

LÍNEA DE BASE Y MODELACION DEL ESTADO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN EL ARROYO EL PELADO. DEPARTAMENTO DE COLÓN. PROVINCIA DE ENTRE RÍOS.

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

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

Resumen. *El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de la descarga de una planta de procesamiento de aves en la calidad del agua del arroyo El Pelado, y desarrollar una metodología de evaluación del nivel de tratamiento de descargas aplicable a otros arroyos de Entre Ríos. La descarga de los efluentes provenientes del sistema de tratamiento de la Planta se realiza al Arroyo El Pelado unos 15 km antes de su desembocadura en el Arroyo Urquiza.*

Los datos considerados en la calibración del modelo provienen de los resultados de dos muestreos. Para determinar los coeficientes de reaireación (k_a) y de descomposición (k_d) se aplicó la relación $K_a/K_d = 3$ y la opción U.S. Geological Survey (Channel-control). Se analizaron los datos medidos, dado que la DBO última presenta una marcada disminución entre la concentración en el punto de descarga y la medida a unos 2200 metros aguas abajo, la cual no puede ser explicada únicamente modelando aportes puntuales y los fenómenos de descomposición y reaireación. Por ello se consideró que existe un caudal ingresante por vertientes, lo cual fue verificado en una recorrida del arroyo, lo cual explica la fuerte disminución de la DBO mediante dilución. Se incluyó en la simulación un aporte difuso con una concentración de OD y una DBO estimada con datos de vertientes y un caudal estimado ajustando la dilución observada en parámetros conservativos medidos en el arroyo (alcalinidad y concentración de cloruros) y considerando los valores medidos.

Considerando caudales mínimos estimados mediante un método simplificado de regionalización, se verificó que la descarga de la planta industrial, afecta significativamente la calidad de agua hasta unos 8 km aguas abajo, donde las concentraciones de OD son muy bajas (inferiores a 5 mg/L), y luego los valores de OD son compatibles con la vida acuática superando 6 mg/L.

Palabras clave: Modelación Matemática, Calidad de Aguas, Arroyo El Pelado.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio tiene por objeto evaluar la influencia de la descarga de la planta de procesamiento de aves (matadero avícola) Bonnin Hnos., en la calidad del agua del Arroyo El Pelado ubicado en el Departamento de Colón, provincia de Entre Ríos.

El Arroyo El Pelado desagua en el Arroyo Urquiza, el cual a su vez desemboca en el río Uruguay a la altura de la Isla Almirón entre las ciudades de Colón y Concepción del Uruguay.

Durante el mes de octubre de 2009 se realiza una campaña de muestreo con el objeto de obtener datos de calidad de agua en la descarga de la planta y el arroyo en distintos puntos de su curso.

Luego se aplica el modelo matemático QUAL-2K (EPA) a partir del cual se evidencia la presencia de posibles aportes de agua al arroyo que podrían producir el rápido descenso de las concentraciones de DBO por dilución.

Con el objeto de estudiar en mayor detalle esta suposición se realiza un nuevo muestreo durante el mes de marzo de 2010 y una recorrida por los sectores en los cuales se esperaba observar aportes al arroyo.

Aquí se exponen los resultados obtenidos en uno de los dos muestreos realizados, los resultados de la aplicación del modelo, en cuanto a su ajuste en relación con los datos medidos, la posterior simulación de la calidad de agua de ambos cursos de agua para condiciones de caudal mínimo de estiaje, así como el análisis de los resultados realizado.

Asimismo, se realiza un análisis de la eficiencia del tratamiento efectuado en la planta industrial, a fin de formular algunas recomendaciones tentativas para su mejoramiento.

Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones generales sobre el grado de tratamiento deseable para mantener condiciones de calidad de agua aceptables, y sobre los estudios a realizar para poder precisar con mayor detalle estos aspectos para las diversas descargas industriales de este tipo que se producen en la provincia de Entre Ríos.

2. CONDICIONES DE LA DESCARGA EN EL ARROYO EL PELADO

El arroyo El Pelado forma parte de la red hidrográfica del Río Uruguay, es el principal afluente del Arroyo Urquiza. Este último nace de la confluencia de los Arroyos Las Achiras y El Cordobés y su curso forma parte del límite entre los departamentos de Colón y Uruguay en toda su extensión.

El matadero avícola, habilitado por la Subsecretaría de Producción Animal de la provincia de Entre Ríos, se encuentra ubicado en el km 151 de la Ruta Nacional N° 14 en el Departamento de Colón.

La descarga de sus efluentes líquidos provenientes de los sistemas de tratamiento se realiza al Arroyo El Pelado aproximadamente 15 km antes de su desembocadura en el Arroyo Urquiza.



Figura 1. Ubicación arroyos El Cordobés, Las Achiras, Urquiza y El Pelado.

3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN EL ARROYO EL PELADO

En ocasión de haber realizado los muestreos de agua para los análisis de calidad correspondientes, se determinaron los caudales a lo largo del arroyo en los sitios muestreados. En ambos casos se trató de condiciones de estiaje, es decir, en fechas alejadas de precipitaciones pluviales recientes; no obstante, resulta necesario evaluar estas condiciones de manera estadística para tener una idea de su representatividad.

La estimación de los caudales mínimos de un curso de agua se puede realizar de diversas maneras, dependiendo fundamentalmente del tipo de información disponible y de las necesidades que se tengan.

Cuando no se tienen cuencas instrumentadas con datos de caudal y nivel registrados en un período prolongado de tiempo, como es la situación del arroyo El Pelado, se debe recurrir a métodos que permitan conocer, de manera aproximada, el valor del caudal mínimo en un punto determinado.

