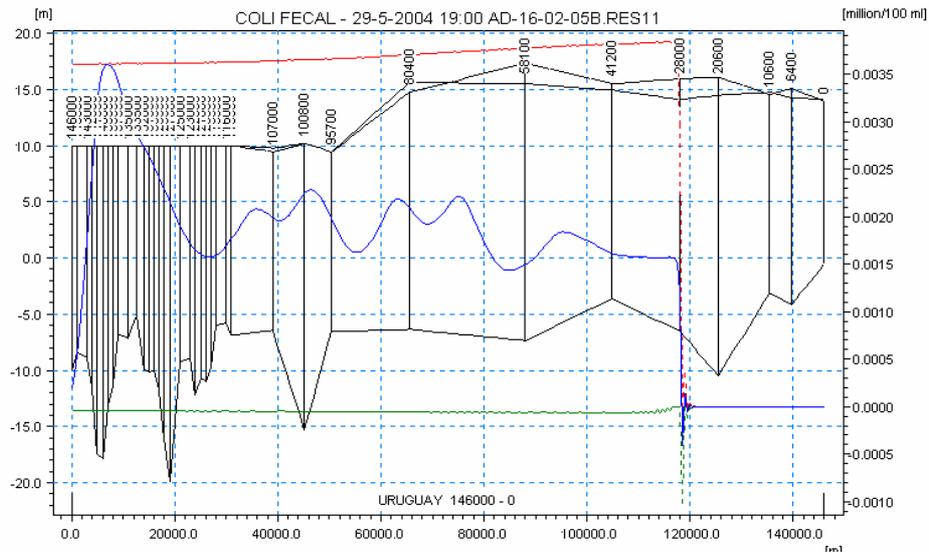


Figura N° 3. Simulación longitudinal de la concentración de Coliformes Fecales sin concentración de base inicial y sin decaimiento (Aguas Bajas-2004)

Nota: la línea azul muestra la concentración instantánea, mientras que las líneas roja y verde muestran los valores máximo y mínimo, respectivamente. La progresiva del tramo aguas abajo de Colón comienza en la escala del gráfico en 30.000 m, equivaliendo a la progresiva 115.000 m medida en el modelo desde Salto Grande.

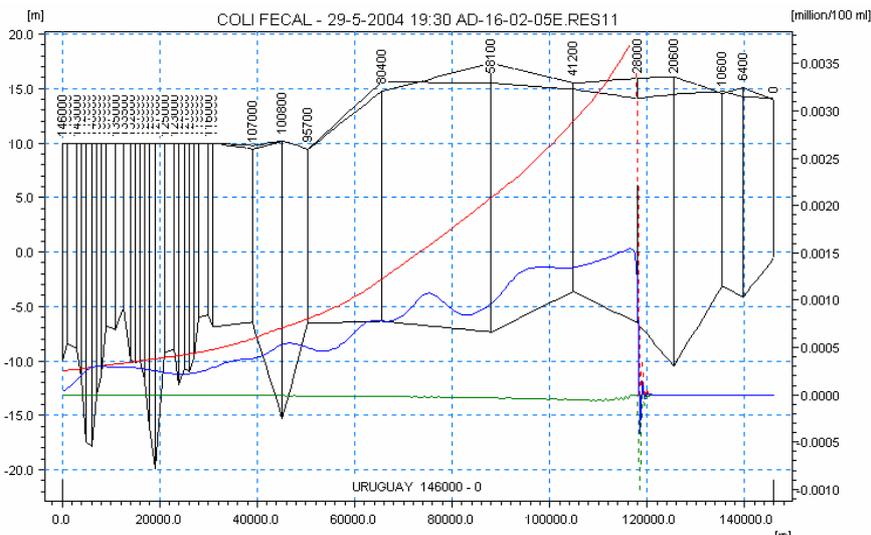


Figura N° 4. Simulación longitudinal de la concentración de Coliformes Fecales con concentración de base inicial y con decaimiento invernal (Aguas Bajas-2004)

La concentración con decaimiento oscila en la ciudad de Colón entre 300 y 500 UFC/100ml. Similares estudios se realizaron para condiciones de aguas medias y altas, con variación de la concentración de base inicial y decaimiento, a los efectos de evaluar la sensibilidad del modelo a las mismas.

