



Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

Nombre del estudio en inglés: Panama Lakes Water Quality Modeling Study

Nombre del estudio en español: Estudio del modelo de calidad del agua de los lagos de Panamá

Fecha del informe final: 8 de julio de 2003

Fecha de la traducción: 17 de mayo de 2006

Nombre del consultor: USACE / MWH

RESUMEN EJECUTIVO

EXTRACTO: La Autoridad del Canal de Panamá opera el Canal de Panamá que conecta los océanos Atlántico y Pacífico a través del Istmo de Panamá, permitiendo el paso de buques de alto calado. El Canal mide 80 kilómetros de largo y a través del mismo pueden transitar buques de hasta 294 metros de eslora con un calado máximo de 12 metros. La mayor parte del Canal se encuentra por encima del nivel del mar, en una represa artificial, el lago Gatún. El Canal, sus represas y las tierras adyacentes son administrados por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Actualmente la ACP está estudiando la factibilidad de ampliar el sistema existente del Canal mediante la construcción de embalses adicionales a fin de incrementar la disponibilidad de agua para la navegación. En la actualidad los lagos de Gatún y Alhajuela producen cantidades suficientes de agua para la navegación, la generación de energía eléctrica y el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, existe la preocupación de que el aumento futuro en el número de tránsitos de buques por el Canal, sumado a niveles menores de agua, puedan crear situaciones en las que el suministro de agua sea insuficiente para las operaciones del Canal. La ACP se encuentra estudiando hasta tres nuevos embalses al oeste del lago Gatún. Los embalses de la cuenca hidrográfica occidental son los de río Indio, Caño Sucio y Coclé del Norte (o Toabré). Las aguas de estos embalses serían transferidas a través de canales y túneles hasta el lago Gatún. El propósito de este estudio es evaluar la calidad del agua en los embalses propuestos de la cuenca hidrográfica occidental y lo que puede suceder con respecto a la calidad del agua existente a causa de la transferencia de agua entre las cuencas desde los embalses propuestos hasta el lago Gatún. Este informe presenta los resultados de los modelos y ofrece conclusiones y recomendaciones en cuanto a los diferentes escenarios simulados.



RESUMEN Y RECOMENDACIONES

Resumen

La simulación de tres embalses para el sistema del Canal de Panamá, dos de los cuales ya existen y uno que se propone, se logró mediante la utilización del modelo CE-QUAL-W2, con el propósito de evaluar el impacto en la calidad de agua ocasionado por la transferencia entre las cuencas hidrográficas. De suma importancia es el impacto que tendrán las aguas del embalse propuesto del río Indio vía túnel sobre las tomas de agua al ser descargadas en el lago Gatún.

Para desarrollar este estudio, se escogió el CE-QUAL-W2, un modelo bidimensional hidrodinámico y de calidad del agua promediado lateralmente, por su capacidad de simular las operaciones de los embalses. El W2 permitió la representación de variaciones en la calidad de agua y de corrientes en direcciones longitudinales y verticales. Se requirió de una aplicación separada del modelo W2 por cada embalse. También se aplicó el W2 a los embalses propuestos de Coclé del Norte y Caño Sucio, pero no se corrieron simulaciones. Aunque el W2 utiliza un modelo con enfoque promediado lateralmente, se consideró la mejor opción para este estudio. El W2 posee las características requeridas para simular con precisión las operaciones de los embalses (tomas de agua, densidad de los flujos de entrada, remoción selectiva) que no tienen otros modelos tridimensionales desarrollados para los sistemas estuarinos. Se requerirían esfuerzos adicionales para intentar incorporar estas características cuando en la actualidad no existen pruebas que justifiquen un modelo tridimensional. Además, es probable que un modelo tridimensional desarrollado para este sistema en base a la información utilizada para este estudio W2 no hubiera producido mejores resultados. El W2 se ha aplicado en aproximadamente 400 estudios de calidad de agua para embalses, lagos y estuarios. Siendo que el lago Gatún es uno de los embalses reales de mayor extensión de área que ha sido simulado con el W2, se captó su forma irregular dividiendo el sistema en un número de tributarios de tamaño similar a las aplicaciones W2 anteriores.

