



CAPÍTULO 7

Administración del Recurso Hídrico

7.1 Perspectiva del recurso hídrico

La ACP, por precepto constitucional, es responsable de salvaguardar los recursos hídricos de la Cuenca del Canal¹. Esta responsabilidad abarca tanto el agua para consumo de la población de Panamá como la utilizada para la navegación y funcionamiento del Canal. La protección y salvaguarda del recurso hídrico es una responsabilidad de importancia estratégica para Panamá debido a que el Canal depende del agua de la Cuenca para realizar sus operaciones.

Hoy, el Canal enfrenta el desafío de garantizar el suministro de agua suficiente para satisfacer ambas demandas, cuyo comportamiento expresa necesidades crecientes, tanto en el consumo de la población como en la también ascendente demanda operativa del Canal. A este reto se añaden el de la conservación de los recursos y el desarrollo sostenible de las regiones de la Cuenca como mecanismos para mantener la viabilidad del Canal a largo plazo. En este sentido, la ACP ha elaborado un diagnóstico detallado de la capacidad hídrica de la Cuenca con el propósito de lograr el mejor aprovechamiento de este recurso.

Este capítulo analiza la demanda y el rendimiento hídrico de la Cuenca del Canal, dentro de los escenarios del Canal actual, mejorado para que alcance su máxima capacidad, y del Canal ampliado con el tercer juego de esclusas. Asimismo, describe las opciones estudiadas para aumentar el aprovechamiento del recurso hídrico de la Cuenca del Canal a largo plazo y analizará con más detalle aquellas opciones que presenten mayor potencial.

7.2 Importancia de la Cuenca y usos del agua

La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, delimitada por la Ley 44 del 31 de agosto de 1999, tiene una superficie de 552,761 hectáreas y representa un enorme potencial hídrico. La Cuenca del Canal puede subdividirse en dos regiones: (1) la región oriental, con una superficie de

¹ Las responsabilidades de la ACP sobre el recurso hídrico están contenidas en el artículo 310 de la Constitución y en el artículo 6 de la Ley 19 de 1997 (ver capítulo 8).



339,649 hectáreas y (2) la región occidental con una superficie de 213,112 hectáreas (ver figura 7-1).

Actualmente, el Canal utiliza únicamente el agua de la región oriental de la Cuenca para sus operaciones, y es en esta región de la cuenca donde están ubicados sus cauces, las esclusas, y también los lagos Gatún, Alhajuela y Miraflores. El potencial de la región oriental de la Cuenca ha permitido satisfacer las necesidades de consumo de las poblaciones del área metropolitana de Panamá y Colón sumadas a las necesidades de consumo de agua por parte de

las comunidades aledañas a la Cuenca. Por otra parte, simultáneamente, también ha demostrado capacidad para satisfacer las necesidades de funcionamiento del Canal. Esta doble demanda de agua ha sido abastecida por la misma fuente hídrica, durante los últimos 90 años.

La región occidental de la cuenca también ha sido identificada por numerosos estudios como un área con un enorme potencial hídrico². Por esta razón la región occidental fue incluida en la definición de la Cuenca Hidrográfica del Canal, garantizando así que la misma sea protegida y administrada responsablemente para el beneficio de generaciones futuras. El agua de la región occidental no es utilizada actualmente para consumo de la población ni para el funcionamiento del Canal. El Plan Maestro propone maximizar la utilización de la región oriental de la cuenca de forma que no sea necesario utilizar agua de la región occidental de la cuenca para la operación del Canal, aún con un tercer juego de esclusas.

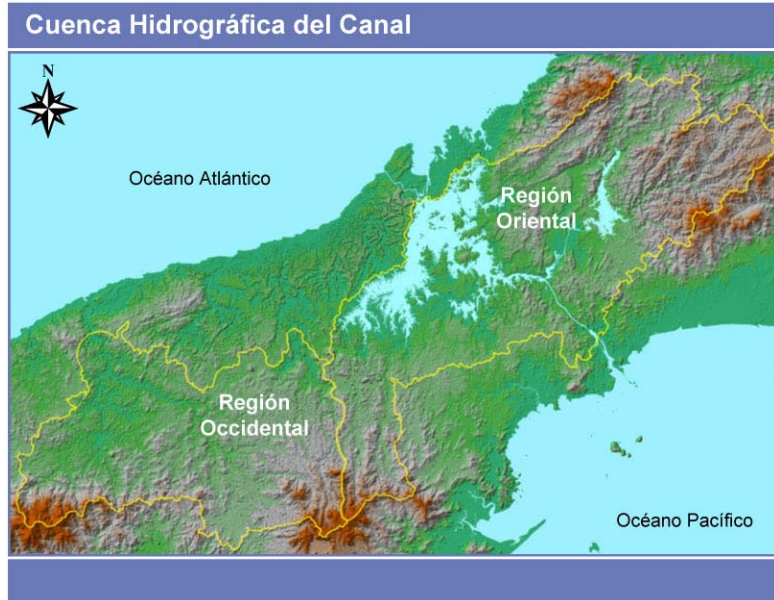


Figura 7-1 La Cuenca del Canal, con una superficie de 552,761 hectáreas, comprende la región oriental y la región occidental.

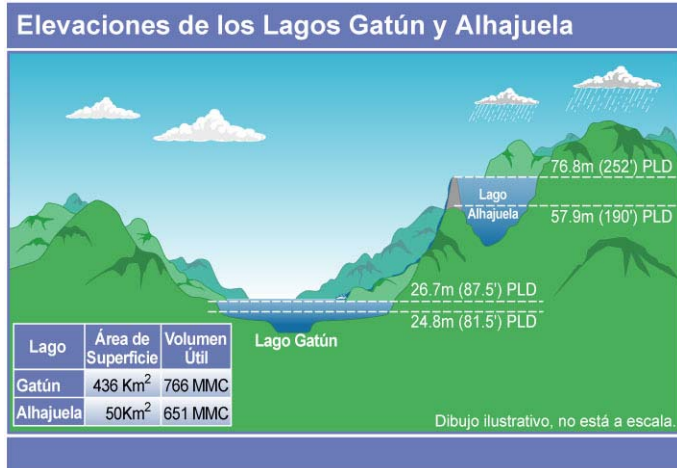


Figura 7-2 El Canal de Panamá utiliza principalmente los lagos Gatún y Alhajuela para almacenar el agua necesaria para el consumo de la población y para la operación del Canal.

² Referencia de estudios que revelan el enorme potencial hídrico de la región occidental de la cuenca.



7.2.1 Capacidad hídrica de la región oriental de la Cuenca

La Cuenca del Canal almacena agua principalmente en los lagos Gatún y Alhajuela. El lago Gatún tiene un doble propósito: almacena agua y es cauce de navegación de los buques entre las esclusas del Atlántico y el Pacífico. El lago Alhajuela actúa como un embalse secundario para regular el nivel del lago Gatún, y controlar las crecidas del río Chagres. Al mismo tiempo, sirve como fuente de suministro de agua para la ciudad de Panamá a través de la planta potabilizadora de Chilibre (ver figura 7-2).

Como el lago Gatún es usado para la navegación del Canal, la cantidad de agua que puede almacenar y utilizar es determinada por la profundidad mínima que debe mantener para proporcionar el calado necesario a los buques. La cantidad de agua que puede almacenar también está sujeta a la elevación máxima a la que puede llegar sin causar desbordamientos en la represa de Gatún o en las esclusas de Gatún y Pedro Miguel. Esto permite que en la actualidad el lago Gatún opere a elevaciones que oscilan entre 24.8 metros (81.5') y 26.7 metros (87.5') PLD³. Como el lago Alhajuela no es utilizado para la navegación, su volumen utilizable está definido por la elevación mínima de diseño para la operación de la toma de agua de la planta potabilizadora de Chilibre, y la elevación máxima de la represa Madden, lo cual le permite operar a elevaciones que oscilan entre 58 metros (190') y 77 metros (252') PLD.

En la estación lluviosa, con aproximadamente ocho meses de duración anual, la Cuenca del Canal recibe abundante precipitación de agua. A la inversa, durante los cuatro meses de la estación seca, la precipitación se reduce significativamente. Si no hubiera una disponibilidad adecuada de agua, sea por una baja precipitación o por un alto consumo, el nivel del lago Gatún podrá bajar más allá del nivel mínimo requerido para la operación normal del Canal. Esta situación obligaría a una reducción en el calado máximo permitido a los buques que transitan por el Canal y, en consecuencia, limitaría considerablemente la capacidad de carga de los mismos. De hecho, la ACP se ha visto obligada a imponer limitaciones al calado de los buques en períodos severos de sequía, tal como sucedió durante el Fenómeno de El Niño de 1997-1998.

Para evitar restringir el calado de los buques, el Canal utiliza los lagos de Gatún y Alhajuela para almacenar y administrar de manera eficiente el agua proveniente de la Cuenca a fin de

Precipitación - Escorrentía
Región Oriental Cuenca del Canal
Promedio Anual Entre: 1994 - 2003

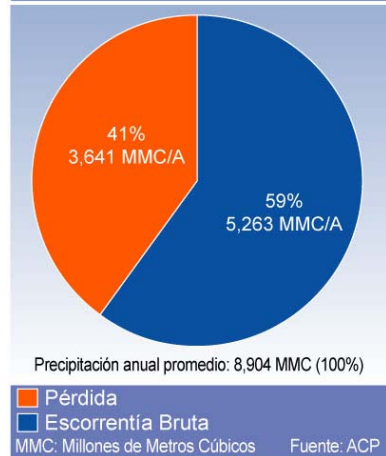


Figura 7-3 Solamente el 59% de la precipitación sobre la Cuenca llega a los lagos del Canal.

Escorrentía Neta que Llega a los Lagos
Región Oriental Cuenca del Canal
Promedio Anual Entre: 1994 - 2003

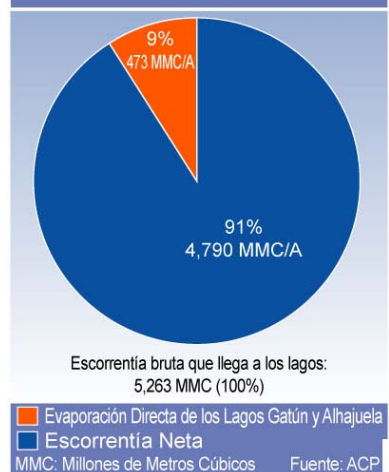


Figura 7-4 El 9% de la escorrentía que llega a los lagos del Canal se evapora. El 91% restante es utilizable.

³ PLD *Precise Level Datum* o Nivel de referencia preciso: Dato de elevación establecido durante la construcción del Canal para el control vertical, usado para todos los levantamientos topográficos e hidrográficos dentro de las áreas de operación del Canal. Ver glosario



abastecer las necesidades de todo el año, especialmente durante la estación seca.

7.2.2 Disponibilidad de agua de la región oriental de la Cuenca

No toda el agua de lluvia que cae sobre la Cuenca del Canal puede ser almacenada y utilizada. Si se toman en consideración los datos recolectados en los últimos 10 años (1994- 2003), podría establecerse que, en un año típico, la precipitación promedio sobre la región oriental de la Cuenca es de 2,667 milímetros, los cuales equivalen a un volumen de precipitación total de aproximadamente 8,904 millones de metros cúbicos de agua por año (MMC/A). De este volumen de agua, aproximadamente el 41% (3,641 MMC/A) es absorbida por la tierra a través de procesos de filtración y percolación, o se pierde mediante procesos de evaporación y transpiración de la flora. Solamente el 59% del agua de lluvia que cae en la Cuenca llega anualmente a los lagos del Canal, lo que equivale a una escorrentía bruta de 5,263 MMC/A (ver figura 7-3).

Aproximadamente el 9% del agua que llega anualmente a los lagos del Canal se evapora de su superficie (aproximadamente 473 MMC/A), y sólo el 91% está realmente disponible para abastecer el consumo de la población y asegurar el funcionamiento del Canal, lo que representa una escorrentía neta de 4,790 MMC/A (ver figura 7-4). Por consiguiente, la región oriental de la Cuenca del Canal, con la configuración actual de los lagos, proporciona un promedio neto de aproximadamente 4,790 MMC de agua por año. Sin embargo, debido a la marcada estacionalidad de las lluvias, hay períodos en el año en que el volumen de agua que llega a los lagos es mayor que la capacidad de éstos para almacenarla. Cuando esto ocurre, el Canal se ve en la necesidad de verter el exceso al mar, para evitar desbordamientos e inundaciones que afectarían a las poblaciones aledañas y el funcionamiento del Canal. En los últimos 10 años (1994-2003), el Canal se ha visto en la necesidad de derramar, en promedio, el 12% del agua utilizable, debido a la falta de capacidad de almacenamiento, quedando un promedio de 4,203 MMC/A de agua disponible para ser utilizada por la población y para el funcionamiento del Canal (ver figura 7-5). Parte del agua que no puede ser almacenada es usada para la generación hidroeléctrica en la planta de Gatún.

Los derrames de excedentes de agua se efectúan usualmente en los meses de octubre a diciembre durante el período pico de la estación lluviosa, cuando los lagos se encuentran en sus niveles más altos. Históricamente, las máximas crecidas han ocurrido durante los últimos meses de la estación lluviosa. Por esta razón, el Canal mantiene los lagos por debajo de sus niveles máximos de operación, de forma que se cuenta con un espacio de reserva que permita manejar en forma segura cualquier precipitación súbita y severa. En la figura 7-6 se muestran los derrames anuales

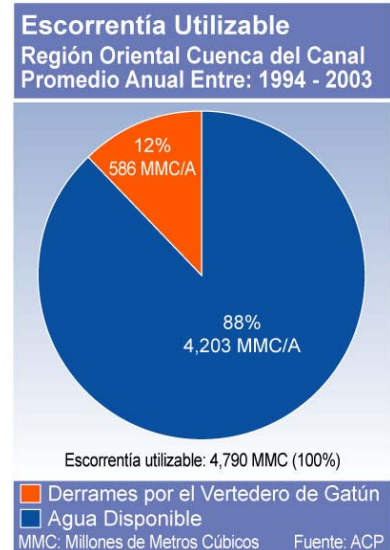


Figura 7-5 En los últimos 10 años se ha vertido anualmente al mar 12% promedio del agua que llega a los lagos porque no se puede almacenar.



desde 1914 hasta el 2003. Se observa una reducción del volumen vertido en los últimos años, que refleja un incremento de la demanda y una mejor administración de este recurso.

7.2.3 Usos del agua de la Cuenca

El agua suministrada por la región oriental de la Cuenca cumple cuatro funciones: (1) satisfacer las necesidades de consumo de agua de la población; (2) subir y bajar los buques en las esclusas durante las operaciones de esclusaje; (3) permitir la navegación de buques en los lagos Gatún y Miraflores; y (4) generación hidroeléctrica.

Las necesidades de agua de la población tienen la mayor prioridad, por lo que la administración del recurso hídrico siempre asegura la disponibilidad del agua para este propósito. El funcionamiento del Canal, que incluye agua para las operaciones de esclusaje y para la navegación, representa el segundo uso en importancia. Finalmente, la generación hidroeléctrica representa el uso menos rentable del agua, pero es un mecanismo para aprovechar el agua que, de otra forma, habría que verter al mar sin sacarle provecho.

En el año fiscal 2005 el volumen de agua utilizado para un esclusaje por el Canal representó ingresos promedios de más de B/. 90,000. Esto representa 145 veces más que el ingreso que se hubiese obtenido con el mismo volumen de agua para generar electricidad en la planta de Gatún y más del doble de lo que se hubiera obtenido por su venta como agua potable⁴. Es por

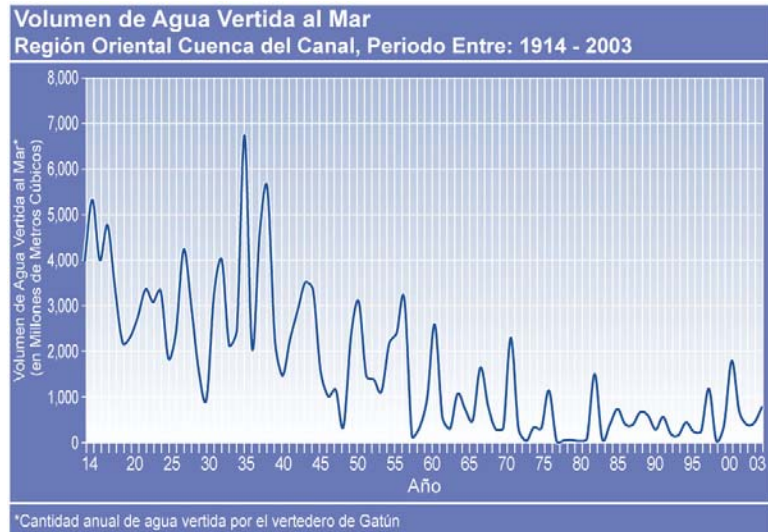


Figura 7-6 Se observa una disminución en los volúmenes vertidos producto del incremento de la demanda y del mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

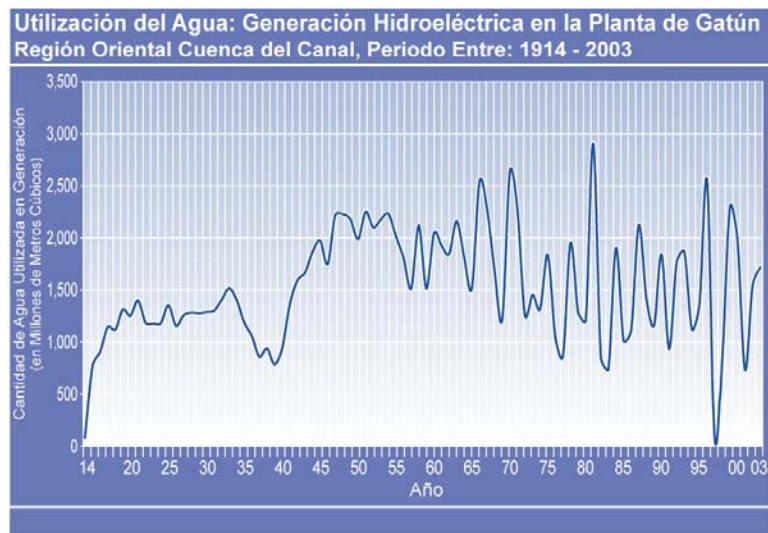


Figura 7-7 Se observa la cantidad de agua utilizada para generar electricidad en la planta hidroeléctrica de Gatún. Durante el severo fenómeno de El Niño ocurrido en 1997-1998 el Canal no generó cantidades apreciables de energía hidroeléctrica.

