

APLICACIÓN DE UN MODELO DE CALIDAD DE AGUA A UN TRAMO DEL RÍO NEUQUÉN-PATAGONIA ARGENTINA

Polla, G.M.¹; Horne, F. E.¹; Dufilho, A.C.²

Recibido: 23/07/04 Aceptado: 30/10/04

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue realizar un estudio de calidad de aguas en un tramo del Río Neuquén (Patagonia Argentina), que se extiende desde el Dique Ballester al canal de los Milicos. Se aplicó un modelo matemático de simulación unidimensional QUAL2E (Brown & Barnwell, 1987) para la situación hidráulica de aguas bajas y medias simulando componentes como oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La importancia de este trabajo radica en que al presente, los organismos encargados del monitoreo y planificación de los recursos hídricos regionales analizan los datos relevados de calidad de agua, por comparación con estándares o valores guías. No existen trabajos en la zona, que utilicen modelos matemáticos de simulación que permitan visualizar las variaciones espaciales y temporales de los distintos componentes de calidad en diferentes escenarios propuestos.

PALABRAS CLAVE: contaminación, simulación, planificación.

SUMMARY

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODEL THE WATER QUALITY IN A SECTION OF NEUQUÉN RIVER - PATAGONIA ARGENTINA

The objective of this work was to analyse the water quality in a section of Neuquén river (Patagonia Argentina) which stretches from Ballester dam to Los Milicos canal. A mathematical model of unidimensional simulation QUAL2E (Brown & Barnwell, 1987) was applied for the hydraulic situation of low and middle waters, simulating components such as dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD).

The importance of this work lies in the fact that nowadays the organizations incharge of the monitoring and planification of regional hydric resources analyse the data of water quality by comparing standards or leading values. In this region, there are no works that use mathematical models of simulation capable of letting us visualize the space and temporal variations of different quality components in different suggested settings.

KEY WORD: contamination, simulation, planification.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población que se ha producido en la última década, en las cuencas de los ríos Neuquén, Limay y Negro y especialmente en la zona del Alto Valle del Río Negro y Neuquén - Argentina (AVRNyN), ha llevado a actividades no siempre controladas que afectan el sistema natural.

En la actualidad existen 500.000 habitantes distribuidos en 20 centros urbanos a la vera de los ríos con poblaciones que oscilan entre 250.000 y 2000 habitantes. De las 20 ciudades, sólo 2 tratan sus residuos cloacales (10% de la población) lo cual provoca que en muchas zonas haya exceso de coliformes fecales y totales en las aguas usadas para recreación y consumo.

¹Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue (UNC). CC85 -8303 Cinco Saltos, Río Negro, Argentina. Fone: + 54 299 4330147. Fax: +54 299 4982200. E-mail: gmpolla@uncoma.edu.ar.

²Asentamiento Univesitario San Martín de los Andes. UNC.

Sobre las márgenes del tramo de río estudiado (dique Ballester- Canal de los Milicos), se asientan centros urbanos importantes, como son la ciudad de Vista Alegre, Cinco Saltos, Colonia Centenario y el Parque Industrial de la ciudad del Neuquén.

Información base y relevamientos

A partir de cartas topográficas y fotografías aéreas escala 1:5000 se delimitó el área de estudio identificándose los diferentes ingresos puntuales. Estos ingresos se clasificaron según su procedencia en urbanos, agrícolas e industriales.

El espaciamiento determinado para los puntos de muestreo sobre el río fue de 2 km. La elección de dicho espaciamiento se basa en el desconocimiento que se posee del comportamiento espacial de las distintas variables de calidad.

Los parámetros relevados in situ fueron temperatura, oxígeno disuelto, amonio, pH y conductividad eléctrica mediante una sonda multiparámetro ELE 900. En laboratorio se determinó nitrógeno total, DBO, coliformes termoresistentes, fósforo, nitrito, nitrato y amonio.

La sonda, utilizada en este trabajo, fue calibrada en laboratorio para el rango de los parámetros analizados.

Además es importante aclarar que el equipo utilizado ajustó automáticamente las mediciones de conductividad y pH respecto a la temperatura.

Sucede lo mismo con el OD, el equipo ofrece los resultados como porcentaje de saturación y en mg/l. Al transformar los valores de OD (en mg/l) a porcentaje de saturación se corrige por temperatura y por presión atmosférica (variable dependiente de la altitud y la situación climática diaria).