4. DISCUSION DE RESULTADOS

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, 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 35 a 40 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

Esto implica que gran parte de la contaminación que el río trae a la altura de Colón, según los resultados de los muestreos y análisis efectuados, 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 y altas aportan unos 40 UFC/100ml acercando 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 Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU). En la tabla N° 3 se resume el análisis realizado.

Aguas	Nivel (metros)	Concentración Colifecales UFC/100ml		
		Sin Decaimiento	Con Decaimiento	
			Estival (0.076)	Invernal (0.03)
Bajas	1	1500-3500		300-500
Medias	3	700	40	
Altas	5-6	350	35-40	

Tabla N° 3. Resumen de los resultados obtenidos empleando distintos niveles de agua con diferentes coeficientes de decaimiento bacteriano.

5. VARIACIÓN DEL PORCENTAJE INDIVIDUAL DE INCIDENCIA SOBRE EL VUELCO TOTAL DE LAS CIUDADES DE SALTO Y CONCORDIA

Este análisis nos permite predecir y trabajar sobre distintos escenarios futuros para así poder determinar un orden de prioridad y así establecer aquellos vuelcos más significativos desde el punto de vista del impacto que generan aguas abajo.

Se expresa en la tabla N° 4 la variación porcentual de la influencia del vuelco cloacal de las ciudades de Salto y Concordia, y su evolución en el tiempo en función de los crecimientos poblacionales estimados. Los resultados fueron calculados sin modificar porcentajes de cobertura cloacal en el tiempo.

De las anteriores tablas surge que si se trataran los líquidos cloacales de la ciudad de Concordia en la actualidad, reduciríamos un 64 % la descarga en la condición actual, con lo que la incidencia sobre la ciudad de Colón se verá reducida en la misma magnitud. Los valores así descenderían al orden de 110 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno, lo que representa la mitad del límite de balneabilidad fijado por la CARU.

Año	2006	2009	2019	2029	2039
QC (m3/s)					
Concordia	0,287	0,318	0,372	0,438	0,516
Salto	0,159	0,167	0,181	0,196	0,213
Total	0,446	0,485	0,553	0,634	0,729
Porcentaje Individual Incidencia (%)					
Concordia	64,3	65,6	67,3	69,1	70,7
Salto	35,7	34,4	32,7	30,9	29,3

Tabla N° 4. Variación temporal del caudal por ciudad y porcentual de influencia sobre el total del vuelco cloacal en las ciudades de Salto y Concordia.

En forma relativa al vuelco inicial de ambas ciudades se expresa la tendencia futura.

Año	2006	2009	2019	2029	2039
QC (m3/s)					
Concordia	1,00	1,11	1,30	1,53	1,80
Salto	1,00	1,05	1,14	1,23	1,34

Tabla N° 5. Caudal Medio Diario Anual (QC) en relación al Inicial Simulado en Salto y Concordia.

Por otro lado, si al cabo del tiempo proyectado de 30 años, se produjera el tratamiento de los líquidos de Concordia, no así los de la ciudad de Salto, se incrementaría en un 34% solamente la concentración de colifecales en la ciudad de Colón. Los niveles ascenderían al orden de 150 UFC/100ml, nivel establecido aún por debajo del límite.

Debemos aclarar que estas estimaciones fueron realizadas en base a las descargas cloacales de las ciudades con valores de Caudal Medio Diario Anual (QC), y que existen momentos diarios y mensuales en que estos valores son superados.

Otra aclaración, es que se utilizaron los porcentajes de cobertura de agua y del sistema cloacal de las distintas ciudades determinados a través del relevamiento de datos, la dotación media de agua por habitante, los habitantes por conexión, y los coeficientes de variación estacional y de pico horario. Estos coeficientes, con sus variaciones anuales, sirvieron para estimar los caudales de diseño pasados, y futuros.

