Características y Condición de los Embalses Principales en Puerto Rico



BORRADOR del 4 de marzo de 2004



Preparado por: Jorge Ortiz Zayas, Ph.D., Ferdinand Quiñones, P.E., Silvana Palacios, E.I.T., Ángeles Vélez, E.I.T. y Hernán Mas, P.E.

Oficina del Plan de Aguas

Foto en la portada: Embalse y planta hidroeléctrica Dos Bocas vistos desde la carretera PR-10 cerca de Utuado Foto de la Autoridad de Energía Eléctrica

Créditos
Figuras: Jorge Rodríguez, E.I.T., Lisandra Rosario, Shereeza Rosado.
Oficina de Embalses y Presas, PRASA
Autoridad de Energía Eléctrica

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIÓN DE LOS EMBALSES PRINCIPALES EN PUERTO RICO

Preparado por: Jorge Ortiz Zayas, Ph.D.¹, Ferdinand Quiñones, P.E.¹, Silvana Palacios, E.I.T.¹, Ángeles Vélez, E.I.T.¹ y Hernán Mas, P.E.²

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe provee un resumen de las características principales y las condiciones físicas de los embalses públicos en Puerto Rico. El informe, preparado como parte del Plan Integral de Aguas, provee una descripción detallada de cada embalse principal en la isla, incluyendo su historia de desarrollo y construcción; usos del embalse y el agua que almacenan; características físicas de la represa que lo forma y la cuenca que lo alimenta; capacidad de diseño original y actual; tasa de sedimentación; rendimiento seguro y tasa de renovación; generación hidroeléctrica en los embalses donde esta actividad se lleva a cabo; y su estado trófico (índice de calidad de agua). Además, incluye un análisis de los efectos de la sedimentación en la vida útil de cada embalse, así como medidas y prioridades para su conservación y posible restauración de los embalses considerados en estado crítico o de mayor importancia. Se incluye también información preliminar de seis (6) embalses en construcción o planificación al presente.

El informe incluye datos sobre quince (15) embalses principales, cuatro (4) intermedios y diez (10) menores. Estos embalses, construidos comenzando en 1907, representan una capacidad construida de 375,410 acres-pies, la cual ha sido reducida por la sedimentación a 287,983 acres-pies. La tasa de sedimentación anual varía desde 4.6 a 277 acres-pies por año, ocurriendo los valores más altos en las cuencas de los ríos en las regiones norte y este de la isla, donde la lluvia es más abundante y el desarrollo más intenso. Los embalses proveen aproximadamente 390 millones de galones de agua por día a las plantas de filtración de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), lo que representa el 70% de toda el agua potable que se produce en la isla. También suplen 38.5 mgd para riego y otras actividades agrícolas, principalmente en las regiones sur y noroeste. La Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) opera plantas generatrices hidroeléctricas en 12 de los embalses, generando un promedio de 119,501 megavatios-hora (Mva*h) al año, lo que constituye aproximadamente el 1.9 % de toda la energía eléctrica producida por la agencia.

El informe provee un análisis de la condición de los embalses desde el punto de vista de su importancia como fuente de abastos para agua potable y riego. Este análisis, basado en el volumen de agua que producen y alternativas de fuentes de agua, considera medidas para la protección y/o restauración de estos embalses críticos. Los embalses considerados más críticos incluyen:

 Caonillas y Dos Bocas, que suplen agua cruda al Superacueducto, el cual sirve hasta 100 mgd de agua potable a los municipios desde Arecibo hasta la Zona Metropolitana, y que sufren de sedimentación acelerada. En Dos Bocas será

² División de Riego, Autoridad de Energía Eléctrica

¹ Consultor(a) de la Oficina del Plan de Aguas

necesario un dragado de emergencia de ocurrir una crecida significativa en el Río Grande de Arecibo, ya que los niveles de sedimentos cerca de la represa amenazan la viabilidad de descargar agua efectivamente hacia la toma del Superacueducto. Igualmente, debe iniciarse un programa de dragado permanente. En paralelo, será necesario implantar un programa agresivo de protección de la cuenca para minimizar la erosión y el transporte de sedimentos al embalse.

- Carraízo, que suple hasta 100 mgd de agua a la Zona Metropolitana, aunque fue dragado en el 1997-98 a un costo de \$60 millones, ha perdido una parte sustancial de la capacidad recobrada debido a las altas tasas de erosión en la cuenca y el transporte de los sedimentos al embalse. Será necesario un programa de dragado permanente en dicho embalse para mantener su viabilidad de abasto de agua consistente, particularmente durante sequías, así como un programa agresivo de protección de la cuenca.
- La Plata, que suple hasta 70 mgd de agua a la Zona Metropolitana, y que ha perdido el 14.8% de su capacidad original. Aunque no es necesario dragar este embalse en los próximos 20 años, será necesario establecer un plan para reducir la erosión y el transporte de sedimentos en la cuenca.
- Toa Vaca y Guayabal, que suplen hasta 20 mgd a Ponce y la Región Sur, y que han perdido el 7.5 % y 50.9 % de sus capacidades, respectivamente. Aunque no es necesario dragar a Toa Vaca en el futuro inmediato, el dragado potencial de Guayabal proveería abastos de agua adicionales a la Región Sur. La protección de esta cuenca es crítica para la conservación de Toa Vaca.
- Lucchetti y Loco, que suplen hasta 8 mgd de agua a las plantas de la AAA y hasta 12 mgd para riego agrícola en el Valle de Lajas y los municipios de la Región Suroeste. Lucchetti ha perdido el 40.6% de su capacidad, y aunque no es necesario un dragado inmediato, la conservación de la cuenca promoverá su conservación a largo plazo.
- Guajataca, que suple hasta 20 mgd a los acueductos de Isabela, Ramey y Aguadilla, así como para usos agrícolas, pierde más de la mitad del agua en los canales de transmisión. Aunque se llevan a cabo mejoras a estos canales, es necesaria la protección de esta cuenca para minimizar la sedimentación del embalse.

El informe también concluye que es necesario re-evaluar la operación de los embalses de la Isla para considerar sus usos actuales a la luz de cambios en las necesidades de agua. La operación de los embalses para producir energía hidroeléctrica necesita optimizarse a tono con las prioridades de uso de agua para consumo y riego agrícola. En varias cuencas, incluyendo las de Caonillas-Dos Bocas, Río Blanco, y Luchetti-Loco, existen conflictos entre estos usos, requiriendo una revisión a las reglas de operación de los embalses.

En cuanto al estado trófico, la mayor parte de los embalses en la isla exhiben concentraciones altas de nutrientes (eutróficos), lo que promueve el crecimiento acelerado de algas y plantas acuáticas, afectando la calidad del agua. Estos nutrientes provienen de las descargas sanitarias de plantas de la AAA y actividades agrícolas en las cuencas que alimentan los embalses.

1.0 Introducción

Los embalses constituyen uno de los recursos de agua más importantes en Puerto Rico. En la isla existen 36 embalses propiedad del ELA y sus agencias, construidos durante el siglo pasado para diversos usos, incluyendo riego agrícola, generación hidroeléctrica, agua potable, control de inundaciones y recreación. Debido a su importancia para el bienestar de los residentes de la isla, constituyen uno de los elementos más importantes en el Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua (Plan Integral de Aguas) que actualiza el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA).

Este informe, como parte del Plan Integral de Aguas, provee datos actualizados sobre las características físicas y operacionales de los embalses en Puerto Rico. Esta información incluye datos sobre su historia, estructuras, capacidad de almacenaje inicial y actual, usos principales y condición actual relativa a la calidad de sus aguas. El informe también presenta un análisis subjetivo sobre el status de cada embalse y medidas sugeridas para la posible restauración de aquellos embalses en condiciones determinadas como críticas desde el punto de vista de sedimentación o calidad del agua. Provee también sugerencias para planes de restauración y medidas necesarias para la protección de las cuencas que alimentan los embalses. Igualmente, sugiere estrategias para el desarrollo futuro de embalses, como una medida para minimizar los problemas de sedimentación de los mismos.

Los datos en el informe se basan en estudios individuales de los embalses llevados a cabo por otras agencias y recopilaciones anteriores parciales publicadas por la AEE, el DRNA, la JCA, el USGS, universidades públicas e independientes y consultores privados. Aunque en Puerto Rico se utiliza generalmente el término lago para definir los embalses, en la isla no existen lagos naturales, y todos los llamados lagos son embalses artificiales formados por represas donde se almacena la escorrentía proveniente de los ríos donde ubican. Existen varias lagunas naturales, principalmente en las costas, conteniendo agua salobre o salina. Aunque los mapas topográficos del USGS identifican en inglés cada embalse como "lake", en nuestra opinión el término correcto en español es embalse, por lo que se utiliza en el informe.

El informe incluye diez (10) secciones principales relacionadas a distintos aspectos de los embalses en la isla, siendo la primera esta introducción.

- La Sección 2.0 presenta una introducción general sobre la importancia de los embalses como recursos de agua.
- El desarrollo histórico de los embalses se presenta en la Sección 3.0.
- Las características generales de los embalses se presentan en la Sección 4.0, basado en los inventarios de la AEE y datos del USGS, el DRNA, la AAA y otras entidades.
- La Sección 5.0 provee información sobre las instalaciones hidroeléctricas en los embalses y datos sobre la cantidad de electricidad generada durante los últimos diez (10) años en los embalses que operan estas unidades.

- Detalles sobre la interacción entre los embalses y los acueductos que suplen se describen en la Sección 6.0, mientras la Sección 7.0 discute su uso para control de inundaciones.
- Finalmente, las secciones 9.0 y 10.0 presentan respectivamente los usos recreativos y de conservación ecológica de los embalses.

2.0 Importancia, Clasificación y Número de Embalses en Puerto Rico

Los embalses existentes en Puerto Rico son cruciales para proveer agua potable a una gran parte de los residentes de la isla, así como fuente de riego a grandes extensiones de terrenos en los valles costaneros, principalmente en la Región Sur. Los embalses suplen aproximadamente 390 millones de galones de agua por día a las plantas de filtración operadas por la AAA, lo que constituye el 70% del agua potable generada en la isla. Paralelamente, los embalses proveen aproximadamente 38.5 mgd de agua para riego agrícola en los valles de las regiones Sur y Norte. Además, proveen agua para generar aproximadamente el 1.9 % de la energía eléctrica que utiliza la isla, así como proveer control parcial a las inundaciones en varias cuencas. También son fuente de recreación a miles de residentes, principalmente en la zona montañosa, particularmente para la pesca deportiva y navegación. Finalmente, son refugios de pájaros y vida silvestre acuática, incluyendo peces, camarones y tortugas.

La descripción de lo que constituye un embalse en Puerto Rico es establecida por la Ley 133 del 15 de julio de 1986 (según enmendada), que además creó el Programa Estatal de Inspección y Reglamentación de Presas y Lagos bajo la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). Esta ley define un embalse como "una balsa artificial donde se acopian las aguas de un río o arroyo o la escorrentía pluvial y que exceda de un volumen de cincuenta (50) acres-pies." Igualmente, la misma ley define una presa o represa como una "barrera artificial que conjuntamente con sus obras accesorias es construida con el propósito de retener, almacenar o desviar agua o cualquier otro líquido o semilíquido y cuya elevación exceda de veinticinco (25) pies desde el techo natural del cuerpo de agua o del nivel natural del suelo" La AEE clasifica los embalses en Puerto Rico en tres categorías:

- Menores, si el volumen es entre 50 y 1,000 acres-pies y su altura es entre 25 y 40 pies;
- Intermedios, si su volumen oscila entre 1,000 y 50,000 acres-pies y su altura es entre 40 y 100 pies y;
- Mayores, si el volumen es mayor de 50,000 acres-pies y su altura es mayor de 100 pies.

Utilizando este criterio, la OPA reclasificó los 36 embalses públicos del siguiente modo según se documenta en la Tabla 4.0-1:

- Diecinueve (19) embalses activos importantes, incluyendo15 mayores y cuatro
 (4) intermedios.
- Diez (10) embalses activos considerados de menor importancia que poseen una capacidad de almacenaje limitada o son privados.

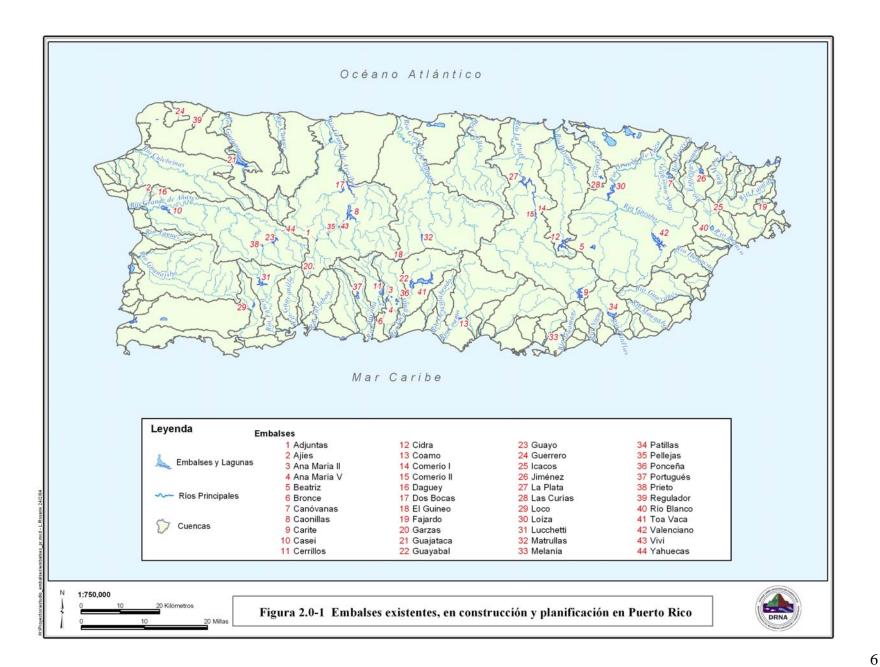
- Siete (7) embalses sedimentados y dos (2) en construcción o subasta.
- Otros seis (6) embalses se encuentran en distintas etapas de planificación.