La periodicidad de las mediciones se definió en función de los caudales circulantes en el río, en períodos de estiaje las mediciones se realizaron cada quince días y en el resto de los períodos (medios y máximos) la frecuencia fue mensual y se extendió desde agosto de 1999 a octubre de 2000.

Para la determinación hidrodinámica se dispuso de información proveniente de Hidronor (1990) con perfiles topobatómétricos y curvas de caudales versus cota de nivel de agua (H-Q), en cada uno de los perfiles. Con éstos últimos datos, se ajustaron curvas altura versus caudal.

A partir de la información hidráulica y la geometría se calcularon: profundidad, sección hidráulica, pendiente de fondo, perímetro mojado, radio hidráulico y velocidad de corte (Cuadro 1), para cada una de las secciones del río.

El coeficiente de dispersión longitudinal es uno de los principales parámetros del modelo unidimensional de transporte de contaminantes. Para su determinación pueden usarse métodos analíticos, experimentales o fórmulas em-

píricas. En este trabajo se utilizó la fórmula empírica de Liu (1977).

$$E_x = \frac{\beta_0 Q^2}{u^* h^3}$$

donde:

β_0 =constante de proporcionalidad = 0,5 u^*/u

h =profundidad media, (L).

u^* =velocidad de corte, (L/T).

u =velocidad media de la corriente, (L/T).

Q =caudal del río, (L³/T)

Las simulaciones se realizaron en dos situaciones temporales diferentes (actual y futura). Para poder simular la proyección poblacional futura fue necesario ajustar, para cada una de las ciudades ubicadas sobre el tramo, una función a una serie de registros de 10 años (1991-2000), dichas funciones se indican en el Cuadro 2. (Dirección Provincial de Estadística, Censos y Documentación del Copade - Pcia de Neuquén, 1997).

Modelo de simulación

Luego de una exhaustiva revisión de los distintos modelos de simulación existentes en la bibliografía el modelo elegido fue el QUAL2E. (Brown y Barnwell, 1987)

El modelo utiliza la ecuación advección-dispersión que incluye el término denominado cinética o tasa de reacciones químicas y los ingresos puntuales o detracciones para simular el transporte de sustancias.

Dicha ecuación es aplicada a partir de la utilización del modelo matemático de simulación, en este caso como existe una variación de la velocidad y del coeficiente de dispersión en la dirección longitudinal el modelo divide al río en segmentos donde dichos parámetros son constantes.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} + E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - R + S_i$$

donde:

C : concentración media (M/L³), u : velocidad media en la dirección x (L/T), t : tiempo (T), E_x : coeficiente de dispersión en dirección x (L²/T), R : tasa de reacciones químicas, S_i : ingresos puntuales (M/L³).

Seleccionado el sistema de río a modelar, se divide el mismo en n tramos. El balance hidráulico y de masa se aplicará sobre cada uno de los tramos previamente definidos.

El balance hidráulico estará compuesto por los caudales de entrada aguas arriba, los aportes y derivaciones puntuales externas y el caudal saliente aguas abajo.

Cuadro 1. Características de las secciones hidráulicas.

Tramo	L Long. tramo (m)	b Base de fondo (m)	d Tirante (m)	z Talud	R Radio Hidráulico (m)	u Velocidad (m/s)	E _x Coef.de dispersión (m ² /seg)
27	600	50	2.58	0.25	2.33	0.74	42.91
28	1800	40	2.18	0.5	1.94	1.09	48.97
32	1400	40	2.02	0.17	1.83	1.18	57.16
33	2000	70	1.78	0.33	1.69	0.76	128.78
34	1600	40	3.03	0.75	2.55	0.78	24.99
35	3000	50	1.91	0.05	1.77	0.99	79.83
36	2800	30	4.02	0.05	3.17	0.79	10.56
38	1200	100	1.91	0.83	1.74	0.99	158.64
39	3600	60	1.75	0.33	1.65	0.90	114.59
40	2200	30	3.41	0.5	2.72	0.93	14.84
41	1000	40	2.61	0.33	2.29	0.91	33.74
42	1600	20	2.5	0.2	1.99	1.90	18.93
43	1200	25	2.6	0.2	1.10	1.46	25.62
44	2000	30	2.6	0.33	2.20	1.22	25.76
45	1400	40	3.5	0.67	2.89	0.68	18.58
46	1600	40	3.4	0.2	2.90	0.70	19.58
47	3600	30	2.6	0.5	2.18	1.22	25.83

Cuadro 2. Número de habitantes años 2000 y 2050.

