



Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

Nombre del estudio en inglés: Saltwater intrusion analysis for Post Panamax Locks – Reports B, C, and D

Nombre del estudio en español: Análisis de la intromisión de agua salada en esclusas Pospanamax – Informe B, C y D

Fecha del informe final: Septiembre de 2003

Fecha de la traducción: 24 de mayo de 2006

Nombre del consultor: Montgomery Watson Harza

RESUMEN EJECUTIVO

(Introducción, Conclusiones y Recomendaciones)

Contenido

- **Comparación de la intromisión de agua salada para configuraciones de esclusas Pospanamax de tres, dos y un nivel**
- **Informe B: Esclusas Pospanamax de un nivel**
- **Informe C: Esclusas Pospanamax de tres niveles**
- **Informe D: Esclusas Pospanamax de dos niveles**



Comparación de la intromisión de agua salada para las configuraciones de esclusas Pospanamax de tres, dos y un nivel

I Introducción

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) está desarrollando un plan maestro a largo plazo para aumentar la capacidad del Canal de Panamá y su capacidad de pasar buques. Para este propósito, la ACP se ha embarcado en un estudio para evaluar la factibilidad de construir instalaciones y medios para proporcionar fuentes adicionales de suministro de agua y la generación asociada de energía eléctrica, nuevos juegos de esclusas, sistemas alternos para subir y bajar los buques, mejoras a los cauces de navegación e infraestructura marítima. El estudio está diseñado para ayudar al Canal a satisfacer la demanda futura de tráfico y las necesidades de servicio de sus usuarios y continuar ofreciendo un servicio eficiente y competitivo durante los próximos cincuenta años y más.

Los recursos hídricos disponibles para las operaciones del Canal han sido analizados por la División de Proyectos de Capacidad del Canal y se han identificado varios nuevos proyectos de agua (incluyendo nuevas esclusas) con potencial para proporcionar el agua necesaria para suplir la demanda operativa del Canal a largo plazo y para el aumento en el consumo de agua para uso municipal e industrial. Luego de esto, la División de Proyectos de Capacidad del Canal inició el desarrollo conceptual de nuevas esclusas que pudieran atender buques Pospanamax. Tentativamente, el tamaño de las esclusas Pospanamax propuestas será de 61 m de ancho por 457 m de largo por 18.3 m de profundidad, lo que resulta significativamente más grande que las esclusas tipo Panamax existentes que miden 33.5 m de ancho por 305 m de largo y 13 m de profundidad.

Las esclusas Pospanamax propuestas podrían tener varias configuraciones de diseño que irían desde un sistema de un solo nivel hasta un sistema de tres niveles. Se espera que la configuración de la nueva esclusa y la cantidad de niveles causen un efecto en la transmisión de agua salada a través del sistema de esclusas a los lagos Gatún y Miraflores y que las nuevas esclusas requieran una mayor cantidad de agua dulce para la operación del Canal. En vista de lo anterior, se ha tomado en consideración el uso de tinas de reutilización de agua.

El tema de la posible intromisión de agua salada en el lago Gatún como consecuencia de la operación de las esclusas existentes y de las esclusas Pospanamax propuestas, es un tema ambiental muy importante y jugará un papel importante en la evaluación de las esclusas Pospanamax propuestas. La evaluación requiere una completa comprensión de la intromisión de agua salada a través de las operaciones de esclusas y del uso de las tinas de reutilización de agua. Se requieren nuevas herramientas para realizar un análisis de los procesos físicos y operativos involucrados.

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) otorgó un contrato a WL Delft Hydraulics para la realización de un “Análisis de la intromisión de agua salada en las esclusas existentes y en las esclusas Pospanamax propuestas para el Canal de Panamá” (contrato SAA-74337). El Aviso de Proceder formal, con fecha del 18 de octubre de 2001 se recibió vía facsímil el 19 de octubre de 2001.



Los objetivos de los servicios de WL Delft Hydraulics eran analizar la intromisión de agua salada en las esclusas existentes y en las esclusas Pospanamax propuestas y desarrollar las herramientas requeridas. Para tales propósitos, los servicios incluyeron:

- revisión de las operaciones actuales del Canal y datos sobre la intromisión de agua salada con las condiciones existentes
- recopilación de datos en el campo sobre intromisión de agua salada, tanto en la estación lluviosa como en la seca
- modelaje numérico, validación y análisis de la intromisión de agua salada con las condiciones existentes
- modelaje numérico y análisis de intromisión de agua salada para las configuraciones de tres niveles y un nivel para las esclusas Pospanamax propuestas.