⁴ En el AF 2005 transitaron 12,648 buques de alto calado utilizando 11,900 esclusajes de agua y generando ingresos por peajes y servicios complementarios por un monto de B/. 1,116 millones. En promedio, la planta de Gatún utiliza 10.76 MMC (2842 MG) de agua diariamente para generar unos 576 MWH de energía eléctrica. Asumiendo un precio de venta en el mercado energético de B/. 55 por MWH, esto repre-



esta razón que el agua disponible en la Cuenca se aprovecha primero para el consumo de la población y después para las operaciones del Canal, antes de ser usada para la de generación hidroeléctrica. Cabe señalar que el uso de agua para generación hidroeléctrica, por ser una operación de oportunidad, varía significativamente de un año a otro, dependiendo de la disponibilidad de agua (ver figura 7-7).

De lo anterior se infiere que, en la medida en que disminuya el exceso de disponibilidad de agua en la Cuenca, se reduciría gradualmente y en igual proporción el uso de agua para la generación eléctrica. Por lo tanto, la generación hidroeléctrica está supeditada a los otros usos prioritarios – el consumo de la población, navegación y operaciones de esclusaje – y el Canal sólo genera electricidad cuando hay agua en abundancia como para satisfacer estas necesidades.

Sobre la base del promedio de los últimos 10 años⁵, se ha utilizado el 7% (290 MMC/A) del total de agua disponible para consumo de la población, 59% (2,499 MMC/a) para operaciones de esclusajes del Canal y 34% (1,414 MMC/A) para generación hidroeléctrica⁶ (ver figura 7-8).

Para resumir el análisis anterior, la figura 7-9 muestra el desglose de uso de agua, tomando como base para el cálculo la precipitación total promedio de los últimos 10 años de 8,904 MMC/A. Según registros históricos (1994-2003), más de la mitad de la precipitación sobre la región oriental de la Cuenca Hidrográfica del Canal es inutilizable por las distintas causas naturales descritas. Del 47% restante, en promedio, el consumo de la población representa el 3%, la generación hidroeléctrica 16% y las operaciones de esclusaje 28%, todos medidos con respecto a la precipitación total.

El crecimiento de la población en las regiones cercanas a la Cuenca del Canal y la creciente demanda de tránsito de buques – sea a través de las esclusas existentes o tras la posible construcción de un tercer juego de esclusas – ocasionarán una mayor necesidad de agua en el futuro. Por esta razón resulta imprescindible que se administre el recurso hídrico de forma eficiente y que se pronostiquen las necesidades de expansión de la capacidad hídrica de la cuenca del Canal, por tratarse de un elemento crítico para asegurar tanto el abastecimiento de agua para la población como el funcionamiento confiable del Canal a largo plazo.

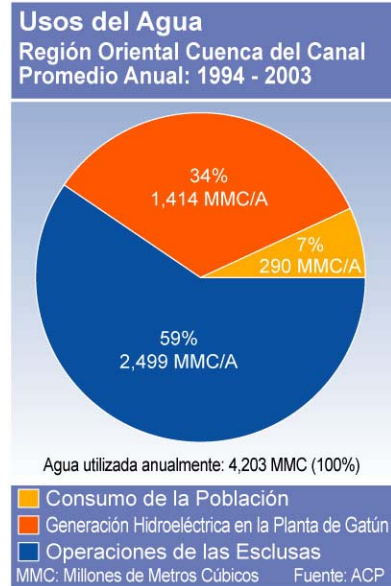


Figura 7-8 En promedio, del total de agua utilizable en la Cuenca, 59% es usado para la operación del Canal.

senta un ingreso de B/. 31,680. Por lo tanto, los 55 MG de agua usados en un esclusaje representarían B/. 618 en ingresos por ventas de energía eléctrica. El IDAAN vende el agua potable residencial a una tasa base de B/. 0.80 por cada millar de galones (B/. 0.21 por cada mil litros), lo cual equivaldría a B/. 44,000 por la cantidad de agua necesaria para realizar un tránsito por el Canal.

⁵ Promedio anual entre los años 1994 y 2003.

⁶ Sólo incluye generación de electricidad en la planta hidroeléctrica de Gatún. El agua utilizada para generar electricidad desde el lago Alhajuela se vierte en el lago Gatún y no se considera parte de este análisis.



7.3 Agua para consumo de la población

La Cuenca del Canal es la principal fuente de agua para el consumo de la mayor parte de la población en las áreas metropolitanas de Panamá, Colón y las comunidades aldeñas a la región oriental de la Cuenca. El consumo humano tiene prioridad sobre las necesidades del Canal y exige que se mantengan estrictos estándares de calidad del agua, los que, a su vez, son parte integral del proceso de análisis del Plan Maestro del Canal.

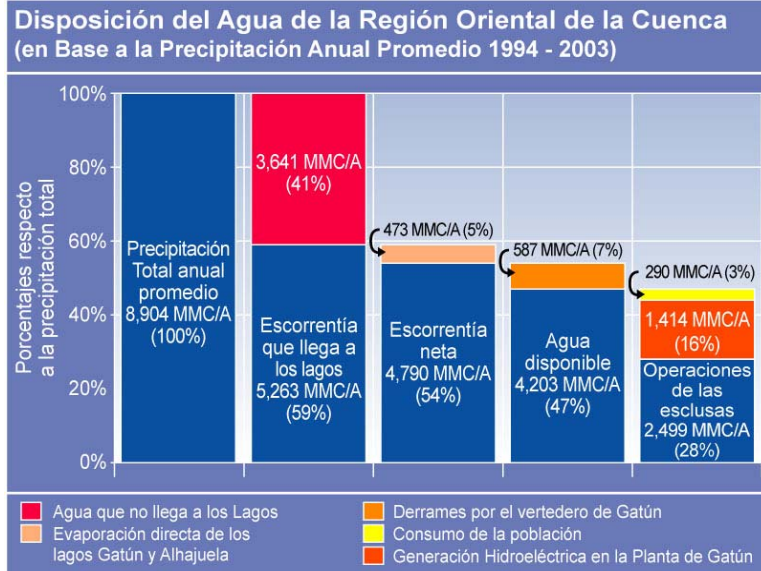


Figura 7-9 En promedio, sólo 47% de la precipitación total en la región oriental de la Cuenca es utilizable.

Según el censo del año 2000, más de 1.5 millones de personas satisfacen sus necesidades de agua con el sistema de lagos del Canal. Estas personas están concentradas principalmente en las ciudades de Panamá, Colón y Arraiján, donde se encuentra el 75% de la actividad económica del área. Según datos del IDAAN⁷, el consumo diario de agua per cápita en Panamá oscila entre 83 y 243 galones por persona (314 a 920 litros), valores altos comparados con el consumo de otras ciudades metropolitanas. Esto se debe a los hábitos de consumo de agua de la población y al alto porcentaje de pérdidas por fugas e ineficiencia del sistema, que oscila entre 35% y 50%. Actualmente se extrae casi un millón de metros cúbicos de agua por día (0.8 MMC ó 212 millones de galones) de los lagos Alhajuela y Gatún, para abastecer esta demanda de agua potable de la población, lo cual es equivalente al agua

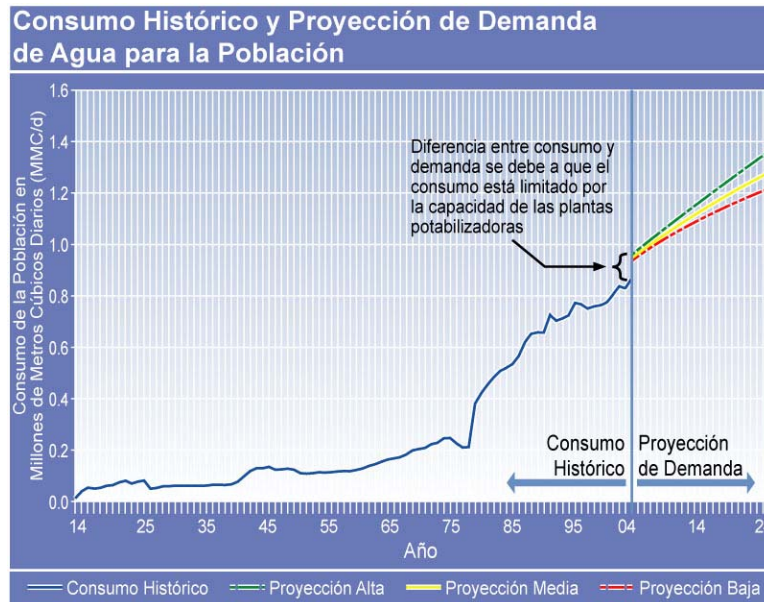


Figura 7-10 Se observa el crecimiento de consumo de agua de los lagos de la Cuenca del Canal por la población. Después de la ampliación de la planta de Chilibre, se proyecta un aumento significativo en el consumo de agua.

⁷ El Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacional (IDAAN) es la institución del gobierno central responsable del suministro de agua potable.



necesaria para realizar 3.9 esclusajes diarios⁸.

Actualmente, la extracción de agua de los lagos del Canal para el consumo de la población es limitada parcialmente por la capacidad existente de las principales plantas potabilizadoras – Chilibre, Miraflores, Monte Esperanza, Sabanitas y Laguna Alta – y por el sistema de conducción, almacenamiento y distribución. Se espera que el consumo de agua aumente en la medida en que se expanda o mejore el sistema actual de potabilización y distribución. Además, las proyecciones indican sin lugar a dudas que las necesidades de agua para el consumo humano crecerán a medida que crezca la población y que se continúe desarrollando económicamente la región metropolitana. Según estudios realizados por la ACP⁹, la extracción de agua de los lagos para el consumo de la población alcanzará rápidamente 1 millón de metros cúbicos diarios, una vez terminados los proyectos de expansión de las principales plantas potabilizadoras, y aumentará gradualmente hasta alcanzar entre 1.28 y 1.36 millones de metros cúbicos diarios (339 y 360 millones de galones diarios) en el año fiscal 2025. Esto equivale a agua suficiente para realizar 6.6 esclusajes diarios en las esclusas existentes. En conclusión, los estudios realizados indican que para el año 2025 el crecimiento poblacional y el desarrollo pronosticado para el área metropolitana aumentarán la demanda de agua actual en un 40% (ver figura 7-10).

7.4 Necesidades de agua para el funcionamiento del Canal actual

7.4.1 Usos de agua en la operación del Canal actual

El Canal utiliza el agua de la Cuenca de dos formas principales: para la navegación y para las operaciones de esclusaje. La navegación no supone extracción de agua del sistema, pero sí establece un límite mínimo al que se puede bajar el nivel del lago Gatún, antes de imponer restricciones de calado a los buques que transitan por el Canal. Por otro lado, las esclusas utilizan agua dulce del lago Gatún para subir y bajar los buques dentro de las cámaras. De esta forma, los buques suben casi 24 metros (80') desde el nivel del mar hasta el nivel del lago Gatún al iniciar su tránsito y, al terminarlo, bajan nuevamente del nivel del lago Gatún al nivel del mar. Como el agua fluye del lago a las cámaras de las esclusas por gravedad, el agua utilizada en la operación de esclusaje es vertida al mar en este proceso.

⁸ El IDAAN vende el agua potable residencial a una tasa base de B/. 0.80 por cada millar de galones (B/. 0.21 por cada mil litros), lo cual equivaldría a B/. 44,000 por la cantidad de agua necesaria para realizar un tránsito por el Canal.

⁹ Estudio de pronósticos de demanda de agua para consumo de la población en la Cuenca del Canal 2000-2060, realizado por Harza Engineering (2001)



Las esclusas utilizan aproximadamente 0.21 MMC (55 millones de galones) de agua dulce para efectuar un esclusaje completo¹⁰. Si el número de esclusajes crece, el consumo de agua para el funcionamiento del Canal aumenta proporcionalmente. Este aumento continuará hasta el momento en que el Canal llegue a su máxima capacidad. A partir de ese momento, el uso de agua del Canal tendría poco crecimiento.

7.4.2 Proyección de necesidad de agua para el Canal actual y el Canal mejorado

Las Figuras 7-11 y 7-12 muestran la proyección de la necesidad total de agua para la población y para el Canal actual sin mejoras. Estos estimados se basan en la proyección de tráfico más probable y en el análisis de capacidad, presentado en el capítulo 4. El consumo de agua de la población ha sido añadido a las necesidades de agua para la operación del Canal con la finalidad de obtener una proyección de la demanda total de agua. En esta proyección se incluyen los usos adicionales de agua producto de las operaciones diarias en las esclusas, tales como asistencias hidráulicas, movimiento de equipo flotante de la ACP, control de elevación del nivel del lago Miraflores y operaciones similares.

Como se puede observar, la demanda de agua para el funcionamiento del Canal no aumentará después del año fiscal 2010 para el escenario del Canal actual sin mejoras, pues se prevé que el Canal habrá llegado ese año al límite de su capacidad operativa. Sin embargo, la necesidad total de agua continuará aumentando debido al crecimiento de la población.

Bajo otro escenario, el Canal podrá continuar captando mayor porción de la demanda potencial de tránsitos, hasta aproximadamente el año fiscal 2013, si introduce las mejoras de corto y mediano plazo presentadas en el capítulo 5, las cuales potencian al Canal actual a su máxima capacidad. Las figuras 7-13 y 7-14 muestran la proyección de necesidad total de

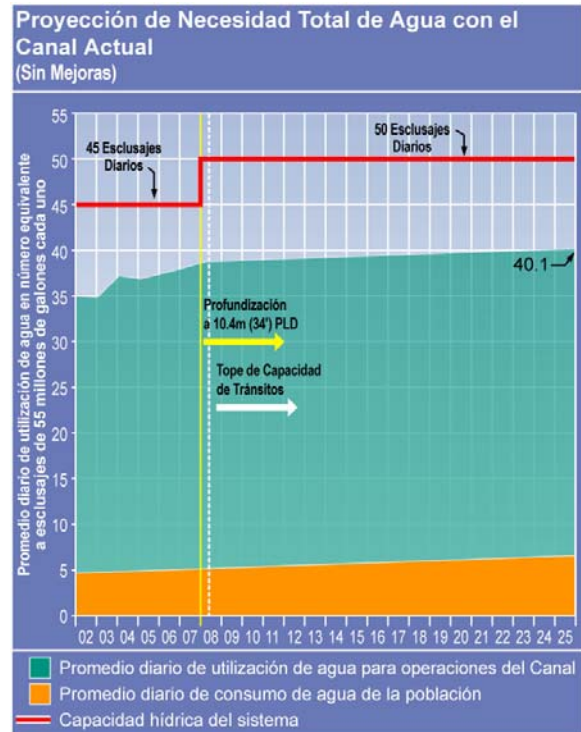


Figura 7-11 Utilización de agua en el escenario del Canal actual sin mejoras (Capacidad máxima de 280 a 290 millones de CP-SUAB). A partir el AF 2010, la demanda de agua sólo aumentará por efectos del aumento en la

Año	Población	Operación del Canal	Total
2005	371	4.9	2,794
2010	403	5.3	2,949
2015	434	5.7	2,981
2020	466	6.1	3,013
2025	498	6.6	3,044

■ En millones de metros cúbicos anuales
■ En número de esclusajes equivalentes al día

Figura 7-12 La proyección de las necesidades de agua para la operación del Canal actual sin mejoras (capacidad máxima de 280 a 290 millones de CP-SUAB), indican que para el AF 2025 se podrán necesitar en total unos 3,049 MMC de agua anuales.

¹⁰ En AF 2004 se utilizaron aproximadamente 2,456 MMC de agua para realizar 11,809 esclusajes.



agua del Canal actual mejorado. En este escenario, las necesidades de agua para del Canal continuarán creciendo hasta el año 2013, cuando el Canal alcanzará su máxima capacidad sostenible. A partir de ese momento, el aumento en la demanda total de agua aumentará en forma gradual, solamente en función del aumento de consumo de la población.

7.5 Aprovechamiento hídrico actual de la Cuenca del Canal

El Canal utiliza el agua que se almacena en los lagos de la región oriental de la Cuenca para la navegación y para las operaciones de esclusaje. Por lo tanto, el aprovechamiento hídrico de la Cuenca del Canal depende de la capacidad de almacenaje de los lagos del Canal, del calado máximo que el Canal brinde y del grado de confiabilidad con que el Canal ofrezca este calado máximo.

A continuación se describen las relaciones que existen entre el calado máximo permitido, la capacidad de almacenamiento de los lagos y el aprovechamiento hídrico de la Cuenca del Canal.