La localización de los embalses existentes, en construcción y en planificación en la isla se ilustra en la Figura 2.0-1.

Excepto el nuevo Embalse de Fajardo, todos los demás embalses mayores en Puerto Rico se han construido en la zona montañosa con el propósito de almacenar cantidades relativamente grandes de las escorrentías generadas por la abundante precipitación que ocurre en esta zona. En general, los embalses existentes se han ubicado en cañones profundos con gargantas reducidas donde las represas requieran la menor inversión posible de fondos mientras almacenan la mayor cantidad de escorrentía en el menor espacio superficial. Esta característica de su diseño hace que los embalses sean profundos y sus orillas posean declives empinados. Otra característica de gran importancia es la estabilidad geológica de los lugares donde ubican, para garantizar su seguridad sísmica.

Los embalses y lagunas son sistemas acuáticos caracterizados por la baja velocidad y quietud de sus aguas. La sedimentación o la acumulación de sedimentos en el fondo de los embalses es un proceso natural producto del transporte de sedimentos por los ríos y por su asentamiento en sistemas lénticos. Sin embargo, algunas acciones humanas que impactan la superficie del terreno y su cubierta vegetal natural, como la construcción y la agricultura, aceleran los procesos naturales de generación y transporte de sedimentos por lo que aumentan las tasas de sedimentación en lagos y embalses.

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, con reducciones críticas en algunos de los más importantes. Una solución a este problema es el dragado. Sin embargo, los altos costos de esta acción y sus efectos ambientales limitan su implantación. Esto ha provocado que se revisen los diseños de las nuevas represas para evitar la excesiva acumulación de sedimentos. Actualmente, en la zona noreste de Puerto Rico, se están construyendo dos nuevos embalses con diseños que reducen significativamente los problemas de sedimentación. Estos embalses, conocidos como embalses fuera del cauce, se construyen fuera del cauce del río principal, generalmente en un tributario de este donde una represa es construida. Esta represa acumula agua transportada por gravedad desde el río principal a través de una tubería. El diseño de estos nuevos sistemas permite que solo aqua con baio contenido de sedimentos suspendidos entre a los embalses reduciendo así el potencial de sedimentación de los embalses, prolongando su vida útil.



3.0 Recuento Histórico del Desarrollo de los Embalses en Puerto Rico

La historia del proceso de construcción de represas y embalses en Puerto Rico fue documentada por García-Martinó (2000). En ese informe se concluye que la construcción de los embalses ha reflejado la visión de desarrollo económico en la isla establecida por los gobiernos locales y federales, visión que ha su vez ha respondido a las necesidades económicas y sociales históricas de la sociedad puertorriqueña.

En Puerto Rico, la construcción de embalses comenzó con la represa del Río Piedras¹, hoy localizada en los terrenos del Jardín Botánico. Construida en el 1898 bajo el gobierno español, esta represa se desarrolló con el propósito de llevar agua al Cuartel de Ballajá en el Viejo San Juan (Sáez, 1988). Sin embargo, fue durante el Siglo 20 que la construcción de represas y embalses tuvo auge motivado por las transformaciones socio-políticas que la Isla experimentó durante este periodo. Fueron dos las motivaciones principales que propiciaron la construcción de represas durante ese periodo: la necesidad de proveer servicio eléctrico a las ciudades y el interés por desarrollar la agricultura de la caña de azúcar, eje de la actividad económica de Puerto Rico de principios del Siglo 20.

La construcción de embalses aumentó significativamente la capacidad de almacenaje de agua para suplir las necesidades agrícolas de principios de siglo, el aumento en la demanda de energía, el aumento en la demanda de agua para abasto público y la necesidad de control de inundaciones. Entre 1913 y 1951 el Gobierno de Puerto Rico y la empresa privada construyeron 11 embalses para uso agrícola, mientras que entre el 1907 y el 1952 se construyeron 15 embalses para generación hidroeléctrica. Durante el periodo entre 1946 y 1996 otros siete (7) embalses fueron construidos para abasto público. Recientemente, entre 1976 y 1991 se han construido tres (3) embalses para control de inundación. El aumento en la capacidad de almacenaje de agua producto de la construcción de embalses en Puerto Rico se ilustra en la Figura 3.0-1. En la abscisa de esta gráfica, aparecen los embalses en orden cronológico desde la construcción de Comerío I en Comerío (1907) hasta la construcción del Lago Regulador en Isabela (Llanadas) en 1996.

El almacenaje total de agua desarrollado en Puerto Rico durante este periodo equivale a 375,410 acres-pies. Sin embargo, con el paso de los años, la capacidad de almacenaje de los embalses se ha ido reduciendo debido a la sedimentación. Se estima que actualmente la capacidad de almacenaje de agua en los embalses de Puerto Rico es de aproximadamente 287,983 acres-pies. En la Figura 3.0-2 se compara la capacidad de almacenaje acumulativa original con

_

¹ Este embalse está excluido del inventario de embalses de la AEE probablemente por la baja altura de su represa y por su limitada capacidad de almacenaje de agua.

la capacidad acumulativa actual de todos los embalses. En la gráfica, la diferencia entra las dos líneas equivale a la cantidad de sedimentos acumulados en los embalses de Puerto Rico. Esta cantidad se calcula en 87,426 acres-pies lo que sugiere que la sedimentación ha provocado una reducción en la capacidad de almacenaje de agua igual al 23.3%. De otra forma, actualmente los embalses en Puerto Rico almacenan cerca de un 76.7% del agua que originalmente almacenaban.

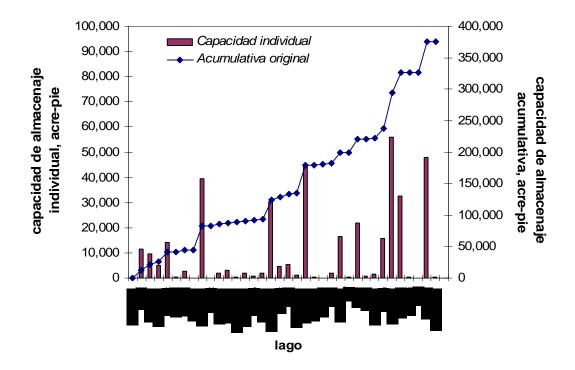


Figura 3.0-1. Relación entre la capacidad de almacenaje individual y la capacidad acumulativa producto de la construcción de embalses en Puerto Rico. Datos basados en la capacidad original de diseño de cada embalse. Datos de la AEE y del USGS.

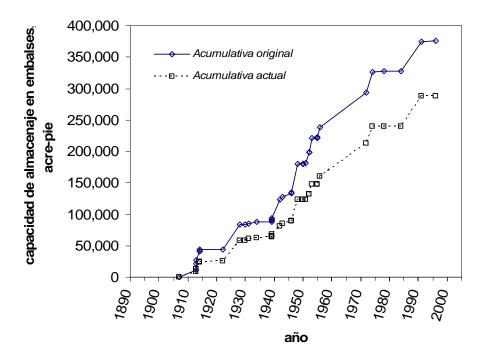


Figura 3.0-2. Comparación entre la capacidad de almacenaje acumulativa original y la actual de los embalses en Puerto Rico. Datos de la AEE y del USGS.

Gran parte de la capacidad de almacenaje de agua desarrollada en Puerto Rico estuvo asociada al desarrollo de los sistemas hidroeléctricos, responsables de generar la electricidad que sostuvo el crecimiento económico de la Isla principalmente durante la primera mitad del Siglo 20. Entre el 1907 y el 1984 se construyeron en Puerto Rico veinte (20) plantas hidroeléctricas y 15 embalses para suplir agua a estas plantas. La Figura 3.0-3 muestra que, durante el Siglo 20, ocurrió una relación directa entre la capacidad de producción hidroeléctrica y la construcción de embalses.

La capacidad acumulada de producción hidroeléctrica en las 20 plantas según fueron diseñadas originalmente se estima en 127,205 kva. De esta producción total, cerca del 40% proviene de las plantas Yauco 1 (25,000 Kva.) y Dos Bocas (22,500 Kva.). La capacidad individual de cada una de las plantas en relación con la capacidad de producción hidroeléctrica acumulada se ilustra en la Figura 3.0-4.

La sedimentación en los embalses y la falta de caudal adecuado ha provocado una merma en la capacidad de producción de algunas plantas hidroeléctricas (Patillas) y en algunos casos en cese permanente de operaciones, como en el caso de las plantas Comerío 1 y 2, Carite 1, 2, 3 y 4, Isabela 1, 2, 3 y 4 y Caonillas 1. Una comparación entre la capacidad acumulativa original del sistema hidroeléctrico de Puerto Rico con la capacidad actual (la cual se estima

en 65,700 Kva. y que equivale a un 51.6% de la capacidad total original de 127,205 Kva.) se ilustra en La Figura 3.0-5. Las plantas Yauco 1 y Dos Bocas continúan siendo las de mayor producción eléctrica de todas las plantas del sistema hidroeléctrico.

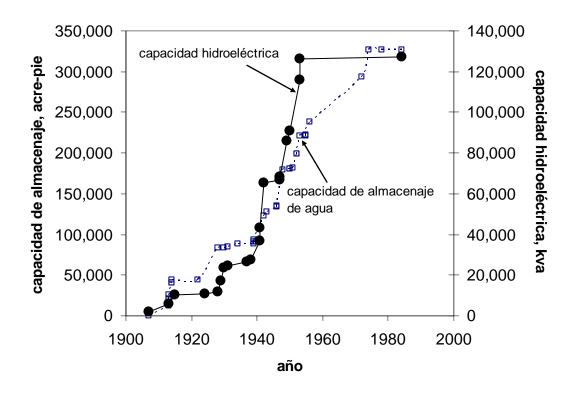


Figura 3.0-3. Comparación entre la construcción de embalses, expresada en capacidad de almacenaje de agua, y la construcción de sistemas hidroeléctricos en Puerto Rico durante el Siglo 20.

Según el Negociado del Censo de la Junta de Planificación, durante Siglo 20, la población de Puerto Rico creció a un ritmo anual de 2.8%, de 950,000 habitantes en 1899 a 3.8 millones en el 2000. Ya para la década del 50, la demanda eléctrica sobrepasó la capacidad del sistema hidroeléctrico por lo que fue necesario el desarrollo de nuevas centrales termoeléctricas con más capacidad eléctrica. Entre 1956 y 1997 se construyeron cinco (5) centrales termoeléctricas con una capacidad total de 3,239.5 mega-voltios amperes (Mva). Actualmente la generación hidroeléctrica aporta aproximadamente el 1.9 % de la producción eléctrica de Puerto Rico. La relación entre los cambios en la población y la capacidad de producción hidroeléctrica y la termoeléctrica en Puerto Rico se ilustra en la Figura 3.0-6.

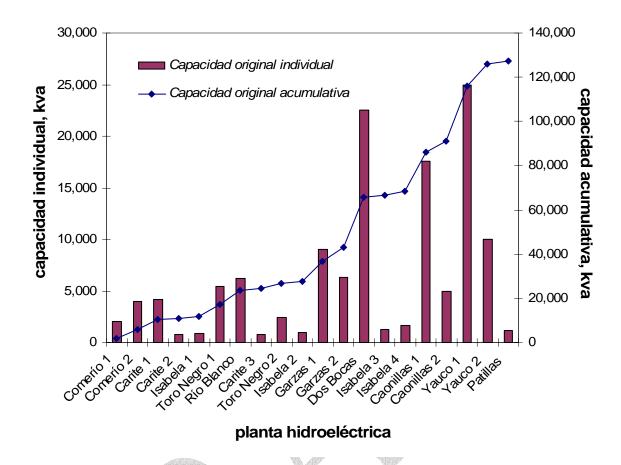


Figura 3.0-4. Relación entre la capacidad original de generación de cada planta hidroeléctrica en Puerto Rico y la capacidad acumulativa. Datos de la AEE (1992) y AFF (1958).

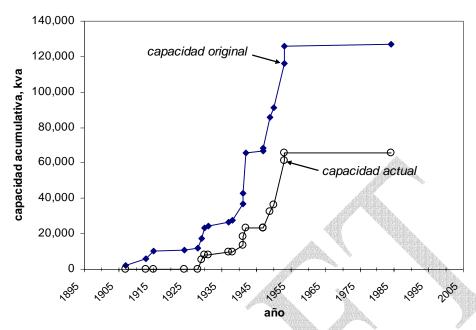


Figura 3.0-5. Comparación entre la capacidad hidroeléctrica original y la capacidad hidroeléctrica actual en Puerto Rico. Datos de la AFF (1958), AEE (1992).

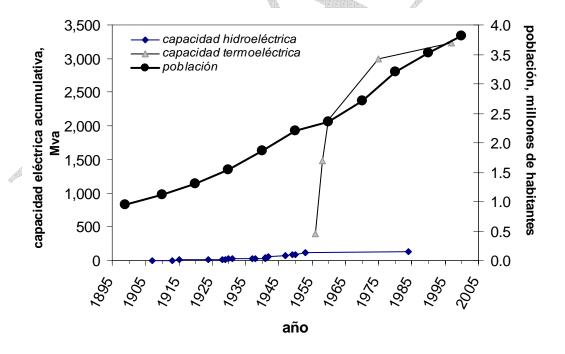


Figura 3.0-6. Desarrollo del sistema hidroeléctrico y termoeléctrico en función de la población en Puerto Rico.

4.0 Descripción de los Embalses de Puerto Rico

Las descripciones a continuación incluyen principalmente aspectos físicos de cada embalse en Puerto Rico, aunque se han incluido algunos datos relacionados a la calidad química y biológica del agua de importancia a las especies de peces que predominan en cada embalse. La información presentada proviene principalmente de informes de agencias del ELA, incluyendo la AEE, la AFI, la AAA, el DRNA y la JCA, así como de agencias federales incluyendo al USACE y el USGS.

Los embalses han sido agrupados en embalses activos, sedimentados, en construcción y en planificación.