Además, los servicios incluyeron:

- desarrollo de especificaciones para pruebas adicionales de intromisión de agua salada utilizando modelos físicos a escala de las esclusas propuestas y de las tinas de reutilización de agua

El contrato se extendió hasta enero del 2003; el objetivo de esta extensión fue:

- realizar el modelaje numérico y análisis de intromisión de agua salada para una configuración de dos niveles para las esclusas Pospanamax propuestas

Este informe presenta los resultados del análisis de la intromisión de agua salada para las condiciones futuras con un nuevo tercer carril y esclusas Pospanamax. La primera parte del informe describe y compara la intromisión de agua salada para las tres configuraciones de esclusas Pospanamax estudiada bajo este contrato. Aquí se incluyen y se explican en mayor detalle los comentarios realizados por la ACP sobre informes previos en borrador, principalmente sobre la preparación del modelo de simulación de intromisión de agua salada y el uso de los coeficientes de intercambio de sal en este modelo. Las siguientes tres partes del informe, tituladas Informe B, Informe C e Informe D, presentan el modelo numérico y los resultados de las simulaciones de intromisión de agua salada para cada una de estas tres configuraciones de esclusas Pospanamax por separado. Estos informes pueden ser leídos de manera independiente; cada uno de ellos contiene información completa sobre el modelo de simulación numérico para cada configuración de esclusas específica.

El informe A, fechado en junio del 2003, presenta los resultados del análisis de la intromisión de agua salada con las condiciones existentes, incluyendo una revisión de las operaciones del Canal actual, una revisión de los datos disponibles sobre la intromisión de sal con las condiciones actuales, recopilación de datos de campo sobre niveles de salinidad en el área del Canal durante las estaciones lluviosa y seca, el desarrollo de un modelo de simulación numérico, y el análisis de la intromisión de agua salada con las condiciones existentes. Además incluye especificaciones para pruebas adicionales de intromisión de agua salada a través de las esclusas del Canal utilizando modelos físicos a escala.

2.4 Conclusiones y recomendaciones



Tanto del punto de vista de la intromisión de agua salada como de los recursos adicionales para el suministro de agua al lago Gatún, el sistema de esclusas Pospanamax de tres niveles es la mejor opción. La aplicación de tinas de reutilización de agua contribuye a ahorrar agua, pero también es la causa de una mayor intromisión de agua salada. La concentración de sal promediada por volumen en el lago Gatún sigue estando muy por debajo del límite de agua dulce, aún cuando las tinas de reutilización de agua estén en operación. Sin embargo, se hallarán áreas con mayor concentración de sal que la concentración promediada por volumen. Esas áreas podrían incluir el Corte Culebra, el cauce de navegación en el lago y el área noreste del lago. Esto no significa necesariamente que el límite de agua dulce se excedería en estas áreas. Un estudio adicional sobre la distribución de agua salada en el lago será necesario para evaluar si los niveles locales de salinidad aumentan por encima del límite de agua dulce. De ser así, se pueden tomar medidas adicionales para reducir la intromisión de agua salada. El nivel de concentración de sal en el lago Miraflores casi no se afecta y permanece más o menos igual a la situación actual.

Las opciones de esclusas Pospanamax de dos niveles y un nivel ocasionan un influjo de agua salada mucho mayor en el lago Gatún. La concentración de sal promediada por volumen aumenta muy por encima del límite de agua dulce, inclusive cuando las tinas de reutilización de agua no estuvieran en operación. Estas opciones requieren de medidas adicionales para prevenir la intromisión de agua salada.



Informe B

Esclusas Pospanamax de un Nivel



I Introducción

El Informe B trata sobre la intromisión de agua salada con la configuración de esclusas Pospanamax de un nivel para el futuro tercer carril del Canal. La intromisión de agua salada es adicional a la intromisión de agua salada en las esclusas existentes. Las nuevas esclusas de un nivel pueden incluir tinajas de reutilización de agua.