7.5.1 Relación entre calado y capacidad de almacenamiento de los lagos

El lago Gatún puede almacenar agua hasta que su nivel llegue al máximo permitido por la configuración física del embalse y de otras estructuras existentes en las riberas de lago, como las esclusas. Como el lago Gatún es utilizado para la navegación, el nivel más bajo al que pueden descender sus aguas está dictado por el calado máximo que el Canal ofrece a sus clientes. Si se excede el nivel máximo de almacenaje del mismo habrá desbordamientos, y si se continúa utilizando agua después que éste alcance su nivel mínimo operativo, se reducirá el calado máximo que el Canal ofrece a sus usuarios, obligando a los mismos a transitar con menos carga de la que normalmente transportan por el Canal. Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento utilizable del lago Gatún está definida por el vo-

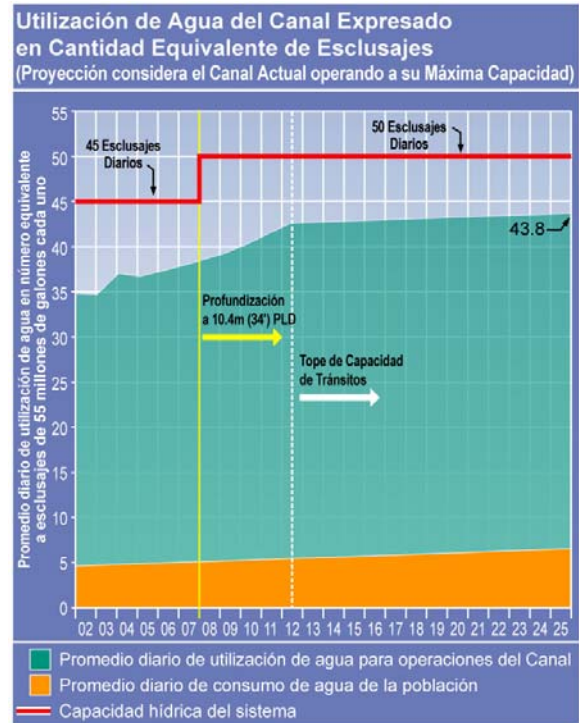


Figura 7-13 El Canal extendido a su máxima capacidad, estimada entre 330 a 340 millones CPSUAB, llegará a su capacidad operativa en el AF 2012, ocasionando un aumento acelerado en la demanda de agua, proporcional y paralela a la capacidad del Canal, hasta este momento.

Año	Población	Operación del Canal	Total
2005	371	4.9	2,423
2010	403	5.3	2,665
2015	434	5.7	2,827
2020	466	6.1	2,827
2025	498	6.6	2,827

■ En millones de metros cúbicos anuales
■ En número de esclusajes equivalentes al día

Figura 7-14 La proyección de las necesidades de agua para la operación del Canal actual extendido a su máxima capacidad de entre 330 a 340 millones CP-SUAB, indica que para el AF 2025 se podrán necesitar en total unos 3,372 MMC de agua anuales.



lumen de agua entre sus niveles operativos máximo y mínimo.

El régimen de pluviosidad de la Cuenca es un factor climático estacional y cíclico. En un año particularmente seco, los lagos del Canal no almacenarán suficiente agua para satisfacer la demanda, especialmente si la sequía se prolonga más de lo usual. Llegado este caso, el Canal se vería en la necesidad de restringir el calado máximo permitido para los tránsitos. Por ejemplo, durante la estación seca de 1997-1998, el Canal se vio obligado a reducir su calado máximo de 12 metros (39.5') ADT hasta 11.13 metros (36.5' ADT), durante varias semanas, debido al fenómeno de El Niño, como se muestra en la figura 7-15.

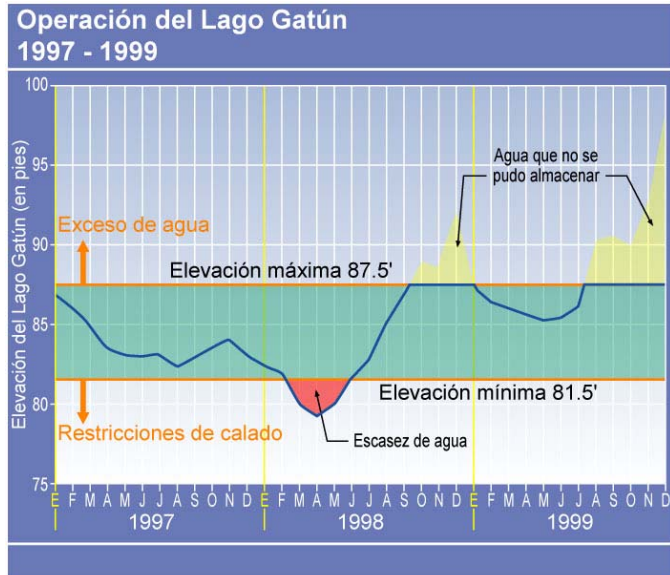


Figura 7-15 Variabilidad de niveles del lago Gatún antes y después del fenómeno de El Niño 1997-1998.

7.5.2 La confiabilidad del calado define el aprovechamiento de la Cuenca para la operación del Canal

El calado que ofrece el Canal es uno de los elementos clave en su propuesta de valor a sus usuarios y clientes. Por eso, la disponibilidad de agua durante todo el año determina el grado de confiabilidad del sistema hídrico para ofrecer el calado máximo establecido. La eficiencia de un sistema de navegación para ofrecer un calado se mide de acuerdo con el porcentaje del tiempo que el sistema puede ofrecer dicho calado, según parámetros que incluyen el espacio mínimo bajo la quilla, el régimen histórico de lluvias, y el ritmo al que se extrae agua del sistema. A este porcentaje se le denomina “confiabilidad de calado”, pues es un indicador de la confiabilidad con la que el sistema de navegación puede proporcionar un calado máximo establecido. Este estándar de confiabilidad, usado comúnmente en la industria marítima para evaluar sistemas de navegación, determina la capacidad del sistema hídrico de garantizar a los usuarios del Canal un calado comercialmente atractivo.

Existen otras formas de evaluar el rendimiento o eficiencia de un sistema de suministro de agua. Por ejemplo, el criterio de “confiabilidad volumétrica”, que se define como la capacidad que tiene un sistema hídrico de proveer agua cuando existe la demanda¹¹. Este es un criterio sumamente útil para comparar alternativas de suministro de agua cuando la cantidad de agua es el factor principal. Sin embargo, este criterio no es suficiente para medir la eficiencia de un sistema como el del lago Gatún, por donde

¹¹ Algunas prácticas de confiabilidad volumétrica de agua para consumo de la población son de 98%; para usos de generación hidroeléctrica de 95%; y para agricultura de 90%.



continúan transitando buques, aun con restricciones de calado, cuando el agua baja más allá del nivel mínimo deseado.

Como el lago Gatún se utiliza también para la navegación de los buques, resulta indispensable analizar el rendimiento hídrico en términos de la capacidad del sistema para abastecer la demanda de agua y de garantizar el calado deseado para el tránsito de buques. Cuando se requiera un mayor volumen de agua, sea para el consumo de la población o para la operación de las esclusas, se afectará necesariamente la confiabilidad de mantener el lago al nivel necesario para ofrecer el calado máximo a los buques.

La ACP ha desarrollado un modelo matemático sobre la base de la experiencia histórica de escorrentía en la Cuenca del Canal, con el fin de analizar diferentes escenarios de operación de los lagos existentes y, a la vez, para incorporar escenarios posibles de nuevas fuentes de suministro de agua¹². Este modelo permite determinar qué proporción del tiempo el lago estará a un nivel determinado. Si se conoce el resto de las variables de configuración y operación del sistema, como el nivel del fondo de los cauces de navegación y el espacio bajo la quilla requerido (EBQ), el modelo permite determinar el porcentaje de tiempo en que el Canal podrá ofrecer un calado específico, consiguiendo así definir la confiabilidad de calado para los distintos escenarios.

7.5.3 Análisis de rendimiento y confiabilidad de calado para el Canal actual

El Canal ofrece actualmente a sus clientes 12 metros (39.5') de calado máximo en agua dulce tropical (ADT). Este calado máximo es determinado por la configuración física de las esclusas – específicamente las esclusas de Pedro Miguel – y de los cauces de navegación, tal y como se explicó en el Capítulo 5.

Históricamente, el Canal ha podido brindar un calado máximo de 12 metros (39.5') el 99.6% del tiempo. Actualmente, el fondo del cauce de navegación del lago Gatún se encuentra a una elevación máxima de 11.3 metros (37') PLD y el espacio bajo la quilla mínimo requerido para la operación segura en los cauces se ha determinado en 1.5 metros (5'). Con estos parámetros, el nivel mínimo que puede alcanzar el lago Gatún se define en 24.8 metros (81.5') PLD, para poder garantizar un calado máximo de 12 metros (39.5') ADT a los buques que transitan por los cauces de navegación.

Con esta información y con la proyección de demanda de agua es posible extender el análisis de confiabilidad de calado hacia el futuro. El propósito de este análisis es determinar qué porcentaje del tiempo el Canal podrá brindar un calado máximo de 12 metros (39.5') ADT a sus clientes, a lo

¹² Modelo HEC-5 desarrollado para la ACP bajo contrato por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en ingles).



largo del horizonte de planificación, sujeto a crecientes niveles de utilización de agua.

Las figuras 7-16 y 7-17 muestran los resultados del análisis de confiabilidad de calado para el Canal actual a partir de cuatro diferentes niveles de uso de agua, correspondientes a la demanda proyectada para los años fiscales 2010, 2015, 2020 y 2025. El análisis de confiabilidad de calado para el Canal actual indica que, según las proyecciones de demanda más probable, en el año fiscal 2010 el Canal sólo podrá mantener su calado máximo de 12 metros (39.5') en agua dulce tropical (ADT) 98.5% del tiempo. A medida que la demanda de agua aumente, la confiabilidad con la que se podrá ofrecer el calado máximo se reducirá gradualmente hasta alcanzar aproximadamente 97% en el año fiscal 2025.

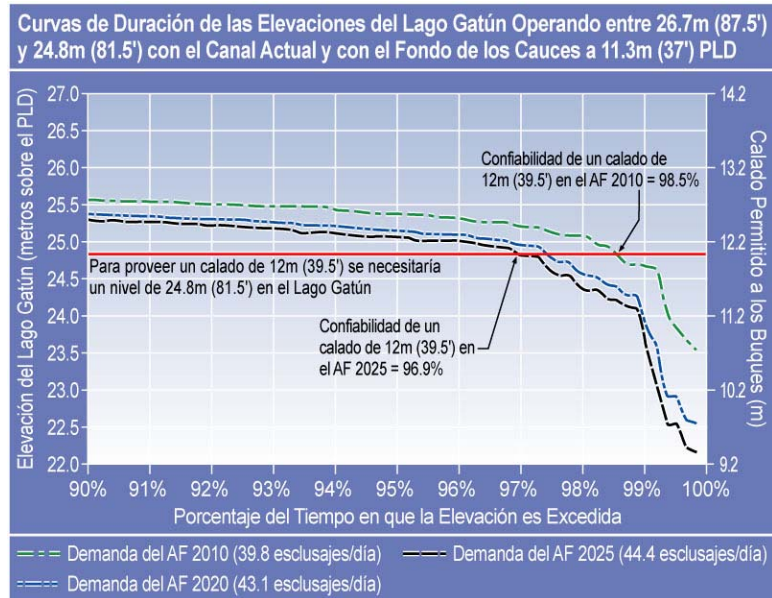


Figura 7-16 El análisis de confiabilidad de calado para el Canal actual indica que en el AF 2010, según las proyecciones de demanda más probable, el Canal sólo podrá mantener su calado máximo 98.5% del tiempo.

Si el Canal estableciera como estándar una confiabilidad de calado superior a 99%, el análisis indicaría que, a partir del año fiscal 2010, se habría excedido la capacidad hídrica del sistema y las restricciones de calado serían cada vez más frecuentes.

7.5.4 Análisis de confiabilidad de calado para el Canal mejorado operando a su máxima capacidad

Con las mejoras al Canal actual explicadas en el capítulo 5, el Canal podrá continuar atendiendo la demanda hasta el año fiscal 2012, cuando alcanzará su máxima capacidad sostenible, dadas las limitaciones físicas de las esclusas existentes. Estas mejoras también tienen como objetivo incrementar al máximo la capa-

Confiabilidad de Calado para el Canal Actual				
Demanda de Tráfico más Probable				
Configuración del Sistema				
Nivel Máx. del Lago	Nivel Mín. del Lago	Fondo del Cauce	EBQ Mín.	Calado Máx.
26.7m (87.5')	24.8m (81.5')	11.3m (37')	1.5m (5')	12m (39.5')
Confiabilidad del Calado ¹				
	Año Fiscal 2010 (39.8 esclusajes/día)	Año Fiscal 2015 (43.3 esclusajes/día)	Año Fiscal 2020 (43.7 esclusajes/día)	Año Fiscal 2025 (44.1 esclusajes/día)
Calado >= 12m (39.5') Lago >= 24.8m (81.5')	98.5%	97.5%	97.2%	97%

1. Todos los calados son en Agua Dulce Tropical (ADT). Todas las elevaciones usan como referencia el Precise Level Datum (PLD)

Figura 7-17 El análisis de confiabilidad de calado para el Canal actual indica que en el AF 2010, según las proyecciones de demanda más probable, el Canal sólo podrá mantener su calado máximo 98.5% del tiempo en promedio.



idad hídrica del sistema y permitir al Canal brindar a sus clientes un calado máximo de 12.3 metros (40.5') ADT.

Entre las mejoras que permitirán maximizar la capacidad del Canal actual, dos de ellas tienen un impacto significativo en el rendimiento hídrico y la confiabilidad de calado: la profundización del cauce de navegación del lago Gatún a 10.4 metros (34') PLD y el aumento del calado máximo permitido a 12.3 metros (40.5') ADT, mediante el aumento del nivel de operación del lago Miraflores.

Con la profundización de los cauces de navegación del lago Gatún a 10.4 metros (34') PLD el Canal mejorado obtendrá una configuración de calado distinta a la del Canal actual (ver figura 7-18). El Canal continuará ofreciendo a sus clientes un calado máximo de 12 metros (39.5') ADT, definido por la configuración de las esclusas y el nivel de operación del lago Miraflores. No obstante, el fondo de los cauces de navegación del lago Gatún y del Corte Culebra descenderán hasta 10.4 metros (34') PLD, o sea 0.9 metros (3') por debajo de la elevación del fondo actual.

Si se mantiene el espacio mínimo bajo la quilla (EBQ) en 1.5 metros (5'), entonces el nivel mínimo operativo del lago Gatún será de 23.9 metros (78.5') PLD. En las figuras 7-19 y 7-20 se ilustran los resultados del análisis de confiabilidad de calado para esta configuración del Canal actual mejorado con la profundización de los cauces de navegación. Se puede observar que esta mejora tiene un impacto positivo y significativo en la confiabilidad de calado del Canal, permitiendo ofrecer alrededor de 99% hasta el año fiscal 2025.

Efecto de la Profundización de los Cauces a 10.4m (34') en la Capacidad de Almacenamiento del Sistema Hídrico

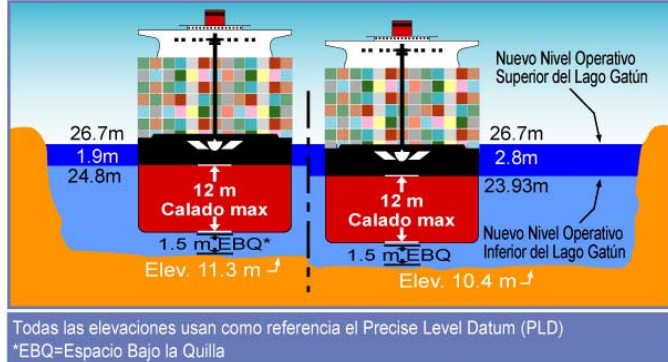


Figura 7-18 La profundización a 10.36 metros (34') PLD mejorará la confiabilidad del calado que el Canal ofrecerá a sus clientes.

Curvas de Duración de las Elevaciones del Lago Gatún Operando entre 26.7m (87.5') y 24.8m (81.5') con el Canal Actual Mejorado y con el Fondo de los Cauces a 10.4m (34') PLD

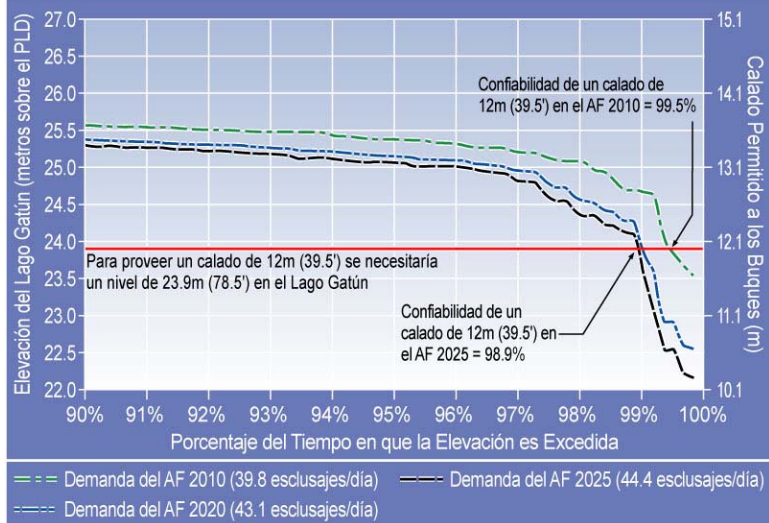


Figura 7-19 La profundización a 10.36 metros (34') PLD mejoraría significativamente la confiabilidad del calado que el Canal ofrecería a sus clientes, manteniéndose alrededor de 99% hasta el AF 2025.