Los embalses activos son los que al presente presentan alguna capacidad de almacenaje de agua y que se encuentran bajo algún uso. Los embalses activos se dividen a su vez por tamaño en embalses mayores, intermedios o menores según la definición de la AEE (2001). La AEE clasifica los embalses como menores si el volumen es entre 50 y 1,000 acres-pies y su altura es entre 25 y 40 pies; intermedios, si su volumen oscila entre 1,000 y 50,000 acres-pies y su altura es entre 40 y 100 pies y; mayores, si el volumen es mayor de 50,000 acres-pies y su altura es mayor de 100 pies. Se debe notar que la AEE clasifica un embalse como intermedio si la altura de su represa es igual o mayor a 40 pies, aunque su capacidad corresponda a la de un embalse menor. De forma similar, clasifica un embalse como mayor por la altura de su represa aunque su capacidad no alcance los 50,000 acres-pies. Hay que tener en cuenta que el único embalse que supera la capacidad de 50,000 acres-pies es el Embalse Toa Vaca.

Tabla 4.0-1 Clasificación de embalses según la definición de la AEE (2001).				
Clasificación del embalse	Altura de a represa (pies)	Capacidad (acres-pies)		
Menor	25-40	50-1,000		
Intermedio	40-100	1,000-50,000		
Mayor	> 100	>50,000		

- Los embalses sedimentados son aquellos cuya capacidad de almacenaje está exhausta por motivo de la acumulación de sedimentos.
- Los embalses en construcción son aquellos cuya construcción ya había comenzado o se planifica comenzar durante el 2004.
- Los embalses en planificación se encuentran en alguna etapa inicial de conceptualización, obtención de permisos, o diseño.

En este informe, se han reagrupado los embalses según su relevancia para el Plan de Aguas. La Tabla 4.0-1 muestra las agrupaciones de embalses para propósitos de esta discusión. Según este documento, en Puerto Rico existen 19

embalses activos importantes: 15 mayores y cuatro (4) intermedios. Además, existen diez (10) embalses activos considerados de menor importancia para el Plan de Aguas (no incluidos en la Tabla 4.0-1) ya que poseen una capacidad de almacenaje limitada o son de propiedad privada. El inventario de embalses muestra que también existen siete (7) embalses sedimentados y dos (2) en construcción. Otros seis (6) embalses se encuentran en distintas etapas de planificación. En ocasiones, como en la descripción del sistema hidroeléctrico de Toro Negro presentada más adelante en el capítulo 5, se mencionan varias represas menores. Las mismas sirven de apoyo a los sistemas de canales y túneles y por lo tanto, no son discutidas aquí por no ser relevantes para el Plan de Aguas.

Las características principales de cada embalse han sido tabuladas utilizando algunos de los criterios de la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos de Puerto Rico de la AEE. Estos criterios incluyen tamaño, nivel de riesgo y condición estructural de cada embalse. La descripción de la condición estructural de cada embalse está basada en inspecciones de campo realizadas por la AEE.

La AEE clasifica el riesgo o peligro potencial de cada embalse basado en el potencial de pérdida de vidas y de pérdidas económicas por inundación en caso de una rotura de la represa. La Tabla 4.0-2, a continuación, muestra las categorías de riesgo o peligro y sus definiciones.

Tabla 4.0-2. Inventario de embalses activos, sedimentados, en construcción y en planificación en Puerto Rico (AEE, AFI y AAA, 2002).

and the the thirty of the same	Control of the contro			
Embalses A	ctivos	Embalses	Embalses en	Embalses en
Mayores	Intermedios	Sedimentados	Construcción	Planificación
Caonillas	Cidra	Adjuntas	Fajardo	Portugués
Carite	Loco	Comerío I	Río Blanco	Beatriz
Cerrillos Dos Bocas Garzas Guajataca Guayabal Guayo Guineo La Plata Loíza Lucchetti Matrullas Patillas Toa Vaca	Prieto Yahuecas	Comerío II Coamo Las Curias Pellejas Viví		Jiménez Valenciano Canóvanas Casei

Tabla 4.0-3. Definiciones de las clasificaciones de peligro potencial de los embalses según la AEE (2001).

Categoría	Perdida de vida	Perdida económica
Baja	Ninguna estructura de	
	habitación humana.	desarrollar con pocas
		estructuras y mínima
		actividad agrícola.
Significante	Ningún desarrollo urbano	Apreciable ya que existe
	y no más de unas pocas	bastante agricultura,
	estructuras no habitadas.	industria o estructuras.
Alta	Más de unas pocas.	Excesiva. Asociada a
		comunidades, industrias
		o agricultura.

La Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos de la AEE realiza inspecciones periódicas sobre la condición estructural de todos los embalses. Las inspecciones se realizan en orden de prioridad dependiendo del tamaño, riesgo potencial, edad de la represa y del desarrollo potencial anticipado aguas abajo de cada embalse. Los embalses se pueden inspeccionar con uno o dos niveles de detalle según sea necesario. En cada embalse se realiza inicialmente una inspección visual de la presa, estribos y estructuras relacionadas. Además, se inspecciona la información de ingeniería disponible. Esta inspección se conoce como Fase I. Si la inspección inicial refleja la necesidad de realizar estudios adicionales, se procede a realizar una inspección más específica y detallada conocida como Fase II.

El Apéndice A, al final del informe, resume los hallazgos de las más recientes inspecciones realizadas en los embalses bajo jurisdicción de la AEE. Como parte de las inspecciones Fase I, la AEE realiza recomendaciones con tres grados de urgencia. Las recomendaciones Tipo A son de importancia crítica y requieren acciones correctivas inmediatas debido a que existe evidencia que sugiere:

- que la seguridad de la represa se afecta de forma inmediata; o
- puede llevar potencialmente a una condición no segura de la represa; o
- pone en riesgo la seguridad pública.

Las recomendaciones Tipo B representan recomendaciones críticas ya que tienen implicaciones en la seguridad del embalse a largo plazo. Estas requieren de acciones correctivas en un plazo de 1 a 5 años. Finalmente, las recomendaciones Tipo C están asociadas con acciones de mantenimiento rutinario o actividades de vigilancia. Con el propósito de evaluar en términos generales el estado de cada embalse, los resultados de las inspecciones más

recientes fueron resumidos mediante un conteo de los distintos tipos de recomendaciones. En los casos donde las inspecciones produjeron recomendaciones urgentes (Tipo A y B), estas fueron especificadas y presentadas por separado en el Apéndice B.

Las descripciones de cada embalse también presentan algunos datos físicos, de los cuales solo algunos merecen explicación ya que la mayoría han sido citados de otras fuentes por lo que se refiere al lector a revisar estas fuentes para información adicional. Por ejemplo, la profundidad promedio es calculada dividiendo el volumen del embalse entre su área superficial. La tasa de sedimentación en toneladas/milla²/año asume que la densidad del sedimento es de un (1) gramo por centímetro cúbico. La tasa de renovación de agua del embalse ("turnover rate"), o las veces al año que el agua del lago se renueva, se calcula dividiendo el caudal promedio anual de entrada al embalse entre su volumen.

En lo posible, la capacidad actual de cada embalse fue estimada al año 2004 asumiendo que la tasa de sedimentación más reciente calculada para cada embalse se ha mantenido estable desde la última batimetría. Sin embargo, hay que notar que la tasa de sedimentación de un embalse es función de la eficiencia de retención de sedimentos de este. La eficiencia de retención de un embalse disminuye a través del tiempo según la sedimentación reduce la capacidad de almacenaje de agua y sedimentos del embalse en relación al caudal de entrada (Brune, 1953). Por lo tanto, los estimados de vida útil presentados a continuación para cada embalse son aproximaciones conservadoras ya que asumen una tasa de sedimentación constante. Además, estos estimados no contemplan el efecto acelerador de los huracanes sobre la sedimentación, ya que se ha demostrado que estos tienden a reducir drásticamente la capacidad de almacenaje de los embalses en Puerto Rico (Soler-López, 2001c, 2001e).

El rendimiento seguro es el caudal de aqua disponible la mayor parte del tiempo para uso de abasto público. El rendimiento seguro de un embalse es aquel volumen de agua que se puede extraer diariamente para satisfacer la demanda de agua para abasto público el 99% del tiempo. En este informe, los datos de rendimiento seguro de cada embalse están basados en datos publicados previamente ya que no existen análisis actualizados de rendimiento seguro. Los estimados de rendimiento seguro para varios embalses de Puerto Rico fueron desarrollados en el 1975 por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, por sus siglas en inglés). Más tarde, Santiago-Vázguez y otros (1987) usaron los datos del USACE para revisar los estimados de rendimiento seguro de los embalses existentes en Puerto Rico y de embalses adicionales Santiago-Vázquez y otros (1987) presentaron proyecciones de potenciales. rendimiento seguro asumiendo tasas de sedimentación teóricas. reciente recuento de los abastos de agua es de Quiñones (1995), quien citó los datos de rendimiento seguro de USACE (1975) y de Santiago-Vázquez y otros (1987) para presentar el estado de los embalses de la Isla. En este informe, se presenta un estimado de rendimiento seguro para algunos embalses al 2004 basado en interpolación lineal entre los resultados del análisis de 1975 y las proyecciones realizadas al año 2020 por Santiago-Vázquez y otros (1987).

En Puerto Rico, la calidad del agua de los embalses es regulada por la Junta de Calidad Ambiental (JCA), quien tiene a cargo la implementación de la Ley Sobre Control de la Contaminación de las Aguas (Ley Núm. 142 de 1 de mayo de 1950). La JCA evalúa la calidad de las aguas según su Reglamento de Estándares de Calidad de Agua (revisado en el 2003). En la isla también se aplican la Ley Federal de Agua Limpia ("Clean Water Act") y la Ley de Agua Potable Segura ("Safe Drinking Water Act"). Ambas leyes son administradas por la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), que trabaja en coordinación con las agencias estatales para velar por la calidad de las aguas.

La Sección 305 (b) de la Ley Federal de Aguas Limpias le requiere a la JCA que someta, cada dos años, un informe que resuma las condiciones de las aguas de Puerto Rico con el fin de evaluar la calidad de las aguas nacionales y de revisar los programas de control de contaminación y de restauración de los cuerpos de agua. Desde 1998, la JCA ha estado resumiendo el estado de las aguas del país en un informe (conocido como el Informe 305- b) que prepara cada dos años y que somete a la EPA. En los últimos seis (6) años se han sometido tres informes. El primero, publicado en 1998, documenta las condiciones de las aguas durante el 1996-1997. El segundo, publicado en el 2000, incluye información sobre el estado de las aguas durante 1998-1999. El más reciente, publicado en el 2003, resume las condiciones de las aguas durante 2000-2001.

En estos informes la calidad de las aguas en los embalses es evaluada basado en los resultados de tomas de muestras por la JCA. Estos resultados son comparados con los estándares existentes para ciertos parámetros índices como oxígeno disuelto, fósforo total, coliformes fecales y nitratos más nitrito. Además, la JCA clasifica los embalses de acuerdo a su estado trófico en: eutróficos, mesotróficos o oligotróficos. El estado trófico de un embalse está asociado a la concentración de nutrientes que promueve el crecimiento excesivo de plantas y algas acuáticas. En lagos eutróficos ocurren altas concentración de nutrientes, particularmente de nitrógeno y fósforo, que promueven el crecimiento de algas, que a su vez pueden reducir la concentración de oxígeno durante la noche, aumentando el riesgo de mortandad de peces. Los lagos oligotróficos poseen concentraciones bajas de nutrientes y no presentan problemas de mortandad de peces. Los lagos mesotróficos presentan un nivel intermedio entre los lagos oligotróficos y los eutróficos. La JCA clasifica el estado trófico basado en la concentración de fósforo total (P) como sigue:

- oligotrófico (P < 0.03 mg/L);
- mesotrófico (0.05<P>0.03 mg/L); o

eutrófico (P>0.05 mg/L).

THE STATE

La Figura 4.0-1 resume los resultados de las tres evaluaciones de estado trófico de 18 embalses en Puerto Rico realizadas por la JCA desde 1996 hasta 2001. Según este análisis, la mayoría de los embalses en Puerto Rico están clasificados como eutróficos. Esto significa que sus aguas poseen altas concentraciones de fósforo lo que propicia el crecimiento de algas y aumenta el potencial de mortandad de peces por falta de oxígeno. La JCA señala en su más reciente informe 305(b) (JCA 2003), que la condición de oxígeno disuelto ha mejorado en ocho (8) embalses, ha empeorado en seis (6) y se ha mantenido estable en cuatro (4) embalses. En las siguientes descripciones individuales de embalses se presentan el estado trófico de cada embalse según el más reciente informe 305(b) (JCA 2003).

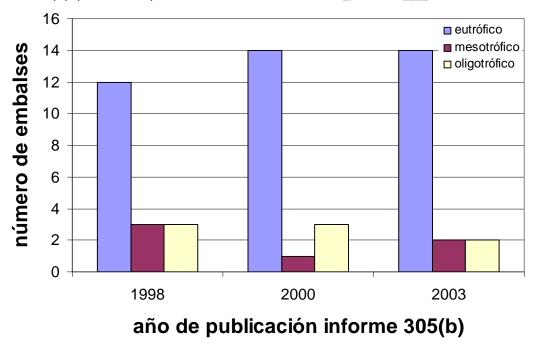


Figura 4.0-1. Estado trófico de 18 embalses en Puerto Rico según informes 305(b) publicados por la Junta de Calidad Ambiental.

Los embalses en Puerto Rico son ecosistemas acuáticos que albergan una variedad de peces nativos e introducidos. Muchos de estos embalses se utilizan para la pesca recreativa. Por esta razón, el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales administra un programa de "siembra" de peces de valor recreativo en algunos embalses. En cada una de las descripciones a continuación se presenta una lista de las especies de peces más comunes en cada embalse y se evalúa la capacidad recreativa de cada embalse según información del DRNA. Cuando es necesario, se realizan recomendaciones

relacionadas al manejo y a la operación de cada embalse basado en los hallazgos de cada evaluación.



4.1 Embalses Mayores Activos

En Puerto Rico, existen 15 embalses mayores de acuerdo al sistema de clasificación de la AEE (2002). La mayoría de estos fueron construidos durante la primera parte del Siglo 20 para propósitos de riego y generación hidroeléctrica. Una cantidad menor fue diseñada para abasto público. Estos embalses proveen agua cruda a las plantas de filtración de la AAA; abastos para riego agrícola; agua para generación hidroeléctrica; y almacenamiento de escorrentía para control de inundaciones. La sedimentación progresiva de estos embalses limitará su utilidad para estos usos en las próximas décadas. A continuación se describen las características principales de estos embalses.