6. CONCLUSIONES

El total de la carga másica considerada para las ciudades de Salto y Concordia es de $4,5 \times 10^6$ m³/s x UFC/100 ml, siendo actualmente la influencia de Concordia sobre el total vertido al río Uruguay inmediatamente aguas abajo de la represa de Salto Grande, del 64%.

La concentración total de contaminantes resultante por la influencia directa de estas descargas 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), hasta 35 a 40 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

Si se realizara el tratamiento de los efluentes cloacales de la ciudad de Concordia, las concentraciones de bacterias coliformes fecales en el río a la altura de la ciudad de Colón

sufrirían una disminución alcanzando un rango de 110 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno, lo que representa la mitad del límite de balneabilidad fijado por la CARU.

Si bien el análisis de prioridades para la construcción de plantas de tratamiento se desarrolla en otra publicación, se analiza a continuación el efecto de construir plantas que a través de la fase de pasaje del líquido cloacal por una laguna facultativa, puedan reducir no sólo la DBO emitida, sino también las concentraciones de bacterias, al menos a un 10% de la correspondiente a un líquido cloacal crudo, lo cual sería factible de lograr según lo registrado en las plantas existentes, aunque sería también útil contar con una laguna de maduración.

En verano, y descartando condiciones de aguas bajas (aunque éstas se presentan en ocasiones), se verifica para aguas medias y altas que si se tratara el efluente de Concordia con la hipótesis precedente, los niveles de bacterias coliformes deberían descender por debajo de 20 UFC/100 ml. No obstante, en caso de ocurrir condiciones de estiaje, estos valores se incrementarían sensiblemente duplicándose al menos por la menor dilución disponible.

En una proyección para los próximos 30 años, si no se trataran los desagües cloacales de ambas ciudades, y se mantuviera el porcentaje de cobertura, la carga contaminante se incrementaría en un 80% para Concordia y un 34% para Salto. En consecuencia, a la altura de la ciudad de Colón, se tendrían concentraciones del orden de 490 UFC/100ml en condiciones de aguas bajas en invierno (con menor decaimiento y mínima dilución), hasta 65 UFC/100ml en condiciones de aguas medias o altas en verano (mayor decaimiento y dilución).

El tratamiento de los efluentes de Concordia llevaría estos valores futuros a unas 180 UFC/100 ml en las condiciones de estiaje en invierno, y algo más de 20 UFC/100 ml, en aguas medias y verano, valor que se podría duplicar si acaeciera un estiaje en la época estival.

Los balnearios de la ciudad de Colón y San José son afectados en primera instancia por lo proveniente de Salto-Concordia, y luego por la descarga de un Frigorífico avícola que descarga sus efluentes tratados aguas arriba, que si bien es de menor magnitud, por su cercanía a las zonas balnearias y por descargarse cerca de la costa, afecta principalmente a las playas de la margen fluvial, logrando entre estos dos valores, superar para caudales bajos de río, el estándar establecido por CARU para balneabilidad. A través de los muestreos se verificó que el impacto contaminante de ambas ciudades sobre el río es muy significativo. Mediante modelación se concluyó que afecta la ciudad de Colón incrementando los niveles de base en el curso fluvial, alcanzando valores del orden de 100 UFC/100ml, próximos al 50% del nivel Guía para uso recreativo con contacto directo. Este aporte, sumado al propio de Colón e inmediaciones, también impacta en la zona de Balnearios de la ciudad de Concepción del Uruguay, provocando la frecuente superación del nivel Guía.

7. REFERENCIAS

- [1] Henry, Glynn, y Heinke, Gary, *Ingeniería Ambiental*, Prentice Hall, pp 231, 430, (1999).
- [2] Kiely, Gerard, *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*, Interamericana de España, pp. 678, (1999).
- [3] 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).