

SEDIMENTACION DE LOS EMBALSES DE PUERTO RICO Y ALTERNATIVAS PARA SU DRAGADO Y MANTENIMIENTO

Por Ferdinand Quiñones, PE

Marzo 2013

1. TRASFONDO DE LOS EMBALSES PRINCIPALES EN PUERTO RICO

En Puerto Rico existen 36 embalses principales formados por represas en los tramos de los ríos en la Región Montañosa Interior y dos fuera del cauce pluvial. En la Isla no existen lagos naturales, sino los embalses formados por represas construidos en los cauces de los ríos según indicado (excepto por los nuevos embalses de Fajardo y Río Blanco construidos en depresiones fuera del cauce de los ríos que los nutren).

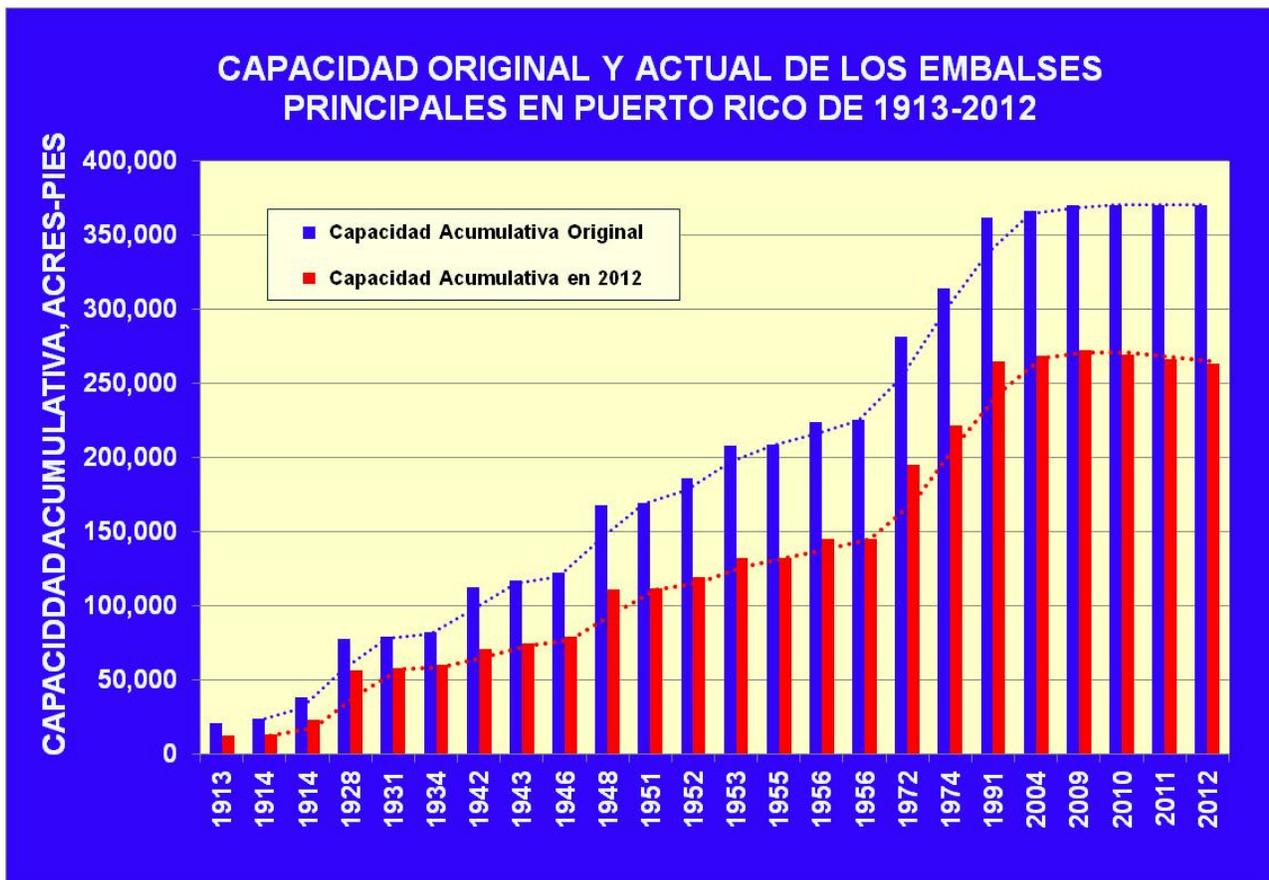
Figura 1. Embalses principales en Puerto Rico.