El aumento del calado máximo a 12.3 metros (40.5') ADT mejorará el servicio que el Canal brinda a sus clientes, pero obligará a mantener el nivel de operación del lago Gatún por encima de 24.2 metros (79.5') PLD. En consecuencia, las modificaciones estipuladas para el Canal extendido transformarán las condiciones operativas del lago Gatún, ocasionando también cambios en la confiabilidad de calado, con respecto al Canal actual, para un calado de 12.3 metros (40.5') ADT

La figura 7-21 muestra los resultados del análisis de confiabilidad de calado para el Canal mejorado, después de aumentar el calado máximo permitido a 12.3 metros (40.5') ADT. Los resultados indican que, con la profundización de los cauces de navegación, el Canal podrá ofrecer este nuevo calado máximo con un alto nivel de confiabilidad. Por ejemplo, con la demanda de agua proyectada para el año fiscal 2010, el Canal podrá ofrecer el nuevo calado máximo más del 99% del tiempo. Esta confiabilidad se reducirá ligeramente a medida que aumente la cantidad de agua que se extrae de la Cuenca. Sin embargo, para el año fiscal 2025 se podrá ofrecer 12.3 metros (40.5') ADT de calado máximo más del 97% del tiempo. La ACP estima igualmente que, para el año fiscal 2025, el Canal mejorado estará operando holgadamente aún, dentro del rendimiento hídrico de la Cuenca (ver figura 7-22).

Confiabilidad de Calado para el Canal Actual				
Profundización a 10.4m (34') PLD				
Demanda de Tráfico más Probable				
Configuración del Sistema				
Nivel Máx. del Lago	Nivel Mín. del Lago	Fondo del Cauce	EBQ Mín.	Calado Máx.
26.7m (87.5')	23.9m (78.5')	10.4m (34')	1.5m (5')	12m (39.5')
Confiabilidad del Calado ¹				
	Año Fiscal 2010 (39.8 esclusajes/día)	Año Fiscal 2015 (43.3 esclusajes/día)	Año Fiscal 2020 (43.7 esclusajes/día)	Año Fiscal 2025 (44.1 esclusajes/día)
Calado >= 12m (39.5') Lago >= 23.9m (78.5')	99.5%	99%	98.7%	98.5%

1. Todos los calados son en Agua Dulce Tropical (ADT). Todas las elevaciones usan como referencia el Precise Level Datum (PLD)

Figura 7-20 La profundización a 10.36 metros (34') PLD mejorará significativamente la confiabilidad del calado que el Canal ofrecerá a sus clientes, manteniéndose alrededor de 99% hasta el AF 2025.

Confiabilidad de Calado para el Canal Actual				
Aumento de Calado a 12.3m (40.5')				
Demanda de Tráfico más Probable				
Configuración del Sistema				
Nivel Máx. del Lago	Nivel Mín. del Lago	Fondo del Cauce	EBQ Mín.	Calado Máx.
26.7m (87.5')	24.2m (79.5')	10.4m (34')	1.5m (5')	12.3m (40.5')
Confiabilidad del Calado ¹				
	Año Fiscal 2010 (39.8 esclusajes/día)	Año Fiscal 2015 (43.3 esclusajes/día)	Año Fiscal 2020 (43.7 esclusajes/día)	Año Fiscal 2025 (44.1 esclusajes/día)
Calado >= 12m (39.5') Lago >= 23.9m (78.5')	99.5%	99%	98.7%	98.5%
Calado >= 12.3m (40.5') Lago >= 24.2m (79.5')	99%	98.7%	98.3%	98%

1. Todos los calados son en Agua Dulce Tropical (ADT). Todas las elevaciones usan como referencia el Precise Level Datum (PLD)
2. El calado máximo del Canal actual no está definido por lo cauces de navegación, sino por la configuración de las esclusas existentes y el nivel de operación del Lago Miraflores

Figura 7-21 El Canal actual extendido a su máxima capacidad podría brindar 12.3m (40.5') de calado máximo con una confiabilidad de calado mayor al 97% más allá del AF 2025



7.6 Funcionamiento del Canal y la calidad de agua del lago Gatún

La administración integral del recurso hídrico supone no sólo garantizar el suministro de agua requerida para el consumo de la población y para la operación del Canal, sino que también deberá garantizar la conservación de la calidad del agua en la Cuenca del Canal a largo plazo.

Las esclusas del Canal de Panamá operan entre el agua salada de los océanos y el agua dulce de los lagos Gatún y Miraflores. Por lo tanto, con cada operación de esclusaje se presenta la posibilidad de que el agua salada de los océanos penetre en estos lagos.

7.7 Necesidades de agua para la operación del Canal ampliado

7.7.1 Calados máximos que serán ofrecidos en el Canal ampliado

De ser aprobado el tercer juego de esclusas, se hará necesario, entre otras cosas, replantear las dimensiones de la fórmula de “confiabilidad de calado”. A diferencia del Canal existente, en el Canal ampliado el calado máximo que se podrá ofrecer a los buques no estará limitado por las esclusas pospanamax, porque las mismas tendrán las dimensiones necesarias para ofrecer hasta 15.2 metros (50’) de calado, en agua dulce tropical (ADT), con EBQ (espacio bajo quilla) de 1.52 metros (5’). Por consiguiente, el calado máximo del Canal ampliado estará definido por la profundidad de los cauces de navegación y el nivel del agua del lago Gatún.

Los buques que transitan por el Canal actual lo hacen con el calado medido en agua dulce tropical (ADT). El calado en agua dulce es mayor al calado en agua salada tropical (AST)¹³ debido a la diferencia de densidades entre agua dulce y agua salada. Por ejemplo, el calado de

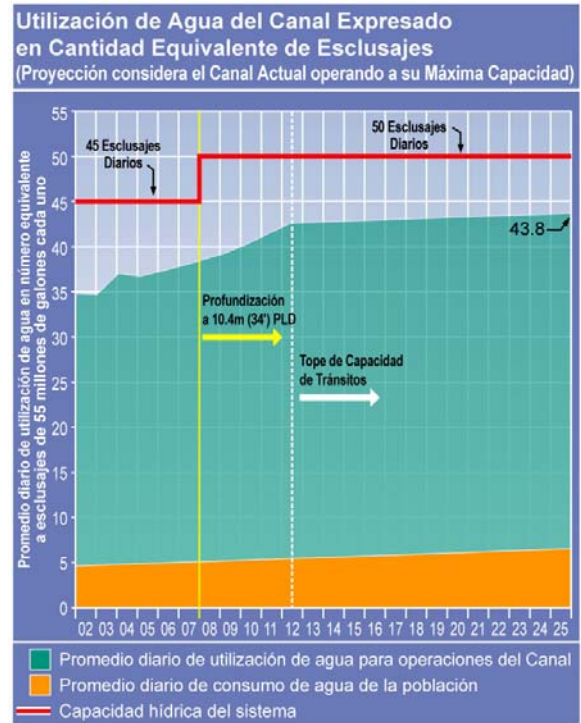


Figura 7-22 El sistema hídrico del Canal Actual podrá continuar sufriendo las necesidades de la población y de la operación del Canal mucho después del AF 2025.

Conversión de Calados entre Agua Dulce y Agua Salada

Agua Dulce Tropical		Agua Salada Tropical	
metros	pies	metros	pies
12.04	39.50	11.69	38.36
12.35	40.50	11.99	39.33
13.11	43.00	12.73	41.76
14.02	46.00	13.62	44.67
14.63	48.00	14.21	46.61
15.24	50.00	14.80	48.56

Figura 7-23 El calado de los buques que transitan el Canal se mide en Agua Dulce Tropical (ADT), el cual es mayor que el calado al que operaría el mismo buque en agua salada tropical.

¹³ El agua dulce tropical (ADT) tiene una densidad de 0.9954 g/cc, y en el agua salada tropical (AST) la densidad es de 1.025 g/cc. La relación de ADT/AST = 0.9711.



12 metros (39.5') ADT que actualmente ofrece el Canal, equivale a un calado de 11.7 metros (38.4') en agua salada tropical (AST) (ver figura 7-23).

Si no se considera ningún proyecto de agua adicional, el Canal ampliado funcionaría con el fondo de los cauces de navegación a una elevación de 10.4 metros (34') PLD y el lago Gatún tendrá un nivel de máximo operación de 26.7 metros (87.5') PLD. Con esta configuración y con un espacio bajo la quilla (EBQ) de 1.52 metros (5'), el Canal ofrecería un calado máximo estacional de 14.6 metros (48.0') ADT. Esto sería posible solamente cuando el lago Gatún estuviera al nivel de 26.5 metros (87') o más. Asimismo, el Canal ampliado podrá ofrecer un calado máximo de 14 metros (46') ADT cuando el lago Gatún esté operando al nivel de 25.9 metros (85') PLD o más (ver figura 7-24). El calado de 14m (46') ADT es el calado mínimo que el Canal deberá ofrecer para garantizar un alto grado de competitividad de la ruta para buques pospanamax (ver Capítulo 4). Por tanto, el Canal ampliado podrá ofrecer calados máximos estacionales, en un rango que iría entre un mínimo de 14 metros (46') ADT y un máximo de 14.6 metros (48') ADT.

Por consiguiente, el aprovechamiento del calado máximo de la esclusa pospanamax dependerá de la programación de los trabajos de profundización de los cauces de navegación del lago Gatún (como se explicará más adelante en este capítulo). Por lo tanto, la propuesta de ampliación del Canal contempla mejoras adicionales que permitirán aprovechar al máximo la capacidad de calado de las esclusas pospanamax.

7.7.2 La configuración de las esclusas pospanamax define la necesidad de agua del Canal Ampliado

Debido a que las esclusas pospanamax propuestas en este Plan Maestro tendrán dimensiones mayores a las esclusas Panamax existentes, aquellas utilizarán más agua que estas, a menos que sean diseñadas para ser más eficientes. Por ello, la ACP ha considerado el consumo de agua del sistema de esclusas pospanamax como uno de los factores más importantes en el diseño de las mismas, y ha logrado que su consumo de agua sea infe-

Calado Máximo Permitido de Acuerdo con el Nivel de Operación del Lago Gatún

Nivel del Lago Gatún (PLD)		Agua Dulce Tropical		Agua Salada Tropical	
metros	pies	metros	pies	metros	pies
25.00	82.00	13.11	43.00	12.73	41.76
25.91	85.00	14.02	46.00	13.62	44.67
26.52	87.00	14.63	48.00	14.21	46.61

Nota: asume 10.4m (34') PLD fondo cauce Lago Gatún y 1.5m (5') EBQ

Figura 7-24 El Canal ampliado podrá ofrecer distintos calados, dependiendo del nivel de operación del lago Gatún. Por ejemplo, cuando el lago Gatún opere a 25.9m (85'), el Canal podría ofrecer 14m (46') de calado en agua dulce tropical (ADT).

Utilización de Agua* para Esclusas Pospanamax

Utilización de Agua en Esclusajes Panamax Equivalentes**			Utilización de Agua en Millones de Metros Cúbicos		
Un Nivel	Dos Niveles	Tres Niveles	Un Nivel	Dos Niveles	Tres Niveles
6.94	3.47	2.31	1.44	0.72	0.48

* Utilización de agua basada en el diseño conceptual de esclusas con cámaras de 54.9m ancho y 427m longitud.

** Un esclusaje es la cantidad de agua necesaria para un tránsito completo de océano a océano. Las esclusas Panamax existentes utilizan 0.208 millones de metros cúbicos (55 millones de galones) de agua.

Figura 7-25 Utilización de agua de las esclusas pospanamax con uno, dos y tres escalones. Nótese que la esclusa de un nivel utiliza hasta tres veces más agua que la esclusa de tres niveles.



rior al de las esclusas actuales, a través del uso de tecnología y métodos de comprobada eficacia.

Para medir la utilización de agua de las esclusas pospanamax, la ACP ha establecido como referencia una medida de agua denominada “esclusaje equivalente”. Esta medida equivale al volumen de agua que utilizan las esclusas existentes durante el tránsito completo de un buque Panamax de un océano a otro. El volumen de agua de un esclusaje equivalente representa aproximadamente 0.21 MMC (55 millones de galones) de agua. Un esclusaje equivalente incluye toda el agua que se utiliza para realizar un tránsito completo: primero, el esclusaje inicial, que sube el buque desde el mar hasta el nivel del lago Gatún y, segundo, el esclusaje final, que vuelve a bajar el buque al nivel del mar. El esclusaje equivalente también incluye los usos adicionales de agua que son producto de la operación del Canal, tales como asistencias hidráulicas, movimiento de equipo flotante de la ACP, control de elevación del nivel del lago Miraflores y operaciones similares.

Una forma efectiva de reducir el uso de agua de las esclusas pospanamax es construirlas con múltiples niveles. Desde el punto de vista del uso de agua, una esclusa con un sólo nivel o cámara resultaría en la configuración más ineficiente de todas, porque requeriría 1.44 MMC (380 millones de galones) de agua por esclusaje. Estas cifras representan una utilización de agua casi 7 (siete) veces mayor que el volumen de agua utilizado por las esclusas existentes. En el caso de una esclusa de un solo nivel o escalón, las mismas consumirían un volumen de agua equivalente al área o superficie de la cámara de la esclusa (ancho por largo), multiplicada por la diferencia de altura o elevación total entre el nivel del mar y el lago Gatún.

Cuando se añaden múltiples escalones o niveles a una esclusa, se puede reciclar el mismo volumen de agua, una y otra vez en cada escalón, para subir o bajar el buque. Esto reduce significativamente la utilización de agua por esclusaje. En este caso, la utilización de agua sería equivalente al área de la cámara de la esclusa (ancho por largo), multiplicada por la diferencia de niveles de agua entre cada escalón. Por lo tanto, una esclusa de dos niveles utilizará aproximadamente la mitad del agua que utilizaría una esclusa de un nivel (3.5 veces más agua que la esclusa actual). Análogamente, una esclusa de tres niveles utilizará aproximadamente un tercio del volumen de agua, o sea una utilización 2.3 veces mayor a la de las esclusas existentes, lo que equivale a 0.48 MMC (126.8 millones de galones) por esclusaje (ver figura 7-25).

El uso de más niveles o escalones también tiene un efecto beneficioso en la conservación de la calidad del agua en el lago Gatún, debido a que mayor número de niveles representan una mejor barrera contra la intromisión de agua salada. En otras palabras, a mayor número de niveles, menor intromisión de agua salada en el lago. Sobre la base de este análisis, la ACP ha elegido una configuración de tres niveles o escalones para



el diseño de las esclusas pospanamax, semejante al diseño de las actuales esclusas de Gatún (ver Capítulo 6).

7.7.3 Proyección de las necesidades de agua del Canal ampliado

Las figuras 7-26 y 7-27 muestran la proyección de necesidad total de agua para la población y para el Canal ampliado, con un tercer juego de esclusas pospanamax de tres niveles. Esta proyección se define en función del pronóstico de demanda más probable, y supone que por la esclusa pospanamax transitan aquellos buques que, por razón de sus dimensiones, no pueden transitar por las esclusas existentes. Todos los otros buques continuarán transitando por las esclusas existentes¹⁴.

Las proyecciones indican que las necesidades totales de agua aumentarán del promedio de 38 esclusajes diarios observado en el año fiscal 2005 hasta alcanzar un promedio de casi 44 esclusajes por día (3,316 MMC/A) en el año fiscal 2013, antes del inicio de las operaciones las esclusas pospanamax. Poco después, en el año fiscal 2014, tras el inicio de operaciones de las esclusas pospanamax, las necesidades totales de agua sólo aumentarían ligeramente, a menos de 45 esclusajes equivalentes por día (3,300 MMC/A), gracias al efecto de la reducción de tránsitos, que contrarresta el mayor consumo de agua de las esclusas pospanamax (ver proyecciones de tránsito en el Capítulo 4).

Después de la entrada en funcionamiento de las esclusas pospanamax en el año fiscal 2014, las proyecciones de demanda indican que continuará el crecimiento del volumen de carga por el Canal, sumado al crecimiento simultáneo de la demanda de agua para el consumo de la población. Para el año fiscal 2025, se prevé que la necesidad total de agua, incluida el agua para el consumo de la población y para la operación del Canal ampliado, alcanzará los 4,234

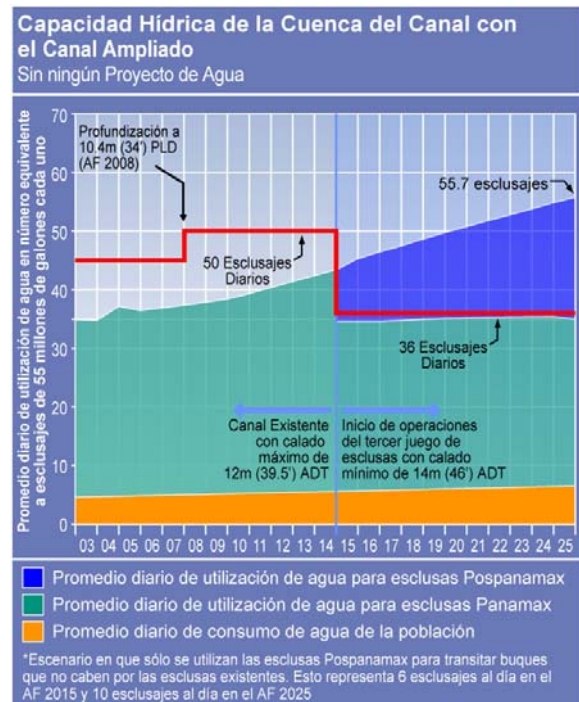


Figura 7-26 La proyección de uso de agua del Canal ampliado indica que, sin la adición de proyectos de ahorro de agua, para el AF 2025 se necesitarán más de 55 esclusajes equivalentes por día, y el sistema hídrico del Canal solo podría suplir 36 esclusajes diarios con una confiabilidad de 99%.