En el caso concreto del estudio de referencia, a partir de la información disponible, en la estimación de los caudales mínimos se utiliza un procedimiento de regionalización que involucra parámetros geomorfológicos de la cuenca, representados por el área, y parámetros climáticos representados por la precipitación y la evaporación media sobre la misma. Se decide adoptar un modelo en el cual la media y la desviación estándar del

caudal mínimo dependían del área de la cuenca como factor de escala, así,

$$\sim Q_{\min} = k_1 \cdot A^{\theta} \quad (1)$$

$$\dagger Q_{\min} = k_2 \cdot A^{\theta} \quad (2)$$

Asumiendo el valor de θ igual a 1, como lo han demostrado los diversos estudios realizados sobre la metodología a implementar [1], con el fin de obtener las constantes k_1 y k_2 , y aplicando el criterio de regionalización, se utilizaron los datos proporcionados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, de la Estación de Medición de Caudales del Río Gualaguaychú perteneciente, serie 1993-2007, Estación Código 3030 RP39.

La superficie de la cuenca de aporte al punto de medición es de 1980 km².

De la información de caudales disponibles, se extrajeron los datos de los caudales mínimos diarios que se detallan a continuación:

Serie	93 - 94	94 - 95	95 - 96	96 - 97	97 - 98	98 - 99	99 - 00
QmMDA	0,93	0,91	0,84	0,60	0,60	0,68	0,66
Serie	00 - 01	01 - 02	02 - 03	03 - 04	04 - 05	05 - 06	06 - 07
QmMDA	0,19	0,19	1,31	S/D	0,25	0,29	0,56

Donde: QmMDA: Caudal mínimo medio diario anual en m³/s. S/D : Sin datos

Se determinan los parámetros estadísticos:

$$\mu_{Q_{\min}} = 0,62 \text{ m}^3/\text{s}. \quad \sigma_{Q_{\min}} = 0,3329 \text{ m}^3/\text{s}. \quad QP80\% = 0,74 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Donde:

$\mu_{Q_{\min}}$: media de los caudales mínimos medios diarios

$\sigma_{Q_{\min}}$: desviación de los caudales mínimos medios diarios.

QP80%: Percentil 80 % de los caudales mínimos medios diarios.

Aplicando las expresiones (1) y (2), se obtienen el valor de las constantes:

$$k_1 = 0,000313131 \text{ m}^3/\text{s}. \text{ Km}^2$$

$$k_2 = 0,000168131 \text{ m}^3/\text{s}. \text{ Km}^2$$

$$k_{80\%} = 0,000373737 \text{ m}^3/\text{s}. \text{ Km}^2$$

Finalmente aplicando el método de regionalización se obtuvo los parámetros estadísticos de los caudales mínimos medios diarios anuales del Arroyo El Pelado, cuyos valores se denotan a continuación:

$$\text{Área} = 89,1 \text{ km}^2; \quad \mu_{Q_{\min}} = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \sigma_{Q_{\min}} = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}; \quad QP80\% = 0,0333 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. BREVE DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE CALIDAD DE AGUAS

El modelo QUAL2K (Chapra, S.C., Pelletier, G.J. and Tao, H., 2007) permite simular cualquier ramificación de un sistema fluvial unidimensional. Su utilización necesita, previamente, una formulación idealizada del sistema hidrográfico a estudiar, dividiéndolo en tramos, los cuales son sectores del río que tienen características hidráulicas uniformes,

que a su vez se dividen en elementos de cálculo de igual longitud.

Para cada uno de los elementos de cálculo, el balance de masa, se escribe en términos de flujo entrante en la cara de aguas arriba, descargas externas (fuentes) o extracciones (sumideros) y el flujo saliente a través de la cara de aguas abajo del elemento.

De igual manera se efectúa un balance de masa para todo constituyente que transporte el río. En el balance de masa se considera, tanto el transporte y la dispersión longitudinal, como el movimiento de masa a lo largo de la corriente. La masa puede ser aumentada o removida del sistema, por fuentes o sumideros externos e internos tal como fuentes bénticas y transformación biológica.

Cada elemento de cálculo se considera totalmente mezclado. De esta manera la corriente de agua puede conceptualizarse como una hilera de reactores completamente mezclados (elementos de cálculo), que están vinculados secuencialmente a los mecanismos de transporte y dispersión.

Se basa en la ecuación de transporte de masa de advección - dispersión unidimensional, que es numéricamente integrada, en el espacio y tiempo, para cada constituyente de calidad de agua. Esta ecuación incluye los efectos de advección, dispersión, dilución, reacción e interacción de constituyentes, y, fuentes y sumideros y se resuelve a través de un programa codificado en Fortran. Para esas simulaciones se utiliza la planilla de cálculo Microsoft Excel (Windows) como la interfase gráfica del software.

5. MUESTREO EN EL ARROYO EL PELADO

5.1 Muestreo de Octubre de 2009

Se llevaron a cabo dos muestreos en el arroyo El Pelado, el primero de ellos realizado durante el mes de octubre de 2009 consistió en la toma de una serie de muestras en las cuales se determinaron los siguientes parámetros:

Parámetros determinados en Laboratorio	Parámetros determinados un situ
Oxígeno disuelto	Velocidad del Agua
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Temperatura del Aire
Amonio	Presión
Nitritos	Temperatura del Agua
Nitratos	Oxígeno Disuelto
Alcalinidad	Turbiedad
Cloruros	Conductividad
Fecales	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	

Tabla 1. Parámetros determinados en muestreo octubre-2009.