Los embalses son la fuente principal de agua cruda que utiliza la AAA para producir agua potable en la Isla, además de suplir agua para riego principalmente en los valles costaneros de la Región Sur. Los embalses suplen aproximadamente 420 mgd de agua cruda a las plantas de filtración operadas por la AAA, lo que constituye el 70 % del agua potable producida en la Isla. Paralelamente, los embalses proveen aproximadamente 40 mgd de agua para riego agrícola en los valles costaneros de las regiones Sur y Norte. Además, proporcionan agua para generar aproximadamente el 1.8 % de la energía eléctrica que produce la AEE, y proveen control parcial a las inundaciones en varias cuencas.

La acumulación de sedimentos ha reducido la capacidad de almacenaje de agua en todos los embalses, alcanzando condiciones críticas en algunos de los más importantes. La construcción de los embalses principales en la Isla comenzó en 1913, incrementándose la capacidad a medida que las demandas de agua aumentaron pero también con el desarrollo de los sistemas de riego e hidroeléctricos construidos por la antigua Autoridad de las Fuentes Fluviales, agencia predecesora de la AEE. Los embalses más recientes son los de Cerrillos (1991), Fajardo (2004), y Río Blanco (2009). La capacidad total construida desde 1913 al presente es de aproximadamente 375,000 acres-pies. En comparación, como se ilustra en la Figura 11, la capacidad actual es de aproximadamente 263,000 acres-pies. La sedimentación progresiva de los embalses ha resultado en una merma de capacidad del 30 por ciento del total construido. Sin embargo, en varios de los embalses más importantes, la pérdida de capacidad excede el 50 % de la original.

Figura 2. Reducción en la capacidad de los embalses en Puerto Rico.



El transporte de sedimentos desde las cuencas hasta los cauces donde se han construido los embalses en Puerto Rico obedece a la combinación de la erosión natural de los suelos y la erosión inducida por actividades agrícolas y urbanas. Los estudios

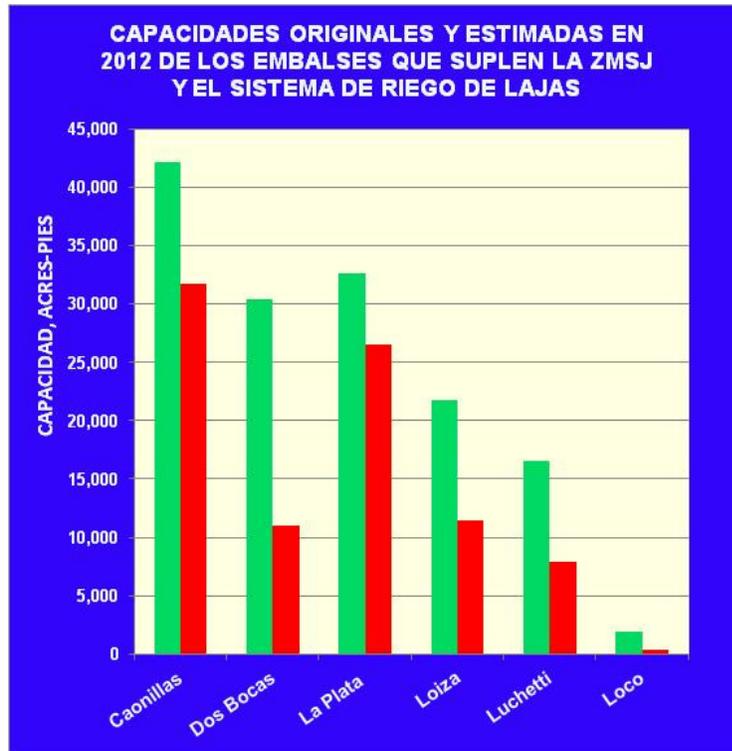
del USGS en el Bosque de Carite documentan que aún en bosques vírgenes las lluvias intensas que periódicamente caen sobre sus cuencas inducen cientos de derrumbes que exponen los suelos a la erosión y el transporte de sedimentos hacia las quebradas y ríos. Las actividades agrícolas y desarrollos urbanos aceleran la erosión de los suelos exponiéndolos a ser transportados hacia los ríos. Las lluvias ciclónicas que ocurren periódicamente en la Isla pueden transportar en un día hasta el 90 por ciento de los sedimentos que descarga anualmente un río en un punto dado. Estos eventos de lluvias extraordinarias pueden reducir en un par de días hasta el 1.5 % de la capacidad total de los embalses de mayor tamaño, como ha ocurrido en Loíza, Dos Bocas y Caonillas. Todas las cuencas en la Isla experimentan eventos similares, aunque los datos del USGS demuestran que la erosión y transporte de sedimentos hacia los ríos es menor en las cuencas menos desarrolladas. Aún así, la mayor parte de los embalses principales en la Isla sufren de sedimentación excesiva y pérdida de capacidad acelerada. La Tabla 1 resume las características y condiciones actuales de los embalses principales en la Isla, enfocado a aquellos que proveen la mayor parte del agua que la AAA utiliza. Los datos en dicha Tabla 1 apuntan a la condición crítica de los embalses Loíza, Dos Bocas, Loco y Lucchetti, siendo Loíza y Dos Bocas la fuente de hasta 200 millones de galones de agua por día en la Región Norte desde Arecibo hasta la Zona Metropolitana de San Juan, incluyendo a Caguas y Gurabo. Paralelamente, el Sistema de Riego del Valle de Lajas abastece cuatro plantas de filtración de la AAA además del riego en dicho valle.