El informe trata sobre los siguientes aspectos:

- revisión del diseño conceptual del Consorcio Post-Panamax (CPP) para una configuración de esclusas Pospanamax de un nivel;
- extensión del modelo de simulación de intromisión de agua salada construido para las condiciones existentes con un nuevo carril de navegación; este nuevo carril incluye esclusas de un solo nivel y tinajas de reutilización de agua en cualquiera de las riberas del Canal (el uso de las tinajas de reutilización de agua es opcional en el modelo de simulación);
- selección de los coeficientes de intercambio que serán utilizados en la simulación;
- simulación de intromisión de agua salada para la configuración de esclusas Pospanamax de un solo nivel y análisis de los resultados.



7.3 Resultados y análisis de las simulaciones

Las concentraciones de sal computadas (ppm) en los lagos Miraflores y Gatún durante el período comprendido entre los años 2016 – 2020 (al final de 10 años luego de inaugurado el nuevo carril) y el período entre los años 2051 – 2060 (al final de 50 años luego de inaugurado) se muestran en las Figuras D1-10, 1 a D4-50, 2. Los resultados de la condición actual (sin el nuevo carril) para el período comprendido entre los años 2011 – 2020, se muestran en las Figuras A-10, 1 y A-10, 2. Como se puede ver, las concentraciones de sal en los lagos Miraflores y Gatún fluctúan en función de las estaciones lluviosa y seca; los niveles de concentración de sal se estabilizan en un período de casi 1 – 2 años luego de un cambio en la intensidad del tráfico de buques.

Los valores máximos y mínimos de la concentración de sal en los lagos Miraflores y Gatún durante el último año del período analizado se presentan en la Tabla 7.3.

Caso	Año analizado	Concentración de sal (ppm) lago Miraflores		Concentración de sal (ppm) lago Gatún	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
A-10	10	0.64	1.42	0.010	0.027
D1 - 1 mes	-	0.63	1.01	0.009	0.049
D1 - 1	1	0.63	1.66	0.009	0.36
D1 - 5	5	0.84	2.22	0.35	0.99
D1 - 10	10	0.87	2.32	0.42	1.18
D1 - 20	20	0.97	2.68	0.56	1.53
D1 - 50	50	1.14	3.56	0.95	2.59
D2 - 1 mes	-	0.63	1.00	0.009	0.031
D2 - 1	1	0.63	1.57	0.009	0.18
D2 - 5	5	0.72	1.81	0.16	0.45
D2 - 10	10	0.75	1.82	0.19	0.54
D2 - 20	20	0.79	2.02	0.25	0.67
D2 - 50	50	0.82	2.33	0.39	1.02
D3 - 1	1	0.63	1.87	0.009	0.70
D3 - 10	10	1.00	2.55	0.65	1.52
D3 - 20	20	1.22	3.08	0.99	2.13
D3 - 50	50	2.00	4.80	2.45	4.17
D4 - 1	1	0.63	1.65	0.009	0.45
D4 - 10	10	1.15	2.34	0.92	1.07
D4 - 20	20	1.31	2.64	1.16	1.30
D4 - 50	50	1.37	2.88	1.38	1.56



Tabla 7.3 Valores máximos y mínimos de concentración de sal en los lagos Miraflores y Gatún

Los valores máximos y mínimos se muestran en las Figuras 7.1 (lago Miraflores) y 7.2 (lago Gatún).

En la Figura 7.1 pareciera que, dependiendo del escenario, la concentración de sal en el lago Miraflores aumenta con un factor de hasta 3.4 en el año 50, comparado con la condición actual (el escenario D3 es el más desfavorable). Aunque el nuevo carril de esclusas no pasa por el lago Miraflores, el nuevo carril con esclusas Pospanamax sigue ejerciendo un impacto en la salinidad del lago Miraflores: se vierte agua salada adicional del lago Gatún a través de las esclusas de Pedro Miguel hacia el lago Miraflores.

La concentración de sal en el lago Gatún (Figura 7.2) varía considerablemente: la concentración de sal aumenta del actual nivel de salinidad que es muy bajo y casi imperceptible a un nivel de salinidad que aumenta por encima del límite de agua dulce, similar al lago Miraflores. Tome en cuenta que en Holanda se utiliza un valor de 200 mg/l de cloruro de sodio como valor límite del agua dulce; esto corresponde a unos 400 mg/l ó 0.4 ppm de salinidad. En los EE.UU. se utiliza un valor de 250 mg/l de cloruro de sodio (unas 0.5 ppm de salinidad) como valor máximo para el agua para consumo humano (norma de la Agencia de Protección Ambiental). La línea límite de agua dulce que se muestra en las gráficas está establecida sobre un valor de 0.45 ppm de salinidad.