4.1.1 Caonillas

El Embalse de Caonillas forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Caonillas (Figura 5.1.7-esquemático). El embalse fue construido en el 1948 para almacenar agua para la producción hidroeléctrica en la Planta Caonillas No. 1, actualmente con una capacidad de producción eléctrica de 9,000 kva.

El embalse formado por la presa de Caonillas está ubicado en el Barrio Caonillas Abajo del Municipio de Utuado, a unas tres (3) millas al este de ese pueblo (Figura 4.1.1-1). Hidrológicamente, el embalse forma parte del sistema fluvial del Río Grande de Arecibo. El área de captación natural de Caonillas es de aproximadamente 49 millas cuadradas. Sin embargo, el embalse recibe aportes de agua de los embalses Viví, Pellejas, Jordán y Adjuntas, los que añaden una área de captación adicional de 36.6 millas cuadradas (Soler-López, 2001c); de manera que el área total de captación operacional de Caonillas es de 85.5 millas cuadradas.

Actualmente el Embalse de Caonillas no está siendo utilizado para producción hidroeléctrica debido a que la Planta Caonillas No. 1 está en reparación. Las inundaciones provocadas por el paso del Huracán Georges causaron daños al "penstock" de la Planta Caonillas No.1. La AEE espera que esta unidad esté nuevamente en operación a mediados del 2004. Aparte de la producción hidroeléctrica, el Embalse de Caonillas está asociado a la operación del Acueducto de la Costa Norte (Superacueducto) ya que descarga agua al Embalse de Dos Bocas, que a su vez suple agua al Superacueducto. Este acueducto es el de mayor capacidad en la Isla, ya que puede transferir hasta 100 mgd de agua potable a la Región Norte desde Arecibo hasta la Zona Metropolitana de San Juan, incluyendo a Caguas, Carolina y Trujillo Alto. En adición, la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) está en proceso de construcción de un nuevo acueducto para servir algunas zonas del Municipio de Utuado cuya fuente será el Embalse de Caonillas. La Tabla 4.1.1-1 resume las características principales de este embalse.

Caonillas está formado por una represa de gravedad de 235 pies de altura y 815 pies de largo. Su capacidad original era de 45,124 acres-pies, lo que lo convierte en el cuarto embalse de mayor capacidad en la Isla. La inspección más reciente de Caonillas (Fase 1) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos de la AEE (referida de aquí en adelante como equivalente a la AEE) el 7 de junio de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. El informe de inspección incluyó nueve (9) recomendaciones Tipo C asociadas a tareas rutinarias de mantenimiento de la represa.

El estudio de capacidad (batimetría) más reciente disponible para este embalse fue realizada en febrero de 2000 por el USGS (Soler-López, 2001c). La misma reflejó que el embalse contaba con un volumen de 34,268 acres-pies, lo que representa una pérdida de un 24.1% de su capacidad original, a una tasa de sedimentación de 209.3 acres-pies/año. Asumiendo esta tasa de sedimentación, la capacidad actual (año 2004) del embalse se estima en 33,433 acres-pies.

La batimetría reflejó un área superficial de 1.04 millas cuadradas. El volumen existente dividido entre el área superficial equivale a la profundidad promedio. Para Caonillas la profundidad promedio equivale a 51.4 pies. Soler-López (2001c) determinó una profundidad máxima en Caonillas de 131 pies.

La sedimentación en este embalse ha sido drásticamente acelerada recientemente por el paso de los huracanes Hortense (septiembre 1996) y Georges (septiembre 1998). Soler-López (2001c) estimó que entre 1995 y el 2000, se acumularon en este embalse cerca de 5,294 acres-pies de sedimentos, o prácticamente la mitad de la sedimentación total ocurrida en el embalse desde su construcción en 1948 (i.e., 10,855 acres-pies). Estos huracanes depositaron hasta 13 pies de sedimentos en algunas secciones del embalse, lo que representa un riesgo a la operación de la estructura de salida de agua del embalse ("penstock"). La batimetría de febrero del 2000 reflejó que en la zona del "penstock", el nivel del fondo del embalse está a cuatro (4) pies por debajo de la corona de dicha estructura. Con el paso de los huracanes, la capacidad de almacenaje inactivo ("dead storage") se redujo a 24.3 acres-pies. Luego del paso del Huracán Georges, la AEE rehabilitó una válvula de salida de sedimentos ("sluice gate") la cual había estado cubierta por cerca de 30 pies de sedimentos. Actualmente, esta válvula controla parcialmente el nivel de agua del embalse, ya que debido a los trabajos de reparación del "penstock", este no ha sido utilizado desde 1998. Debido a la condición de sedimentación en las inmediaciones de la estructura de salida de agua al "penstock", es probable que este periodo de inactividad haya promovido la acumulación de sedimentos más allá de la capacidad de almacenaje inactivo disponible, lo que podría afectar la operación futura del "penstock".

La cuenca hidrográfica del Embalse de Caonillas incluye usos agrícolas y actividades de construcción en zonas urbanas y rurales. También existen zonas densamente forestadas algunas de las cuales están protegidas, incluyendo el Bosque del Pueblo en Adjuntas y el Bosque Estatal de Toro Negro en Jayuya. La tasa histórica de producción de sedimentos fue estimada por Soler-López (2001c) en 3,279 toneladas/milla²/año. En Caonillas aproximadamente el 93% de los sedimentos que descargan por sus afluentes son atrapados en el lago y se precipitan, reduciendo su capacidad útil. Será necesario implantar controles estrictos de erosión y transporte de sedimentos para reducir la tasa de sedimentación en este embalse.

La cuenca de Caonillas recibe un promedio de 90 pulgadas de lluvia al año, resultando en un caudal promedio de entrada al embalse de aproximadamente 8,752 millones de pies cúbicos al año (Soler-López, 2001c). El caudal anual de agua que entra al embalse divido por el volumen de almacenaje equivale a la tasa de renovación del agua, o el número de veces al año que el agua se renueva (*flushing rate*). Para Caonillas, la tasa de renovación de agua es de 5.9 veces al año.

El rendimiento seguro del Embalse de Caonillas para el 1975 fue calculado en 91.2 mgd por el USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE. Desde entonces el cálculo de rendimiento seguro de Caonillas no se ha revisado. Según las proyecciones de Santiago-Vázquez, el rendimiento seguro actualmente es de aproximadamente 93 mgd. Sin embargo, se recomienda revisar este estimado a la luz de la nueva información hidrológica disponible.

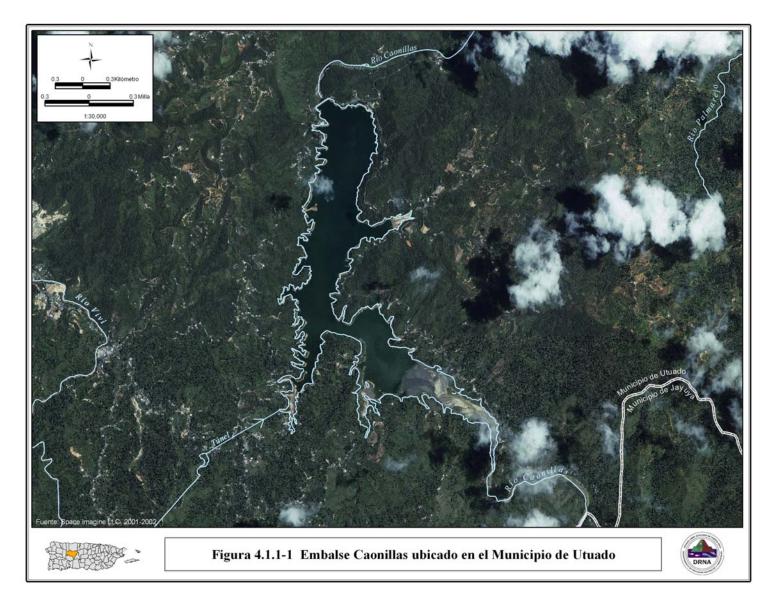
Caonillas es parte de la red de embalses cuya calidad de agua es determinada por la JCA. En su más reciente informe sobre la calidad de las aguas en la Isla (JCA 2003), esta agencia clasificó el estado trófico del Lago Caonillas como eutrófico. Esto significa que la calidad del agua de este embalse está afectada por la contaminación producto de las actividades humanas en la cuenca.

El embalse es habitáculo de lobinas, chopas de pecho colorado, barbudos moteados, barbudos blancos, tilapias y sardinas de agua dulce. El embalse no posee facilidades públicas para acceso de botes, aunque si existen muelles pequeños en propiedades privadas que promueven la pesca recreativa y los paseos en bote (DRNA, 1992).

Tabla 4.1.1-1. Características principales del Embalse de Caonillas.

Cuenca hidrográfica	Río Grande de
Current managramou	Arecibo
Municipio en que está ubicado	Utuado
Año en que se construyó	1948
Agencia dueña	AEE
Uso principal	AAA, Producción
	hidroeléctrica
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alta
Estado físico/estructural en junio de 2000	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas²	85.5
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	826
mar	
Largo total de la represa, pies	815
Altura estructural, pies	235
Área superficial, millas²	1.04
Profundidad máxima en febrero de 2000, pies	131
Profundidad promedio en febrero de 2000, pies	51.4
Capacidad original en 1948, acres-pies	45,124
Capacidad en febrero de 2000, acres-pies	34,268
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	33,433
Capacidad restante en el año 2004, %	74.1
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	209.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	2.44
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	3,279
Fecha estimada de sedimentación completa	2164
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	200,900
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	93
Veces al año en que el agua del lago se renueva	5.86
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	70
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico
Tuentee: AEE 2002: Solar Lánez 2004:: USACE 4075	O and the second of

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López, 2001c; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003.



4.1.2 Carite

El Embalse de Carite forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Carite (Figura 5.1.2), operado por la AEE. El embalse fue construido en el 1913 para almacenar agua tanto para la producción hidroeléctrica como para el riego de los llanos costaneros del sur. El Sistema Hidroeléctrico de Carite contaba originalmente con tres plantas hidroeléctricas con una capacidad de producción de 5,800 kva.

Actualmente la producción hidroeléctrica en este sistema ha cesado y el agua procedente de Carite solo se utiliza para abasto público y riego. El embalse suple agua para abasto público a las plantas de filtración de la AAA en Cayey y Guayama. Además suple agua para usos agrícolas mediante los Canales de Riego Guamaní Este y Guamaní Oeste. La Tabla 4.1.2-1 resume las características principales de este embalse.

Carite está formado por una represa de tierra de 104 pies de altura y 500 pies de largo. El embalse está localizado a una altura aproximada de 1,783 pies sobre el nivel del mar (elevación del vertedor), en el Barrio Carite del Municipio de Guayama (Figura 4.1.2-1). El embalse forma parte del sistema fluvial del Río de la Plata, ubicado en la parte alta de la cuenca hidrográfica de dicho río. Aunque el Río de la Plata drena hacia el norte de Puerto Rico, parte de las aguas de Carite son transferidas hacia las cuencas en la vertiente del sur debido a la operación del Sistema Hidroeléctrico.

Carite es clasificado como un embalse mayor debido a que la altura de su represa que sobrepasa los 100 pies (104 pies). Sin embargo, su capacidad de almacenaje es intermedia, originalmente de 11,310 acres-pies. La inspección más reciente de la presa de Carite (Fase I) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 16 de marzo de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. El informe de inspección incluyó siete (7) recomendaciones; una (1) de Tipo A y seis (6) de Tipo C. La recomendación Tipo A especificaba la necesidad de establecer un programa de inspección mensual debido a que la represa de tierra presentó alguna evidencia de erosión durante la inspección. Las demás recomendaciones producto de la inspección eran de Tipo C asociadas a tareas rutinarias de mantenimiento de la estructura.

La batimetría más reciente disponible para este embalse, fue realizada en octubre de 1999 por el USGS (Soler-López y Carrasquillo-Nieves, 2001). La misma reflejó que, a la fecha de la batimetría, el embalse tenia un área superficial de 0.46 millas cuadradas y un volumen de 8,707 acres-pies, lo que representa una pérdida de aproximadamente el 23% de su capacidad original (11,310 acres-pies), equivalente a una tasa de sedimentación de 30.3 acres-pies/año. Asumiendo esta tasa de sedimentación desde el 1999 hasta el presente, el embalse posee actualmente una capacidad aproximada de 8,557

acres-pies. La profundidad promedio es de 29.4 pies, con una profundidad máxima de 66 pies.

Carite retiene un promedio del 96% del sedimento descargado por sus afluentes (Soler-López y Carrasquillo-Nieves, 2001). La retención de sedimentos es más evidente a lo largo de la "rama" del embalse asociada al Río de la Plata. Se estima que si la sedimentación continua a la misma tasa, el embalse estaría completamente sedimentado para el año 2289.

El embalse descarga agua hacia los canales de Riego Guamaní Este y Guamaní Oeste mediante una estructura de salida de agua en la "rama" sur del embalse, ubicada aproximadamente a 1.5 millas aguas arriba de la represa. Soler-López y Carrasquillo-Nieves (2001) reportaron que, en octubre de 1999, esta estructura (elevación 1,746 pies sobre el nivel del mar) estaba rodeada de una masa de sedimento de cerca de 18 pies de espesor debido a que la sedimentación en esta zona ha aumentado el nivel del fondo a 1,763 pies sobre el nivel del mar. Esto indica que la capacidad de almacenaje de sedimentos ("dead storage") ha sido sobrepasada en este embalse. Aparentemente, la continua descarga de agua a través de esta estructura la mantiene libre de obstrucciones. Si cesaran las descargas a través de esta estructura, la vida útil efectiva del embalse se podría reducir drásticamente. La remoción de sedimentos en las inmediaciones de la estructura de salida de agua así como la descarga continua de agua a través de esta estructura deben considerarse como medidas de manejo prioritarias en este embalse.