Asimismo, a partir de los datos de velocidad de agua y la sección del sitio de muestreo se calcularon los caudales en distintos puntos a lo largo del arroyo.

Se puede apreciar que las condiciones de calidad de agua en el Arroyo Urquiza, desde el punto de vista del oxígeno disuelto (OD) y la demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), son aceptables, por lo que en la fecha del monitoreo, no se muestran afectadas

significativamente por la descarga industrial estudiada.

Parámetro	Unidades	Muestras A° Urquiza		
		Muestra 8 *	Muestra 13	Muestra 14
		Punto 1	Punto 2	Punto 3
Distancia	(m)	3600	800	0
Progresiva	(km)	4,7	0,8	0
Prog. Modelo	(km)	4,7	0,8	0
OD	(mg/l)	8,3	8	8,2
DBO ₅	(mg/l)	3,5	2,6	1,6
DBOu	(mg/l)	5,6	4,2	2,6

(*) Aguas arriba del A. pelado

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en el Arroyo Urquiza. Muestreo 28-10-2009.

En la Figura 2 se ha graficado la ubicación de los cinco puntos muestreados a lo largo del Arroyo El Pelado en Octubre de 2009.

A los fines de la aplicación del modelo QUAL2K se consideraron los resultados de OD y DBO en 5 puntos de muestreo seleccionados, los cuales se detallan a continuación.

Parámetro	Unidades	Muestras A° El Pelado				
		Muestra 3	Muestra 4	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 5
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Distancia parcial	(m)	0	2200	6700	6850	11550
Progresivas del río	(km)	0	2,20	6,70	6,85	11,55
Prog. Modelo	(km)	14,75	12,55	8,05	7,90	3,20
O.D.	(mg/l)	8,00	7,50	7,70	7,80	7,90
DBO ₅	(mg/l)	120,0	45,00	5,70	3,80	2,10
DBOu	(mg/l)	191	71,40	9,00	6,00	3,30

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en el Arroyo El Pelado. Muestreo 28-10-2009.

Como se puede observar, para la DBO se calcula la DBO última, dato que luego es comparado con la salida del modelo para este parámetro. A continuación se realiza una breve descripción de la ubicación de la toma de muestra de cada uno de los puntos sobre el arroyo El Pelado:

- Punto 1: Salida de la pileta 1.
- Punto 2: Sobre arroyo Pelado, 2,2 km aguas debajo del punto anterior.
- Punto 3: Arroyo Pelado y nueva Ruta N° 14 antes del puente.
- Punto 4: Arroyo Pelado y nueva Ruta N° 14 después del puente.
- Punto 5: Sobre Arroyo Pelado 11,5 km aguas abajo del punto 1.



Figura 2. Ubicación de los sitios de toma de muestra en el arroyo El Pelado. Muestreo octubre de 2009.

6. EL EFLUENTE Y SU TRATAMIENTO

El matadero avícola Bonnín faena aproximadamente 70.000 aves por día y cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes líquidos constituido por dos lagunas dispuestas en serie, que como se indica vierten sus aguas residuales tratadas al Arroyo El Pelado.

A fin de conocer el aporte de contaminantes por parte de este establecimiento, se analizan las muestras de su descarga al arroyo obtenidas en dos oportunidades: el 28/10/09 y el 16/03/10, cuyos resultados se muestran en la tabla siguiente.

Sitio de extracción de la muestra	Fecha de extracción	DQO (mg/L)	D.B.O (mg/L)	Amonio (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Coliformes Fecales UFC/100ml
Descarga de efluente al Arroyo Pelado	16/03/10	---	110	100	<0,01	<1	1800
Descarga de efluente al Arroyo Pelado	28/10/09	272	120	70	0,1	<1	700
Valor límite (Ley N° 6260)		NE	<50	NE	NE	NE	NE

Tabla 4 Características del efluente descargado al Arroyo Pelado. Nota: NE, valor límite no establecido

A través de la Ley 6260 y su Decreto Reglamentario, la Provincia de Entre Ríos establece los límites máximos admisibles para los parámetros que permiten evaluar las descargas contaminantes de establecimientos industriales.

Entre los parámetros regulados y característicos de los efluentes de un matadero avícola se encuentran: pH, sustancias solubles en éter etílico, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno consumido (OC), demanda de cloro (DC) y sustancias reactivas al azul de metileno (SRAM).

Del listado de parámetros regulados, se analiza la DBO y los resultados presentados en la Tabla 4 muestran que la descarga excede el límite admisible en las dos oportunidades en que se extrajo muestras. Asimismo se analiza la demanda química de oxígeno (DQO) en una oportunidad, la serie nitrogenada (amonio, nitritos y nitratos), y el contenido bacteriológico por medio de bacterias coliformes fecales.

El contenido de materia orgánica del efluente industrial tratado y descargado al arroyo, medido a través de DBO y DQO, tiene características similares al de un agua residual doméstica sin tratamiento, con una concentración entre baja e intermedia (Metcalf & Eddy, 1991) [2].

Sin embargo, el contenido de nitrógeno en la forma de ión amonio es aproximadamente cuatro veces superior a la de un agua residual doméstica, sin tratamiento, de concentración intermedia.

Este hecho indica que la descarga presenta una DBO nitrogenada importante, que normalmente no se observa con la técnica de incubación a cinco días, pero que se manifiesta una vez que el efluente se vierte al cuerpo receptor. Tal comportamiento es frecuente en los efluentes de mataderos, tanto avícolas como vacunos.