Población	Habitantes Año 2000	Habitantes Año 2050	Ecuación
Vista Alegre	2388	5697	$Y = 66,176 x + 1726.3$
Centenario	32208	95018	$Y = 1256,2 x + 19646$
Cinco Saltos	22000	64900	$Y = 858 x + 13420$
Parque Industrial Neuquén	5100	12000	$Y = 138 x + 3720$

Los procesos de advección y dispersión son los que mueven la masa a través del sistema, a esto se puede sumar o restar masa en función de las aportes y derivaciones puntuales externas, o por medio de las transformaciones biológicas o reacciones.

El modelo considera, además, que existe en cada elemento mezcla perfecta. En cada tramo del río se mantienen constantes las propiedades hidrogeométricas (pendiente, sección transversal, coeficiente de rugosidad, constantes biológicas, etc.)

La unión de todas las partes consideradas representan al río, con sus subdivisiones homogéneas internamente y

relacionadas entre sí por medio de los procesos de advección - dispersión.

El modelo resulta inapropiado si se pretende simular vertidos pulsantes. Su propuesta es reemplazar el esquema de diferencia hacia atrás implícita, por un esquema de diferencia hacia atrás explícita, logrando de esta manera que no se produzcan efectos numéricos que enmascaren la solución hallada (Walton y Webb, 1994).

Trento A. (1998) demuestra que el QUAL2E posee resultados confiables cuando se analizan situaciones estacionarias. Propone para simular descargas discontinuas o

situaciones no estacionarias el modelo denominado QUICKEST.

Calibración del modelo

La fecha elegida para efectuar la calibración fue el 17 de octubre del 2000, con un caudal de ingreso al tramo de 95 m³/s, ya que ésta fecha era la que poseía datos de la totalidad de las componentes modeladas.

En el archivo de datos de ingreso, se definieron las características climáticas del día de la corrida del modelo, así como también la ubicación del área de estudio a partir de parámetros tales como latitud, longitud, altitud, etc. (Linfield y Barnwell, 1987).

El área fue dividida en 17 tramos, en correspondencia con los perfiles existentes del río. Los intervalos espaciales (Dx) elegidos para el cálculo numérico de cada tramo, tienen una longitud de 200 m. Para éste trabajo, la simulación se realizó en régimen permanente, por lo que no fue

necesario definir un tiempo máximo de viaje, ni determinar intervalos de tiempo para su posterior análisis.

La calibración se efectuó para los componentes de OD, DBO, nitrógeno orgánico, nitrito, nitrato, amonio, fósforo orgánico, fósforo disuelto y coliformes termoresistentes.

A pesar que la calibración se realizó para la mayoría de los componentes modelados por el QUAL2E, en el análisis posterior de los diferentes escenarios, sólo se simularon los componentes de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, dada la escasez de datos de descargas industriales existentes en el área.

Se corrió el modelo hasta ajustar los valores observados con los calculados por el modelo.

Simulación de diferentes alternativas

Para identificar la influencia de las distintas variables involucradas (caudal, población actual y futura, tipo de industrias y sus erogaciones) se determinaron diferentes escenarios (Cuadro 3), definidos cada uno de ellos, a partir de combinaciones entre las variables.

Cuadro 3. Escenarios simulados.

Escenarios
1. Situación urbana e industrial actual. Caudal en el río de 30 m ³ /s
2. Proyección a 50 años de crecimiento industrial y poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales tres veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 30 m ³ /s
3. Situación actual con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 30 m ³ /s
4. Proyección a 50 años de crecimiento industrial y poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 30 m ³ /s
5. Proyección a 50 años de crecimiento sólo poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 30 m ³ /s
6. Situación urbana e industrial actual. Caudal en el río de 350 m ³ /s
7. Proyección a 50 años de crecimiento industrial y poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales tres veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 350 m ³ /s
8. Situación actual, con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 350 m ³ /s
9. Proyección a 50 años de crecimiento industrial y poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río de 350 m ³ /s
10. Proyección a 50 años de crecimiento sólo poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1. Caudal en el río 350 m ³ /s

Se diferenció entre un crecimiento únicamente poblacional y otro que incluía también el industrial, esto permitiría al analizar los resultados, determinar cuál de los dos componentes producía mayor impacto a futuro.