Tanto el lago Gatún como el lago Alhajuela se calibraron utilizando información no sinóptica obtenida de varias fuentes y por diversos períodos de tiempo. Para “calibrar” el modelo se utilizaron los promedios por temporada de los datos de concentraciones de columnas de agua tomados de un estudio de muestras que se llevó a cabo para los años de 1972 a 1974. Los intentos por localizar los datos originales fueron infructuosos, ya que los registros de la información original habían sido destruidos. Se hicieron calibraciones separadas para el lago Gatún y el lago Alhajuela utilizando la información mencionada por temporada observada y un conjunto de datos (por temporada, mensual, diaria, sintética) de flujo e información meteorológica. Los resultados de los modelos no fueron perfectos, pero considerando la falta de información de entrada y las incompatibilidades entre las funciones forzadas (meteorología e influjos) y la naturaleza resumida de las observaciones, la calibración del modelo se consideró adecuada para probarla en el escenario.

Se hicieron un total de seis simulaciones del escenario W2 basados en los resultados de la simulación HEC-5 de operación de embalses proporcionado por la ACP. Se hicieron cuatro



simulaciones W2 para el propuesto embalse de Río Indio y dos para el lago Gatún. Con los resultados de la simulación HEC-5 proporcionados por la ACP se obtuvieron los requisitos de influjo, descarga y demanda de agua para estos escenarios. Un período de cuatro años escogido de los resultados de la simulación HEC-5 de la ACP proporcionó la información “concentrada” y el resultado del HEC-5 tuvo que interpretarse para luego asignarla a los influjos y descargas apropiadas en el W2. Por ejemplo, el HEC-5 reportó influjos solamente como “influjo local” sin considerar la fuente del influjo. Para el W2, el “influjo local” tuvo que asignarse a tributarios individuales en base a las relaciones desarrolladas en este estudio.

Los resultados de estos escenarios indicaron que la calidad de agua en el embalse propuesto para Río Indio, en términos de oxígeno disuelto, varía según los procesos que ocurren en el embalse. Cuando se saca el agua del embalse, ya sea mediante transferencia entre las cuencas hidrográficas o la descarga aguas abajo, los niveles de oxígeno disuelto son más altos. Cuando se llena el embalse, se dan niveles bajos indeseables de oxígeno disuelto en las partes hondas del embalse. Estos episodios de oxígeno disuelto bajo terminaron tan pronto el embalse comenzó a vaciarse nuevamente. El motivo de estos niveles bajos de oxígeno disuelto es la demanda de oxígeno del sedimento. En las condiciones en las que el embalse se llena, hay menos movimiento en las capas inferiores que cuando se saca agua del embalse. Como resultado, hay menos mezcla y dilución del oxígeno disuelto en el agua cuando los embalses se llenan.

Se simularon descargas por una sola salida y por salidas múltiples para el embalse propuesto en río Indio. Estas simulaciones se realizaron para obtener una evaluación de la necesidad de hacer vaciados selectivos. Los vaciados por una sola salida, ya fueran por la descarga aguas abajo o por la transferencia entre las cuencas dieron como resultado la extracción de mayor cantidad de agua de los niveles inferiores, lo que contribuyó a la mezcla y dilución del oxígeno disuelto debido al arrastre de aguas de las capas sobrepuestas que tenían niveles más altos de oxígeno disuelto. La causa del bajo nivel de oxígeno disuelto en el agua en las capas inferiores fue la demanda de oxígeno del sedimento. Al utilizarse vaciados mediante salidas múltiples, hubo menos mezcla de la agua con bajo nivel de oxígeno disuelto. Esto dio como resultado un descenso en los niveles de oxígeno disuelto en las capas inferiores del embalse.

