



lagunas y charcas menores. Las lagunas naturales se encuentran en las costas, en zonas bajo la influencia de las mareas y la intrusión salina, por lo que las aguas que contienen son salobres, con concentraciones de sales marinas variables.

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 400 mgd de agua cruda a las plantas de filtración operadas por la AAA, lo que constituye el 68 % del agua potable producida en la Isla. Paralelamente, los embalses proveen aproximadamente 39 mgd de agua para riego agrícola en los valles costaneros de las regiones Sur y Norte. Además, proporcionan agua para generar aproximadamente el 1.9 % de la energía eléctrica que produce la AEE, y proveen control parcial a las inundaciones en varias cuencas. También son fuente de recreación para miles de residentes dedicados a la pesca deportiva y navegación en la zona montañosa. Finalmente, son refugios de aves y vida silvestre acuática, incluyendo peces, camarones y tortugas.

En Puerto Rico, la sedimentación de los embalses es uno de los problemas más importantes en el manejo de los recursos de agua. 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. Las pérdidas de capacidad de los embalses en la Isla se deben a varios factores naturales e inducidos por actividades humanas. Las represas que forman los embalses son escollos en el paso de un río en su descenso de las zonas altas de su cuenca hacia su desembocadura en otro río o el mar. En todas las cuencas ocurre en menor o mayor grado erosión de los suelos, que luego son transportados hacia los cauces de las quebradas y los ríos. Estas tasas naturales de erosión y transporte de sedimentos aumentan o disminuyen en intensidad en proporción a la cantidad e intensidad de la lluvia, las características de los suelos, las pendientes de las cuencas y su cubierta forestal. En comparación, la deforestación y remoción de la corteza terrestre aceleran la erosión de los suelos y el transporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua y eventualmente a los embalses. Los estudios del *USGS* en la Isla demuestran que en cuencas menos desarrolladas, la tasa de generación de sedimentos es menor que en las desarrolladas. Como resultado, los embalses en cuencas desarrolladas se llenan de sedimentos más rápidamente que aquellos en cuencas que mantienen su cubierta vegetal.

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 275,000 acres-pies. La sedimentación progresiva de los embalses ha resultado en una merma de capacidad del 27 por ciento del total construido.

**Figura 11. Reducción en la capacidad de los embalses en Puerto Rico.**



La sedimentación acelerada de los embalses en la Isla es el resultado combinado de la construcción de la presa que obstruye el paso del río y la precipitación de los sedimentos que el agua arrastra desde las montañas en el lago formado por la presa. Sin embargo, el transporte de sedimentos desde las cuencas hasta los cauces 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. Un ejemplo de este proceso fueron las lluvias de aproximadamente 25 pulgadas que ocurrieron los días 21 y 22 de septiembre de 2008. Como se ilustra en la Figura 12, este evento de lluvias y escorrentía en la cuenca del Río Grande de Loíza resultó en la descarga al Embalse Loíza de aproximadamente 1.46 millones de toneladas de sedimentos al Embalse Loíza (Carraízo). Esta cantidad de sedimentos redujo la capacidad útil del embalse en aproximadamente el 8.5 por ciento de la capacidad remanente antes del evento de lluvia indicado. Igualmente importante es que el sedimento descargado durante el evento consumió aproximadamente el 32 por ciento de la capacidad ganada en el embalse cuando fue dragado en 1998 a un costo total de \$65 millones. Esta pérdida de capacidad debido al evento equivale a una pérdida de aproximadamente \$22 millones.

**Figura 12. Escorrentía y transporte de sedimentos al Embalse Loíza durante las lluvias de septiembre 21-22 de 2008.**



Este incidente de pérdida de capacidad extraordinaria en el Embalse Loíza en dos días de lluvias intensas no es único a la cuenca del Río Grande de Loíza. 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 de mayor tamaño 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 y Dos Bocas, que son 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.

**Tabla 1. Sedimentación de los embalses principales en Puerto Rico.**

	Caonillas	Carite	Cerrillos	Cidra	Dos Bocas	Fajardo	Garzas	Guajataca	Guayabal	Guayo	La Plata	Loíza	Lucchetti	Patillas	Toa Vaca
Cuenca	Río Grande de Arecibo	Río de La Plata	Río Bucaná	Río Bayamón	Río Grande de Arecibo	Río Fajardo	Río Grande de Arecibo	Río Guajataca	Río Jacaguas	Río Grande de Añasco	Río de La Plata	Río Grande de Loíza	Río Yauco	Río Grande de Patillas	Río Jacaguas
Capacidad Original, acres-pies	45,100	11,300	47,900	5,300	30,400	4,455	4,700	39,300	9,580	15,565	32,600	21,700	16,500	14,300	55,900
Tasa de Sedimentación, acres-pies/año	209	30	49	12.4	277	1.0	10.6	70.6	49.5	52.0	161	245	143	89.2	131
Capacidad Restante en el 2010 acres-pies	32,200	5,380	47,000	4,510	11,200	4,450	4,000	33,500	4,500	12,800	26,800	13,200	8,200	10,100	50,800
Porcentaje de Capacidad Restante (%)	71	48	98	85	37	100	85	85	47	82	82	61	50	71	91
Vida Útil Remanente años	160	285	958	370	48	2,000	385	481	97	269	171	60	62	126	394
Caudal Anual Promedio de Entrada, acres-pies/año	201,100	31,500	41,500	11,800	325,000	13,500	13,500	84,700	19,600	58,500	235,700	336,500	28,000	50,200	17,500
Rendimiento Seguro en el 2004 millones galones por día	70	56	25	6	52	12	10	42	20	12	63	55	13	23	14

Las altas tasas de sedimentación de los embalses construidos en el cauce de los ríos indujeron al Dr. Greg Morris a proponer que las nuevas represas se construyan fuera del cauce para evitar la acumulación excesiva de sedimentos. Los nuevos embalses Fajardo y Río Blanco incluyen diseños que reducen significativamente los problemas de sedimentación. Estos embalses se desarrollan fuera del cauce del río que los abastece, en hondonadas naturales donde se construye una represa. Una toma en el río aguas arriba de la ubicación del embalse desvía el agua hacia la represa, la cual fluye por gravedad a través de una tubería soterrada. El diseño de la toma promueve la precipitación de una gran parte de los sedimentos suspendidos en la escorrentía en el río. El agua que fluye hacia los embalses contiene cantidades menores de sedimentos, reduciendo así la tasa de sedimentación y prolongando su vida útil.

