

Conclusiones

Discusión de resultados

Los resultados de las simulaciones no tienen gran variación entre ellos, lo que permite realizar un análisis por parámetro de calidad del agua. Se llevó a cabo la comparación de los valores resultantes con aquellos medidos y registrados por la agencia USIBWC en la estación de monitoreo de calidad del agua El Granero. Esto se lleva a cabo ya que los valores obtenidos deberían aproximarse a los datos registrados al final del tramo, lo que reflejaría la capacidad del modelo para representar el comportamiento de los contaminantes en el río. También, para complementar el análisis, se toman en cuenta los valores publicados por el semáforo de la calidad del agua en los ríos para discutir sobre el estado general del tramo simulado. Para complementar la discusión, se hace también referencia a datos obtenidos en el SINA en base a las dos estaciones que corresponden al tramo: DLCHI377-PresaLeón y DLCHI428-Julimes (figura 55).

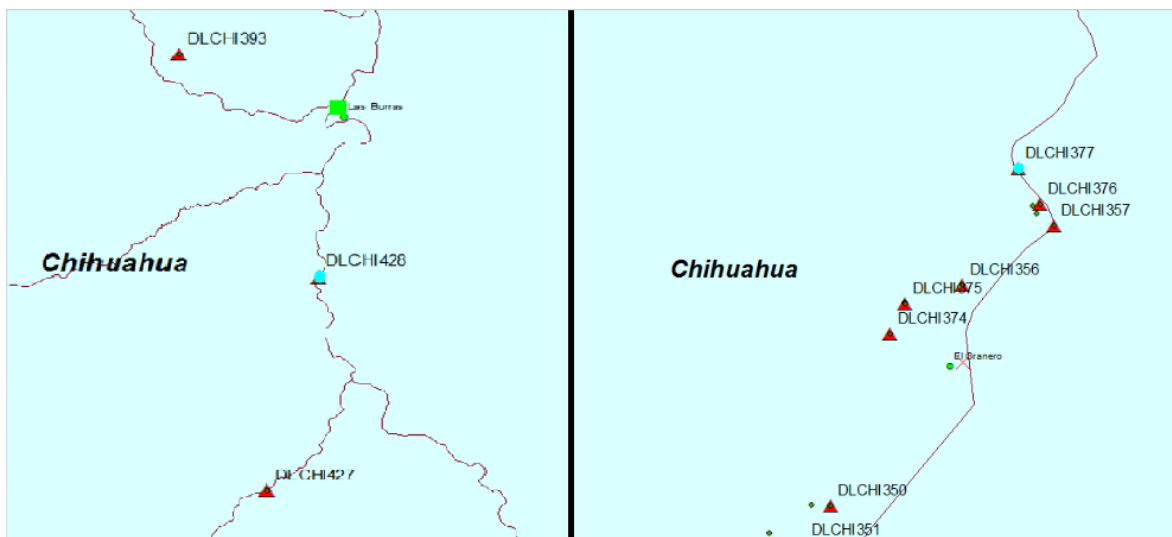


Figura 55. Ubicación estaciones SINA consideradas en el tramo

En cuanto al parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno, los valores simulados no se acercan a la magnitud de aquellos reportados por la estación (Tabla 18). En el escenario 1 y 2 los valores fueron mucho más pequeños que los registrados en el punto de monitoreo y nunca sobrepasan el valor de 1 mg/l. La simulación de DBO no funcionó para el escenario 3 ya que hubo problemas en los cálculos debido a la consideración de grandes caudales. Para efectos de la modelación, los valores obtenidos ponen en evidencia que la simulación funciona ya que se puede ver una disminución en el contenido de materia orgánica biodegradable. Los valores se reducen, lo que representa que el modelo corresponde adecuadamente al decaimiento del constituyente a lo largo del río. También, se realizaron pruebas adicionales para evaluar la influencia del aumento o decremento de la temperatura del aire y del agua en los valores resultantes de la simulación (Anexo 1). En el caso del DBO se aumentaban los valores al reducir las temperaturas. Esto significaría que, el único modo de aumentar los valores de los resultados en la simulación, para obtener valores similares a los de la salida, sería disminuyendo la temperatura. Como esto no sería una condición real o