De las Figuras 7.1 y 7.2 se deduce que el Escenario D2 (sin tinas de reutilización de agua, sin reducción de descargas de agua en la Represa de Gatún) es el más favorable desde el punto de vista de intromisión de agua salada. La razón es que se suministran al lago Gatún grandes cantidades de agua dulce para mantener el nivel del agua del lago. Cuando las tinas de reutilización de agua están en operación (Escenario D1), se requiere un suministro de agua 75% menor y vemos que aumentan los niveles de concentración de sal. Los niveles de concentración de sal aumentan aún más cuando se reducen las descargas de agua en la represa de Gatún (Escenarios D3 y D4).

Se debe tomar nota de que los valores de concentración computados son valores promediados por volumen, lo que significa que los valores locales de concentración de sal pueden ser mayores.

De los resultados de las simulaciones concluimos que las esclusas de un solo nivel son desfavorables tanto desde la perspectiva del suministro de agua dulce al lago Gatún como de la intromisión de agua salada.

7.4 Análisis de sensibilidad

En un análisis de sensibilidad hemos estudiado los efectos de una variación en los coeficientes de intercambio para las esclusas de un solo nivel en el nuevo carril de navegación. Los coeficientes más importantes son aquellos que determinan el intercambio de agua salada en el paso II del proceso de esclusaje aguas arriba y aguas abajo (movimiento del buque entre la cámara de la esclusa y la poscámara o antecámara). Estos coeficientes han sido cambiados en los casos Sens1



y Sens2. Los coeficientes de intercambio que determinan la transferencia de agua salada en el paso I del proceso de esclusaje aguas arriba y aguas abajo (igualar niveles de agua poscámara – esclusa o esclusa – antecámara) han sido cambiados en Sens3 y Sens4. Para los valores de los coeficientes de intercambio, vea las Secciones 5.1 y 5.2. Los coeficientes de intercambio en las esclusas existentes se han mantenido constantes (son seleccionados de manera tal que los niveles de salinidad de los lagos Miraflores y Gatún con las condiciones actuales han sido pronosticados correctamente; vea también el Informe A).

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en la Figura 7.3 (lago Miraflores) y la Figura 7.4 (lago Gatún). Estas figuras muestran la concentración de sal en los lagos para los coeficientes base de intercambio y para las variaciones de los coeficientes de intercambio. Las figuras demuestran que la concentración de sal en los lagos varía dependiendo de los coeficientes de intercambio, pero esta variación es relativamente pequeña comparada con los efectos de las esclusas de un solo nivel en la salinidad del lago Gatún particularmente. Entonces, la tendencia de un nivel de salinidad mucho mayor en el lago Gatún en el caso de las esclusas de un solo nivel (con tinajas de reutilización de agua o sin ellas) es confiable.



Informe C
Esclusas Pospanamax de Tres Niveles



I Introducción

El Informe C trata sobre la intromisión de agua salada en la configuración de esclusas Pospanamax de tres niveles en el futuro tercer carril de navegación. La intromisión de agua salada es adicional a la intromisión de agua salada a través de las esclusas existentes. Las nuevas esclusas de tres niveles podrán contar con tinas de reutilización de agua.

Este informe incluye los siguientes aspectos:

- revisión del diseño conceptual del Consorcio Post-Panamax (CPP) para una configuración de esclusas Pospanamax de tres niveles;
- extensión del modelo de simulación de intromisión de agua salada construido para las condiciones existentes con un nuevo carril de navegación; este nuevo carril incluye esclusas de tres niveles y tinas de reutilización de agua en cualquiera de las riberas del Canal (el uso de las tinas de reutilización de agua es opcional en el modelo de simulación);
- selección de los coeficientes de intercambio que serán utilizados en la simulación;
- simulación de intromisión de agua salada para la configuración de esclusas Pospanamax de tres niveles y análisis de los resultados.