## **Abastos de Agua en la Zona Metropolitana de San Juan y Condición de los Embalses que la Suplen**

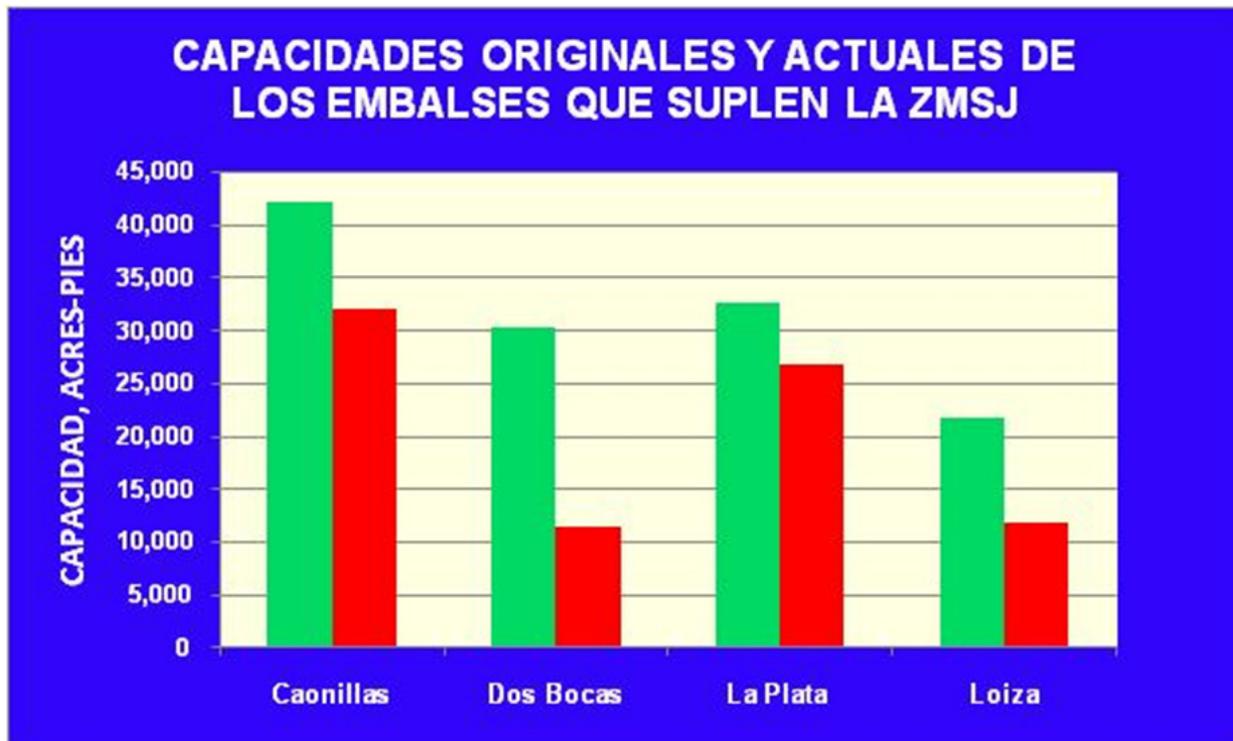
El sistema de producción y distribución de la AAA es la Zona Metropolitana de San Juan (ZMSJ) es el de mayor capacidad y relativa importancia en Puerto Rico. Esto no implica que el resto de los sistemas en otras zonas, municipios y barrios de la Isla no son importantes, sino que en la ZMSJ se suple agua 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 3 a continuación, incluyendo algunas de las características de rendimiento seguro de los embalses Dos Bocas, La Plata y Loíza. Además, la Tabla 3 incluye un análisis de la cantidad de agua que estaría disponible en la eventualidad de sequías severas (90 días) y extremas (150 días).

**Tabla 3. 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
<b>TOTALES</b>		<b>285.0</b>	<b>272.0</b>	<b>237.6</b>	<b>214.0</b>	<b>168.0</b>

En adición a los datos de las fuentes de agua en la Tabla 3, es importante considerar la condición de los tres embalses que suplen la mayor parte del agua a la ZMSJ, esto en términos de su capacidad actual y rendimiento seguro. Esta información se incluyó en la Tabla 1 en la sección de Embalses, mientras que las capacidades iniciales y actuales de los tres embalses se resumen en la Figura 38 a continuación.

**Figura 38. Capacidades originales y actuales de los embalses Caonillas, Dos Bocas, La Plata, y Loíza.**



Los datos en la Tabla 3 y Figura 38 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 la Figura 34 apuntan a la condición crítica de pérdida de capacidad de los dos embalses principales que suplen la ZMSJ (Dos Bocas y Loíza). La

sedimentación acelerada de estos embalses requerirá un programa agresivo para restituir al máximo su capacidad y rendimiento seguro. El dragado de ambos embalses costaría aproximadamente \$350 millones, fondos que no están disponibles. La AAA y la AEE han adoptado en principio un plan para 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.