La cuenca hidrográfica del Embalse de Carite está cubierta prácticamente en su totalidad por bosques parte del Bosque Estatal de Carite, declarado reserva forestal en 1935. La intensidad de actividades humanas en esta cuenca hidrográfica es relativamente baja. Este uso del terreno no-desarrollado en esta cuenca supone una baja tasa de producción de sedimentos. Sin embargo, Soler-López y Carrasquillo-Nieves (2001) estimaron la tasa histórica de producción de sedimentos en 5,019 toneladas/milla²/año. En comparación con otros embalses, esta tasa es relativamente alta y ha sido asociada a las actividades agrícolas de principios del Siglo XX. Datos más recientes (1986-1999) obtenidos por el USGS indican que la tasa de producción de sedimentos ha disminuido a 4,038 toneladas/milla²/año debido probablemente al aumento en las áreas boscosas.

La cuenca de Carite (área de captación de 8.2 millas cuadradas) recibe un promedio de 80 pulgadas de lluvia al año. Soler-López y Carrasquillo-Nieves (2001) estimaron el caudal promedio de entrada al embalse en aproximadamente 1,372 millones de pies cúbicos al año. Esto equivale a una tasa de renovación de agua de 3.6 veces al año, indicando un rendimiento relativamente bajo en comparación con Carraízo y Caonillas. Esto se debe al tamaño menor de su cuenca de captación.

El rendimiento seguro de Carite fue estimado en 15.6 mgd por USACE en 1975. En 1987, Santiago-Vázquez y otros reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE. Desde entonces el cálculo de rendimiento seguro de Carite no se ha revisado. Se recomienda revisar este estimado a la luz de la nueva información hidrológica disponible.

Carite forma parte de la red de embalses cuya calidad de agua determina periódicamente la JCA. En su más reciente informe sobre la calidad de las aguas en la Isla (JCA, 2003), esta agencia clasificó el estado trófico del Lago Carite como oligotrófico. Esto significa que la calidad del agua de este embalse es superior a la de Caonillas o Dos Bocas. La baja intensidad de actividad humana en la cuenca así como la protección que provee la designación de esta cuenca como reserva forestal, son factores que contribuyen a la mejor calidad de agua en Carite en comparación con otros embalses en la isla.

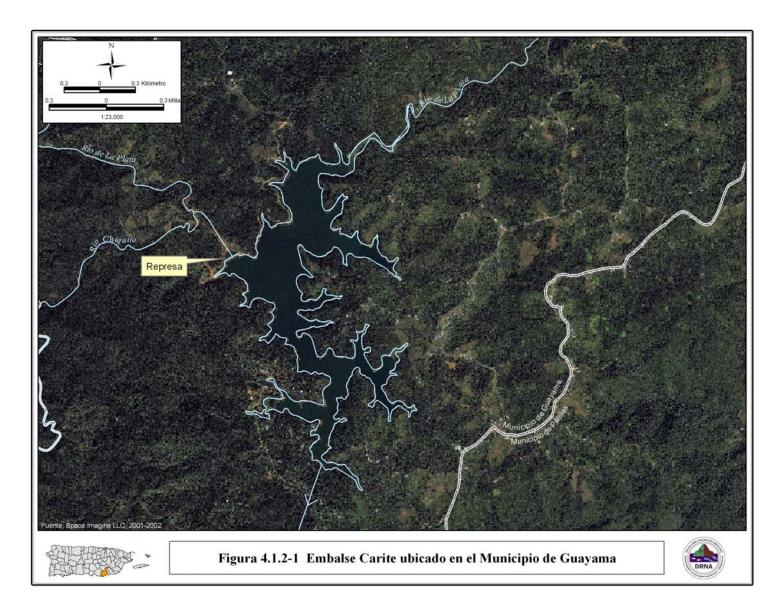
El Embalse de Carite es habitáculo de peces, entre los cuales se encuentran lobinas, chopas, chopas de pecho colorado, barbudos de canal, barbudos blancos, sardinas de agua dulce, tilapias, tucunarés y guavinas. La pesca recreativa es posible mediante accesos por propiedades privadas. La vegetación boscosa en las riberas del lago promueve el desarrollo de vida silvestre, incluyendo una gran variedad de aves (DRNA 1992).



Tabla 4.1.2-1. Características principales del Embalse de Carite.

Cuenca hidrográfica	Río La Plata
Municipio en que está ubicado	Guayama
Año en que se construyó	1913
Agencia dueña	AEE
Uso principal	AAA, Riego
Tipo de represa	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en marzo 2000	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	8.2
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	1,783
mar	
Largo total de la represa, pies	500
Altura estructural, pies	104
Área superficial, millas ²	0.46
Profundidad máxima en octubre 1999, pies	66
Profundidad promedio en octubre 1999, pies	29.4
Capacidad original en 1913, acres-pies	11,310
Capacidad en octubre 1999, acres-pies	8,707
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	8,557
Capacidad restante en el año 2004, %	75.6
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	30.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	3.69
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	5,019
Fecha estimada de sedimentación completa	2289
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	31,500
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	96
Veces al año en que el agua del lago se renueva	3.6
Rendimiento seguro, mgd	15.6
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Oligotrófico

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López y Carrasquillo-Nieves 2001; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003



4.1.3 Cerrillos

El Embalse de Cerillos fue construido entre 1975 y 1991 por autorización del Congreso de los Estados Unidos. El llenado del embalse comenzó en 1992. El lago forma parte del Proyecto de Propósitos Múltiples Portugués-Bucaná el cual consiste de:

- la canalización de 7.8 millas de los ríos Portugués y Bucaná;
- la construcción de un canal de 1.3 millas para desviar el Río Portugués hacia el Río Bucaná;
- la construcción de la represa y embalse Cerillos; y
- la construcción de la represa y embalse Portugués.

El Proyecto de Propósitos Múltiples Portugués-Bucaná fue diseñado por el USACE, quien además está a cargo de la administración y supervisión de la construcción. Este Proyecto fue diseñado principalmente para control de inundaciones en la ciudad de Ponce. Cerillos, además de proveer control contra las inundaciones, provee agua para abasto público a la AAA. Además, el Proyecto provee zonas para la recreación de la comunidad.

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) fue la agencia local a cargo de la coordinación del desarrollo del Proyecto, y desde 1997 está encargada de la operación del Embalse de Cerillos. El costo del Proyecto fue de \$185 millones, de los cuales \$68.5 millones fueron asignaciones del Gobierno Federal y 116.5 millones del ELA (USACE y DRNA, 2000).

Cerillos está localizado en el Municipio de Ponce a aproximadamente 2.5 millas al norte su centro urbano. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Bucaná y ubica a 611 pies sobre el nivel del mar (tope del vertedor). El área de captación del embalse es de 17.5 millas cuadradas. Esta cuenca recibe cerca de 93 pulgadas de lluvia al año. El Rió Bucaná discurre a través de la Ciudad de Ponce y eventualmente descarga al Mar Caribe al este del Puerto de Ponce. La Tabla 4.1.3-1 resume las características principales de este embalse y la Figura 4.1.3-1 muestra su localización.

El embalse es el segundo en tamaño en Puerto Rico (luego de Toa Vaca). El embalse posee una represa de escollera de 323 pies de alto y 1,555 pies de largo. Su volumen de almacenaje inicial era de 47,900 acres-pies y está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor. El almacenaje de agua incluye 17,100 acres-pies para control de inundaciones y 25,000 acres-pies para abasto público. Además posee cerca de 5,800 acres-pies para almacenaje de sedimentos. El embalse se ha diseñado con una vida útil de 100 años y posee un rendimiento seguro de 22 mgd (USACE, 2002). Actualmente, la AAA opera una toma de agua conectada al embalse para suplir una de las plantas de

filtración de Ponce, extrayendo hasta 25 mgd de agua cruda del mismo. Recientemente, la AFI comenzó la construcción de una toma de agua en la base de la presa, aguas abajo del embalse, donde un manantial descarga aproximadamente 2 mgd. Esta agua proviene del embalse, según reflejado por análisis químicos, filtrándose a través de las rocas en su fondo. Esto no representa un riesgo a la presa o el embalse, sino una condición natural de filtración en rocas volcánicas.

La inspección más reciente de Cerillos (Fase 1) fue realizada por la AEE el 8-9 de mayo de 2003 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron 19 recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. Además, la Unidad realizó una (1) recomendación Tipo A solicitando reparaciones en el medidor de flujo a la salida del embalse y realizar mediciones de caudal y de calidad de agua.

Aún no se han realizado batimetrías en el embalse desde que comenzó a llenarse en 1992. Sin embargo, en el documento guía de operación del embalse, el USACE provee datos sobre la magnitud de la sedimentación esperada al cabo de los 100 años de vida útil del embalse. Según el USACE (1997), el embalse está diseñado con una eficiencia de retención de sedimentos de 95% y se espera que al cabo de 100 años haya perdido aproximadamente el 21.1%, o 4,935 acres-pies, de su capacidad inicial a causa de la sedimentación, lo que supone una tasa de sedimentación de 49.4 acres-pies por año. A esta tasa de sedimentación, y asumiendo que la operación no será afectada por otras causas, se puede inferir que el embalse estará completamente sedimentado para el año 2962, mucho más tiempo que el diseño del USACE.

La lluvia promedio en la cuenca del Embalse de Cerillos de 92.65 pulgadas al año (Ramos-Ginés 1999). El factor de escorrentía/lluvia para el Río Cerrillos, que alimenta el embalse, es de 0.48 (Giusti y López, 1967), por lo que se estimó el caudal anual promedio de entrada (área de captación = 17.5 millas cuadradas) en 1,808 millones de pies cúbicos al año. Este caudal equivale a la tasa de renovación de agua de 0.87 veces al año, lo que indica que, teóricamente, la masa de agua del embalse toma aproximadamente 14 meses en reemplazarse completamente, un tiempo relativamente alto comparado con otros embalses de la Isla. Esto se debe al tamaño menor de su área de captación.

La JCA clasificó a Cerillos como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. El embalse será habilitado con áreas recreativas y rampas para promover la pesca. Dada la importancia de este embalse para la zona de Ponce, se recomienda la controles estrictos de control de sedimentos y el desarrollo de un programa de monitoreo para estudiar la sedimentación en el embalse. Además se recomienda fortalecer los programas de control de fuentes dispersas y precisas de contaminación para

reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua.

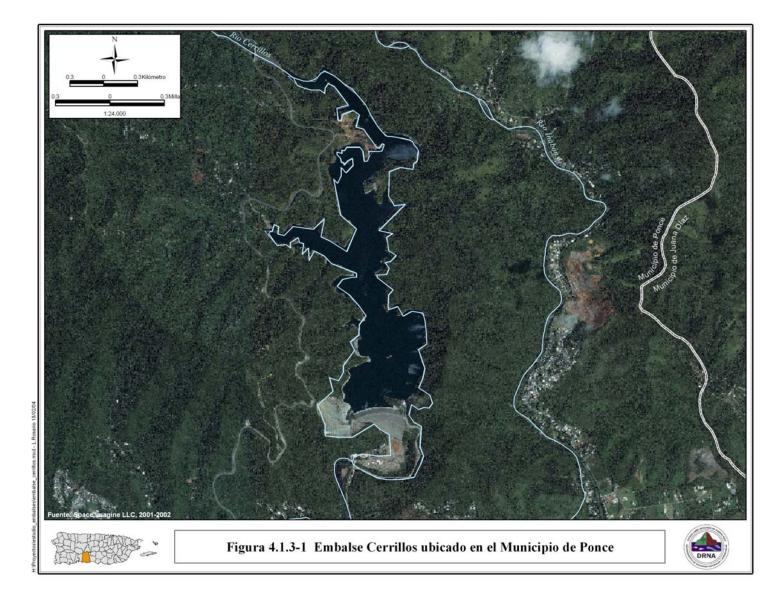


Tabla 4.1.3-1. Características principales del Embalse de Cerillos.

Cuenca hidrográfica	Río Bucaná
Municipio en que está ubicado	Ponce
Año en que se construyó	1991
Agencia dueña	DRNA
Uso principal	AAA, Control de
	inundaciones
Tipo de represa	Escollera
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 8-9 de mayo de 2003	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	17.5
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	611.3
mar	
Largo total de la represa, pies	1,555
Altura estructural, pies	323
Área superficial (al nivel del vertedor), millas ²	0.82
Profundidad máxima (al nivel del vertedor), pies	290
Profundidad promedio (al nivel del vertedor), pies	91.3
Capacidad original en 1991, acres-pies	47,900
Capacidad calculada en la última batimetría, acres-	N.D.
pies	
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	47,258
Capacidad restante en el año 2004, %	99
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	49.4
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	2.82
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	N.D.
Fecha estimada de sedimentación completa	2962
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	41,500
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	95
Veces al año en que el agua del lago se renueva	0.87
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	22.0
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico
Fuentee: AEE 2002: LICACE 1007: ICA 2002	

Fuentes: AEE 2002; USACE 1997; JCA 2003.

N.D. significa no disponible.



4.1.4 Dos Bocas

El Embalse de Dos Bocas, construido en el 1942, forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Caonillas-Dos Bocas. El embalse fue diseñado para almacenar agua para la producción hidroeléctrica en la Planta Dos Bocas, hoy con una capacidad de producción de 5,000 kva. La figura 5.1.6 presenta un esquema del sistema hidroeléctrico de Dos Bocas. Dos Bocas es formado por una represa de gravedad de 188 pies de altura y 1,317 pies de largo. Está clasificado por la AEE (2002) como una represa mayor (por el criterio de altura). El embalse está localizado a una altura aproximada de 295 pies sobre el nivel del mar (elevación del vertedor). Sus aguas yacen sobre parte de los municipios de Arecibo y Utuado, en la cuenca hidrográfica del Río Grande de Arecibo, aproximadamente 4 millas aguas abajo del Embalse de Caonillas. El área de captación natural de Dos Bocas es de aproximadamente 170 millas cuadradas. Los tributarios principales del embalse son el Río Limón, Río Caonillas y el Río Grande de Arecibo. Estudios del USGS en 1999 reflejaron que el embalse posee un área superficial de 0.99 millas cuadradas, una profundidad promedio de 23 pies y una profundidad máxima de 74 pies (Soler-López, 2001e). La Figura 4.1.4-1 muestra la ubicación de este embalse y la Tabla 4.1.4-1 resume sus características principales.