Los vaciados por salidas múltiples en la represa serían beneficiosos durante los períodos cuando se está llenando el embalse y la única descarga es mediante flujos regulados. Los niveles de oxígeno disuelto en las descargas aguas abajo en la salida de 12 metros tendieron a ser muy bajos durante este período. Sin la capacidad de extraer de otras capas o sin alguna forma de reaireación mecánica, esta situación podría resultar en la descarga de agua con bajo nivel de oxígeno disuelto, lo cual pudiera tener efectos adversos aguas abajo. Durante el período de simulación de cuatro años, los niveles de oxígeno disuelto bajaron a cerca de 0 mg/l durante el primer año y a menos de 2mg /l para los períodos de los años restantes. Bajo estas condiciones pueden darse descargas de metales reducidos del sedimento. Las aguas que contienen estos metales, al ser oxigenadas durante su recorrido por la represa, ocasionarían la precipitación de metales en los canales aguas abajo de la represa.

La necesidad de tomas con aberturas múltiples para el túnel de transferencia entre las cuencas hidrográficas es menos dramática. Los resultados indican que existe muy poca variación entre las condiciones en el sitio la toma del túnel en los cuatro escenarios desarrollados. En realidad, las peores condiciones de oxígeno disuelto se suscitaron cuando se dividió el flujo de transferencia entre las tres aberturas. Ello se debió, nuevamente, a que había menos flujo en las capas inferiores, lo que resultó en menos mezcla vertical. Las condiciones de anoxia permanecieron por



debajo de la elevación de la toma inferior del túnel. Los niveles de oxígeno disuelto aumentaron cuando se llevaron a cabo transferencias entre las cuencas hidrográficas debido a un incremento en la mezcla vertical y al movimiento de las aguas. De ello se desprende que la condición crítica se daría cuando se inician las transferencias entre las cuencas. Después del primer “lavado”, los grandes flujos se mezclarán en el embalse y los niveles de oxígeno disuelto mejorarán en las capas usadas en la extracción.

Se corrieron dos escenarios para el lago Gatún, uno usando una sola abertura para la transferencia del flujo de entrada y otro usando tres aberturas para la toma de transferencia del túnel, simulando el recibo de transferencias entre las cuencas desde el embalse de río Indio. Los resultados indicaron una pequeña diferencia en los niveles de oxígeno disuelto en las tomas de agua. Ello se esperaba por dos motivos. Uno, la calidad de agua de la descarga del túnel era la misma indistintamente si se usaba la extracción del agua por una sola o por varias aberturas en la toma del túnel. Segundo, todas las tomas principales se encuentran lejos del sitio de descarga del túnel y su impacto sobre las mismas es insignificante. Solamente la toma de Escobal se encuentra en el mismo tributario que el sitio de descarga del túnel. Está ubicada a aproximadamente 14 millas del sitio de descarga. Los niveles de oxígeno disuelto en la toma de Escobal fueron altos en ambos escenarios. En los escenarios de Gatún no se hicieron concesiones para la reaireación que ocurre por los mecanismos de disipación de energía tales como los dados de amortiguación.

Recomendaciones

Durante el curso de este estudio se desarrollaron las siguientes recomendaciones, las cuales se presentan aquí para el apoyo de estudios adicionales sobre el sistema del Canal de Panamá.

- a. Información observada. La información utilizada en este estudio era la mejor que estaba disponible en el momento. De la mayor prioridad es la creación de una base de datos actualizada que contenga las observaciones de la columna de agua, las concentraciones de los tributarios y los influjos de los tributarios. Esta base de datos le permitiría a la ACP refinar los modelos desarrollados y daría mayor crédito a la aplicabilidad del modelo. La observación de las corrientes y la compilación de información acerca de las corrientes y los flujos en lugares selectos del lago Gatún ayudarían a determinar cómo ocurren, y a evaluar el impacto de los flujos no uniformes. La base de datos que se genere mediante este esfuerzo le permitiría a la ACP mejorar el modelo de simulación hidrodinámica y de calidad del agua que se ha desarrollado en este estudio.
- b. Cargas y condiciones de la cuenca. La ACP ha señalado que la población a lo largo de la Carretera Transistmica ha aumentado significativamente desde que se llevó a cabo el estudio de muestreo de la calidad de agua en los años de 1972 a 1974. Por consiguiente, se cree que también ha habido un aumento en las cargas asociadas con este crecimiento. Para estimar el impacto de este crecimiento sobre las aguas del lago Gatún, el lago Alhajueta y el embalse propuesto para el río Indio, se requiere un enfoque amplio que incluya muestreo, hidrología y la aplicación de modelos de la cuenca a fin de evaluar las cargas que llegan a los tributarios y los lagos.
- c. Procesos de sedimentación. Los escenarios para el río Indio demostraron la importancia de unas buenas estimaciones de la demanda de oxígeno del sedimento. En los escenarios para el río Indio se observaron condiciones de anoxia e hipoxia en las aguas del fondo. Estas condiciones en el modelo son el resultado de las tasas de demanda de oxígeno del