El contenido de bacterias coliformes fecales es de un orden de magnitud menor que el correspondiente a un agua residual doméstica sin tratamiento, posiblemente debido a la acción de lagunas estabilizadoras y a la posterior cloración del efluente antes de su vertido al arroyo.

6.1 Tratamiento del efluente

En la Figura 3 se muestra un esquema de las lagunas de tratamiento del establecimiento avícola, que vuelca su efluente al Arroyo Pelado.

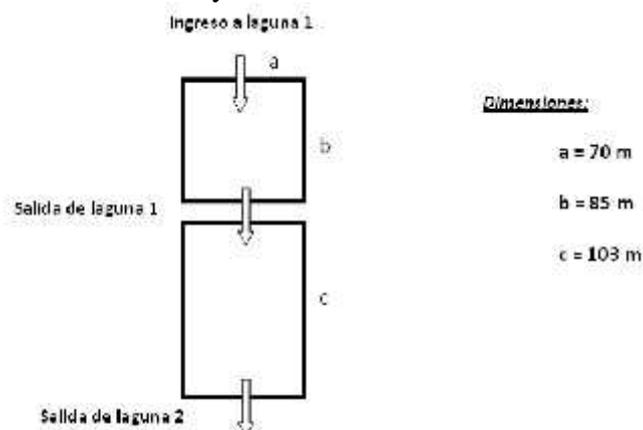


Figura 3 Esquema del sistema de tratamiento de la Avícola Bonnin

Con el objeto de evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de efluentes el 28/10/09 se extrajeron muestras del líquido residual “crudo” que ingresaba a la primera laguna, y también de su efluente (salida laguna 1).

La salida de la laguna 2 se consideró representada por la muestra de la descarga del establecimiento, ya incluida en la Tabla 4. En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos.

Sitio de extracción de la muestra	DQO (mg/L)	D.B.O (mg/L)	Amonio (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Coliformes fecales
Ingreso a laguna 1, líquido crudo	1397	1120	40	<0,01	<1	7200
Salida de laguna 1	402	120	90	<0,01	<1	2900
Salida de laguna 2 descarga al Arroyo Pelado	272	120	70	0,1	<1	700

Tabla 5 Perfil de concentraciones en el tren de tratamiento

La concentración medida para el líquido crudo se ubica dentro del rango informado por la bibliografía para mataderos avícolas: 1103 mg DBO/L (Nemerow, 1977) [3], 3000 mg DBO/L (CONAMA, 1998) [4].

6.2 Eficiencia del sistema de tratamiento

Se puede evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento enfocando dos características contaminantes centrales para este tipo de efluentes: materia orgánica y contaminación bacteriana. En este sentido, la Tabla 6 presenta las eficiencias de abatimiento logradas por el tren de tratamiento para DBO, DQO y bacterias coliformes fecales.

Unidad de tratamiento	Remoción % DBO	Remoción % DQO	Remoción % coliformes fecales
Laguna 1 (primaria)	89	71	60
Laguna 2 (secundaria)	0	32	76

Tabla 6 Eficiencia del tren de tratamiento

De los valores presentados surge que la laguna primaria (laguna 1) consigue una buena eficiencia en la remoción de materia orgánica, 89% para DBO y 71% para DQO, mientras que la eficiencia en la remoción de coliformes fecales es discreta (60%).

Estas eficiencias resultan muy aceptables si se considera que los valores informados por la bibliografía para el tratamiento de este tipo de desagües con lagunas de estabilización se ubican en 80% para lagunas facultativas y en 94% para un sistema de laguna primaria anaeróbica seguida de facultativa (Eckenfelder, 1989) [5].

Aparentemente, la laguna primaria desarrolla una intensa actividad biológica y por lo tanto, allí tiene lugar el abatimiento de la mayor parte de la materia orgánica. Esta actividad se evidencia también en el aumento de la concentración de nitrógeno en la forma de amonio, probablemente debido a la hidrólisis de la materia orgánica nitrogenada presente en el efluente crudo.

Sin embargo, la laguna secundaria (laguna 2) del tratamiento de Bonnin apenas produce una remoción marginal de DQO (32%) y no remueve DBO, a la vez que reduce la presencia de coliformes fecales en un 76%.

Esta laguna no muestra evidencia de actividad biológica significativa, y la remoción de DQO observada puede atribuirse a la sedimentación de sólidos en suspensión que puedan haber escapado de la laguna primaria.

La remoción de coliformes fecales registrada puede deberse al efecto de la radiación ultravioleta que actúa sobre la extensa superficie de la laguna.

7. APLICACIÓN DEL MODELO QUAL2K

7.1 Condiciones generales de la modelación

Los coeficientes de reaireación (k_a) y de descomposición (k_d) se estiman a partir de las condiciones del medio y del efluente, así como a partir de referencias bibliográficas.

En el caso de estudio, para la relación K_a/K_d se establece un valor de 3, el cual ha sido definido en un estudio anterior [6]. En ese estudio se observa que la opción USGS (Channel-control) (Melching y Flores 1999) era la que mejor se ajustaba a los datos medidos, dicha formulación se describe a continuación:

$$\text{Caudal bajo, } Q < 0.556 \text{ m}^3/\text{s}: k_{ah}(20) = 88(US)^{0.313} H^{-0.353}$$

$$\text{Caudal alto, } Q > 0.556 \text{ m}^3/\text{s}: k_{ah}(20) = 142(US)^{0.333} H^{-0.66} B_t^{-0.243}$$

Donde:

H = profundidad media (m)

U = velocidad (m/s)

S = Pendiente del curso de agua (Slope) (m/m)

Bt = ancho de boca del cursos de agua.