Dos Bocas, además de proveer agua para producción hidroeléctrica, provee agua para abasto público. Desde el año 1998, el embalse ha sido parte integral del Acueducto de la Costa Norte (Superacueducto). Luego de producir electricidad en la Planta Dos Bocas, las aguas del embalse son descargadas al Río Grande de Arecibo, donde luego parte del caudal es desviado hacia una laguna de retención ubicada aguas arriba de la confluencia con el Río Tanamá, con una capacidad de 300 millones de galones de agua. El agua es entonces bombeada a la Planta Antonio Santiago Vázquez, en el Barrio Miraflores de Arecibo, donde son potabilizadas y enviadas por gravedad hacia los municipios de la Región Norte, incluyendo la Zona Metropolitana de San Juan. El Acueducto de la Costa Norte es el más grande de la Isla con una capacidad de producción de 100 millones de galones por día.

Otro uso de Dos Bocas es el de transportación. El Departamento de Transportación y Obras Públicas provee servicio de transportación con lanchas a los residentes de las orillas del lago, así como a turistas que visitan la zona. Para proveer un servicio de transportación satisfactorio, el nivel del embalse es mantenido a un nivel relativamente estable y suficientemente alto.

La inspección más reciente del Lago Dos Bocas (Fase 1) fue realizada por la AEE el 11 de agosto de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. El informe de inspección incluyó siete (7) recomendaciones Tipo C asociadas a tareas rutinarias de mantenimiento de la represa.

En la última década, el USGS realizó dos batimetrías en este embalse. La primera fue realizada en junio de 1997 (Soler-López y Webb 1998) y le segunda en octubre de 1999 (Soler-López 2001e). La segunda batimetría fue realizada con el propósito de documentar los efectos del Huracán Georges que afectó la isla en septiembre de 1998. Previamente en 1985, el USGS realizó en cooperación con el Servicio de Conservación de Suelos Federal, una batimetría del embalse (Quiñones y otros 1989).

La capacidad de almacenaje original (1942) de Dos Bocas era de 30,420 acrespies. La última batimetría realizada en octubre de 1999 reflejó que el embalse tiene una capacidad de 14,625 acres-pies, lo que representa una pérdida de aproximadamente el 52% de su capacidad original, correspondiente a una tasa de sedimentación de 277 acres-pies/año. Asumiendo una tasa de sedimentación similar desde el 1999, la capacidad actual del embalse es de aproximadamente 13,241 acres-pies.

La capacidad de almacenaje de Dos Bocas se redujo drásticamente luego del paso de los huracanes Hortense (septiembre 1996) y Georges (septiembre 1998). Soler-López (2001e) estimó que entre 1994 y 1999, se acumularon en este embalse cerca de 2,651 acres-pies de sedimentos, o aproximadamente un 17% de la acumulación histórica de sedimentos, estimada en 15,776 acres-pies. El Embalse de Caonillas, aguas arriba de Dos Bocas, perdió aproximadamente 5,200 acres-pies de almacenaje durante este mismo periodo (Soler-López, 2001e), equivalente a la mitad de la pérdida desde su construcción en 1942. Durante estos eventos extraordinarios, Caonillas retuvo gran parte de los sedimentos transportados por el Río Caonillas, lo que evitó una sedimentación mayor en Dos Bocas. Mientras la "rama" de Dos Bocas asociada al Río Grande de Arecibo mostró un promedio de 13 pies de acumulación de sedimentos, la "rama" asociada al Río Caonillas no mostró acumulación significativa.

La sedimentación provocada por estos huracanes en Dos Bocas redujo su vida útil en aproximadamente nueve (9) años, ya que para 1997 se estimaba que el embalse tendría una vida útil hasta 2061, mientras que para 1999 esta se había reducido al 2052. La capacidad de almacenaje de sedimentos (*dead storage*) prácticamente se ha agotado, ya que se estima en solo 794 acres-pies. En octubre de 1999, el tope de la estructura de salida de agua del "penstock" estaba cerca de 14 pies por encima del nivel de fondo.

Si la sedimentación de Dos Bocas continúa a una tasa similar a la de la última década, el *penstock* podría quedar cubierto por los sedimentos, lo que afectaría la producción hidroeléctrica y la operación del Acueducto de la Costa Norte. Debido a la importancia del Dos Bocas y a los efectos previsibles de la sedimentación de este embalse, se recomienda que se realice un dragado de emergencia en la zona cercana a la estructura de salida al "penstock", como una medida previa a un dragado mayor de este embalse. Es imperativo que la producción eléctrica en la Planta Dos Bocas continúe, pues esta actividad

mantiene libre de sedimentos el "penstock" y viables las descargas de agua que suplen al Acueducto de la Costa Norte.

La cuenca hidrográfica de Dos Bocas incluye usos agrícolas y actividades de construcción en zonas urbanas y rurales en los municipios de Adjuntas, Jayuya y Utuado. También existen zonas de bosques densos, algunas de las cuales están protegidas como el Bosque del Pueblo en Adjuntas y el Bosque Estatal de Toro Negro en Jayuya. La tasa histórica de producción de sedimentos fue estimada por Soler-López (2001e) en 3,566 toneladas/milla²/año. La fracción de sedimentos atrapados en este embalse ("sediment trapping efficiency") es de 80%, relativamente baja comparada con otros embalses en Puerto Rico. Sin embargo, dada la importancia de este embalse en la operación del Superacueducto, será necesario establecer programas inmediatos para el control de la erosión y el transporte de sedimentos al embalse, y así reducir su tasa de sedimentación al mínimo posible.

Quiñones y otros (1989) estimaron el caudal promedio de entrada a Dos Bocas en aproximadamente 14,157 millones de pies cúbicos al año. El caudal equivale a la tasa de renovación del agua del embalse de 22.2 veces al año, una de las más altas entre los embalses de Puerto Rico. Esto se debe a la combinación de lluvia abundante en su cuenca y el gran tamaño de su cuenca de drenaje.

El rendimiento seguro de Dos Bocas fue calculado en el 1975 en 91.2 mgd por el USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE. El rendimiento seguro de este embalse fue estimado recientemente por Morris (1995) como parte del diseño del Acueducto de la Costa Norte. Según Morris, el rendimiento seguro del Lago de Dos Bocas es de 54 mgd.

Dos Bocas forma parte de la red de embalses cuya calidad de agua es determinada por la JCA. En su más reciente informe sobre la calidad de las aguas en la Isla (JCA 2003), esta agencia clasificó el estado trófico de Dos Bocas como mesotrófico. Esto significa que la calidad del agua de este embalse está afectada por la contaminación producto de las actividades humanas en la cuenca. Probablemente, la alta tasa de renovación de agua de este embalse mantenga la calidad de agua en condiciones aceptables a pesar de la diversidad de fuentes de contaminación que afectan el agua en el embalse.

Dos Bocas es habitáculo de lobinas, chopas, barbudos, sardinas de agua dulce y tilapias. Existen facilidades públicas para acceso de botes. Estas son administradas por el Departamento de Transportación y Obras Públicas. La pesca recreativa y los paseos en lanchas por el lago son actividades preferidas por muchas personas que visitan el lago frecuentemente (DRNA 1992).

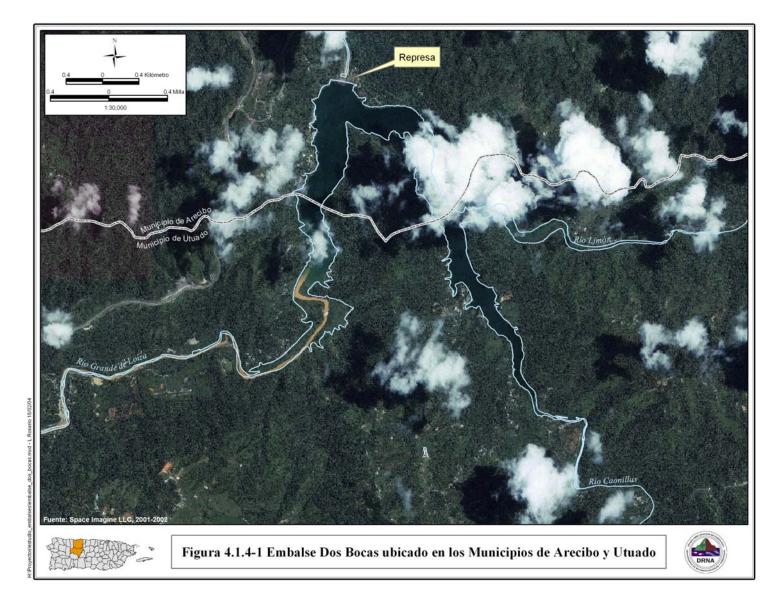
En 2003, la AAA preparó un borrador de un plan de manejo para la cuenca del Río Grande de Arecibo como parte de los permisos para el Superacueducto. Este plan presenta una serie de recomendaciones relacionadas al manejo del terreno y la prevención de la contaminación de las aguas. La implantación de este plan es necesaria debido a la importancia de la cuenca para los abastos de agua del país. Se recomienda la adopción e implantación inmediata de este plan.



Tabla 4.1.4-1. Características principales del Embalse de Dos Bocas.

Cuanaa hidra mética	Día Oranda da
Cuenca hidrográfica	Río Grande de Arecibo
Municipio en que está ubicado	Utuado y Arecibo
Año en que se construyó	1942
Agencia dueña	AEE
Uso principal	AAA, Producción
	hidroeléctrica
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en junio de 2000	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	170
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	295
mar	
Largo total de la represa, pies	1,315
Altura estructural, pies	188
Área superficial, millas ²	0.99
Profundidad máxima en octubre de 1999, pies	74
Profundidad promedio en octubre de 1999, pies	23
Capacidad original en 1942, acres-pies	30,420
Capacidad en octubre de 1999, acres-pies	14,625
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	13,241
Capacidad restante en el año 2004, %	43.6
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	277
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.63
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	3,566
Fecha estimada de sedimentación completa	2052
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	325,000
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	80
Veces al año en que el agua del lago se renueva	22
Rendimiento seguro estimado	52
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Mesotrófico
Fuentes: AFE 2002: Soler-Lónez 2001e: LISACE 10	075 Cantiago Vázguez

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López, 2001e; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003



4.1.5 Garzas

El Embalse de Garzas, construido en el 1943, forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Garzas. El embalse fue diseñado para almacenar agua para la producción hidroeléctrica. La figura 5.1.8 presenta un esquema del sistema hidroeléctrico del Embalse Garzas. Luego de generar electricidad en dos plantas hidroeléctricas, hoy con una capacidad de producción de 8,600 kva, el agua es utilizada como una fuente de agua para abasto público en zonas de los municipios de Ponce y Peñuelas.

Garzas es formado por una represa de tierra de 202 pies de alto y 910 pies de largo sobre el Río Vacas en el Municipio de Adjuntas. Está clasificada por la AEE (2002) como una represa de tamaño mayor (por el criterio de altura) y de alto riesgo debido a la cantidad de residentes y propiedad ubicada aguas debajo de la presa. El embalse está localizado a aproximadamente tres (3) millas al sureste del pueblo de Adjuntas a una altura aproximada de 2,414 pies sobre el nivel del mar (elevación del vertedor).

Hidrológicamente, este embalse forma parte de la cuenca hidrográfica del Río Grande de Arecibo. Sin embargo, operacionalmente, sus aguas drenan hacia las vertientes del sur debido a la operación hidroeléctrica. El área de captación de Garzas es de aproximadamente seis (6) millas cuadradas. El embalse está construido sobre el Río Vacas, uno de los tributarios más elevados del Río Grande de Arecibo. La Figura 4.1.5-1 muestra la ubicación de este embalse mientras que la Tabla 4.1.5-1 resume sus características principales.

La inspección más reciente de Garzas (Fase 1) fue realizada por la AEE en febrero de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. La Unidad realizó 13 recomendaciones todas Tipo C asociadas a trabajos rutinarios de mantenimiento.

La lluvia promedio en la cuenca del Lago Garzas es de aproximadamente 90 pulgadas al año. Soler-López y otros (1999a) estimaron el caudal promedio de entrada al embalse en aproximadamente 13,450 acres-pies al año. La tasa de renovación del agua del Lago Garzas, o el número de veces al año que el agua se renueva, es de 3.3 veces al año.

La última batimetría realizada en este embalse fue en septiembre de 1996 por el USGS (Soler-López y otros 1999a). La capacidad de almacenaje original (1943) de Garzas era de 4,702 acres-pies. La batimetría de 1996 reflejó que el embalse tenía una capacidad de 4,143 acres-pies, lo que representa una pérdida de aproximadamente el 12% de su capacidad original, equivalente a una tasa de sedimentación de 10.6 acres-pies/año. Asumiendo que esta tasa de sedimentación ha prevalecido desde 1996, la capacidad actual (2004) del embalse se estima en aproximadamente 4,058 acres-pies, con una vida útil hasta el año 2389. La tasa histórica de acumulación de sedimentos en Garzas

es de aproximadamente 1,463 toneladas/milla²/año, relativamente baja comparada con otros embalses en Puerto Rico. Este estudio reveló un área superficial de 0.15 millas cuadradas, una profundidad promedio de 42 pies y una profundidad máxima de 98 pies.

Aunque la tasa de sedimentación en el Lago Garzas ha sido relativamente baja comparada con otros embalses, esta ha dejado inservible uno (1) de los dos (2) túneles de salida de agua de este embalse. El espesor de los sedimentos depositados en este embalse desde 1978, año en que se realizó la penúltima batimetría, varían entre 6.7 pies en la "rama" noroeste hasta 30 pies en la zona cercana el vertedor. Soler-López y otros (1999a) han determinado la eficiencia de retención de sedimentos en 95%.