- sedimento y tienen un impacto directo sobre los requisitos de la capacidad de remoción selectiva entre las cuencas hidrográficas. La tasa que se utilizó es de un valor conservador. Sin embargo, no existe información acerca de cuál sería la tasa apropiada de demanda de oxígeno del sedimento. Hay que obtener muestras del suelo en el sitio del embalse propuesto para el río Indio y analizarlas para determinar la demanda de oxígeno del sedimento y las descargas de sedimento. En base a dichos resultados, hay que evaluar entonces los escenarios del río Indio utilizando las tasas modificadas de demanda de oxígeno del sedimento.
- d. Monitoreo continuo. Una labor de muestreo limitado continuo en lugares claves del sistema permitirá la detección temprana de cambios en la calidad del agua. La información lograda servirá como la “primera advertencia” de una degradación de la calidad del agua y ayudaría al análisis de “causa y efecto” de los problemas de calidad de agua. El desarrollo de un programa de monitoreo le permitiría a la ACP actuar de forma proactiva en lugar de reactiva, para resolver los problemas relativos a la calidad del agua.
- e. La capacidad de remoción selectiva del agua en el sitio de la represa. Las simulaciones para el embalse de río Indio señalan la necesidad de una remoción selectiva en el sitio de la represa. Durante los períodos en que únicamente se simularon flujos mínimos, se encontraron condiciones de bajo oxígeno disuelto cerca de la abertura más baja simulada (12 m). La habilidad de extraer agua de los diferentes niveles permitiría que se mezclaran diferentes calidades de agua, lo que mejoraría la calidad (según lo indica el oxígeno disuelto) en las aguas recipientes.
- f. Capacidad de remoción selectiva de la toma del túnel. La necesidad de una estructura de aberturas múltiples para respaldar la remoción selectiva es menos evidente para la toma del túnel. En la simulación que probó una instalación de aberturas múltiples se encontraron niveles más altos de oxígeno disuelto en el agua en el túnel en ciertos períodos de la operación del túnel, especialmente al darse las primeras transferencias. El nivel más bajo de oxígeno disuelto pronosticado para las tomas de agua del túnel fue de 2.33 g/m^3 para la simulación que utilizó únicamente una abertura de toma en la boca de entrada del túnel. Para la simulación que se realizó con el flujo del túnel dividido entre tres bocas de entrada, el oxígeno disuelto fue de 3.11 en ese mismo momento. Ese valor de nivel de oxígeno disuelto depende sobremanera de la sensibilidad del valor de la demanda de oxígeno del sedimento utilizado. Se puede decir que los niveles de oxígeno disuelto fueron más altos durante la primera parte de la transferencia entre las cuencas en la simulación que utilizó una toma de agua para el túnel de aberturas múltiples. Luego de la parte inicial de la transferencia entre las cuencas, la mezcla adicional en el río Indio debido a los flujos de transferencia entre las cuencas dio como resultado que los niveles de oxígeno disuelto en la toma del túnel fueran similares tanto en el caso de una sola abertura como en el caso de una toma de agua de aberturas múltiples. En las simulaciones no se hizo ninguna concesión para la reaireación a la salida del túnel. Estas simulaciones deben repetirse una vez se obtenga mejor información sobre las tasas de demanda de oxígeno del sedimento.
- g. Escenarios adicionales. Durante este estudio de transferencia de flujo entre las cuencas hidrográficas se probaron dos juegos de condiciones que únicamente se diferenciaron en el tipo de toma utilizado en el túnel (de un solo nivel o de múltiples niveles). Sería recomendable simular otros períodos además del período comprendido entre 1951 y 1954



para ver el impacto que los diferentes niveles de agua en el embalse de río Indio tienen sobre la calidad de agua del flujo de transferencia.