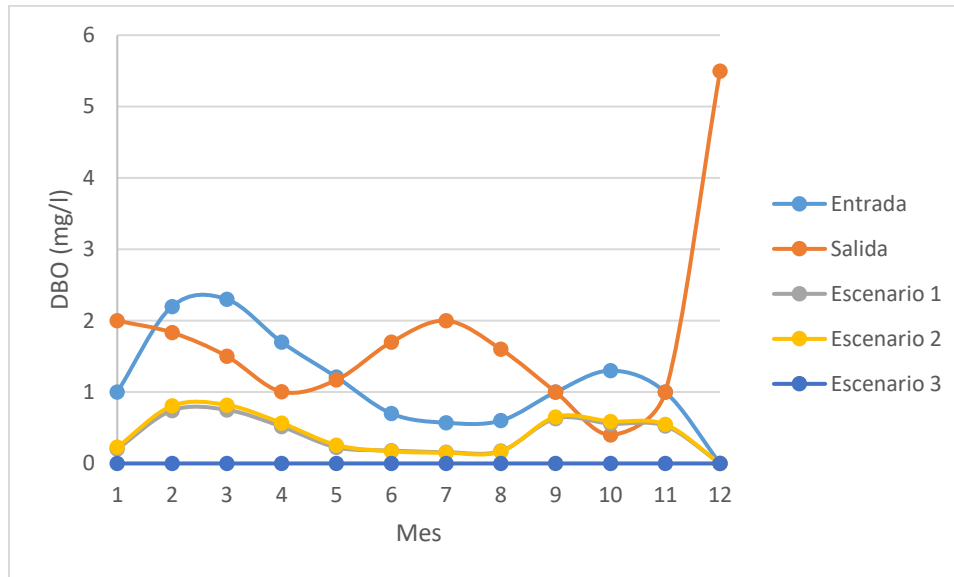
común en el río, se atribuye que los valores bajos se deben a que no se tomaron en cuenta los flujos de retorno en la cuenca. Es decir, el modelo no está simulando en sí las interacciones de las descargas ni de los tratamientos que se llevan a cabo en el río. Estas dinámicas, podrían corresponder mejor a los valores medidos al final del tramo ya que se muestran incrementos y decrementos que corresponderían a distintas implicaciones antropogénicas.

Con respecto a la calidad del agua, los valores tanto medidos como los simulados muestran una calidad excelente según el criterio establecido en el semáforo de CONAGUA. Los valores no exceden la concentración de 3 mg/l, por lo que se diría que el tramo modelado no se encuentra contaminado. Esto a su vez, significaría que los sistemas de tratamiento están funcionando al controlar los niveles de materia biodegradable en el agua a lo largo del río Conchos. Sin embargo, parecería extraño tener valores tan bajos de DBO en esta parte baja de la cuenca, después de haber arrastrado los contaminantes de distintos municipios y de distintos tributarios. Los valores de DBO obtenidos del SINA para la serie de tiempo del año 2012 a 2016 muestran incrementos, pero se tiene como máximo un valor de 4.95 mg/l. Todo esto demuestra que los valores simulados se encuentran en un intervalo correcto si es que no se consideran las influencias humanas.

Tabla 18. Resultados del modelo para DBO (mg/l)

Mes	#	Entrada medido	Salida medido	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
octubre	1	1	2	0.2017	0.2286	0
noviembre	2	2.2	1.834	0.7424	0.8062	0
diciembre	3	2.3	1.502	0.7512	0.8193	0
enero	4	1.7	1.004	0.5162	0.5665	0
febrero	5	1.21	1.17	0.2255	0.2583	0
marzo	6	0.7	1.7	0.1810	0.1699	0
abril	7	0.57	2	0.1588	0.1509	0
mayo	8	0.6	1.6	0.1746	0.1674	0
junio	9	1	1	0.6308	0.6531	0
julio	10	1.3	0.4	0.5580	0.5898	0
agosto	11	1	1	0.5247	0.5469	0
septiembre	12	0	5.5	0.0000	0.0000	0