Los valores de las descargas urbanas utilizadas para simular la situación actual se definieron en función de los datos aportados por los distintos organismos gubernamentales con jurisdicción sobre el área, dichos valores se indican en el Cuadro 4.

Otro de los aspectos analizados fue la identificación de los distintos tipos de industrias asentadas en la zona, a partir de un relevamiento en cada uno de los municipios involucrados.

Dado que este dato no pudo ser obtenido, se definieron industrias "tipo" cuyos valores corresponden a los datos aportados por organismos gubernamentales respecto a erogaciones de otras zonas aledañas a la del estudio o extraídos de la bibliografía (Cuadro 5) y que fueron asigna-

dos a industrias similares ubicadas sobre el área de estudio.

Respecto a la proyección industrial y considerando un crecimiento positivo, se adicionó a los parques industriales de cada una de las ciudades, industrias similares a las que se desarrollan en la región (sidreras, jugueras, frigoríficos, madereras, etc).

Los efluentes de las erogaciones industriales futuras triplican y quintuplican los valores actuales de DBO (escenario 2, 4, 7 y 9), a pesar de no ser de ocurrencia muy probable permitían ver el comportamiento del río frente a un ingreso puntual extremo. Los valores de caudal de los efluentes industriales se mantuvieron constantes en todos los escenarios respecto al escenario actual, salvo los caudales de los ingresos urbanos futuros (escenarios 2, 4, 5, 7, 9 y 10) en los que se contemplaba el aumento poblacional.

Cuadro 4. Erogaciones urbanas actuales.

Municipios	Caudal m ³ /s	Temp. °C	DBO mg/l	OD mg/l	Nitrog. Total mg/l	Fósf. Total mg/l	Nitrog. org. mg/l	Nitrito mg/l	Nitrato mg/l
Cinco Saltos	93	25	392	2		7	11	0,05	1,2
Centenario	35	26	350	1		4,2	11	0,08	1,2
Parque Ind. Neuquén	28	25	300	1,5	27	3	9		0,45

Cuadro 5. Erogaciones industriales actuales.

INDUSTRIAS	VARIABLES				
	Temperatura (°C)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	Q
Papelera	30	213			0,5 (m ³ /s)
Cerámica	30	<10			0,001 (m ³ /s)
Vinícola	20	135			0,006 (m ³ /s)
Lanera	20	100-400		5-5,8	100-300 l/kg
Juguera	20	815			0,034 m ³ /s
Destilería	20	6200		1,94	variable mensualmente
Sidrería	20	4458	11687		variable mensualmente

Además, como se explicó anteriormente, el tipo de plantas de tratamiento de efluentes a instalarse según fuera el escenario analizado, se definió en una segunda etapa al utilizar el modelo de optimización; la aplicación del mismo y los resultados obtenidos no se incluyeron en éste trabajo.

Las modificaciones introducidas en los valores de los efluentes para los distintos escenarios sólo se aplicó a la componente DBO dado que era la única que se encontró definida para todos los tipos de industrias analizadas. No se incluyeron otras componentes en el análisis, como nitrógeno o fósforo dada la escasez de información.

Comparación con valores standard para diferentes usos

Los valores obtenidos por las simulaciones de cada escenario son comparados, en distintos puntos de control a lo largo del río, con los valores estándares o valores límites que se definirán según los usos analizado en dicho punto.

El primer punto de control se encuentra ubicado aguas abajo de la planta de tratamiento de líquidos de Centenario, donde se analizó si cumplía con el valor de DBO y oxígeno disuelto standard para agua potable y uso acuático. El segundo punto de control se encuentra ubicado en el final del tramo donde se analizaron los valores para uso recreativo y vida acuática, dichos puntos se encuentran indicados en la Figura 1.

Los valores standard se obtuvieron de Cifuentes y Labollita (1997). Estos valores son los propuestos para ser utilizados como niveles guías de calidad de agua superficial en función de diferentes usos del recurso (Cuadro 6).