Tabla 1. Sedimentación de los embalses principales en Puerto Rico en el 2012.

	Caonillas	Carite	Cerrillos	Cidra	Dos Bocas	Fajardo	Garzas	Guajátaca	Guayabal	Guayo	Guineo	La Plata	Loco	Loíza	Lucchetti	Matrullas	Patillas	Toa Vaca	Río Blanco
Cuenca	Río Grande de Arecibo	Río de La Plata	Río Bucaná	Río Bayamón	Río Grande de Arecibo	Río Fajardo	Río Grande de Arecibo	Río Guajátaca	Río Jacaguas	Río Grande de Añasco	Río Toro Negro	Río de La Plata	Río Loco	Río Grande de Loíza	Río Yauco	Río Matrullas	Río Grande de Patillas	Río Jacaguas	Río Blanco
Capacidad Original, acres-pies	45,100	11,300	47,900	5,300	30,400	4,455	4,700	39,300	9,580	15,565	1,860	32,600	1,950	21,700	16,500	3,010	14,300	55,900	3,800
Capacidad Restante en el 2012, acres-pies	31,730	8,320	42,600	4,480	10,380	4,430	3,980	33,340	4,400	12,880	1,480	26,516	402	12,000	7,915	2,420	9,890	50,650	3,795
Porcentaje de Capacidad Restante (%)	70	74	89	85	34	99	85	85	46	83	80	81	21	55	48	80	69	91	100
Vida Útil Remanente, años	152	275	852	361	37	2,000	375	472	89	248	318	166	16	49	55	318	111	387	2,000
Rendimiento Seguro en el 2010, millones galones por día	70	16	25	6	52	12	10	42	20	12	4	63	3	55	13	8	23	14	18

La condición de los embalses más importantes y a la vez más impactados por sedimentación se resume en la siguiente Figura 3. Es obvio que cualquier programa de rehabilitación de los embalses en Puerto Rico tiene que estar enfocado hacia estos embalses.

Figura 3. Capacidad original y en el 2012 de los embalses que suplen agua a la Zona Metropolitana de San Juan y al Sistema de Riego de Lajas.



2. Abastos de Agua en la Zona Metropolitana de San Juan y Condición de los Embalses que la Suplen

El sistema de producción y distribución de la AAA es la Zona Metropolitana de San Juan (ZMSJ) es el de mayor capacidad e importancia en Puerto Rico. Esto no implica que el resto de los sistemas en otras zonas, municipios y barrios de la Isla no son importantes, sino que en la ZMSJ se suple agua a aproximadamente 1.4 millones de habitantes, a cientos de negocios y comercios, redes de hospitales, y la gama de agencias de gobiernos municipales y el Gobierno Central. El sistema que abastece la ZMSJ se nutre de cuatro embalses principales y dos tomas directamente en ríos al este de Carolina, que contribuyen hasta 285 mgd a la red de tanques, estaciones de bombeo y tuberías del sistema de distribución del agua potable. Estos sistemas se

ilustran en la Tabla 2 a continuación, incluyendo algunas de las características de rendimiento seguro de los embalses Dos Bocas, La Plata y Loíza. Además, la Tabla 2 incluye un análisis de la cantidad de agua que estaría disponible en la eventualidad de sequías severas (90 días) y extremas (150 días).

Tabla 2. Fuentes de abasto de agua a la Zona Metropolitana de San Juan.