Gráfica 10. Contraste entre resultados DBO



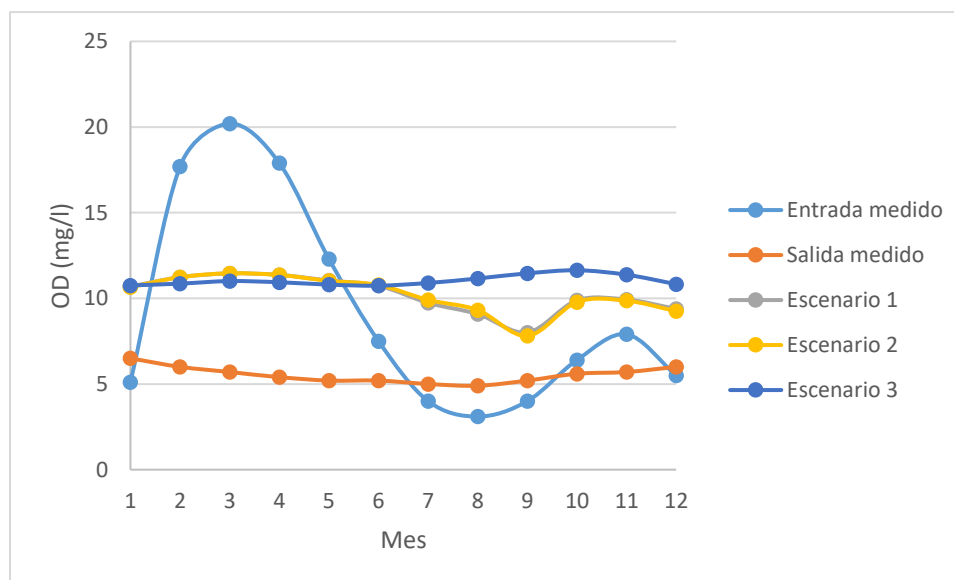
Los resultados para oxígeno disuelto (Tabla 19) fueron similares en los tres escenarios simulados. En su mayoría fueron en aumento con respecto a los valores de OD en la entrada con algunas excepciones. La influencia de la temperatura mostró que los valores tendían igualmente a incrementar a medida en que se disminuía la temperatura, o lo que sería inverso,

el OD disminuye al aumentar la temperatura. En general, se esperaría que los valores de OD fueran menores aguas abajo por la competencia por el oxígeno en el sistema. El que existan valores en incremento da una señal de buena salud del río con respecto a su ecosistema. Los valores más altos se presentan en el escenario 3 ya que los flujos son mayores y el caudal que se presenta es libre de acción humana. Mientras mayores sean los niveles de oxígeno en el río, se puede albergar más vida y a su vez tener mejores interacciones en el mismo. En este caso, no existe referencia sobre algún valor adecuado de OD en el semáforo de calidad del agua. Sin embargo, se puede considerar que un valor de OD entre 5 y 9 mg/l es adecuado para conservar los fenómenos naturales en el río. Los valores de OD simulados demuestran efectivamente las relaciones entre el aumento de oxígeno disuelto y la aireación que se tiene por efectos de la misma turbulencia en el río. Esto podría ser una de las razones por las cuales los valores aumentan, y las razones por las cuales podrían decrecer se referirían a la presencia de mayor contaminación o mayor temperatura. Algunas de las fallas en la simulación se podrían deber al ajuste matemático realizado a lo largo del proceso, donde los valores no se ajustaban a números válidos entre los rangos del parámetro.

Tabla 19. Resultados del modelo para OD (mg/l)

Mes	#	Entrada medido	Salida medido	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
octubre	1	5.1	6.5	10.6927	10.6473	10.7531
marzo	6	7.5	5.2	10.7402	10.7763	10.7400
abril	7	4	5	9.7371	9.9082	10.8975
mayo	8	3.1	4.9	9.0819	9.3138	11.1600
junio	9	4	5.2	8.0090	7.8091	11.4600
julio	10	6.4	5.6	9.8805	9.7841	11.6400
agosto	11	7.9	5.7	9.9252	9.8609	11.3775
septiembre	12	5.5	6	9.3853	9.2524	10.8275