Dado que en este trabajo se priorizó el ajuste de la metodología, las comparaciones se hicieron solo con OD y DBO. En futuras investigaciones donde se pretende aumentar la densidad de información se incorporarán el resto de las componentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calibración del modelo

En la Figura 1 se indican los puntos observados utilizados para calibrar el modelo: aguas abajo del Dique Ballester (Punto 4), aguas abajo de la descarga cloacal de Cinco Saltos (Punto 40') y aguas abajo del canal de los milicos (Punto 57).

Los parámetros del modelo con mayor sensibilidad fueron: el coeficiente de desoxigenación carbonácea, el coeficiente de reaeración, el coeficiente de oxidación de amo-

níaco y el coeficiente de dispersión. El resto de los parámetros, a pesar que también fueron calibrados, no produjeron cambios sensibles en los resultados finales. Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

Posteriormente se realizó la validación con los datos del muestreo correspondiente al 3 de noviembre de 1995, verificando para este caso el valor de los parámetros obtenidos durante el proceso de la calibración. El caudal circulante en dicha fecha correspondió a 96 m³/s.

Simulaciones

Se presenta en las Figuras 2 y 3 la simulación de los escenarios cuyos resultados fueron los más críticos, correspondientes al Escenario 1 (situación urbana e industrial actual – caudal río: 30 m³/s) y al Escenario 4 (Proyección a 50 años de crecimiento industrial y poblacional, con valores de DBO en los ingresos puntuales cinco veces mayores respecto al Escenario 1 y caudal río: 30 m³/s).

Como se puede observar en la Figura 2 la componente oxígeno disuelto presenta valores, en ambos casos, superiores a los valores estándar establecidos a lo largo de todo el tramo considerado.

En el escenario 4, el comportamiento de DBO difiere de la situación anterior, dado que a la altura de la ciudad de Cinco Saltos los valores se elevan a un máximo de 42 mg/l (Figura 3) y se mantienen superiores a los valores guía establecidos hasta finalizar el tramo analizado. Esto se produce debido a que en ese punto se realiza la descarga cloacal, correspondiente a dicha ciudad, sin ningún tipo de tratamiento.

Debería analizarse la posibilidad de construir plantas de tratamiento u otro sistema de manejo que permita disminuir las erogaciones de este componente hacia el río.

En el escenario 1 los valores de DBO son inferiores a los valores guía propuestos.

Para los escenarios 3,5,6,7,8,9 y 10 (Cuadro 3), los resultados, indican que no existen problemas en los valores de dichos componentes en ningún punto del tramo.

Dado que las simulaciones se realizaron con datos que pueden presentar errores producto de su origen es importante aclarar que con mayor información disponible se lo puede ir ajustando y de esa manera acercar la simulación de los distintos componentes a las condiciones reales.

Es imprescindible tener para futuras investigaciones un relevamiento detallado de la actividad industrial y sus erogaciones reales, de manera de ajustar ésta componente que resulta vital a la hora de obtener los resultados.

Los aportes considerados en este caso fueron de tipo puntual, ya que se pensó que todas las descargas (agrícolas, industriales o urbanas) lo harían fundamentalmente

Cuadro 6. Valores Guía Propuestos.**Valores Provisorios Propuestos como Niveles Guía de calidad de Agua Superficial en Función de los Diferentes Usos del Recurso (Marzo, 1996)**

Uso I: Agua Superficial destinada a consumo humano con tratamiento convencional.

Uso II: Agua para Actividades Recreativas con contacto directo.

Uso III: Agua para irrigación.

Uso IV: Protección de vida acuática.

PARAMETROS	UNIDAD	USOS			
		I	II	III	IV
CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes totales	NMP/100ml	5000	1250	1000	(1)
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000	200	100	(1)
MATERIA PARTICULADA					
Sólidos suspendidos totales	mg/l	(1)	ausente	450	(1)
Turbiedad	UNT	(1)	(1)	(1)	(1)
Transparencia	cm	(1)	(1)	(1)	(1)
INDICADORES DE POLUCION ORGANICA					
Oxígeno disuelto	mgO ₂ /l	>5	>5	5	>4*
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 - 20°C)	mgO ₂ /l	<3	<3	<3	<3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /l	(1)	(1)	(1)	(1)
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Fósforo	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Clorofila A					
TEMPERATURA					
	°C	(1)		(1)	
COMPUESTOS NITROGENADOS					
Nitrógeno de Nitratos	mg NO ₃ /l	10	10	<5	(1)
Nitrógeno de Nitritos	mg NO ₂ /l	1	(1)	(1)	0.06
Nitrógeno amoniacal Kjeldahl - N	mg NH ₄ /l	0.05	(1)	(1)	(2)
	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
SALINIDAD E IONES ESPECIFICOS					
pH	UpH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5
Conductividad eléctrica	µs/cm	(1)	(1)	(1)	(1)
Sólidos disueltos totales	mg/l	500	500	500-3500	(1)
Calcio	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Magnesio	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Sodio	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Potasio	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Boro	mg/l	1	(1)	0.5	0.75
Flúor	mg/l	1.5	1.5	1	(1)
Cloruros	mg/l	250	250	250	250
Sulfatos	mg/l	200	250	250	(1)
Bicarbonatos	mg/l	(1)	(1)	1.5	(1)
Carbonatos	mg/l	(1)	(1)	(1)	(1)
Dureza	mgCo ₂ Ca/l	(1)	(1)	500	(1)