Como se ha mencionado anteriormente, la descarga del efluente del frigorífico que se desea modelar se encuentra a 14,75 km aguas arriba de la desembocadura del Arroyo El Pelado en el Arroyo Urquiza.

La medición del primer monitoreo en el punto de descarga arrojó una concentración de BDO₅ de 120 mg/L (DBO última de 190,5 mg/L), y una concentración de oxígeno disuelto de 8 mg/L.

La temperatura del agua del Arroyo El Pelado se establece en 20,6 °C en todo el curso modelado y la temperatura del aire en 31,3 °C.

Asimismo se establece un pH neutro en todo el curso de agua sin considerar variaciones en este parámetro en todo el período modelado.

7.2 Calibración y Verificación del Modelo Matemático

En primer lugar se realiza una corrida de simulación considerando una extensión del arroyo de aproximadamente 15 km con su inicio en el sitio de descarga del frigorífico y con las condiciones iniciales medidas en el punto 1 del primer muestreo.

De estos resultados preliminares se observa que las concentraciones de oxígeno disuelto y DBO de la simulación no se ajustaban a los valores medidos en campo.

De este modo se realiza un análisis de los datos medidos, a partir del cual se observa que la DBO presenta una marcada disminución entre la concentración en el punto de descarga (190,5 mg/L) y la concentración medida a unos 2200 metros aguas debajo de este punto (71,4 mg/L), la cual no puede ser explicada únicamente por los fenómenos de descomposición y reaireación.

En este sentido se plantea la posibilidad de que entre estos dos puntos de medición se encuentra un caudal ingresante al arroyo, lo cual puede explicar la fuerte disminución de la DBO mediante un proceso de dilución.

Debido a que no se observaron ingresos puntuales de afluentes al arroyo en este tramo del mismo durante los muestreos de campo, se realiza una recorrida de este sector con el objetivo de verificar si efectivamente se presentaban aportes en esta zona. De la recorrida realizada y también a partir de las conversaciones mantenidas con pobladores del lugar, se pudo verificar que el arroyo recibe aportes de agua de vertiente como consecuencia del alto nivel freático en esta zona.

Debido a que no se posee información específica respecto del caudal de vertiente así como de las concentraciones de oxígeno disuelto y DBO que ésta podría estar aportando al arroyo bajo estudio, se procede a estimar esta información en base a datos típicos de vertientes en el Arroyo La China, extrapolando esta información a las condiciones medidas en el arroyo El Pelado.

De este modo se incluye en la simulación un aporte difuso con una extensión de 700 metros que se extiende desde la progresiva 13,95 a 13,25 con una concentración de OD de 2,3 mg/L y una DBO última de 0,48 mg/L. El caudal de ingreso se estima observando aquel que mejor se ajusta a la dilución que se observa en los parámetros conservativos que han sido medidos en el arroyo El Pelado (alcalinidad y concentración de cloruros) y teniendo en cuenta la diferencia de caudales medidos.

En base a este análisis se estima que el caudal de ingreso debe estar entre los 0,015 y los 0,040 m³/s. Se realizaron simulaciones con distintos caudales dentro de este rango y finalmente se establece un caudal de 0,025 m³/s para la vertiente en las progresivas mencionadas.

Asimismo, los puntos de medición aguas abajo evidencian fuertes disminuciones de la DBO, sin el aparente consumo del nivel de oxígeno disuelto debido a que las concentraciones de éste se mantienen prácticamente constantes en todo el arroyo (8,0 mg/L; 7,5 mg/L; 7,7 mg/L; 7,8 mg/L y 7,9 mg/L).

De este modo, nuevamente se presenta la hipótesis de que esta situación únicamente puede ser explicada por el fenómeno de dilución que se justificaría por el aporte de caudal al arroyo. Finalmente en función de los datos típicos de vertiente y en considerando los caudales calculados para distintos puntos del arroyo se estimaron los aportes que podrían justificar las variaciones en las concentraciones de la DBO y el OD.

Cabe mencionar que a pesar de encontrarse en una situación de estiaje, el caudal medido en el Arroyo El Pelado supera con creces el valor estimado para el percentil 80% del tiempo, de 0,033 m³/s. Además de que éste caudal es aportado en gran parte por la propia

descarga industrial, la diferencia probablemente se debe a los aportes distribuidos ocasionados por las vertientes existentes.

7.3 Explotación del Modelo Matemático en condiciones de caudal mínimo

El modelo matemático ha sido empleado para evaluar la evolución de la calidad de agua para una condición hipotética de caudales de estiaje, correspondiente al QP80%: Percentil 80 % de los caudales mínimos medios diarios.

En el caso del arroyo El Pelado, esta condición se ha simulado aplicando un factor de escala a todos los aportes empleados para la calibración del modelo, de tal manera que el caudal total a la salida de la cuenca, antes de ingresar al Arroyo Urquiza, sea igual a 0,033 m³/s.

Asimismo, se modeló un tramo del Arroyo Urquiza de 3,6 km aguas arriba del ingreso del Arroyo el Pelado, ingresando el caudal correspondiente al percentil 80% (estimado como 0,065 m³/s), y un tramo de 1,1 km de longitud, aguas abajo.

Las condiciones de contorno de OD y DBO adoptadas en primer lugar a la salida de las piletas de la planta industrial, son las correspondientes al muestreo de Octubre de 2009, las cuales presentaban un nivel de oxígeno disuelto relativamente alto.