Gráfica 11. Contraste entre resultados OD



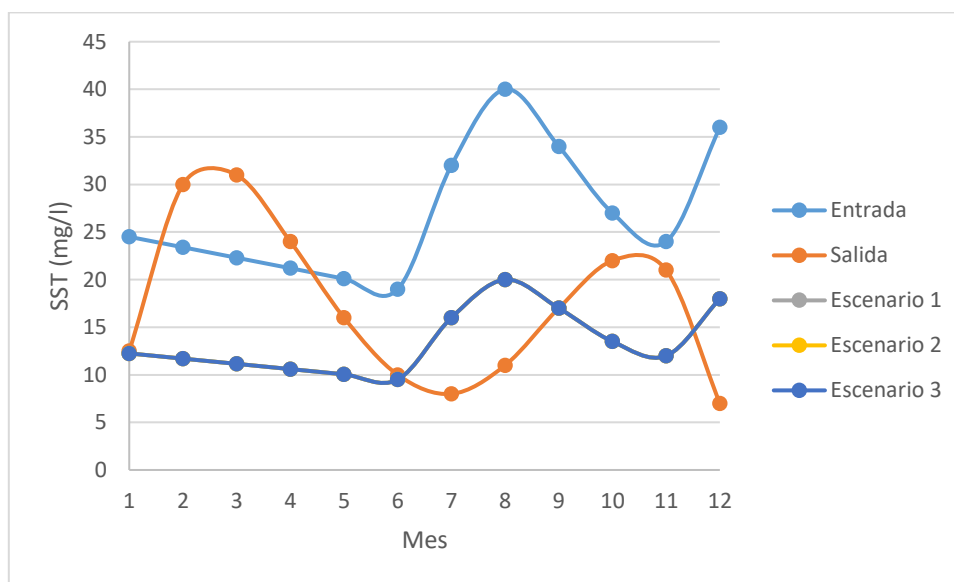
En cuanto a los sólidos suspendidos totales, las tres simulaciones arrojaron exactamente los mismos valores (Tabla 20). El modelo está representando el decaimiento de los valores de SST según las ecuaciones de modelación, pero no está siendo sensible al cambio de caudal. Esto es importante, pues debería variar la concentración de SST a medida en que el flujo cambia con respecto a su velocidad y turbulencia. Al presentarse esto, los SST son mayores debido a que se suspenden con el mismo movimiento del río. Los resultados de los escenarios, se aproximan de buena manera a aquellos que fueron medidos en la entrada, pero con valores menores (Gráfica 12). Si se compara el comportamiento simulado con el comportamiento de los datos reportados por el SINA, se muestra igualmente un fuerte decremento entre los valores de SST en la estación de monitoreo al inicio del tramo y los valores al final del tramo. Por ejemplo, para el año 2013, se tuvo un valor de 55.82 mg/l en la estación DLCHI428-Julimes y un valor de 10.5 SST en la estación río abajo DLCHI377-

Presas Luis León. Esto muestra que el valor de SST río abajo es menor en el caso del río Conchos.

Tabla 20. Resultados del modelo para SST (mg/l)

Mes	#	Entrada	Salida	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
octubre	1	24.5	12.5	12.25	12.25	12.25
noviembre	2	23.4	30	11.7	11.7	11.7
diciembre	3	22.3	31	11.15	11.15	11.15
enero	4	21.2	24	10.6	10.6	10.6
febrero	5	20.1	16	10.05	10.05	10.05
marzo	6	19	10	9.5	9.5	9.5
abril	7	32	8	16	16	16
mayo	8	40	11	20	20	20
junio	9	34	17	17	17	17
julio	10	27	22	13.5	13.5	13.5
agosto	11	24	21	12	12	12
septiembre	12	36	7	18	18	18

Gráfica 12. Contraste entre resultados SST



El cuarto parámetro modelado, la temperatura del agua, tuvo valores resultantes con un cierto decremento con respecto a los valores de entrada medidos (Tabla 21). La caída de

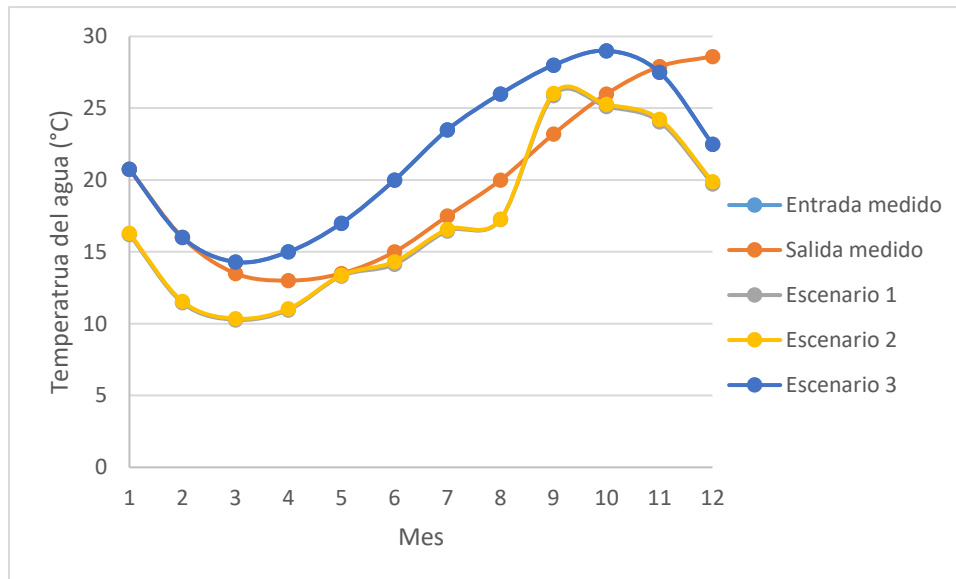
la temperatura en los escenarios 1 y 2 no se muestra tan radical y se encuentra dentro de un margen apegado a la realidad. Los cambios en la temperatura se pueden deber tanto por un cambio en el clima o por pequeños puntos de contaminación. Generalmente, las aguas residuales incrementan la temperatura en los ríos, lo que podría estarse presentando ya al final del tramo según los datos medidos.