⁽¹⁾No se adopta valor de referencia.

⁽²⁾Nitrógeno Amoniacal depende de pH y Temperatura según Tabla A "Guías Recomendables para Nitrógeno Amnial Total".

Cuadro 7. Resultado de los parámetros del QUALE2 obtenidos en la calibración.

Parámetro	Valor
Constante de dispersión	para cada sección
Coefficiente de reaireación	Por Churchill
Indice de desoxigenación carbonacea	3
Constante de sedimentación de demanda de oxígeno	0
Coefficiente de oxidación de nitrito	2
Constante de hidrólisis de nitrógeno orgánico	0,02
Indice de oxidación de amonio	1
Indice de sedimentación de nitrógeno orgánico	0,001
Indice de pérdida de DBO por sedimentación	0,36
Indice de fuente béntica de amonio	0
Indice de disminución de fósforo orgánico a disuelto	0,7
Indice de fuente béntica de fósforo disuelto	0

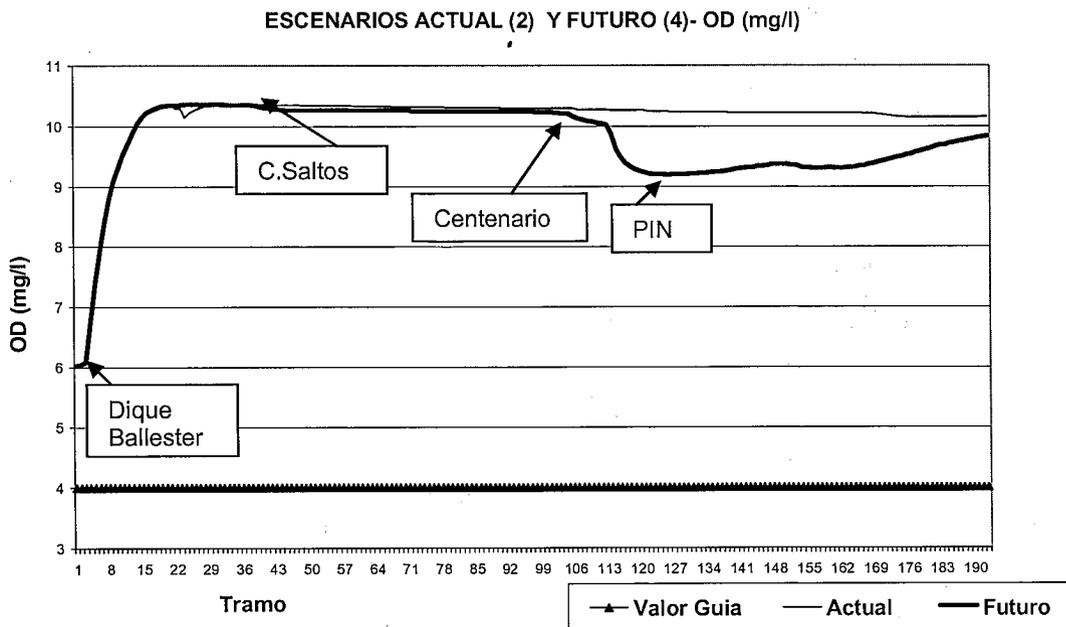


Figura 2. Resultados de las simulaciones de OD escenario actual (1) y futuro (4).