7.3 Resultados y análisis de las simulaciones

Las concentraciones de sal computadas (ppm) en los lagos Miraflores y Gatún durante el período comprendido entre los años 2016 – 2020 (al final de 10 años luego de inaugurado el nuevo carril) y el período entre los años 2051 – 2060 (al final de 50 años luego de inaugurado) se muestran en las Figuras B1-10, 1 a B4-50, 2. Los resultados de la condición actual (sin el nuevo carril) para el período comprendido entre los años 2011 – 2020, se muestran en las Figuras A-10, 1 y A-10, 2. Como se puede ver, las concentraciones de sal en los lagos Miraflores y Gatún fluctúan en función de las estaciones lluviosa y seca; los niveles de concentración de sal se estabilizan en un período de casi 1 – 2 años luego de un cambio en la intensidad del tráfico de buques.

Los valores máximos y mínimos de la concentración de sal en los lagos Miraflores y Gatún durante el último año del período analizado se presentan en la Tabla 7.3.

Caso	Año analizado	Concentración de sal (ppm) lago Miraflores		Concentración de sal (ppm) lago Gatún	
		mínimo	máximo	mínimo	Máximo
A-10	10	0.64	1.42	0.010	0.027
B1 - 1 mes	-	0.65	0.99	0.009	0.011
B1 - 1	1	0.62	1.05	0.011	0.024
B1 - 5	5	0.63	1.49	0.012	0.032
B1 - 10	10	0.65	1.43	0.012	0.034
B1 - 20	20	0.66	1.53	0.013	0.036
B1 - 50	50	0.61	1.52	0.018	0.044
B2 - 1 mes	-	0.66	0.99	0.009	0.011
B2 - 1	1	0.62	1.05	0.009	0.025
B2 - 5	5	0.63	1.49	0.009	0.026
B2 - 10	10	0.64	1.42	0.009	0.026
B2 - 20	20	0.65	1.52	0.009	0.025
B2 - 50	50	0.61	1.51	0.009	0.026
B3 - 1	1	0.62	1.48	0.009	0.032
B3 - 10	10	0.65	1.43	0.015	0.039
B3 - 20	20	0.66	1.53	0.017	0.042
B3 - 50	50	0.62	1.53	0.025	0.057
B4 - 1	1	0.62	1.47	0.009	0.030
B4 - 10	10	0.65	1.43	0.016	0.035
B4 - 20	20	0.66	1.53	0.019	0.038
B4 - 50	50	0.62	1.53	0.032	0.046



Tabla 7.3 Valores máximos y mínimos de la concentración de sal en los lagos Miraflores y Gatún

Los valores máximos y mínimos también se muestran en las Figuras 7.1 (lago Miraflores) y 7.2 (lago Gatún).

En la Figura 7.1 pareciera que la concentración de sal en el lago Miraflores permanece más o menos igual a la condición actual (en los cuatro casos de B1 – B4), pero la concentración de sal en el lago Gatún (Figura 7.2) cambia. El aumento en la concentración de sal se da hasta un factor de 3.2 en el año 50 para el caso B4 que es el más desfavorable, pero aún así, el nivel de salinidad permanece muy por debajo del límite de agua dulce. (Nota: en Holanda se utiliza un valor de 200 mg/l de cloruro de sodio como valor límite del agua dulce; esto corresponde a unos 400 mg/l ó 0.4 ppm de salinidad. En los EE.UU. se utiliza un valor de 250 mg/l de cloruro de sodio (unas 0.5 ppm de salinidad) como valor máximo para el agua para consumo humano (norma de la Agencia de Protección Ambiental).

Pareciera que el Caso B2 (sin tinas de reutilización de agua) es el más favorable desde la perspectiva de la intromisión de agua salada (se predice una pequeña reducción en los niveles de concentración de agua salada). Esto es ocasionado por el amplio suministro de agua dulce hacia el lago Gatún. Cuando se aplica el uso de tinas de reutilización de agua (Caso B1), se requiere un suministro de agua dulce 60% menor y vemos que los niveles de concentración de agua salada aumentan con un factor de 1.7. Los niveles de concentración de sal aumentan aún más (factor 2 – 3) cuando se reducen las descargas de agua en la represa de Gatún (Casos B3 y B4). Una vez más, el nivel de concentración de sal computado de casi 0.06 ppm máximo en el lago Gatún para el año 50 es muy bajo comparado con las normas de agua dulce (ver Figura 7.2a).