Los resultados obtenidos para ambos arroyos son los siguientes:

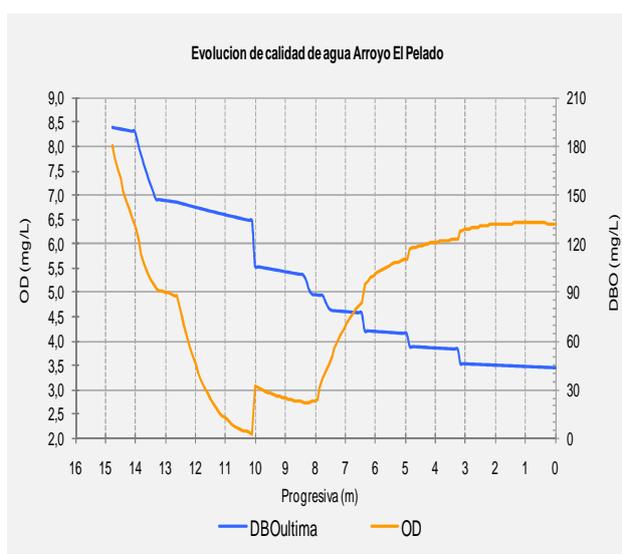


Figura 4. Evolución del OD y la DBO en el Arroyo El Pelado para una condición de caudal mínimo y OD en la descarga alto.

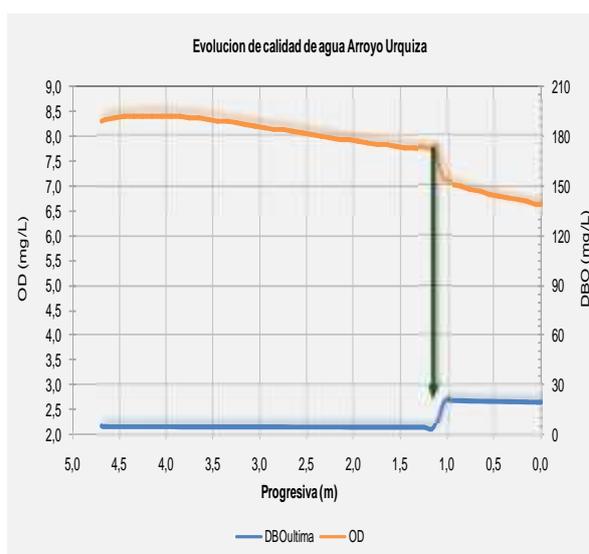


Figura 5. Evolución del OD y la DBO en el Arroyo Urquiza para una condición de caudal mínimo y OD en la descarga alto.

Con estas condiciones de descarga, el OD desciende rápidamente desde 8 mg/L hasta un valor mínimo igual a 2 mg/L a unos 5 km de la descarga, para luego ir elevándose paulatinamente. El OD se mantiene debajo de 5 mg/L por casi 9 km.

La Comisión Administradora del Río Uruguay (C.A.R.U.), indica como valor guía de calidad de aguas, para todos los usos incluyendo la preservación de la vida acuática, un

nivel de OD igual a 5 mg/L. Ello implica que la calidad de agua en el Arroyo El Pelado, no resulta satisfactoria en los primeros 9 km aguas debajo de la descarga, para condiciones de estiaje.

La calidad de agua del Arroyo Urquiza sufre un moderado deterioro al ingresar el Arroyo El Pelado, descendiendo el OD hasta 6,5 mg/L debido al ingreso de agua con una alta DBO (45 mg/L), que por dilución incrementa el valor de la misma en el primero hasta más de 20 mg/L.

La segunda condición simulada, representa un efluente anaeróbico, como el medido en Marzo de 2010, con un nivel de OD nulo.

En este escenario, puede apreciarse que el OD se va incrementando, con oscilaciones según va recibiendo aportes laterales mientras que se consume la DBO, pero igualmente se mantiene por debajo de 5 mg/L por unos 9 km, como en el caso anterior.

Siendo que la evolución de la calidad de agua en los últimos 7 km del arroyo es similar cualquiera que sea el OD en la descarga de la planta, el Arroyo Urquiza es afectado de igual manera en ambos escenarios.

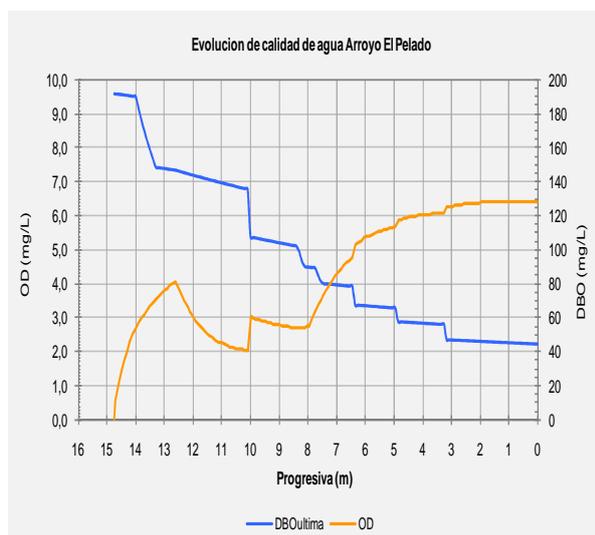


Figura 6. Evolución del OD y la DBO en el Arroyo El Pelado para una condición de caudal mínimo y OD en la descarga nulo.