El escenario 3 no pudo modelar la temperatura del agua en el tramo del río, esto se puede ver pues los valores son exactamente iguales a los ingresados en el modelo. Por lo tanto, no hubo un cálculo eficiente en ese escenario, tal vez se relacione igualmente con el gran caudal que se ingresó. Se presentaron avisos en la plataforma WEAP, donde se mencionaba que el valor tan grande de caudal ingresado podría causar problemas en el solver del programa lineal. La temperatura del agua, generalmente no se considera dentro de los principales parámetros de evaluación en la calidad del agua, pero ésta puede dar datos importantes sobre el sistema aún más cuando se relaciona con otros parámetros.

Tabla 21. Resultados del modelo para temperatura del agua (°C)

Mes	#	Entrada medido	Salida medido	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
octubre	1	20.75	20.75	16.2061	16.2900	20.7
noviembre	2	16	16	11.4561	11.5531	16.0
diciembre	3	14.3	13.5	10.2727	10.3531	14.3
enero	4	15	13	10.9571	11.0357	15.0
febrero	5	17	13.5	13.3205	13.3790	17.0
marzo	6	20	15	14.1315	14.3154	20.0
abril	7	23.5	17.5	16.4616	16.5668	23.5
mayo	8	26	20	17.2634	17.2838	26.0
junio	9	28	23.2	25.8882	26.0266	28.0
julio	10	29	26	25.1212	25.2687	29.0
agosto	11	27.5	27.9	24.0572	24.2348	27.5
septiembre	12	22.5	28.6	19.7398	19.8933	22.5

Gráfica 13. Contraste entre resultados temperatura del agua



De modo general, el modelo de calidad del agua en WEAP se comporta en los tres escenarios como un sistema sin influencia antropogénica. Esto es importante destacarlo, pues, aunque su funcionamiento corresponde efectivamente con los modelos matemáticos bajo los que se rige, no es capaz de representar exactamente los valores medidos/registrados por las estaciones de monitoreo. Lo que se debe a que los valores registrados sí contemplan la realidad y complejidad del tramo, junto con todas las interacciones que hay en el mismo. En el tramo se tiene la influencia directa de tres centros urbanos: Aldama, Julimes y Meoqui (figura 56), a lo que se le debe agregar todas las interacciones antropogénicas de sus mismos tributarios y municipios río arriba. También, se debe considerar la influencia del mayor distrito de riego en el Conchos (figura 57) y el arrastre de contaminantes a partir de las prácticas de la agricultura en la cuenca alta.



Figura 56. Influencia de los centros urbanos en el tramo modelado. Elaboración propia



Figura 57. Influencia del distrito de riego 005 en el tramo modelado. Elaboración propia

Por otro lado, aunque los valores de la modelación sólo correspondan al comportamiento de la degradación de los contaminantes en condiciones naturales de un río, los valores medidos y registrados no representarían en su totalidad a las interacciones presentes. Esto se fundamenta en que se tienen mayores influencias antropogénicas a las que se refieren esos datos y no se cuentan con plantas de tratamiento de agua en el tramo (figura 58). Por lo tanto, el decaimiento de los valores no podría ser tan efectivo, como se muestra en los valores, a menos en que las condiciones en el río fueran naturales. Esto significa, que la degradación de los contaminantes en el tramo se lleva a cabo sólo por efectos del mismo río sin ninguna otra estructura adicional. Entonces, a partir de lo observado en las modelaciones, se esperaría que los valores medidos al final del tramo fueran de mayor magnitud a los existentes.