Se debe tomar nota de que los valores de concentración computados son valores promediados por volumen, lo que significa que los valores locales de concentración de sal pueden ser mayores.

Conclusiones

Las principales conclusiones a las que llegamos con la simulación de intromisión de agua salada son:

- La concentración de sal en el lago Miraflores (Figura 7.1) casi no se afecta con el nuevo carril de esclusas (siempre que se mantengan las descargas de agua en la represa de Miraflores).
- La concentración de sal promediada por volumen en el lago Gatún (Figuras 7.2 / 7.2a) aumenta generalmente, en particular cuando se aplica el uso de tinas de reutilización de agua y se reducen las descargas de agua en la represa de Gatún, pero se mantiene muy por debajo de los valores límite para el agua dulce.



Informe D
Esclusas Pospanamax de Dos Niveles



I Introducción

El Informe D trata sobre la intromisión de agua salada en la configuración de esclusas Pospanamax de dos niveles en el futuro tercer carril de navegación. La intromisión de agua salada es adicional a la intromisión de agua salada a través de las esclusas existentes. Las nuevas esclusas de dos niveles podrán contar con tinas de reutilización de agua.

Este informe incluye los siguientes aspectos:

- revisión del diseño conceptual del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) para una configuración de esclusas Pospanamax de dos niveles;
- extensión del modelo de simulación de intromisión de agua salada construido para las condiciones existentes con un nuevo carril de navegación; este nuevo carril incluye esclusas de dos niveles y tinas de reutilización de agua en cualquiera de las riberas del Canal (el uso de las tinas de reutilización de agua es opcional en el modelo de simulación);
- selección de los coeficientes de intercambio que serán utilizados en la simulación;
- simulación de intromisión de agua salada para la configuración de esclusas Pospanamax de dos niveles y análisis de los resultados.



7.3 Resultados y análisis de las simulaciones

Las concentraciones de sal computadas (ppm) en los lagos Miraflores y Gatún durante el período comprendido entre los años 2016 – 2020 (al final de 10 años luego de inaugurado el nuevo carril) y el período entre los años 2051 – 2060 (al final de 50 años luego de inaugurado) se muestran en las Figuras C1-10, 1 a C4-50, 2. Los resultados de la condición actual (sin el nuevo carril) para el período comprendido entre los años 2011 – 2020, se muestran en las Figuras A-10, 1 y A-10, 2. Como se puede ver, las concentraciones de sal en los lagos Miraflores y Gatún fluctúan en función de las estaciones lluviosa y seca; los niveles de concentración de sal se estabilizan en un período de casi 1 – 2 años luego de un cambio en la intensidad del tráfico de buques.

Los valores máximos y mínimos de la concentración de sal en los lagos Miraflores y Gatún durante el último año del período analizado se presentan en la Tabla 7.3.

Caso	Año analizado	Concentración de sal (ppm) lago Miraflores		Concentración de sal (ppm) lago Gatún	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
A-10	10	0.64	1.42	0.010	0.027
C1 - 1 mes	-	0.63	0.99	0.009	0.017
C1 - 1	1	0.63	1.10	0.009	0.09
C1 - 5	5	0.66	1.67	0.08	0.24
C1 - 10	10	0.70	1.66	0.11	0.33
C1 - 20	20	0.75	1.85	0.17	0.47
C1 - 50	50	0.82	2.30	0.38	1.03
C2 - 1 mes	-	0.63	0.99	0.009	0.013
C2 - 1	1	0.63	1.07	0.009	0.05
C2 - 5	5	0.65	1.55	0.04	0.11
C2 - 10	10	0.67	1.53	0.06	0.16
C2 - 20	20	0.70	1.69	0.10	0.26
C2 - 50	50	0.72	1.94	0.21	0.57
C3 - 1	1	0.63	1.56	0.009	0.18
C3 - 10	10	0.74	1.72	0.18	0.43
C3 - 20	20	0.83	1.98	0.31	0.66
C3 - 50	50	1.17	2.83	1.00	1.69
C4 - 1	1	0.63	1.50	0.009	0.09
C4 - 10	10	0.72	1.60	0.15	0.27
C4 - 20	20	0.83	1.86	0.31	0.46
C4 - 50	50	1.15	2.47	0.98	1.10