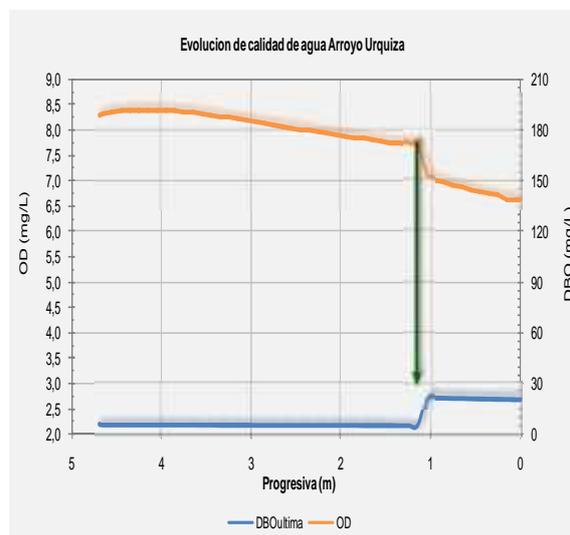


Figura 7. Evolución del OD y la DBO en el Arroyo Urquiza para una condición de caudal mínimo y OD en la descarga nulo.

Finalmente, se realizó una simulación de la descarga industrial en el peor caso de concentración de OD (nula), pero cumpliendo el límite de 50 mg/L de DBO5 (DBOult 79 mg/L).

Los resultados que se presentan a continuación, ilustran que el nivel de OD en este caso se incrementaría hasta superar los 5 mg/L en menos de 2 km manteniéndose luego entorno a este valor crítico en los siguientes 6 km.

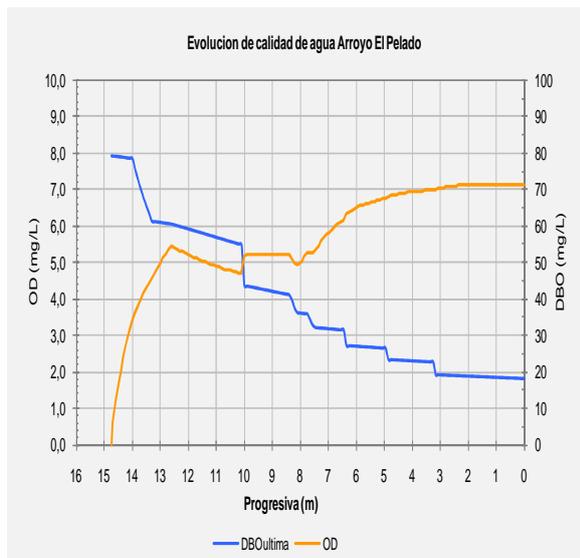


Figura 8. Evolución del OD y la DBO en el Arroyo El Pelado para una condición de caudal mínimo, OD en la descarga nulo y $DBO_5 = 50 \text{ mg/L}$

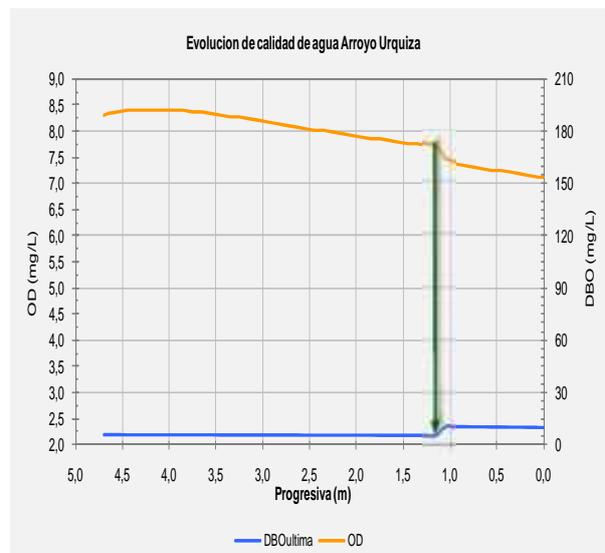


Figura 9. Evolución del OD y la DBO en el Arroyo Urquiza para una condición de caudal mínimo, OD en la descarga nulo y $DBO_5 = 50 \text{ mg/L}$

Teniendo en cuenta las diversas hipótesis realizadas, puede observarse que en un arroyo como El Pelado, cuyo caudal de estiaje en la cabecera está constituido en un 100% por la descarga industrial, debería mejorarse la calidad de la descarga, con una DBO_5 incluso por debajo de los 50 mg/L , para que la calidad de agua en el arroyo se mantenga en condiciones mínimamente aceptables en los primeros 8 km de su recorrido.

Por otro lado, dado el bajo impacto del vertido en el Arroyo Urquiza, se concluye que no se produciría una afectación significativa de la calidad de agua ribereña del Río Uruguay, por causa de la descarga de DBO de la planta analizada.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de la modelación matemática del arroyo El Pelado y la comparación de los resultados preliminares con los datos medidos se pudo apreciar que existirían aportes difusos en distintos puntos a lo largo de su curso que explicarían la fuerte disminución de las concentraciones de la DBO mientras que el OD se mantiene elevado.

Con el objetivo de analizar este proceso en mayor profundidad se realiza una recorrida en el primer tramo del arroyo mediante la cual se verifica la existencia de posibles aportes como consecuencia de un elevado nivel freático en la zona.

En este sentido se estimaron los aportes que justificarían las diluciones que se observaron en el primer muestreo y los incrementos sucesivos del caudal medido a lo largo del cauce, y posteriormente se realiza un segundo muestreo que abarca los primeros 2,2 km del arroyo en donde se estima el aporte de caudal por vertiente.