El paso del Huracán Hortense y Georges por Puerto Rico en septiembre de 1996 y en septiembre de 1998, respectivamente, provocaron un aumento en la tasa de sedimentación en los embalses Caonillas y Dos Bocas. El impacto del paso de estos huracanes en la sedimentación del Lago Garzas es desconocido ya que no se han realizado batimetrías desde 1996. Aunque la información disponible sugiere que la vida útil de este embalse parece no estar amenazada por el momento, este panorama podría verse alterado si, al igual que en los embalses aguas abajo, las inundaciones provocadas por estos huracanes hubiesen provocado un aumento en la sedimentación del Lago Garzas. Por esta razón se recomienda que se realice una nueva batimetría de este embalse.

El rendimiento seguro del Lago Garzas fue calculado en el 1975 en 10.4 mgd por USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE y proyectaron que al 2020 este será de 10.4 mgd. Usando estos datos, el rendimiento seguro el 2004 de este embalse fue estimado por interpolación en 10.1 mgd. Este estimado debe ser revisado a la luz de la nueva información hidrológica y batimétrica disponible.

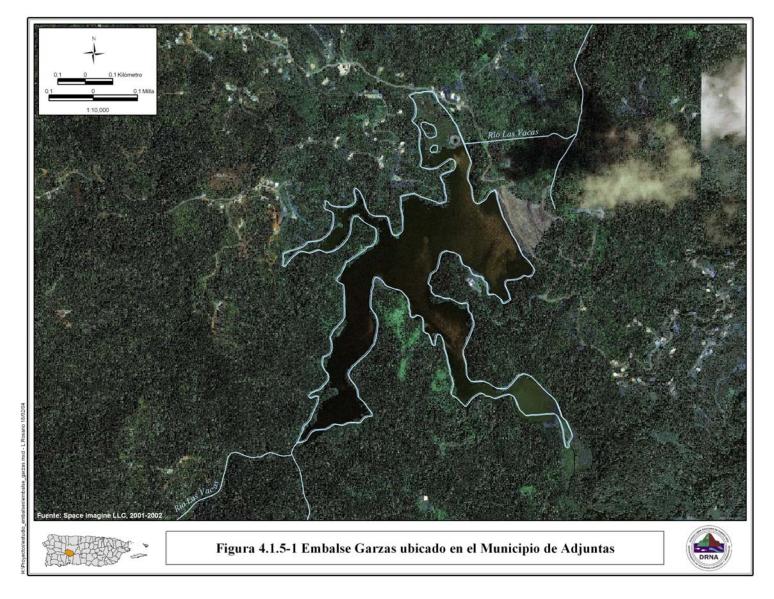
La cuenca hidrográfica del Lago Garzas está cubierta principalmente por bosques densos y las actividades humanas están limitadas en esa zona. El embalse está ubicado dentro de los límites del Bosque Estatal de Guilarte, por lo que la cuenca está protegida por ley. Esto explica la baja tasa de sedimentación y la alta calidad del agua. La JCA clasificó el Lago Garzas como oligotrófico, lo que significa que el agua del embalse es de buena calidad para la mayoría de los usos. El embalse es habitáculo de lobinas, chopas caracoleras, sardinas de agua dulce y barbudos blancos (DRNA 1992).

Dada la importancia de este embalse para la operación hidroeléctrica y la de los sistemas de acueductos de Peñuelas y Ponce, se recomiendan que mantengan controles estrictos de control de sedimentos para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mantener la calidad del agua.

Tabla 4.1.5-1. Características principales del Embalse de Garzas.

Cuenca hidrográfica	Río Grande de
Cuerica filurografica	Arecibo
Municipio en que está ubicado	Adjuntas
Año en que se construyó	1943
Agencia dueña	AEE
Uso principal	Producción
	hidroeléctrica
Tipo de represa	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en febrero de 2001	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	6.02
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	2,414
mar	
Largo total de la represa, pies	910
Altura estructural, pies	202
Área superficial, millas ²	0.15
Profundidad máxima en septiembre de 1996, pies	98
Profundidad promedio en septiembre de 1996, pies	42
Capacidad original en 1943, acres-pies	4,702
Capacidad en septiembre de 1996, acres-pies	4,143
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	4,058
Capacidad restante en el año 2004, %	88
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	10.6
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.75
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	1,463
Fecha estimada de sedimentación completa	2389
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	13,500
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	95
Veces al año en que el agua del lago se renueva	3.3
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	10.1
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Oligotrófico

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López y otros 1999a; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003.



4.1.6 Guajataca

El Embalse de Guajataca fue construido en el 1928 como parte del Distrito de Riego de Isabela, creado mediante la Ley de Riego Público de Isabela de 1919. Originalmente, el embalse fue diseñado para distribuir agua principalmente para riego a lo largo de un canal de derivación de 10 millas de largo. Ya para el 1937, el sistema de canales fue adaptado para la producción de electricidad en cuatro plantas hidroeléctricas. Actualmente, la producción hidroeléctrica ha cesado y el uso principal del embalse es el de abasto público, siendo la fuente principal de agua para la región noroeste, incluyendo los municipios de Isabela, Aguadilla, Rincón y Aguada. El riego agrícola todavía ocurre, aunque este uso se ha reducido drásticamente en las últimas décadas.

Guajataca es formado por una represa de tierra de 123 pies de alto y 1,036 pies de largo. Su capacidad de almacenaje original era de 39,827 acres-pies. El embalse está localizado entre los municipios de San Sebastián, Isabela y Quebradillas. La elevación del vertedor de la represa es aproximadamente 664 pies sobre el nivel del mar.

Hidrológicamente, este embalse forma parte de la cuenca hidrográfica del Río Guajataca. El área de captación del Lago Guajataca es de aproximadamente 30.8 millas cuadradas. La Figura 4.1.6-1 muestra la ubicación de este embalse mientras que la Tabla 4.1.6-1 resume sus características principales. La lluvia promedio en su cuenca es de aproximadamente 86 pulgadas al año. Soler-López y otros (2000a) estimaron el caudal promedio de entrada al embalse en aproximadamente 3,688 millones de pies cúbicos al año. La tasa de renovación del agua del Lago Guajataca, o el número de veces al año que el agua se renueva, es de 2.5 veces al año.

El embalse está clasificado por la AEE de tamaño mayor. La inspección más reciente de Guajataca (Fase 1) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos en diciembre de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.

La última batimetría disponible para el embalse fue realizada por el USGS en enero de 1999 (Soler-López y otros 2000a). Esta batimetría reflejó que el embalse tiene un volumen de 34,276 acres-pies, lo que representa una pérdida de un 13% de su capacidad original. El embalse se ha sedimentado a una tasa de 71 acres-pies/año, lo que implica que asumiendo que esta tasa de sedimentación ha continuado hasta el presente, el embalse posee una capacidad aproximada de 33,924 acres-pies y estaría completamente sedimentado para el año 2485. La cuenca hidrográfica muestra una tasa histórica de producción de sedimentos de 3,077 toneladas/milla²/año. El estudio del USGS reveló un área superficial de 1.32 millas cuadradas, una profundidad promedio de 41 pies y una profundidad máxima de 88.6 pies.

El 96% de los sedimentos que entran al Lago Guajataca son retenidos en el embalse (Soler-López y otros 2000a). Sin embargo, la operación del embalse parece no estar amenazada por la sedimentación en el futuro inmediato. Según el informe del USGS, se estima que, a la tasa de sedimentación actual, la estructura de salida de agua del embalse podría afectarse por la sedimentación en 99 años.

El rendimiento seguro de Guajataca fue calculado en el 1975 en 42.6 mgd por el USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE y proyectaron que al 2020 este será de 41.0 mgd. Usando estos datos, el rendimiento seguro de este embalse al 2004 fue estimado por interpolación en 41.5 mgd. Este estimado debe ser revisado a la luz de la nueva información hidrológica y batimétrica disponible.

La cuenca hidrográfica del Lago Guajataca está sujeta a varios usos de terreno, incluyendo actividades agrícolas, residenciales, comerciales e industriales. En 2003, la JCA clasificó el Lago Guajataca como mesotrófico, lo que significa que el agua del embalse muestra indicios de contaminación lo que podría afectar el abasto de agua en un futuro. La diversidad de usos y la importancia de este embalse para el abasto público de agua en la región sugiere que la cuenca debe ser manejada de forma integral. En 1999, la AFI, en representación de la AAA, preparó un plan de manejo para la cuenca del Río Guajataca como parte de los estudios asociados al Proyecto del Acueducto Regional del Noroeste. Este plan debería revisarse y considerarse como un posible plan de manejo para esta región.

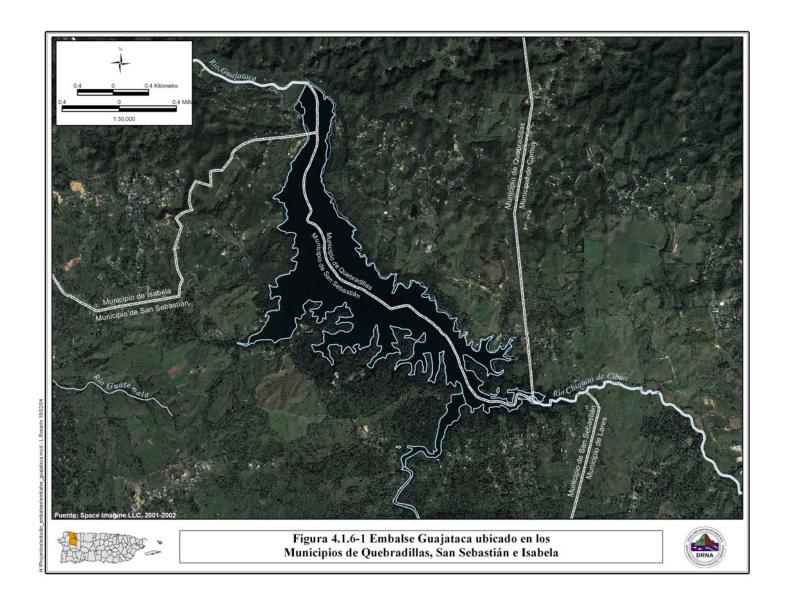
La recreación es un uso importante en el embalse de Guajataca. El DRNA maneja una zona del embalse como área recreativa donde se practica la pesca recreativa, la navegación y diversas actividades al aire libre. Además existe una zona de acampar muy frecuentada. Las siguientes especies de peces son comunes en este embalse: lobinas, chopas, barbudos blancos, sardinas de agua dulce, tucunares y tilapias. En el embalse, existen facilidades para acampar y para acceso de botes (DRNA 1992).

Dada la importancia de este embalse para abasto de agua de la región, para el riego y de su importancia recreativa, se recomienda que se mantengan medidas estrictas de control de sedimentos y de posibles fuentes de contaminación de agua para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y así mejorar la calidad del agua.

Tabla 4.1.6-1. Características principales del Embalse de Guajataca.

	<u> </u>
Cuenca hidrográfica	Río Guajataca
Municipio en que está ubicado	Quebradillas, Isabela
	y San Sebastián
Año en que se construyó	1928
Agencia dueña	AEE
Uso principal	AAA, Riego
Tipo de represa	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en diciembre 2000	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	30.8
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	664
mar	
Largo total de la represa, pies	1,036
Altura estructural, pies	123
Área superficial, millas ²	1.32
Profundidad máxima en enero de 1999, pies	88.6
Profundidad promedio en enero de 1999, pies	40.6
Capacidad original en 1928, acres-pies	39,287
Capacidad en enero de 1999, acres-pies	34,276
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	33,924
Capacidad restante en el año 2004, %	86.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	70.6
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	2.29
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	3,077
Fecha estimada de sedimentación completa	2485
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	84,700
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	96
Veces al año en que el agua del lago se renueva	2.5
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	41
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA	Mesotrófico
(2003)	

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López y otros 2000a; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003.



4.1.7 Guayabal

El Embalse de Guayabal forma parte del Distrito de Riego de la Costa Sur, creado mediante la Ley de Riego Público de 1908. El Distrito de Riego de la Costa Sur se extiende desde el Río Portugués en Ponce hasta el Río Grande de Patillas en Patillas. El embalse, construido en el año 1913, está ubicado en la zona occidental del Distrito. Las aguas del embalse descargan al Canal de Juana Díaz que a su vez provee riego a 14,000 acres de terrenos agrícolas (AEE, 2002).

Guayabal está localizado en el Municipio de Juana Díaz, a aproximadamente dos (2) millas al norte de la zona urbana, en la cuenca hidrográfica del Río Jacagüas. Durante el periodo entre 1913 y 1972 el embalse tenía un área de captación de 43.2 millas cuadradas. Sin embargo, en 1972 se construyó el Embalse de Toa Vaca en el Río Toa Vaca, tributario del Lago Guayabal. Toa Vaca captura prácticamente las escorrentías del Río Toa Vaca hacia el Lago Guayabal, reduciendo su área de captación causando que el área de drenaje del Lago Guayabal se redujera a 21 millas cuadradas. Sin embargo, el Lago Guayabal está conectado al Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro a través de las descargas de agua al Río Jacagüas de la Planta Hidroeléctrica Toro Negro I La Figura 3.1.5 presenta un esquema del sistema hidroeléctrico de Toro Negro. De manera, que operacionalmente, el área de drenaje del embalse es de al menos 27 millas cuadradas si se añaden las áreas de captación de los embalses Matrullas (4.42 millas cuadradas) y El Guineo (1.57 millas cuadradas), ambos embalses del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro.

El Lago Guayabal posee una elevación (al tope del vertedor reconstruido cerca del 1951) de 331 pies sobre el nivel del mar. El embalse posee una represa de contrafuerte tipo Ambursen de 130 pies de alto. La Figura 4.1.7-1 muestra la ubicación de este embalse. La Tabla 4.1.7-1 muestra las características principales de este embalse.

Este embalse es clasificado como un embalse mayor debido a la altura de su represa que sobrepasa los 100 pies. La inspección más reciente del Lago Guayabal fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 18 de diciembre de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Doce de las 13 recomendaciones producto de la inspección eran del Tipo C, todas asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. La Unidad realizó una recomendación Tipo B que sugería una evaluación estructural de la represa bajo condiciones normales, de terremoto e inundaciones extremas siguiendo las últimas guías federales de seguridad de represas.