Tabla 7.3 Valores máximos y mínimos de la concentración de sal en los lagos Miraflores y Gatún

Los valores máximos y mínimos también se muestran en las Figuras 7.1 (lago Miraflores) y 7.2 (lago Gatún). En la Figura 7.1, pareciera que la concentración de sal en el lago Miraflores aumenta lentamente comparado con la condición actual (en los cuatro casos de C1 – C4). El Caso C4 es el más desfavorable con un aumento hasta el factor 2 en el año 50. Aunque el nuevo carril no atraviesa el lago Miraflores, el nuevo carril con esclusas Pospanamax sigue ejerciendo un impacto en la salinidad del lago Miraflores debido a que se vierte agua salada adicional del lago Gatún a través de las esclusas de Pedro Miguel hacia el lago Miraflores.

La concentración de sal en el lago Gatún aumenta significativamente: la concentración de sal aumenta del actual nivel de salinidad que es muy bajo y casi imperceptible a un nivel de salinidad que aumenta por encima del límite de agua dulce para el año 50 (un nivel de salinidad de 0.45 ppm puede ser tomado como valor límite de agua dulce). Nota: en Holanda se utiliza un valor de 200 mg/l de cloruro de sodio como valor límite del agua dulce; esto corresponde a unos 400 mg/l ó 0.4 ppm de salinidad. En los EE.UU. se utiliza un valor de 250 mg/l de cloruro de sodio (unas 0.5 ppm de salinidad) como valor máximo para el agua para consumo humano (norma de la Agencia de Protección Ambiental).

Pareciera que el Caso C2 (sin tinas de reutilización de agua ni reducción de descargas de agua en la represa de Gatún) es el más favorable desde la perspectiva de la intromisión de agua salada. Esto es ocasionado por el amplio suministro de agua dulce hacia el lago Gatún. Cuando se aplica el uso de tinas de reutilización de agua (Caso C1), se requiere un suministro de agua dulce 50% menor y vemos que los niveles de concentración de agua salada aumentan. Los niveles de concentración de sal aumentan aún más cuando se reducen las descargas de agua en la represa de Gatún (Casos C3 y C4).

Se debe tomar nota de que los valores de concentración computados son valores promediados por volumen, lo que significa que los valores locales de concentración de sal pueden ser mayores.

7.4 Análisis de sensibilidad

En un análisis de sensibilidad hemos estudiado los efectos de una variación en los coeficientes de intercambio para las esclusas de dos niveles en el nuevo carril de navegación. Los coeficientes más importantes son aquellos que determinan el intercambio de agua salada en el paso II del proceso de esclusaje aguas arriba y aguas abajo (movimientos del buque entre la poscámara y la esclusa inferior, la esclusa inferior y la esclusa superior y la esclusa superior y la antecámara). Estos coeficientes han sido cambiados en los casos Sens1 y Sens2. Los coeficientes de intercambio que determinan la transferencia de agua salada en el paso I del proceso de esclusaje aguas arriba y aguas abajo (igualar niveles de agua entre la poscámara y la esclusa inferior, la esclusa inferior y la esclusa superior y la esclusa superior y la antecámara) han sido cambiados en Sens3 y Sens4. Para los valores de los coeficientes de intercambio, vea las Secciones 5.1 y 5.2. Los coeficientes de intercambio en las esclusas existentes se han mantenido constantes (son seleccionados de manera tal que los niveles de salinidad de los lagos Miraflores y Gatún con las condiciones actuales han sido pronosticados correctamente; vea también el Informe A).



Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en la Figura 7.3 (lago Miraflores) y la Figura 7.4 (lago Gatún). Estas figuras muestran la concentración de sal en los lagos para los coeficientes base de intercambio y para las variaciones de los coeficientes de intercambio. Las figuras demuestran que la concentración de sal en los lagos varía dependiendo de los coeficientes de intercambio, pero esta variación es relativamente pequeña comparada con los efectos de las esclusas de dos niveles en la salinidad del lago Gatún particularmente. Entonces, la tendencia de un nivel de salinidad mucho mayor en el lago Gatún en el caso de las esclusas de dos niveles (con tinas de reutilización de agua o sin ellas) es confiable.