Figura 58. Plantas de tratamiento en el tramo simulado (hexágonos). Elaboración propia

Recomendaciones

Se recomienda ampliamente el uso de un modelo hidrológico o de gestión como base al modelo de calidad del agua. Utilizar éste como un complemento a los anteriores y no en sí como modelo único. Es importante tomar en cuenta las interacciones completas de un sistema, en este caso el río. Se debe considerar las influencias humanas en el río Conchos, así como la influencia del ciclo hidrológico en los balances de materia para la degradación o concentración de los contaminantes.

Además, se recomienda utilizar la presente metodología para la obtención y manipulación de los datos necesarios para la elaboración de un modelo de calidad del agua completo en el Río Conchos. Aunque también podría ser utilizado para escalarse o guiarse en la modelación de algún otro río en México, haciendo ajustes en cuanto a los escenarios y periodos de simulación.

Limitaciones y estudios posteriores

La calidad de una modelación depende de la calidad de los datos disponibles. En este caso, aunque el tratamiento que se le realizó a los datos disponibles haya sido matemáticamente correcto, no son representativos de la realidad que se presenta en el río. Por esto, es de vital importancia contar con sistemas funcionales de medición y registro de los datos de calidad del agua en el país. Esto incluye el que existan datos para todos los años de registro y con valores medidos mensuales, en vez de dar datos puntuales anuales. En base a este ejercicio, se puede destacar que la infraestructura tanto de medición como de transparencia por parte de la comisión encargada no es la adecuada y frena cualquier intento de trazar soluciones viables en base a datos reales y concretos. Es necesario que los datos

sean públicos y de fácil acceso para la población, y aún más para aquellos sectores de investigación que buscan generar estudios que podrían impactar positivamente en la gestión integral de los ríos en México. En el caso especial del río Conchos, la información que sea compartida entre las agencias debe estar igualmente disponible al dominio público desde las fuentes de información de México, para que de esta manera se pueda llevar hasta un mejor manejo y comprensión de la cuenca en sí.

Otra gran limitación fue el hecho de que los periodos de registro de los datos hidrológicos, climáticos y de calidad del agua no corresponden entre ellos. En algunos casos, las estaciones ya no están en funcionamiento y los datos fueron registrados hasta cierta fecha. Lo que significa un gran reto al considerar para un mismo punto las estaciones que cuenten con datos del mismo periodo ya que son necesarios para nutrir el modelo. Teniendo en cuenta todas las estaciones de monitoreo de diferentes parámetros en este tramo, fue difícil establecer un periodo de tiempo en el que los datos correspondieran entre todos. Por ello, fue que se utilizó para esta modelación el periodo 1999 a 2000, ya que la mayoría de las estaciones contaban con datos, aunque con series incompletas, de entre esos años.

La metodología que se presentó puede ser utilizada para algún otro estudio de su tipo en el futuro. Aún más, si se considera la modelación de la calidad del agua en la cuenca del río Conchos, ya que se establece tanto la información necesaria como las fuentes de información. Los análisis realizados y consideraciones mencionadas en este estudio permitirían elaborar una mejor y más completa versión de un modelo de calidad del agua en la cuenca. A pesar de no haber obtenido una completa representación de los datos medidos, este ejercicio, como primera prueba, refleja los alcances y limitaciones de simular la cuenca.

Además de que se da información importante sobre las consideraciones o ajustes que se tienen que realizar por tramo a simular.

Finalmente, podrían agregarse aún más limitaciones si no se maneja adecuadamente la información en la plataforma WEAP o si no se tiene pleno conocimiento sobre el funcionamiento de la simulación de calidad del agua en esta plataforma. Sin embargo, este estudio permite dar una primera aproximación a modelar la cuenca del río Conchos y ofrece un amplio panorama sobre el seguimiento que se lleva a cabo en cuanto a la contaminación de sus ríos. Además, se destaca, en su mayor parte, las necesidades inmediatas para ejercer un buen manejo de su recurso hídrico y para establecer una gestión integral de la cuenca. Mecanismos que requieren de calidad de información y buen uso de la misma, la multidisciplinariedad de los recursos humanos involucrados, y principalmente del reconocimiento del río como un servicio ambiental que debe ser conservado. Primordialmente, debe mantenerse en buen estado para sus propias funciones como ecosistema y para el beneficio de la sociedad en general.