PLANTA FILTRACION	Fuente de Agua	Producción, mgd	Flujo a ZMSJ, mgd	Rendimiento Seguro, mgd	Producción hacia ZMSJ en Sequía de 90 Días	Producción hacia ZMSJ en Sequía de 150 Días
Santiago Vázquez	Embalses Dos Bocas y Caonillas	100.0	87.0	100.0	75.0	60.0
La Plata	Embalse La Plata	70.0	70.0	64.0	60.0	50.0
Sergio Cuevas	Embalse Loíza	90.0	90.0	65.0	65.0	50.0
Canóvanas Nueva	Río Canóvanas y Canovanillas	5.0	5.0	5.4	4.0	3.0
El Yunque	Río Grande	20.0	20.0	3.2	10.0	5.0
TOTALES		285.0	272.0	237.6	214.0	168.0

3. ALTERNATIVAS Y ESTIMADOS PRELIMINARES DE COSTO PARA EL DRAGADO DE LOS EMBALSES PRINCIPALES AFECTADOS POR SEDIMENTACION

Existen esencialmente dos alternativas para el dragado de los embalses críticos en Puerto Rico. Estas dos alternativas incluyen:

1. Dragado acelerado en un plazo de 1-2 años tal y como se dragó el Embalse Loíza en 1997-98.
2. Dragado fraccional de mantenimiento a perpetuidad aumentando paulatinamente la capacidad del embalse al dragar una cantidad mayor de sedimento de la que entra anualmente.

En adición a estas dos alternativas, el Dr. Greg Morris ha propuesto que es viable remover una cantidad substancial de los sedimentos en el Embalse Loíza mediante manejo hidráulico de las compuertas durante crecientes. Supuestamente esto crearía flujos de sedimentos del fondo hacia la presa debido a las velocidades en el embalse y diferenciales de densidad. Esta teoría no ha sido validada y

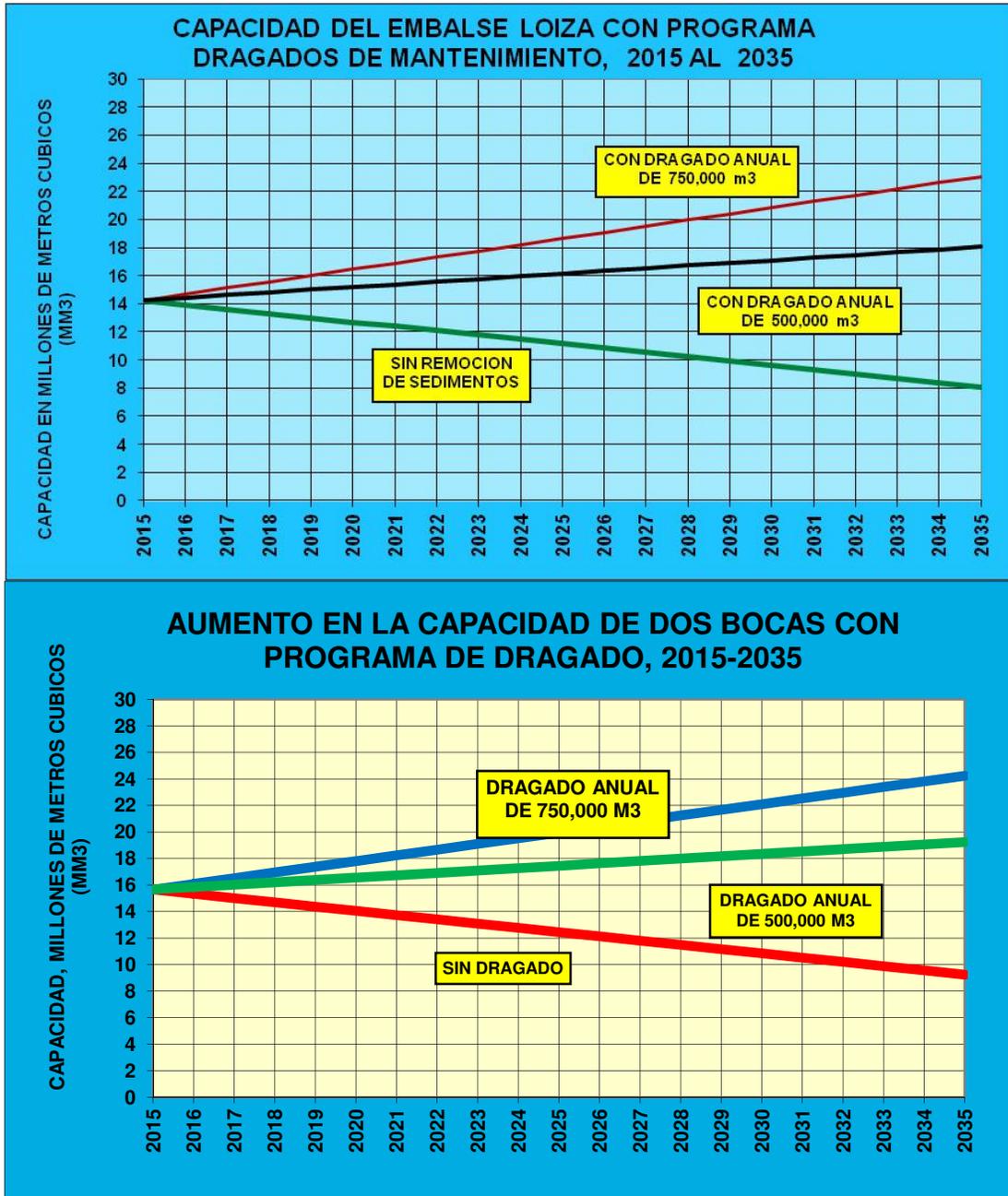
anteriormente he recomendado dos pasos previos a cualquier prueba actual, incluyendo:

1. Calibrar un modelo cuasi tri-dimensional para definir las velocidades del agua durante crecientes significativas en secciones verticales en la vecindad de la presa. Este análisis proveería evidencia analítica del potencial de re-suspender los sedimentos en el fondo del embalse y transportarlos agua abajo de la presa. El RUM sometió a la AAA en el 2012 una propuesta para llevar a cabo este análisis por aproximadamente \$60,000.
2. Obtener en cooperación con el USGS datos de velocidades durante crecientes en la vecindad de la presa mediante la operación de un instrumento “Doppler” que provea un perfil vertical y horizontal de las velocidades.

En el caso de los embalses Loíza y Dos Bocas, se evaluaron las dos alternativas de dragado antes descrita con las siguientes variantes:

1. Dragar ambos embalses en períodos cortos de hasta dos años extrayendo la mayor parte de los sedimentos acumulados, tal como se llevó a cabo anteriormente en Loíza en el 1997-98. El costo estimado del dragado de aproximadamente 5,000 acres-pies (6.2 MM³) en Loíza usando esta alternativa sería de aproximadamente \$90-\$100 millones. El costo en Dos Bocas para dragar hasta 13,000 acres-pies (16.1 MM³) sería de aproximadamente \$250 millones. Estos costos se basan en estimados de aproximadamente \$16/M³ por el dragado y disposición del material. Estas sumas impactarían severamente el presupuesto de la AAA y la AEE.
2. Dragar en etapas anuales ambos embalses, contratando por períodos de hasta 20 años a empresas privadas que provean el equipo y personal necesario para extraer hasta 750,000 M³ de sedimentos por año en cada embalse. Esta cantidad de sedimentos a dragarse excede la acumulación anual promedio que ocurre al presente, deteniendo la pérdida de capacidad que ocurre al momento permitiendo comenzar a recobrar progresivamente la capacidad perdida dentro de un presupuesto potencialmente viable a la AAA. Sin tomar en cuenta el valor económico potencial de la arena y grava en los sedimentos a dragarse (que puede ser sustancial), esta alternativa costaría a la AAA aproximadamente \$15 millones anuales en cada embalse, lo cual es potencialmente más viable en su presupuesto que la alternativa de dragado acelerado.

Figura 4. Escenarios de dragados de mantenimiento continuos en el Embalse Loíza y en el Embalse Dos Bocas del 2015 al 2035.



- Estas mismas alternativas pueden aplicarse a los embalses Lucchetti y Loco, con costos aproximados de dragados acelerados de \$90-\$100 millones para Lucchetti (removiendo 5,000 acres-pies (6.2 MM³)) y de \$25-\$28 millones para Loco (removiendo 1,400 acres-pies (1.7 MM³)). El costo anual de

dragados de mantenimiento en Lucchetti sería de aproximadamente \$15 millones, y de \$0.8-1.0 millones para el Embalse Loco.