Los resultados del segundo muestreo verifican la presencia de un aporte debido a que en este tramo en particular de sólo un par de kilómetros de longitud, nuevamente se observa

una fuerte disminución de la DBO (de 175 a 48 mg/L) mientras que el OD aumenta levemente (de 0 a 2,9 mg/L) posiblemente por la concentración que aporta la vertiente así como por el proceso de reaireación en la extensión considerada.

Los aportes no puntuales distribuidos a lo largo del arroyo son difíciles de identificar y cuantificar de forma representativa. Se ha podido observar que para representar de forma adecuada la calidad del agua del arroyo mediante la modelación matemática se requiere de información más precisa de la variación de caudal a lo largo del arroyo así como de su calidad.

Esta información permitirá estimar de forma más representativa los caudales aportados por las vertientes, así como la calidad del agua de la misma y, en consecuencia, como influye sobre la calidad del agua del arroyo El Pelado.

Finalmente, en el caso de considerar condiciones de caudales mínimos en los Arroyos El Pelado y Urquiza, obtenidos a través de un método simplificado de regionalización, se verifica que la influencia de la descarga de la planta industrial, afecta significativamente la calidad de agua hasta unos 8 km aguas debajo de la misma, donde se obtienen concentraciones de OD muy bajas (inferiores a 5 mg/L), mientras que en el tramo final del Arroyo El Pelado, los valores de OD son más compatibles con la vida acuática, superando los 6 mg/L.

También se pudo apreciar, simulando una condición de descarga con un $DBO_5 = 50$ mg/L y $OD = 0$, que rápidamente se obtiene un nivel de OD mínimamente aceptable (5 mg/L a los 2 km), aunque el arroyo se mantiene en ese nivel durante unos 6 km más, hasta que supera los 6 mg/L correspondiente a condiciones poco contaminadas.

Es claro que el impacto del vertido depende de un sinnúmero de factores, tales como la época del año (temperatura del agua y del aire), velocidad del viento, distribución de aportes laterales puntuales y difusos, etc. No obstante, es claro que los procesos de dilución son muy importantes en casos como el estudiado, en el cual el caudal inicial de arroyo, cuando no ha llovido en los días previos, está constituido exclusivamente por el aporte industrial. En este caso, tal como indica la legislación, el nivel de tratamiento debe fijarse por medio de un análisis particular, concluyéndose, dentro del margen de precisión que permite el presente estudio, que sería conveniente que el vertido tuviera una DBO_5 al menos igual y preferentemente inferior a 50 mg/L.

A los efectos de poder cuantificar con mayor base estadística las condiciones de calidad de agua en la descarga de la planta, los caudales del arroyo y el impacto del vertido en el mismo, se sugiere realizar un monitoreo periódico de caudales y niveles de DBO y OD, en el canal de descarga, en el punto de intersección de la cuneta de descarga con el arroyo El Pelado, correspondientes a los puntos M1 a M3 del muestreo de marzo de 2010.

Se ha realizado además un análisis primario del tratamiento realizado por la planta a fin de aportar sugerencias de mejora, si bien para que las mismas estén más ajustadas a la realidad del sistema de tratamiento aplicado, sería conveniente evaluar la instalación completa, contando con información detallada sobre el estado de la misma.

No obstante, tomando en cuenta la información recabada puede afirmarse que la mejora del sistema debería enfocar la optimización de la segunda laguna. Aparentemente, sería posible cumplir con la normativa de vuelco (Ley N° 6260) si la eficiencia de la laguna

secundaria fuera del 60% o mayor en la remoción de DBO.

El primer punto a verificar para tratar de mejorar la eficiencia de la segunda laguna sería su contenido o inventario de lodo. Si en promedio la altura del manto de lodo excediera los 0,5 m desde el fondo de la unidad, habría que realizar una limpieza, extrayendo el lodo acumulado ya mineralizado.

Otro aspecto importante a considerar en la laguna secundaria es la distribución del caudal de entrada y la recolección de la salida. Se debe evitar que se produzcan cortocircuitos ya que este efecto suele reducir sensiblemente la eficiencia de la unidad.

Finalmente, cabe mencionar que cuando las condiciones del vertido mejoren, las condiciones de calidad de agua mejorarán en consecuencia, en forma prácticamente inmediata, especialmente a partir de la primer lluvia que lave los restos de depósitos contaminados en los primeros kilómetros de recorrido del arroyo.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Estimación de Caudales Mínimos para Colombia Mediante Regionalización y Aplicación de la Curva de Recesión de Caudales - Germán Poveda Jaramillo, Jaime Ignacio Vélez Upegui, Oscar José Mesa Sánchez, Lina Isabel Ceballos Bonilla, Manuel David Zuluaga Arias, Carlos David Hoyos Ortiz - Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas.
- [2] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, treatment, disposal and reuse. 3rd. Edition, USA, McGraw-Hill, Inc., series in Water Resources and Environmental Engineering, 1991.
- [3] Nemerow Nelson L., Aguas Residuales Industriales, Teorías, Aplicaciones y Tratamiento, Versión española, España, 1977.
- [4] Comisión Nacional de Medio Ambiente, Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, Santiago de Chile, 1998.
- [5] W. Wesley Eckenfelder, Jr., Industrial Water Pollution Control, 2nd Edition, Mc Graw Hill, Inc., Mexico, 1989.
- [6] Cecilia M. Cardini, Julio C. Cardini, Alejandro Zabalett, Daniel Mársico y Néstor Oliver, Modelación de la Descarga de Efluentes del Parque Industrial de Gualeguaychú. GEGRU. 17° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. AIDIS, Abril 2010.