Proyección de Necesidad Total del Agua con el Canal Ampliado

Sin ningún Proyecto de Agua

Año	Población	Operación del Canal	Total
2005	371	4.9	2,398
2010	403	5.3	2,584
2015	434	5.7	3,003
2020	466	6.1	3,386
2025	498	6.6	3,736

■ En millones de metros cúbicos anuales
■ En número de esclusajes equivalentes al día

Figura 7-27 La proyección de necesidades de agua del Canal ampliado indica que en el AF 2025 la necesidad total de agua podría llegar a más de 4,234 MMC por año, o el equivalente a 55.7 esclusajes diarios.

¹⁴ Este escenario se utilizó en el análisis para establecer las necesidades hídricas del Canal ampliado. Las nuevas esclusas podrán ser utilizadas para responder a las variables necesidades operativas diarias, ya sea permitiendo el tránsito de buques panamax o el esclusaje simultáneo de buques de menor tamaño.



MMC anuales, lo que representa 55.7 esclusajes equivalentes por día.

El inicio de operaciones de las esclusas pospanamax introducirá un cambio significativo en el régimen operativo del lago Gatún, debido a que los buques pospanamax requieren mayores calados que los buques Panamax o menores. Esta circunstancia, a su vez, afectará el nivel mínimo aceptable al que podrá operar el lago Gatún sin restringir el calado de los buques pospanamax.

Específicamente, para mantener un calado máximo de 14m (46') y 1.5m (5') de espacio bajo la quilla (EBQ) con el fondo de los cauces de navegación a 10.4m (34') PLD de profundidad, el nivel mínimo de operación del lago Gatún deberá ser de 25.9 metros (85') PLD, en lugar de 23.9 metros (78.5'). Estas condiciones operativas equivaldrían a una reducción de 1.98 metros (6.5') en el volumen de almacenamiento efectivo del lago Gatún, con la consecuente reducción del rendimiento hídrico de la Cuenca.

Los análisis de rendimiento hídrico indican que en estas condiciones la Cuenca podría proveer agua suficiente para un promedio de 36 esclusajes equivalentes por día, manteniendo una confiabilidad volumétrica de 99%. Este rendimiento hídrico resultaría inferior a las necesidades de agua estimadas para la operación del Canal ampliado, que se proyectan en 45 esclusajes equivalentes, por día, en el año fiscal 2015, y en más de 55 esclusajes equivalentes por día, en el año fiscal 2025.

La posible insuficiencia del sistema hídrico actual para satisfacer las necesidades totales de agua del Canal ampliado no afectará jamás el suministro de agua para el consumo de la población, porque este uso siempre tiene prioridad sobre todos los otros usos. No obstante esta insuficiencia se verá reflejada, efectivamente, en una reducción de la confiabilidad de calado del Canal. Tal y como ilustra la figura 7-28, la confiabilidad con que el Canal ampliado podría brindar un calado de 14 metros (46') , sin ningún proyecto adicional de ahorro o suministro de agua, sería de solo 50% en el año fiscal 2015; 40% en el año fiscal 2020 y 32% en el año fiscal 2025. Estas proyecciones indican

Confiabilidad de Calado para la Ampliación del Canal					
Inicio de Operaciones					
Demanda de Tráfico más Probable					
Canal Ampliado con esclusas Pospanamax de 3 escalones					
Dimensiones de la cámara: 54.9m (180') de ancho x 426.7m (1,400') de largo					
Configuración del Sistema					
Nivel Máx. del Lago	Nivel Mín. del Lago	Fondo del Cauce	EBQ Mín. ²	Calado Máx. ³	Calado Mín.
26.7m (87.5')	25m (82')	10.4m (34')	1.5m (5')	14.8m (48.5')	13.1m (43')
Confiabilidad del Calado ¹					
	Año Fiscal 2015 (45.2 esclusajes/día)	Año Fiscal 2020 (50.7 esclusajes/día)	Año Fiscal 2025 (55.7 esclusajes/día)		
Calado >= 13.1m (43') Lago >= 25m (82')	95%	86%	73%		
Calado >= 14m (46') Lago >= 25.9m (85')	50%	40%	32%		
Calado >= 14.6m (48') Lago >= 26.5m (87')	15%	12%	10%		
Calado >= 15.2m (50') Lago >= 27.1m (89')	n/a	n/a	n/a		
1. Todos los calados son en Agua Dulce Tropical (ADT). Todas las elevaciones usan como referencia el Precise Level Datum (PLD)					
2. El calado máximo solo sería posible cuando el Lago Gatún opera a su nivel máximo					

Figura 7-28 El Canal ampliado, por sí solo, sin ningún proyecto adicional de agua, no podría brindar calados competitivos con altos niveles de confiabilidad. Por ejemplo, en el AF 2015 se podría ofrecer un calado de 14m (46') ADT sólo 50% del tiempo.



con claridad la necesidad de uno o más proyectos de ahorro o suministro de agua adicionales para asegurar el tránsito de buques pospanamax con calados competitivos en un Canal ampliado.

7.8 Alternativas para satisfacer las necesidades de agua del Canal ampliado

Como se mostró en el análisis anterior, el Canal ampliado con un tercer juego de esclusas pospanamax apareja necesidades de agua que excederán la capacidad hídrica del sistema de la Cuenca hidrográfica del Canal actual¹⁵. Por lo tanto, el programa de ampliación del Canal debe estar complementado por un programa de suministro y ahorro de agua que permita satisfacer holgadamente las necesidades simultáneas de la población y del Canal con un tercer juego de esclusas.

Para alcanzar este propósito la ACP ha estudiado en detalle una gran cantidad de alternativas posibles, de suministro y ahorro de agua, entre ellas algunas que permitan: (1) aumentar el rendimiento hídrico del sistema actual, (2) reducir las necesidades de agua mediante sistemas de ahorro y (3) añadir fuentes de agua adicionales.

El primer paso de este proceso correspondió a la identificación de todas las posibles fuentes de agua en la Cuenca del Canal. Este ejercicio preliminar reveló el enorme potencial hídrico de esta región. En efecto, su estudio de reconocimiento inicial¹⁶ señaló 29 alternativas de suministro hídrico, como se muestra en la figura 7-29. El número preliminar de proyectos se redujo a

Opciones de Suministro de Agua Estudiadas para el Canal Ampliado			
Número	Proyecto	Reconocimiento	
		Inicial	Detallado
1*	Embalse de Río Indio	✓	✓
2*	Embalse de Coclé del Norte	✓	✓
3*	Embalses de Río Toabre and Río Caño Sucio	✓	✓
4*	Embalse de Río Lagarto	✓	✓
5*	Embalse de Río Salud	✓	✓
6*	Embalse de Río Piedras	✓	✓
7*	Embalse de Río Cuango	✓	
8*	Embalse de Río Caimito	✓	✓
9*	Embalse de Río Pacora	✓	✓
10*	Embalse del Río Trinidad Abajo	✓	✓
11*	Embalse del Río Trinidad Arriba	✓	
12*	Embalse de Río Alto Chagres	✓	✓
13*	Embalse del Río Pequeñi	✓	
14*	Embalse del Río Ciri Grande	✓	✓
15*	Embalse del Río Caño Quebrado	✓	
16*	Embalse del Río Caño Sucio	✓	✓
17	Elevar el nivel Máximo de operación del Lago Gatún a 27.1m (89') PLD	✓	✓
18	Profundizar los cauces de navegación del Lago Gatún 0.9m (3')	✓	✓
19*	Elevar el nivel máximo de operación del Lago Alajhuela 0.6m y 1.2m (2' and 4')	✓	✓
20*	Elevar el nivel de operación del Lago Miraflores 16.8 m (55') PLD	✓	
21*	Embalse bombeado en el Lago Alajhuela	✓	
22*	Bombear agua del subsuelo a la Cuenca del Canal	✓	
23*	Embalse bombeado y generación entre Coclé del Norte y Toabre	✓	✓
24*	Compuertas de mareas	✓	
25*	Bajar el Lago Gatún a una elevación de 16.8m (55')PLD y eliminarla cámara superior de las esclusas	✓	
26*	Reducir pérdidas por filtración y evaporación de los Lagos Gatún y Alajhuela	✓	
27*	Bombear agua salada al Lago Gatún	✓	✓
28*	Reciclar el agua que se utiliza en los esclusajes	✓	✓
29	Tinas de Ahorro de Agua	✓	✓

*Opciones descartadas en el análisis final

Figura 7-29 Durante la evaluación inicial de posibles fuentes de agua se identificaron 29 alternativas hídricas, los cuales fueron reducidos a 19 para una evaluación detallada.

¹⁵ Dentro del cual se incluye la profundización de los cauces del lago Gatún a 10.4 metros (34') PLD.

¹⁶ Estudio de Reconocimiento de Fuentes de Agua, USACE (cifras actualizadas el 5 de mayo del 2005)



19 tras la evaluación inicial y, finalmente, se recomendaron 9 proyectos para su estudio y desarrollo posterior, al nivel de factibilidad técnica.

Los 9 proyectos comprendían 6 en la región oriental y 3 en la región occidental de la Cuenca hidrográfica del Canal. Además, como parte de los diseños y análisis para las esclusas pospanamax, se estudió el uso de tinas de reutilización de agua y sistemas de reciclaje que permitieran reutilizar el agua que se vierte a los océanos durante los esclusajes. Entre los factores analizados se incluyeron la factibilidad técnica, los costos de operación y construcción, el rendimiento hídrico, los impactos ambientales y sociales, así como también la existencia de beneficios indirectos.

La figura 7-30 describe el proceso que se siguió en el análisis de posibles alternativas de ahorro y suministro de agua. Sobre la base de este análisis se han identificado y seleccionado aquellas alternativas que presentan mayores beneficios con menores desventajas o impactos negativos. La figura 7-31 describe los proyectos de agua que fueron incluidos en el análisis final. Allí se presentan los criterios utilizados para determinar la conveniencia o inconveniencia de cada uno de los proyectos

Proceso de Selección de Alternativas de Suministro y Ahorro de Agua		
Etapa de Estudio	Número de Alternativas	Fuentes de Información
Reconocimiento Inicial	29	Cuerpo de Ingenieros y ACP
Reconocimiento Detallado	19	Cuerpo de Ingenieros y ACP
Impacto Ambiental	12	URS Holding, STRI, UNDP y ACP
Factibilidad Técnica	9	Harza Engineering, Coyne et Bellier, Tractebel Development, Technum, Compagnie Nationale du Rhône, Parsons Brinckerhoff, Delft Hydraulics, Moffatt & Nichol y ACP
Análisis de Alternativas Individuales	7	ACP
Análisis de Alternativas Combinadas	4	ACP

Figura 7-30 Durante la evaluación inicial de posibles fuentes de agua se identificaron 29 proyectos hídricos, los cuales fueron reducidos a 19 sometidos a una evaluación detallada.

Las alternativas evaluadas son de tres tipos:

- **Mejoras al Rendimiento.** Son alternativas que aumentan el rendimiento del sistema hídrico del Canal actual, como por ejemplo la profundización del cauce de navegación del lago Gatún.
- **Ahorro de Agua.** Son alternativas que reducen la cantidad de agua que consumirá la operación de las esclusas, como por ejemplo las tinas de reutilización de agua
- **Fuentes Adicionales.** Son alternativas que aportarían agua adicional de otras partes de la Cuenca.



Matriz de Análisis de Alternativas de Agua									
Criterio de Decisión	Tinas de Reutilización de Agua			Reciclaje de Agua*	Subir el Lago Gatún a 89'	Profundizar Cauces a 30' PLD	Opción de Trinidad*	Opción de Alto Chagres*	Opción de Río Indio*
	1 Tina*	2 Tinas*	3 Tinas						
Aspectos Técnicos y de Costo									
Rendimiento Hídrico (con 99% de confiabilidad volumétrica)	3 - 5 esclusajes	5 - 9 esclusajes	6 - 11 esclusajes	10 - 12 esclusajes	3-5 esclusajes	7-10 esclusajes	7 esclusajes	5 esclusajes	16 esclusajes
Costo de Inversión (en millones de balboas)	B/. 250 Millones	B/. 315 Millones	B/. 480 Millones	B/. 210 Millones	B/. 30 Millones	B/. 150 Millones	B/. 700 Millones	B/. 330 Millones	B/. 290 Millones
Aspectos Sociales y Ambientales:									
Impacto en Calidad de Agua (Posibilidad de intromisión de agua salada)	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Mucha Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión
Personas Afectadas (número de personas)	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	N / S	Ninguna	1,640 personas	263 personas	1,750 personas
Superficie Afectada Directamente (hectareas)	N / S	N / S	N / S	N / S	400 hectáreas	Ninguna	2,100 hectáreas	1,300 hectáreas	4,600 hectáreas
Impacto en la Biodiversidad (alto - regular - bajo)	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Poco impacto en la biodiversidad	Ningún impacto	Ningún impacto	Pérdida de áreas boscosas	Pérdida de bosques primarios	Pérdida de áreas boscosas
Impacto Socio-Económico (alto - regular - bajo)	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Adecuación de estructuras	Ningún impacto	Impacto en áreas rurales y semi-rurales	Impacto en áreas de reservas indígenas	Impacto en áreas rurales
N / S = No tiene impacto significativo *Opciones descartadas en el análisis final									

Figura 7-31 Alternativas para suplir las necesidades de agua del Canal ampliado. Ninguna de las alternativas puede suplir, por sí sola, toda la demanda de agua, y algunas alternativas descartadas tienen impactos sociales y ambientales significativos (Figura y texto actualizados el 5 de mayo de 2006).

7.8.1 Subir el nivel del lago Gatún a 27.1 metros (89') PLD

Una de las formas más eficientes de aumentar la capacidad de almacenamiento del lago Gatún es elevar su nivel máximo de operación, pues con esto se aumentaría el volumen de almacenamiento efectivo del lago. Se ha determinado que es técnica y económicamente factible aumentar el nivel máximo de operación del lago Gatún de su elevación máxima actual de 26.7 m (87.5') a un nivel máximo de operación de 27.1 m (89') PLD (ver figura 7-32).

Este aumento requiere la modificación y adaptación de algunas estructuras, tales como las recamaras superiores de la esclusa de Gatún, la parte Norte de la esclusa de Pedro Miguel y los muelles en el lago Gatún, de manera que se puedan operar con el agua del lago Gatún a un nivel máximo de 27.1 metros (89') PLD, de forma confiable y segura.

Este proyecto incrementaría en entre 3 y 5 esclusajes adicionales por día la capacidad del sistema hídrico actual, dependiendo de cómo se opere el lago Gatún. El costo de este proyecto se estima en B/. 30 millones y su



implementación tomaría aproximadamente dos (2) años en completarse¹⁷.

7.8.2 Profundizar los cauces de navegación a 9.1 metros (30') PLD

Otra forma de aumentar la capacidad de almacenamiento del lago Gatún es la de profundizar los cauces de navegación. Esto permite que el agua del lago Gatún alcance niveles más bajos sin afectar el calado de los buques que transitan. Esto, a su vez, permite reducir el nivel mínimo de operación del lago, lo cual aumenta su volumen de almacenamiento efectivo del mismo.

Después de un análisis de la configuración geológica de los cauces de navegación se ha determinado que es factible profundizar los mismos hasta un nivel mínimo de 9.1 metros (30') PLD. Esta propuesta reduciría el nivel mínimo de operación del lago Gatún a 24.7 metros (81') PLD, manteniendo un calado máximo de 14 metros (46') (ver figura 7-33).

Este proyecto aumentaría la capacidad hídrica del sistema actual en entre 7 y 10 esclusajes adicionales por día. El costo de este proyecto ha sido estimado en aproximadamente de B/. 150 millones¹⁸ y su duración, en cuatro (4) años.

7.8.3 Tinajas de reutilización de agua

El método más efectivo para reducir el consumo de agua de las esclusas pospanamax es el uso de piletas o tinajas de reutilización de agua (*water saving basins*). Las tinajas de reutilización de agua son estructuras de almacenamiento de agua, adyacentes a las cámaras de las esclusas, y conectadas a estas mediante alcantarillas reguladas por válvulas de paso. Debido a los requisitos de diseño de este tipo de sistemas, cada tina de reutilización de agua debe tener la misma área que las cámaras de la esclusa. Las tinajas deben

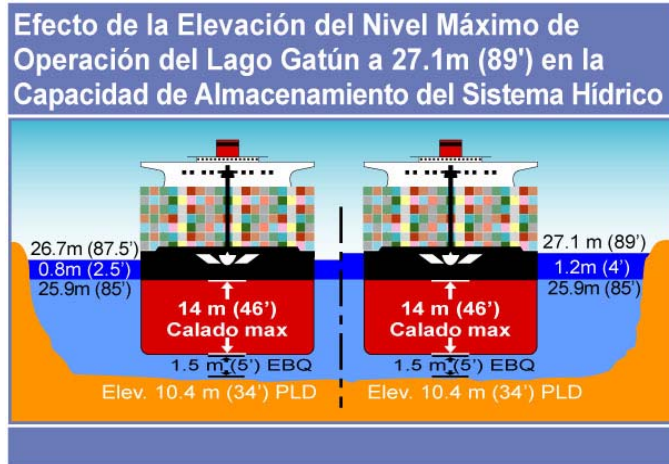


Figura 7-32 El proyecto de subir el nivel máximo de operación del lago Gatún a 27.1m (89') permitiría aumentar el espacio de almacenamiento de lago Gatún de 0.8 m a 1.2 m.