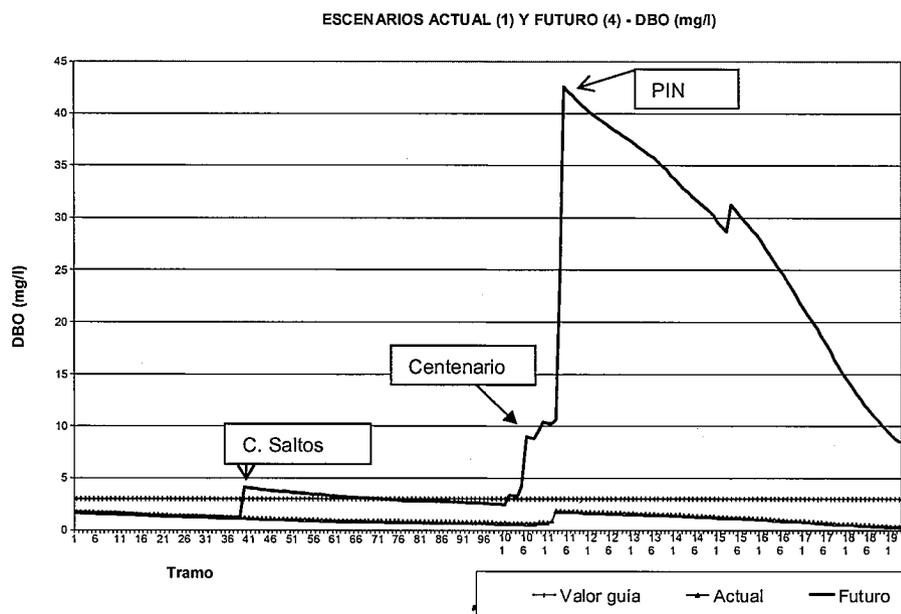


Figura 3. Resultados de las simulaciones de DBO escenario actual (1) y futuro (4).

por esta vía. La componente difusa no se tuvo en cuenta por lo que sería interesante agregarla en un próximo trabajo ya que el modelo QUAL2E tiene la posibilidad de simularla, además de modelar otras como agroquímicos o metales pesados.

CONCLUSIONES

La utilización de un modelo de simulación representa un avance en la región respecto a la aplicación de nuevas metodologías para el diagnóstico y la prevención de la contaminación del agua de los ríos.

El modelo representa adecuadamente los procesos físico-químicos y biológicos en el tramo de río considerado.

En las condiciones actuales, los valores de oxígeno disuelto y demanda biológica de oxígeno se encuentran dentro de valores adecuados. No se observa contaminación en el río existiendo una autodepuración natural producto de las características hidráulicas del mismo.

La componente que mayor impacto negativo produce sobre la calidad del río es la industrial por sobre la urbana.

El modelo de simulación constituye en una herramienta muy apropiada para la programación/

reprogramación de un plan de monitoreo dado que la continuidad espacial de sus resultados puede advertirnos puntos críticos que no necesariamente el plan de monitoreo puede indicar.

BIBLIOGRAFÍA

- ANUARIO ESTADÍSTICO. 1997. Dirección Provincial de Estadística, Censos y Documentación del Copade - Pcia de Neuquén.
- BROWN, L.C. & BARNWELL, T. 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency. Athens. G.A. Report EPA/600/3-87/007,189 p.
- HAPRA S. 1997. Surface Water-Quality Modeling. WCB. Mc Graw-Hill.
- CIFUENTES, O; & LABOLLITA, H. 1997. Diagnóstico de la contaminación de la cuenca en los ríos Limay, Neuquén y Negro. Segunda etapa. Relevamiento de la calidad del agua. Período Febrero 96 - Enero 97.

HIDRONOR S.A. 1990. Estudio de Inundación de Riberas: Río Neuquén-Tramo Chañar – Confluencia.

LINFIELD C.B. & BARNWELL, JR. 1987.EPA. The enhanced stream water quality models QUAL2e and QUAL2E-UNCAS. Documentation and User Model.

LIU, H. 1977. Predicting Dispersion Coefficient of Streams. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE. Vol 103, N° EE1.

TRENTO, A. 1998. “ Modelo unidireccional para estudio de la calidad del Agua”. Tesis de Maestría Facultad de Ingeniería y Cs. Hídricas. U.N. del Litoral.

WALTON, R. & WEBB, M. 1994.“QUAL2E Simulations of Pulse Loads”. J. of Environmental Engineering. ASCE. 120(5).