4. Estos estimados no incluyen el costo de los siguientes elementos como parte del proceso de dragado:

a. Permisos para llevar a cabo el dragado. Será necesario preparar una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) para cada una de las actividades. Aunque se requiere un permiso 404 del COE, generalmente aceptan la DIA local ya que no se considera una “actividad federal”.

i. Es posible que la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y la Oficina de Gerencia de Permisos (OGPE) endosen la preparación de una DIA Programática que incluya capítulos independientes para los embalses a considerar dragarse (que en orden de prioridad deberían ser Loíza, Dos Bocas, Lucchetti, y Loco). Aunque el Embalse Loco exhibe la vida útil más corta, su capacidad es mínima debido a que no fue diseñado para almacenar grandes cantidades de agua, y su dragado puede efectuarse en paralelo con cualquiera de los otros).

ii. Es recomendable preparar una DIA conjunta para Lucchetti y Loco debido a que son parte de un sistema integral y no tengo dudas esto sería aceptable a las agencias reguladoras locales y federales.

iii. El costo de las DIA's individuales pudiera ser del orden de \$1 millón para cada una de los embalses principales, y quizás de \$2 millones para una DIA programática.

iv. El tiempo estimado para preparar las DIA's pertinentes o una DIA programática es de 2 años, incluyendo los estudios de campo y adquisición de los terrenos.

b. Adquisición de terrenos para la disposición de los sedimentos a dragarse. Este es el asunto de impacto ambiental más significativo.

i. En el caso de Loíza, disponemos de áreas para depositar parte de los sedimentos e identificamos una cantera cercana a la presa con gran potencial para recibir sedimentos por los próximos 100 años.

ii. En el caso de Dos Bocas, identifiqué un área cercana a la presa que luce de fotos aéreas y visitas de campo como ideal para depositar los sedimentos contenidos en diques que será necesario construir.

- iii. No he estimado con certeza este costo, pero en ambas instancias debe ser del orden de \$2-\$5 millones.
 - iv. En el caso de Luchetti y Loco no he analizado lugares para la posible disposición de los sedimentos, aunque existen varios sitios potenciales en el Valle de Lajas fuera de la Reserva Agrícola.
- c. Gerencia del programa por un consultor de la AAA a cargo de todo el proceso, cuyo costo pudiera ser hasta \$1-2 millones anuales.

Los datos y las ilustraciones anteriores nos permiten concluir lo siguiente:

1. Las extracciones de los embalses y tomas que suplen la ZMSJ exceden el rendimiento seguro de estos sistemas. Esto es posible debido a que una gran parte del tiempo la extracción de agua proviene de la escorrentía excesiva representada por las frecuencias de flujos altos. Durante sequías moderadas, el agua almacenada en los embalses es adecuada para satisfacer las demandas del sistema.
2. Durante una sequía general severa en las cuencas de la Región Norte-Central (de hasta 90 días sin lluvia), la producción de los sistemas que suplen a la ZMSJ podría reducirse hasta 214 mgd, o aproximadamente el 75 % de la producción promedio actual. Esta cantidad de agua debería ser suficiente para satisfacer las demandas de la ZMSJ sujeto a reducciones en las presiones en los sistemas de distribución.
3. En la eventualidad de una sequía extrema de hasta 150 días sin lluvia en la Región Norte-Central (similar a las de 1967 y 1994), el abasto de agua a la ZMSJ podría reducirse hasta un mínimo de 168 mgd. Esta cantidad de agua, (tomando en cuenta las pérdidas no-contabilizadas de más de la mitad del agua producida) sería insuficiente para satisfacer las demandas básicas de la ZMSJ.
4. Los datos de sedimentación de los estudios del USGS sobre la pérdida de capacidad de los dos embalses principales que suplen la ZMSJ (Dos Bocas y Loíza) establecen una condición crítica que se agravará con el tiempo. Es importante apuntar que estos escenarios no consideran el impacto de descargas masivas de sedimentos ocasionadas por huracanes de gran magnitud, cuyo potencial es real.
5. La sedimentación acelerada de estos embalses requerirá un programa agresivo para restituir al máximo su capacidad y rendimiento seguro. El dragado de Dos Bocas, Caonillas y Lucchetti en un programa acelerado costaría aproximadamente \$450-\$500 millones, fondos que no están disponibles. La mejor alternativa fiscal para la AAA y la AEE es iniciar el dragado "a perpetuidad" de ambos embalses, diseñado para extraer anualmente una cantidad de sedimentos un poco mayor que la que reciben. Esta estrategia resultará en aumentar en pasos la capacidad de los embalses dentro de los recursos económicos disponibles anualmente a ambas agencias.