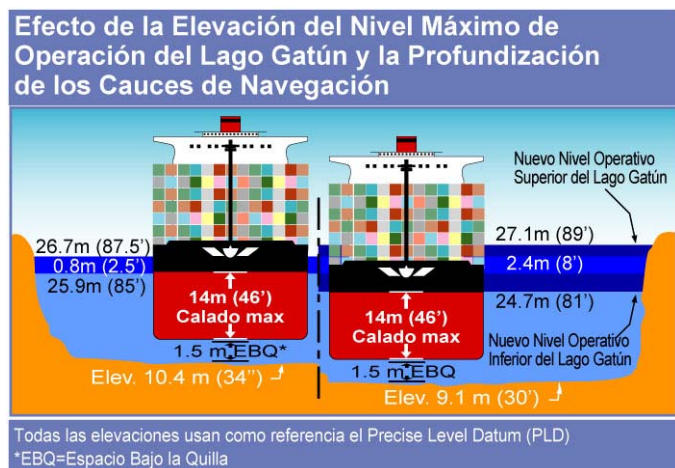


Figura 7-33 El proyecto de profundizar los cauces de navegación a 9.1m (30') PLD permitirá aumentar el espacio de almacenamiento del lago Gatún a 2.4 m.

¹⁷ El costo de 30 millones para el aumento del nivel máximo de operación del lago Gatún representa el estimado de costo base de esta opción contingencias (texto actualizado el 5 de mayo del 2005).

¹⁸ El costo de 150 millones para la profundización de los cauces de navegación representa el estimado de costo base de esta opción, sin contingencias (texto actualizado el 5 de mayo del 2005).



construirse en todos y cada escalón o nivel de la esclusa (ver figura 7-34).

Las tinas de reutilización de agua permitirán mover el agua desde y hacia las cámaras de las esclusas, en ambas direcciones. Además, todo el movimiento de agua sería por gravedad, sin necesidad de bombas. De esta forma las tinas almacenarían parte del agua proveniente de las cámaras de las esclusas, que de otra forma sería vertida al mar durante un esclusaje. El agua almacenada en las tinas sería transferida nuevamente a las cámaras de las esclusas durante el proceso posterior de llenado. En la actualidad, las tinas de reutilización de agua son ampliamente utilizadas en esclusas, en Alemania, con éxito comprobado.

El nivel de ahorro que proveen las tinas de reutilización de agua es determinado por el número de tinas que se construyen para cada cámara o nivel de la esclusa. El uso de una mayor cantidad de tinas por nivel resultará en un mayor ahorro de agua. Sin embargo, el ahorro obtenido por cada tina adicional es decreciente. Por ejemplo, una tina ahorraría 33% de la utilización total de agua de la esclusa, dos tinas 50%, y tres ti-

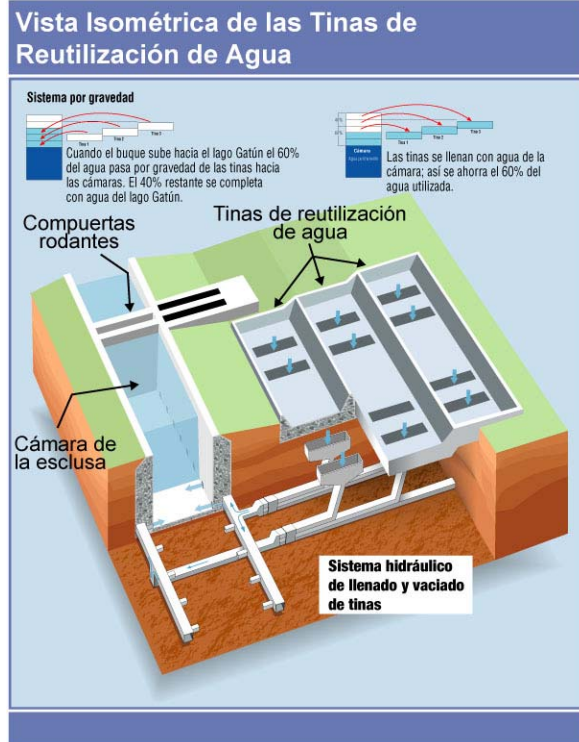


Figura 7 – 34 Vista isométrica del sistema de tinas de reutilización de agua. Una esclusa con tres tinas por cámara utilizará 60% menos agua que una esclusa sin tinas.

nas 60%. El uso de cuatro, cinco o seis tinas ahorraría 66%, 71% y 75% respectivamente. Como se puede ver, cada tina adicional proporciona menores beneficios a las primeras. La figura 7-35 muestra el efecto en la reducción del consumo de agua de las esclusas pospanamax, mediante el uso de una a seis tinas por nivel.

El uso de una mayor cantidad de tinas también tendría un impacto negativo en las

Cantidad de Tinas de Agua por Nivel de Esclusas	Utilización de Agua en Esclusajes Panamax Equivalentes**			Utilización de Agua en Millones de Metros Cúbicos		
	Un Nivel	Dos Niveles	Tres Niveles	Un Nivel	Dos Niveles	Tres Niveles
Sin Tinas	6.94	3.47	2.31	1.44	0.72	0.48
Una Tina	4.63	2.31	1.54	0.96	0.48	0.32
Dos Tinas	3.47	1.73	1.16	0.72	0.36	0.24
Tres Tinas	2.78	1.39	0.93	0.58	0.29	0.19
Cuatro Tinas	2.31	1.16	0.77	0.48	0.24	0.16
Cinco Tinas	1.98	0.99	0.66	0.41	0.21	0.14
Seis Tinas	1.73***	0.87	0.58	0.36	0.18	0.12

* Utilización de agua basada en el diseño conceptual de esclusas con cámaras de 54.9m ancho y 427m longitud.
 ** Un esclusaje es la cantidad de agua necesaria para un tránsito completo de océano a océano. Las esclusas Panamax existentes utilizan 0.208 millones de metros cúbicos (55 millones de galones) de agua.
 *** Esclusas de un escalón utilizan 1.73 veces el esclusaje equivalente, operando en sistema convoy, si se operan las esclusas de modo alterno, el consumo de agua se reduce a la mitad, 0.86 veces.

Figura 7-35 La configuración física de las esclusas de diferentes niveles y opciones de tinas de reutilización de agua son elementos críticos en el consumo de agua por esclusaje.



operaciones de esclusaje. Esto es así porque el uso de tinas aumenta el tiempo que toma llenar y vaciar las cámaras de las esclusas, debido a los movimientos adicionales de agua. A su vez, un mayor número de tinas también aumenta los costos de construcción y mantenimiento. Como consecuencia, el diseño final deberá encontrar un balance entre la cantidad de tinas y la relación de costo beneficio que se obtendría con ellas.

Las tinas de reutilización de agua tendrían un costo de aproximadamente B/. 250 millones para la alternativa de una tina por cada cámara de la esclusa (3 tinas por esclusa). La alternativa de 2 tinas por cámara (6 tinas por esclusa) tendría un costo de B/. 315 millones, y la de tres tinas por cámara (9 tinas por esclusa) tendría un costo de aproximadamente B/. 480 millones¹⁹. Las mismas se construirían como parte de la construcción de las esclusas pospanamax del Atlántico y del Pacífico, y aprovecharían en parte las excavaciones existentes.

7.8.4 Opción descartada de Río Indio

La ACP ha examinado varios esquemas para el desarrollo de posibles nuevos embalses, cuya finalidad sería suministrar agua suficiente tanto para la población como para el funcionamiento del Canal, desde la región occidental de la Cuenca. La opción descartada del río Indio habría consistido de una represa sobre el cauce del río, cerca del poblado El Limón No.1. La represa crearía un embalse con una superficie de 4,600 hectáreas a una elevación de 80 metros (262') sobre el nivel del mar. A su vez, este embalse almacenaría el agua de la Cuenca del Río Indio y la transferiría al lago Gatún, a través de un túnel de 4.5 metros (14.76') de diámetro y 8.4 kilómetros (5.28 millas) de largo (ver figura 7-36).

Según estudios realizados por la ACP, este embalse tendría un rendimiento hídrico de 3.3 MMC diarios, operando a elevaciones de entre aproximadamente 40 y 80 metros (131 y 262 pies) sobre el nivel del mar. Esto representa un rendimiento anual de más de 1,200 MMC, o el volumen de agua suficiente para realizar 15.8

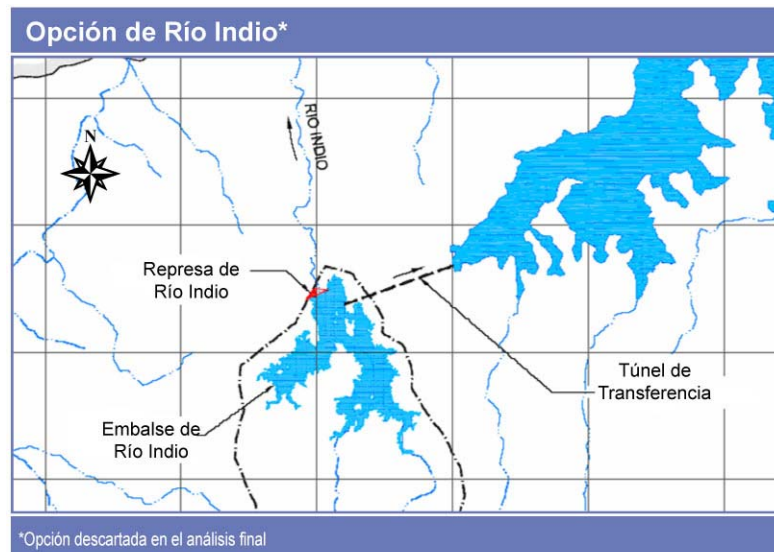


Figura 7-36 La opción descartada de un embalse en el Río Indio consiste en almacenar las aguas de este río mediante una represa y transferir esta agua al lago Gatún mediante un túnel.

¹⁹ El costo de B/. 250, 315 y 480 millones para las opciones de 1, 2 o 3 tinas de reutilización de agua representa el estimado de costo base, sin contingencias (texto actualizado el 5 de mayo del 2005).



esclusajes equivalentes diarios, a un costo de aproximadamente B/. 290 millones²⁰. No obstante, la creación del embalse del Río Indio tendría impactos ambientales y sociales negativos, entre los que se incluye la necesidad de reubicar a los habitantes del área, por lo cual ha sido descartada.

7.8.5 Opción descartada de reciclaje de agua

Aparte del sistema de tinas, la ACP ha estudiado otros sistemas alternativos para el ahorro de agua. Por ejemplo, se ha estudiado el uso de un sistema de reciclaje de agua por bombeo para minimizar el consumo. Dicho sistema implicaría acumular el agua utilizada en un esclusaje en un estanque construido a un nivel inferior a la esclusa y bombear la misma a través de tuberías hacia un estanque construido a un nivel superior, donde podrá reutilizarse para los esclusajes subsiguientes.

El sistema de reciclaje de agua tendría un costo aproximado de B/. 210 millones²¹. A primera vista, este sistema pareciera efectivo para minimizar el consumo de agua de las esclusas. No obstante, los estudios realizados por la ACP indican que esta alternativa tendría considerables impactos ambientales negativos asociados con el incremento de la intrusión de agua salada en el lago Gatún²², además de representar altos costos de construcción y operativos.

7.8.6 Opción descartada de Trinidad

La región oriental de la Cuenca proporciona hoy en día toda el agua necesaria para el consumo de la población y para el funcionamiento del Canal. Incluso lo hace en exceso porque la cantidad de agua que llega a los lagos de la región oriental es mayor que la cantidad de agua que se puede utilizar en el presente (debido en parte a la variabilidad y estacionalidad de las lluvias). Esto significa que el agua que no puede ser almacenada es utilizada para producir energía eléctrica o es vertida al mar.

Una forma de mejorar el aprovechamiento hídrico de la región oriental de la Cuenca sería aumentar su capacidad de almacenamiento. Esta opción consistiría en una represa de 4.3 kilómetros de largo, cerca de los poblados de Escobal y Lagartera, tal y como se ilustra en la figura 7-37. Este embalse utilizaría bombas para mover el agua desde y hacia el lago Gatún, permitiendo maximizar el volumen de almacenamiento utilizable del embalse. Con este esquema de bombeo activo, el embalse de Bajo Trinidad podría operar entre un nivel mínimo de 22.9 metros (75') PLD y un nivel máximo de 29.9 metros (98') PLD.

²⁰ El costo de 290 millones para la opción descartada de río Indio representa el estimado de costo base, sin contingencias.

²¹ El costo de 210 millones para la opción descartada de reciclaje de agua representa el estimado de costo base, sin contingencias.

²² Estudio de intromisión de agua salada por sistema de reciclaje de agua en esclusas pospanamax en el Pacífico, Delft Hydraulics, 2004.



Esta opción contribuiría al aprovechamiento hídrico actual de la región oriental de la Cuenca en una medida relativa que dependería del nivel operativo del lago Gatún. Así, por ejemplo, su contribución podría medirse en 1.04 MMC diarios, equivalentes a cinco esclusajes adicionales al día, en el caso de que el lago Gatún tuviera un nivel mínimo de 23.8 metros (78') PLD y 1.86 MMC. O bien, la contribución de esta alternativa podría medirse en aproximadamente nueve esclusajes adicionales por día, si el lago Gatún alcanzara un nivel mínimo de 26 metros (85') PLD.

Se estima que la opción bombeada de Trinidad tendrá un costo de aproximadamente B/. 700 millones²³. Sin embargo, existen algunos aspectos críticos relacionados con esta opción, que incluyen riesgos tecnológicos y de construcción. Esto se debe, en parte, a la longitud requerida para la represa y al hecho de que la misma sería construida bajo agua sobre una fundación inestable. Además, esta represa exigiría subir el nivel de la parte afectada del lago Gatún, ocasionando impactos ambientales y sociales negativos.

7.9 Análisis de alternativas de suministro y ahorro de agua para el Canal ampliado

De las siete opciones de agua descritas en la sección anterior (ver figura 7-31), solamente cuatro de ellas cumplen con los requisitos socio-ambientales, de rendimiento hídrico y de costo aplicados (ver figura 7-38).

Las cuatro opciones de agua que cumplieron con los criterios de evaluación son: 2 o 3 Tinas de reutilización de agua, subir el nivel máximo de operación del lago Gatún a 27.1 m (89') PLD, bajar el fondo de los cauces de navegación a 9.2 m (30') PLD y la opción de Río Indio²⁴. Las tres alternativas de agua descartadas en la primera fase del análisis fueron la opción de Alto Chagres, la opción de Trinidad y la opción de reciclaje.

²³ El costo de 700 millones para la opción descartada de Trinidad representa el estimado de costo base, sin contingencias.

²⁴ La opción de 2 tinas de ahorro de agua y la de Río Indio fueron descartadas en el análisis final.



Figura 7-37 La alternativa del embalse bombeado de Bajo Trinidad consiste en construir una represa que permita almacenar una mayor cantidad de agua, en una porción del lago Gatún, mediante el uso de bombas que suban y bajen el nivel del embalse, de forma independiente al nivel de operación del lago Gatún



7.9.1 Opciones de agua descartadas por razones de rendimiento hídrico, de impacto socio ambiental y de costo

La razón principal que descalificó la opción de Alto Chagres fue su alto impacto socio-ambiental negativo. Esta opción inundaría tierras ubicadas en el parque nacional Chagres, las cuales están habitadas en parte por indígenas de la etnia Emberá. El parque contiene, además, la extensión de bosque tropical primario más grande en la región oriental de la Cuenca y es la principal fuente de agua del Canal. Por otra parte, el rendimiento hídrico del proyecto es relativamente bajo, de 5 esclusajes adicionales, en relación con el alto costo de inversión que conllevaría su construcción, calculado en B/. 307 millones²⁵.

Por su parte, la opción de Trinidad fue descartada principalmente por su alto costo (más de B/. 700 millones) y su bajo rendimiento hídrico de 7 esclusajes. Esta opción también presenta un impacto socio ambiental significativo, ya que conlleva la pérdida de áreas boscosas y la afectación de más de 1,500 personas²⁶.

La opción de reciclaje, a su vez, fue descartada debido a que tendría un impacto negativo significativo sobre la calidad de agua del lago Gatún. De implementarse este sistema, la intromisión de agua salada llegaría a niveles tan altos que, en un periodo relativamente corto de tiempo, el lago Gatún podría dejar de ser un cuerpo de agua dulce²⁷. Hoy en día no existen sistemas eficaces de mitigación para los volúmenes de agua salada que esta alternativa introduciría al lago Gatún.

Matriz Final de Análisis de Alternativas de Agua					
Criterio de Decisión	Tinas de Reutilización de Agua		Subir el Lago Gatún a 89'	Profundizar Cauces a 30' PLD	Opción de Río Indio*
	2 Tinas*	3 Tinas			
Aspectos Técnicos y de Costo					
Rendimiento Hídrico (con 99% de confiabilidad volumétrica)	5 - 9 esclusajes	6 - 11 esclusajes	3-5 esclusajes	7-10 esclusajes	16 esclusajes
Costo de Inversión (en millones de balboas)	B/. 315 Millones	B/. 480 Millones	B/. 30 Millones	B/. 150 Millones	B/. 290 Millones
Aspectos Sociales y Ambientales:					
Impacto en Calidad de Agua (Posibilidad de intromisión de agua salada)	Poca Intromisión	Poca Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión	Ninguna Intromisión
Personas Afectadas (número de personas)	Ninguna	Ninguna	N / S	Ninguna	1,750 personas
Superficie Afectada Directamente (hectareas)	N / S	N / S	400 hectáreas	Ninguna	4,600 hectáreas
Impacto en la Biodiversidad (alto - regular - bajo)	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Ningún impacto	Pérdida de áreas boscosas
Impacto Socio-Económico (alto - regular - bajo)	Ningún impacto	Ningún impacto	Adecuación de estructuras	Ningún impacto	Impacto en áreas rurales
N / S = No tiene impacto significativo *Opciones descartadas en el análisis final					

Figura 7-38 Alternativas de proyectos hídricos para cubrir las necesidades de agua del Canal ampliado después de la eliminación de aquellas que no cumplen los criterios de selección (Figura actualizada el 5 de mayo de 2006).

7.9.2 Rendimiento hídrico de las tinas de reutilización de agua

De las cuatro alternativas de agua seleccionadas bajo criterios de rendimiento hídrico, impacto socio económico y costo, se identificó la alternativa de tinas de reutilización de agua como la más factible. La alternativa de tinas de reutilización, a su vez, presenta tres opciones: (1) esclusas

²⁵ Basado en los resultados del estudio efectuado por Montgomery Watson Harza en septiembre del 2003

²⁶ Basado en los resultados del estudio efectuado por USACE (*US Army Corps of Engineers*) en agosto del 2002

²⁷ Estudio de intromisión de agua salada por sistema de reciclaje de agua en esclusas post Panamax en el Pacífico, Delft Hydraulics, 2004



con una tina por cámara (3 tinas por esclusa, 6 en total), (2) esclusas con dos tinas por cámara (6 tinas por esclusa, 12 en total) y (3) esclusas con tres tinas por cámara (9 tinas por esclusa, 18 en total). De estas tres opciones se descartó la opción de una tina de ahorro de agua por cámara por razones de rendimiento (ahorro) hídrico.

Las otras dos variaciones opcionales de esta alternativa, correspondientes a esclusas con dos ó tres tinas por cámara, fueron seleccionadas por su viabilidad, ya que tienen un rendimiento hídrico alto con relación a su costo de construcción y tienen, además, muy pocos impactos sociales y ambientales negativos. Aun así, ninguna de estas dos opciones, por sí sola, proveería suficientes ahorros de agua para permitir atender las necesidades de la población y de la operación del Canal con el agua disponible (ver figuras 7-39 y 7-40).

7.9.3 Rendimiento hídrico de subir el nivel máximo del lago Gatún

Subir el nivel del lago Gatún de su nivel actual de 87.5' a un nuevo nivel máximo de 27.12 m (89'), generaría un rendimiento hídrico adicional de entre 3 y 5 esclusajes. Desde un punto de vista de costo, este proyecto tiene la mejor relación entre costo y rendimiento hídrico entre todas las alternativas estudiadas. No obstante, al igual que con las opciones de tinas de reutilización de agua, esta opción por sí sola no provee el rendimiento hídrico suficiente para satisfacer la demanda de agua pronosticada (ver figura 7-41).

7.9.4 Rendimiento hídrico de profundizar el fondo de los cauces de navegación

Profundizar los cauces de navegación del lago Gatún representa una de las formas más eficaces para incrementar el rendimiento hídrico de la Cuenca oriental. Además, este proyecto cuenta con la ventaja de no ocasionar impacto socio ambiental negativo alguno. Por el contrario, esta solución permitiría aumentar la capacidad de almacenaje del lago Gatún sin afectar las instalaciones ni las poblaciones ri-

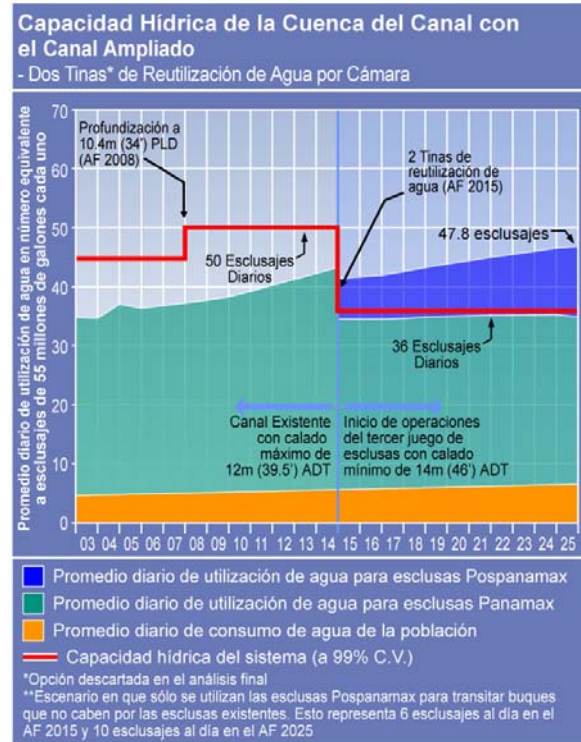


Figura 7-39 Rendimiento hídrico con dos tinas de reutilización de agua.

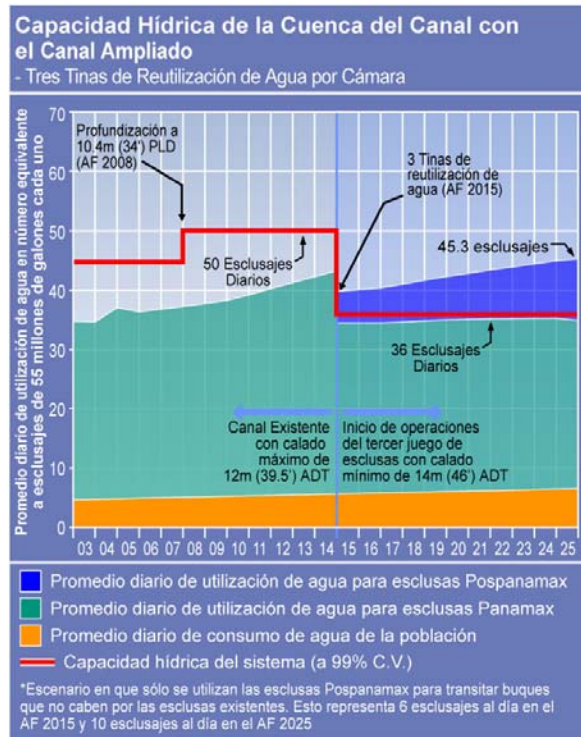


Figura 7-40 Rendimiento hídrico con tres tinas de reutilización de agua.



bereñas. El rendimiento hídrico de este proyecto depende del calado máximo que el Canal considere apropiado brindar a sus usuarios.

Si el Canal establece un calado máximo de 14 metros (46'), este proyecto aumentaría el rendimiento hídrico de la cuenca en entre 7 y 10 esclusajes por día (ver figura 7-42).

7.9.5 Rendimiento hídrico la opción descartada de Río Indio

La opción descartada de Río Indio presenta, por sí sola, el más alto rendimiento hídrico de todas las opciones estudiadas, aunque la misma no es suficiente, por sí sola, para suplir las necesidades totales de agua más allá del año 2025. De ejecutarse, la misma se convertiría en el primer proyecto que aprovecharía el rendimiento hídrico de la región occidental de la Cuenca del Canal. Con la excepción del proyecto de subir el nivel máximo de operación del lago Gatún a 27.1 metros (89') PLD, la opción descartada de Río Indio presenta la mejor relación entre costo y beneficio de todas las alternativas estudiadas (ver figura 7-43).

Sin embargo, esta opción presenta significativos impactos negativos de índole socioambiental, tales como la reubicación de hasta 1,600 personas y la inundación de áreas de bosques secundarios. Estas consideraciones disminuyen sustancialmente su atractivo como opción hídrica viable, razón por la cual esta opción ha sido descartada.

7.9.6 Combinaciones de alternativas finales

Individualmente ninguna de las opciones de ahorro y suministro de agua descritas en la sección anterior solucionarían las necesidades de agua de la población y el Canal ampliado dentro del horizonte de planificación. Estas opciones tendrán que ser combinadas para abastecer las necesidades totales de agua. El objetivo de formular un programa de suministro y ahorro de agua es identificar la combi-

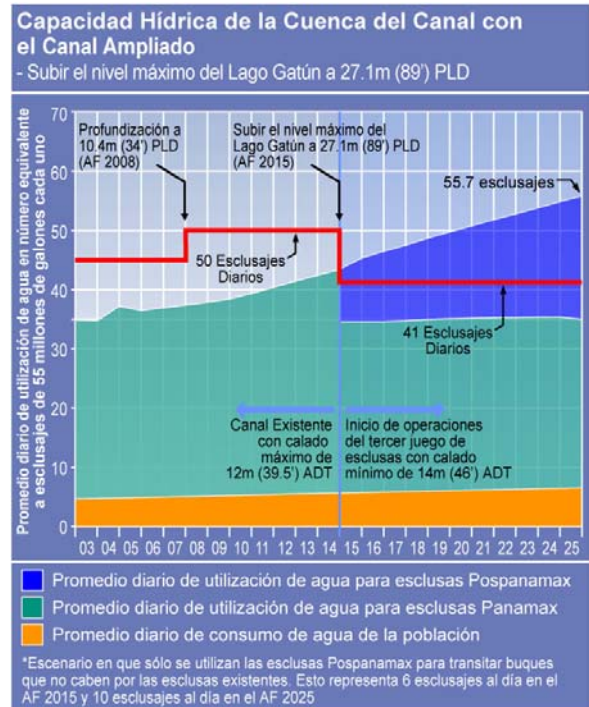


Figura 7-41 Rendimiento obtenido al subir el nivel máximo del lago Gatún.

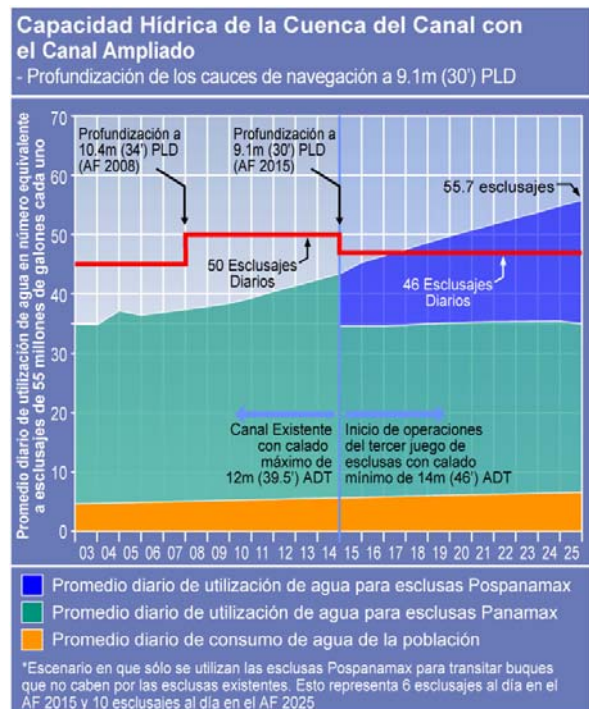


Figura 7-42 Rendimiento hídrico obtenido a través de la profundización del cauce del lago Gatún.



nación de opciones óptima para satisfacer la demanda de agua, que trascienda el horizonte de planificación, con los menores impactos sociales y ambientales. Con estos criterios en mente, se evaluaron distintas combinaciones de opciones, de manera similar al estudio de las opciones individuales, es decir, basados en rendimiento hídrico, impacto socio ambiental negativo y costo.

Se analizaron todas las combinaciones de opciones de agua que suministrarían o ahorrarían suficiente agua para satisfacer la necesidad total de agua para la población y para la operación del Canal ampliado, más allá del horizonte de planificación. Tres de estas combinaciones fueron incluidas en el análisis final por ser las que mejor satisfacían los criterios de evaluación. Todas las combinaciones consideradas en el análisis final incluyeron las opciones de profundización de los cauces de navegación a 9.2 metros (30') PLD y de subir el nivel máximo de operación del lago Gatún a 27.1 metros (89') PLD. Se diferencian entre sí porque la primera alternativa suponía utilizar la opción descartada de Río Indio, mientras que la segunda propone utilizar 2 (dos) tinas de reutilización de agua y la tercera propone utilizar 3 (tres) tinas.

La figura 7-44 presenta las tres alternativas de suministro y ahorro de agua que fueron incluidas en el análisis final. También ilustra cada uno de los criterios de selección utilizados para evaluarlas. A los criterios de

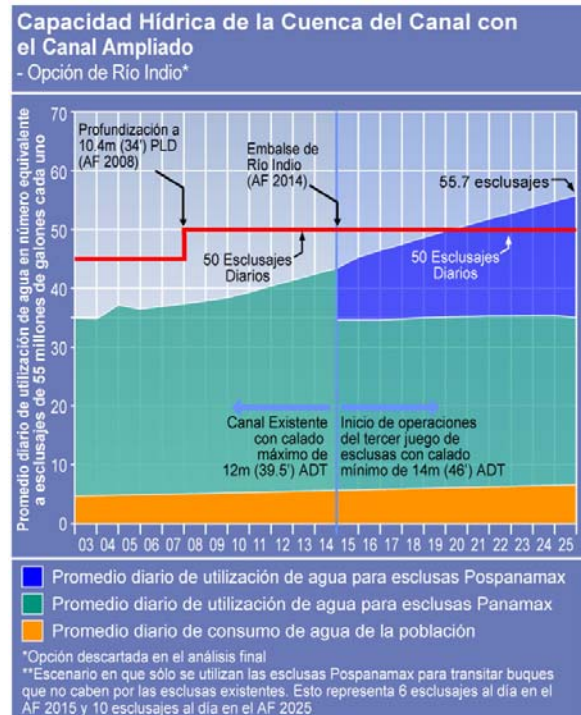


Figura 7-43 Rendimiento hídrico obtenido a través de la opción descartada de Río Indio.

Criterio de Selección	Impacto Social y Ambiental (40%)						Suministro de Agua (40%)			Monto de Inversión (20%)	
	Personas afectadas (número de personas)	Calidad de Agua (salinidad máxima, ppt)	Superficie de Áreas Afectadas (hectáreas)	Pérdida o Afectación de Infraestructuras (Balboas)	Pérdida de Producción (Balboas)	Pérdida de Áreas Boscosas (hectáreas)	Rendimiento Hídrico (Escusajajes equivalentes adicionales)	Confiability de Calado (14m/46' ADT)			VPN de la Inversión (millones de balboas)
								AF 2015	AF 2020	AF 2025	
Alternativa 1 - Subir Gatún AF 2015 - Profundizar AF 2015 - Río Indio AF 2015	1,750 personas	0.05 ppt	4,600 hectáreas	B/. 27 millones	B/. 200,000	984 hectáreas	27 esclusajajes	99%	99%	97%	B/. 309 M
Alternativa 2 - Subir Gatún AF 2015 - Profundizar AF 2015 - 2 Tinias AF 2015	N / S	0.29 ppt	400 hectáreas	B/. 25 millones	Ninguna pérdida	N / S	26 esclusajajes	99%	98%	97%	B/. 305 M
Alternativa 3 - Profundizar AF 2015 - Subir Gatún AF 2015 - 3 Tinias AF 2015	N / S	0.34 ppt	400 hectáreas	B/. 25 millones	Ninguna pérdida	N / S	29 esclusajajes	99%	98%	98%	B/. 407 M

N / S = No tiene impacto significativo

Figura 7-44 El análisis final de alternativas contiene las combinaciones de proyectos de agua estudiados por la ACP y los criterios de selección para determinar aquellos que mejor satisfacen las necesidades de agua de la población y el Canal (Figura actualizada el 5 de mayo de 2006).



selección aplicados a las alternativas se les asignaron pesos, con el fin de establecer una metodología objetiva de evaluación que permitiera seleccionar la más favorable. El resultado de este análisis seleccionó la alternativa de tres tinas de reutilización de agua como la que mejor satisface los criterios de evaluación. Por lo tanto, las opciones de Río Indio y de dos tinas de reutilización de agua fueron descartadas en el análisis final de alternativas. La figura 7-45 muestra los resultados del análisis para estas tres alternativas.

7.9.7 Propuesta de ahorro y suministro de agua para el Canal ampliado

La alternativa que sobresalió por su puntuación más alta fue la que combina las siguientes tres opciones:

- Instalar un sistema de 3 tinas de reutilización de agua por cámara en las esclusas pospanamax.
- Profundizar los cauces de navegación del lago Gatún y el Corte Cu-lebra a 9.2 metros (30’) PLD.
- Subir el nivel máximo de operación del lago Gatún a 27.1 metros (89’) PLD.

Estos tres proyectos, combinados, permiten maximizar el rendimiento hídrico de la región oriental. La implementación de los tres proyectos de agua que componen esta alternativa se realizaría simultáneamente con el inicio de operaciones de las esclusas en el año fiscal 2015.

Las figuras 7-46 y 7-47 muestran las necesidades totales de agua con un Canal ampliado en el año fiscal 2015, dentro de un escenario con estas tres opciones de agua en funcionamiento simultáneo con el inicio de operaciones de las esclusas pospanamax.

Resumen de Análisis de Alternativas para el Suministro y Ahorro de Agua del Canal Ampliado						
Criterio de Selección	Peso	Alternativa 3 Profundizar AF 2015 Subir Gatún AF 2015 3 Tinas AF 2015	Alternativa 2 Profundizar AF 2015 Subir Gatún AF 2015 2 Tinas AF 2015	Alternativa 1 Profundizar AF 2015 Subir Gatún AF 2015 Río Indio AF 2015		
Impacto Social y Ambiental	40%	7.8	8.1	8.3	3.3	
Suministro de Agua	40%	9.4	3.5	5.7	5.7	
Monto de Inversión	20%	1.0	8.2	10	10	
Puntaje Total	100%	71%	63%	60%		
Ranking		1	2	3		

Figura 7-45 El análisis final identificó la mejor combinación para satisfacer las necesidades de agua de la población y del Canal ampliado. Los proyectos de profundización de los cauces de navegación, subir el nivel operativo del lago Gatún y 3 tinas de reutilización de agua obtuvieron la calificación más alta.

Proyección de Demanda de Agua del Canal Ampliado						
AF 2015 Tres Tinas de Reutilización de Agua						
Año	Población	Operación del Canal		Total		
2005	371	4.9	2,398	31.6	2,769	36.4
2010	403	5.3	2,584	34.0	2,986	39.8
2015	434	5.7	2,597	34.2	3,031	39.9
2020	466	6.1	2,796	36.8	3,262	42.9
2025	498	6.6	2,948	38.8	3,446	45.3

■ En millones de metros cúbicos anuales
 ■ En número de esclusajes equivalentes al día

Figura 7-46 La introducción de las dos tinas de reutilización de agua en el AF 2015 reducirá significativamente las necesidades totales de agua del Canal ampliado



Adicionalmente, la figura 7-47 identifica la capacidad hídrica total del sistema con una confiabilidad volumétrica de 99% y con un calado máximo de 14m (46') ADT. Los dos proyectos de suministro de agua incluidos en la propuesta de ampliación del Canal proveerán agua suficiente para 12.5 esclusajes diarios adicionales, los cual aumentará la capacidad hídrica total de 36 a 48.5 esclusajes diarios. La diferencia entre la necesidad total de agua y la nueva capacidad hídrica del sistema representa un exceso de capacidad hídrica de más de 8 esclusajes equivalentes, por día, en el año fiscal 2015. Estas condiciones conducirían a una confiabilidad de calado excelente.

La figura 7-48 presenta los resultados del análisis de confiabilidad de calado correspondientes a este escenario. Con la implementación de este programa de ahorro y suministro de agua, el Canal ampliado podrá ofrecer un calado máximo de 14 metros (46') ADT en el año fiscal 2015 el 99% del tiempo. De igual manera, esta confiabilidad se mantendría por encima del 98% más allá del año fiscal 2025.

Incluso, el Canal ampliado podrá brindar calados de hasta 15.2 metros (50') ADT con una confiabilidad de 94% en el año fiscal 2015 y más de 80% en el año fiscal 2025, lo que representa una oferta segura y atractiva en los servicios del Canal, de manera sostenida, a mediano y largo plazo.

La incorporación del programa de ahorro y suministro de agua propuesto permitirá también aumentar la utilización de las esclusas pospanamax sin afectar significativamente el rendimiento, ni la confiabilidad de calado del sistema en el Canal. De esta manera, por el Canal podrá transitar una mayor cantidad de buques pequeños por las esclusas pospanamax durante periodos de cierres extensos de vías debido al mantenimiento de las esclusas existentes. Esto significa que el Canal podría optar por permitir el tránsito de buques de todos los tamaños por las nuevas esclusas y utilizarlas para minimizar el impacto operativo de los periodos de mantenimiento de las esclusas existentes.

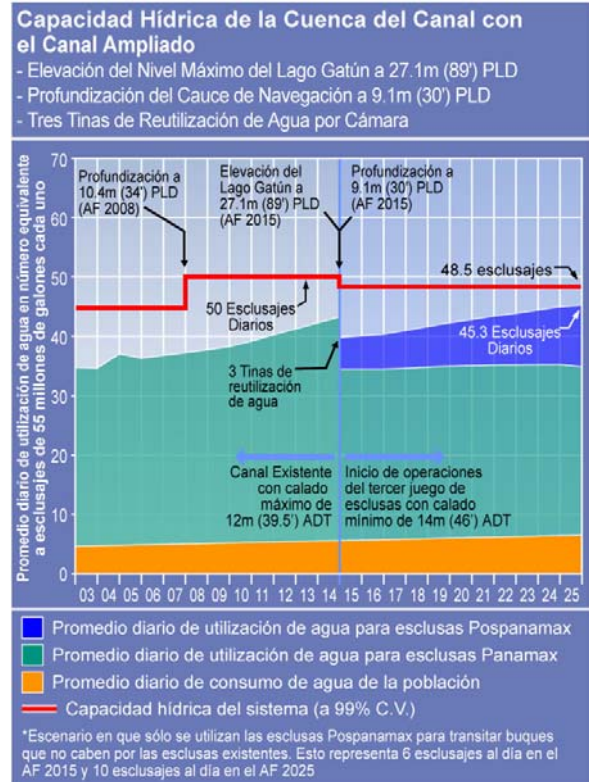


Figura 7-47 La implementación de los tres proyectos de agua propuestos en el AF 2015 proveerá a la cuenca de la capacidad de aportar hasta 48.5 esclusajes equivalentes por día, lo que permitiría satisfacer las necesidades de agua de la población y del Canal ampliado más allá del AF 2015.



7.10 Consideraciones para garantizar la calidad del agua en el lago Gatún

En vista de que el riesgo de intromisión de agua salada a través de las esclusas pospanamax ocurrirá en función de la intensidad del uso de esa esclusa, la ACP estudió distintos escenarios para determinar sus impactos y desarrollar un procedimiento operativo de mitigación. Por ejemplo, uno de los principales efectos esperados por la operación de las esclusas pospanamax sería la migración de una cantidad significativa de carga para buques pospanamax que, por consiguiente, vendría acompañada de una reducción en el número de tránsitos. Si bien es cierto que

habrá una cantidad de buques que sólo podrán transitar por las esclusas pospanamax debido a sus dimensiones, el Canal podrá optar por permitir el tránsito de buques de menores dimensiones, solos o en *tándem*, por las esclusas pospanamax, ahorrando de esta manera un considerable volumen de agua.

Con este escenario, el Canal podrá atender la demanda proyectada considerando una amplia y diversa gama de opciones de utilización para las esclusas existentes y las nuevas esclusas. Cabe señalar que el diseño actual de las esclusas pospanamax, con tres niveles y tres tinas de reutilización de agua por nivel, presenta la ventaja de un consumo de agua más económico que el sistema de esclusas existentes, además de reducir el riesgo de deterioro en la calidad del agua del lago Gatún. En este sentido, los estudios indican que el posible efecto de intromisión de cloruros en el lago Gatún se daría a niveles por debajo del estándar para lagos y cuerpos de agua dulce de 0.45 ppt para la

Confiabilidad de Calado para Ampliación del Canal

AF 2015 Elevación del Nivel Máximo del Lago Gatún a 27.1m (89') PLD
 AF 2015 Profundización del Cauce de Navegación a 9.1m (30') PLD
 AF 2015 Tres Tinas de Reutilización de Agua
 Demanda de Tráfico más Probable
 Canal Ampliado con esclusas Pospanamax de 3 escalones
 Dimensiones de la cámara: 54.9m (180') de ancho x 426.7m (1,400') de largo

Configuración del Sistema

Nivel Máx. del Lago	Nivel Mín. del Lago	Fondo del Cauce	EBQ Mín. ²	Calado Máx. ³	Calado Mín.
27.1m (89')	23.8m (78')	9.1m (30')	1.5m (5')	14.8m (48.5')	13.1m (43')

Confiabilidad del Calado¹

	Año Fiscal 2015 (39.9 esclusajes/día)	Año Fiscal 2020 (42.9 esclusajes/día)	Año Fiscal 2025 (45.3 esclusajes/día)
Calado >= 13.1m (43') Lago >= 23.8m (78')	100%	99%	99%
Calado >= 14m (46') Lago >= 24.7m (81')	99%	98%	98%
Calado >= 14.6m (48') Lago >= 25.3m (83')	98%	97%	96%
Calado >= 15.2m (50') Lago >= 25.9m (85')	94%	89%	84%

1. Todos los calados son en Agua Dulce Tropical (ADT). Todas las elevaciones usan como referencia el Precise Level Datum (PLD)
 2. El calado máximo solo sería posible cuando el Lago Gatún opera a su nivel máximo

Figura 7-48 Con la implementación del programa de ahorro y suministro de agua propuesto, el Canal ampliado ofrecería excelente confiabilidad de calado desde el inicio de sus operaciones.

Relación entre Intensidad de Uso e Intromisión de Agua Salada en las Esclusas Pospanamax (Utilizando 3 Tinas de Reutilización de Agua)

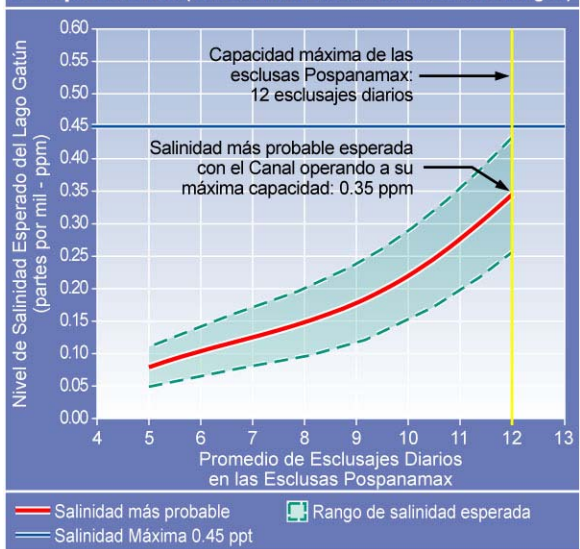


Figura 7-49 Los estudios de calidad de agua demuestran que, dentro de los rangos de operación previstos para las esclusas pospanamax, los niveles de salinidad se mantendrán dentro de los límites aceptados de calidad de agua.



preservación de plantas, peces y otras especies acuáticas y del estándar establecido para agua potable de 0.50 ppt²⁸.

La figura 7-49 indica el efecto de la configuración física y la intensidad de uso de las esclusas pospanamax en el nivel de salinidad que podría alcanzar el lago Gatún según los análisis preliminares, sin mitigación. De acuerdo con los estudios realizados por la ACP, el tercer juego de esclusas podrá operar a su máxima capacidad sin afectar la calidad del agua del lago Gatún. Como parte de la operación del Canal ampliado la ACP implementará un programa de medición y seguimiento para confirmar los resultados de los estudios e implementar, de ser necesario, las medidas de mitigación que se describen a continuación.

7.10.1 Métodos contingentes estudiados para mantener la calidad del agua

La ACP ha estudiado alternativas posibles de mitigación que permitan mantener los niveles de salinidad por debajo de los niveles críticos²⁹, en el caso de que fuese necesario implementar medidas que garanticen la calidad de agua.

A continuación se presenta una descripción de los métodos que estudia y evalúa la ACP para seleccionar las alternativas de mitigación más adecuadas.

- **Esclusajes de lavado (*flushing*).** Esta medida consiste en intercambiar el agua salobre, en una de las recámaras de las esclusas, por agua dulce del lago Gatún antes de abrir la compuerta superior. Esto evitaría cualquier intromisión de agua salada hacia el lago. Este sistema presenta las siguientes ventajas: tiene alta efectividad, medida entre 70 a 85%, ha operado por años en esclusas en Europa y requiere menor inversión, porque utiliza principalmente las alcantarillas de las esclusas. Sin embargo, por otro lado, conlleva las siguientes desventajas: retrasa los esclusajes de buques, disminuye la capacidad de las esclusas y requerirá un mayor consumo de agua para el proceso de lavado (ver figura 7-50).

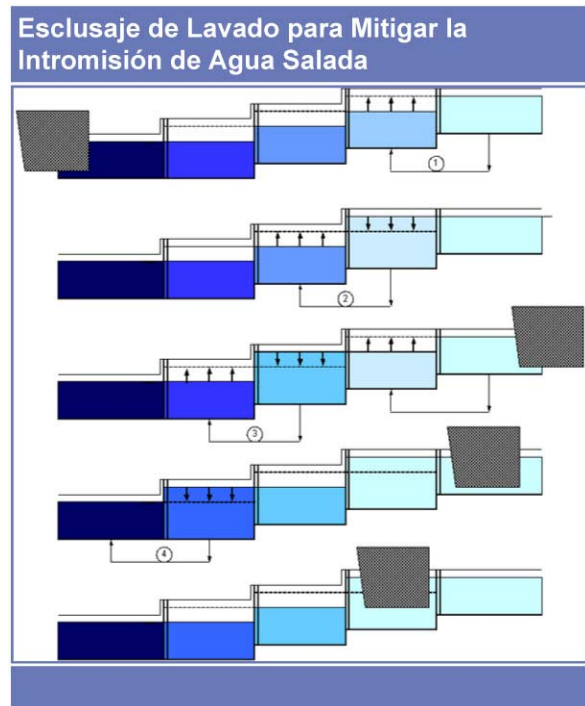


Figura 7-50 Sistema de mitigación de agua salada por medio de esclusajes de lavado (*flushing*).

²⁸ La salinidad se expresa en partes por millar (ppt o g/L) de cloruro de sodio disuelto. Otro estándar ampliamente utilizado expresa la concentración en iones de cloruro en partes por millón (ppm ó mg/L). Para convertir concentraciones de cloruro en salinidad se utiliza la fórmula: salinidad (ppt) = 1.805 x cloruro (ppt) + 0.03. Por ejemplo, un valor de 250 ppm de cloruro equivaldría a una salinidad de 0.48 ppt.

²⁹ Estudio realizado por Delft Hydraulics: "Estudio de Sistemas de Mitigación de Intromisión de Agua Salada", 2004.



- Cortina de burbujas de aire (*pneumatic barrier*).** Esta medida consiste en la instalación de tuberías perforadas, entre la cámara inferior de las esclusas y el mar, que crearán una cortina de burbujas de aire, por medio de compresores de aire, para bloquear el paso de agua salada hacia las esclusas. Este sistema no afecta el tránsito de buques y no requiere agua adicional. Sin embargo, ha demostrado una baja efectividad, menor del 20%, en esclusas en Europa. El mismo sistema requiere una considerable inversión en equipos electromecánicos, costos de energía para su operación y mayor frecuencia de mantenimiento comparativamente con otras soluciones (ver figura 7-51).

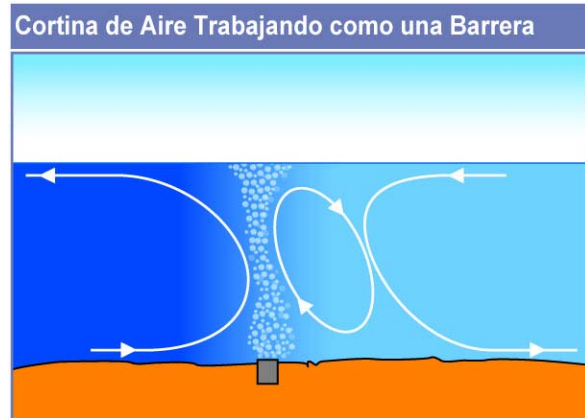


Figura 7-51 Sistema de mitigación de agua salada por medio de cortinas de burbujas de aire (*pneumatic barrier*).

- Sistema de sumidero (*sump*).** Esta medida supone la construcción de un sumidero entre la compuerta superior y el lago Gatún, con el objeto de atrapar el agua salada antes de que migre hacia el lago. El agua salada es más densa que el agua dulce, por tanto tenderá a ubicarse en los estratos inferiores, al abrirse las compuertas. Posteriormente, una vez atrapada, el agua salada será desalojada al mar por medio de alcantarillas subterráneas. Este sistema ha funcionado efectivamente en Europa, con una eficiencia medida entre 60 y 90%. Esta solución requiere, no obstante, de mayor inversión, así como de mayor consumo de agua para desalojar los sumideros. Además, reduciría la velocidad de los buques que estuvieran pasando de la esclusa al lago, para minimizar la turbulencia creada por las hélices (ver figura 7-52).



Figura 7-52 Sistema de mitigación de agua salada por medio de sumidero (*sump*) durante su construcción en las esclusas de Terneuzen, Países Bajos (Holanda), ha operado por más de 14 años.

Los análisis preliminares indican que la opción de realizar esclusajes de lavado (*flushing*) presenta la mejor relación costo-beneficio, principalmente porque no requiere de cambios significativos en la infraestructura. La opción de cortinas de burbujas de aire (*pneumatic barriers*) podrá utilizarse como un sistema complementario al de lavado.



7.11 Conclusión

La ACP ha desarrollado un programa de suministro y ahorro de agua para el Canal ampliado que garantizará un suministro óptimo y oportuno, tanto para la población como para las operaciones de las esclusas actuales y del tercer juego de esclusas. Gracias a este programa, la ampliación del Canal con un tercer juego de esclusas no requerirá embalses de ningún tipo, por lo que todas las opciones de agua que consistían en embalses quedan descartadas, entre ellas las opciones de Río Indio, Alto Chagres y Trinidad.

El programa hídrico propuesto permitirá al Canal brindar calados atractivos, con un alto grado de confiabilidad, a los usuarios interesados en emplazar buques pospanamax en esta ruta. De igual manera permitirá mantener esta confiabilidad a largo plazo, a medida que la demanda de agua aumente.

En resumen, el suministro hídrico de la Cuenca oriental será suficiente para satisfacer las necesidades de agua de la población y la operación del Canal, simultánea y continuamente, más allá del año 2025, sin necesidad de embalses.