El embalse posee una capacidad de diseño de 9,583 acres-pies (Soler-López 2004a). La erosión asociada a las actividades agrícolas de principios del Siglo

XX produjo problemas de sedimentación en este embalse que obligaron a la Autoridad de Fuentes Fluviales (AFF) en 1951 a elevar el nivel de la represa en 16 pies para recobrar parte de la capacidad perdida y añadir capacidad de almacenaje de agua adicional. En efecto, luego de estas obras la capacidad del embalse sobrepasó la capacidad original por 218 acres-pies.

El rendimiento seguro del Lago Guayabal fue calculado en el 1975 en 21.4 mgd por USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE y proyectaron que al 2020 este será de 18.8 mgd. Usando estos datos, el rendimiento seguro al año 2004 de este embalse fue estimado por interpolación en 19.7 mgd. Sin embargo, este estimado debe ser revisado a la luz de la nueva información hidrológica y batimétrica disponible.

La última batimetría disponible para este embalse fue realizada en diciembre de 2001 por el USGS (Soler-López 2004a). Esta reflejó que la capacidad del embalse era de 4,962 acres-pies, o 52 % de la capacidad original. Luego de la construcción del Lago Toa Vaca en 1972, la tasa de sedimentación de Guayabal se redujo de 162 acres-pies por año (1951-1972) a 49.5 acres-pies por año (1972-2001). En las últimas tres (3) décadas, la tasa de sedimentación en términos de masa se ha estimado en 3,199 toneladas por milla cuadrada por año (Soler-López 2004a).

Según la última batimetría, se han depositado entre 13 y 70 pies de sedimentos a través del lago a una razón entre 0.8 pies por año cerca de la represa hasta 1.6 pulgadas al año en la zona del Río Jacagüas. La sedimentación en Guayabal afecta su operación debido a que su capacidad de almacenaje de sedimentos ("dead storage") ha sido agotada. La sedimentación ha comenzado a reducir la capacidad de almacenaje activo ("live storage") del embalse y ha puesto en riesgo la estructura de control de salida de agua que suple agua al Canal de Juana Díaz. Para diciembre de 2001, esta estructura estaba rodeada de una masa de sedimentos de 10 pies de alto. Se recomienda un dragado de emergencia en las inmediaciones de la estructura de salida de agua que suple agua al canal de Juana Díaz ante la inminente posibilidad de que esta quede inhabilitada por la sedimentación.

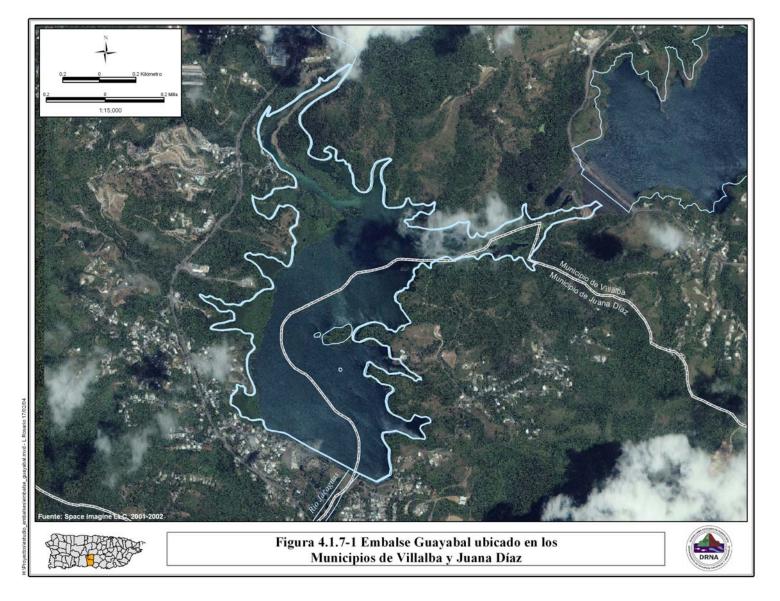
El Lago Guayabal ha sido clasificado por la JCA como eutrófico a la luz de análisis de fósforo total realizados en el embalse durante los pasados años. Esta clasificación sugiere problemas de contaminación en la cuenca hidrográfica. Según el DRNA (1992), la pesca en este embalse consiste de chopas, lobinas, barbudos y tilapias. Existen propiedades privadas que permiten el acceso de botes para promover la pesca recreativa.

Tabla 4.1.7-1. Características principales del Embalse de Guayabal.

Cuana hidragráfica	Día Jacagina
Cuenca hidrográfica	Río Jacagüas
Municipio en que está ubicado	Juana Díaz
Año en que se construyó	1913
Agencia dueña	ELA
Uso principal	Riego
Tipo de represa	Contrafuerte
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural el 18 de diciembre de 2001	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	21 ^a
Elevación al tope del vertedor reconstruido, pies	331
sobre el nivel del mar	
Largo total de la represa, pies	1,977
Altura estructural, pies	130
Área superficial, millas ²	0.56
Profundidad máxima en diciembre de 2001, pies	42.6
Profundidad promedio en diciembre de 2001, pies	13.9
Capacidad original en 1913, acres-pies	9,583
Capacidad luego instalación de "flashboards" en	9,801
1951	
Capacidad en diciembre de 1991, acres-pies	4,962
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	4,813
Capacidad restante al 2004 en relación al 1951, %	49.1
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	49.5 ^a
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	2.35 ^a
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	3,199 ^a
Fecha estimada de sedimentación completa	2101
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	19,600 ^a
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	92
Veces al año en que el agua del lago se renueva	4.0
Rendimiento seguro, mgd	19.7
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico
Fuentes: AFE 2002: Solar Lánoz 2004a: LISACE 1	075 0

Fuentes: AEE 2002; Soler-López 2004a; USACE 1975, Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.

^a significa que estas tasas fueron calculadas considerando las condiciones recientes del embalse luego de la construcción en 1972 del Lago Toa Vaca aguas arriba. La construcción de Toa Vaca redujo el área de drenaje del Lago Guayabal de 43.2 a 21 millas cuadradas.



4.1.8 Guayo

El Embalse de Guayo fue construido en el 1956 como parte del Proyecto del Suroeste, uno de los proyectos de infraestructura más grandes construidos en Puerto Rico durante el Siglo XX. El Proyecto del Suroeste estaba dirigido a aumentar la capacidad de producción hidroeléctrica de la Isla y a proveer un sistema de riego en el Valle de Lajas. Operacionalmente, el Proyecto del Suroeste se divide en dos unidades: el Sistema Hidroeléctrico de Yauco y el Distrito de Riego del Valle de Lajas. La Figura 3.1.9-1 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Yauco y muestra la función del Hoy en día, Guayo continúa siendo embalse Guayo dentro del Sistema. utilizado principalmente para la operación del Sistema Hidroeléctrico de Yauco. La AEE fue la agencia gubernamental a cargo del desarrollo de este Proyecto. Actualmente el manejo de este embalse esta a cargo de la Central Hidro-Gas de La Tabla 4.1.8-1 muestra las características principales de este la AEE. embalse.

Guayo está localizado cerca del Poblado de Castañer entre los municipios de Lares y Adjuntas. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Grande de Añasco y ubica en su parte alta a 1,460 pies sobre el nivel del mar (tope del vertedor). El embalse recibe aportes de agua de los ríos Guayo y Cidra, ambos tributarios del Río Grande de Añasco. La Figura 4.1.8-1 muestra la localización del embalse en relación con su cuenca hidrográfica. El área de captación natural del embalse es de 27 millas cuadradas. Además, el Lago Guayo recibe aportes de agua del Lago Yahuecas (área de captación = 17.4 millas cuadradas), que también es parte del Sistema Hidroeléctrico de Yauco (Figura 3.1.9-1). De manera que, operacionalmente, el área de captación total de Guayo es de 44.4 millas cuadradas (27+17.4).

Guayo es formado por una represa de tierra de 190 pies de alto y 555 pies de largo. Está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor (por el criterio de altura). La inspección más reciente del Lago Guayo (Fase 1) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 20 de junio de 2003 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron 11 recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. Además, la Unidad realizó una (1) recomendación Tipo A que sugería realizar inspecciones mensuales del embalse y de sus facilidades.

La última batimetría realizada en este embalse fue en octubre de 1997. Este estudio fue realizado por el USGS (Soler-López 1999c). La capacidad de almacenaje original (1956) del Lago Guayo es de 15,565 acres-pies. La batimetría de 1996 reflejó que el embalse tiene un volumen de 13,433 acrespies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 52 acres-pies. Aplicando esa tasa de sedimentación, la capacidad de almacenaje estimada al

2004 es de 13,069 acres-pies. De manera que al presente, el embalse ha perdido el 16% de su capacidad original debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2273. La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca 2.220 toneladas/milla²/año, una relativamente alta comparada con la de otras cuencas en Puerto Rico. El estudio batimétrico reveló además un área superficial de 0.45 millas cuadradas, una profundidad promedio de 47 pies y una profundidad máxima de 126 pies.

Según Soler-López 1999c, la eficiencia de retención de sedimentos en Guayo es de 97%. Actualmente, la sedimentación amenaza la estructura de salida de agua al túnel que descarga agua a la Planta Yauco 1. La última batimetría reflejó que en la zona de esta estructura, el nivel del fondo del embalse se encuentra a un (1) metro sobre esta. La estructura de salida de sedimentos ("sluice gate") también está amenazada ya que el nivel del fondo está a un metro por debajo de esta. Luego del paso del Huracán Georges, no se han realizado batimetrías en este embalse. Dados los efectos que este fenómeno causó en algunos embalses de la Isla, se recomienda realizar otra batimetría en Guayo para conocer la condición de estas estructuras. Un dragado de este embalse resulta inminente ante los daños que provocaría la obstrucción de estas estructuras de operación. Mientras se evalúa la posibilidad de un dragado, se recomienda la continua operación de estas estructuras para así prevenir que queden inoperantes.

La lluvia promedio en la cuenca que nutre a Guayo es de aproximadamente 90 pulgadas al año. Soler-López (1999c) estimó el caudal promedio de entrada al embalse a través de la cuenca natural en aproximadamente 904 millones de pies cúbicos al año. El aporte exacto de agua del Embalse Yahuecas al Guayo se desconoce. Sin embargo, una inspección de este embalse en el 2003 reveló que prácticamente todo el caudal bajo condiciones normales es descargado por gravedad a través de un túnel al Lago Guayo (Ortiz-Zayas, observación personal). Asumiendo que el 95% del caudal promedio anual de Yahuecas es descargado al Guayo a través del túnel (1,560 millones de pies cúbicos al año), entonces la descarga promedio anual total del Lago Guayo es 2,464 millones de pies cúbicos al año. Bajo este escenario, la tasa de renovación del agua del Lago Guayo o el número de veces al año que el agua se renueva se estima en 4.2 veces al año.

El rendimiento seguro del Lago Guayo fue calculado en 11.5 mgd por el USACE en 1975. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE y proyectaron que al 2020 este será de 11.3 mgd. Usando estos datos, el rendimiento seguro el 2004 de este embalse fue estimado por interpolación en 11.5 mgd. Sin embargo, este estimado debe ser revisado a la luz de la nueva información hidrológica y batimétrica disponible.

La cuenca hidrográfica de Guayo incluye actividades agrícolas, residenciales y comerciales. El área cubierta por bosques es de aproximadamente el ¿??por ciento del total de la cuenca. Sin embargo, la JCA clasificó el Lago Guayo como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. Según el DRNA, el embalse es habitáculo de lobinas y chopas. Dada la importancia de este embalse para la operación hidroeléctrica y de riego del Proyecto del Suroeste se recomiendan controles estrictos de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua.



Tabla 4.1.8-1. Características principales del Embalse de Guayo.

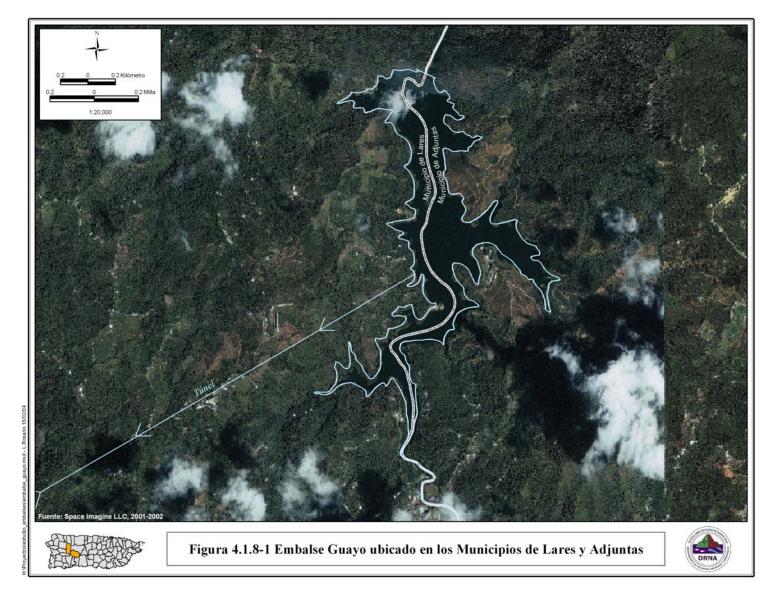
Cuenca hidrográfica	Río Grande de
	Añasco
Municipio en que está ubicado	Lares y Adjuntas
Año en que se construyó	1956
Agencia dueña	AEE
Uso principal	AAA, Riego,
occ principal	Producción
	hidroeléctrica
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 20 de junio de 2003	No existían riesgos
	inminentes a la
Access to the second se	seguridad
Área de captación, millas ²	27.0 ^a
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	1,460
mar	
Largo total de la represa, pies	555
Altura estructural, pies	190
Área superficial, millas ²	0.45
Profundidad máxima en octubre de 1997, pies	126
Profundidad promedio en octubre de 1997, pies	47
Capacidad original en 1956, acres-pies	15,565
Capacidad en septiembre de 1996, acres-pies	13,433
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	13,069
Capacidad restante en el año 2004, %	84
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	52
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.92
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	2,220
Fecha estimada de sedimentación completa	2273
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	56,500 ^b
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	97
Veces al año en que el agua del lago se renueva	4.2
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	11.5
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico
Tuentee, AEE 2002, Color Lénez 4000e, LICACE 40	75 Contingo Vázguez

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López 1999c; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003.

^a Área de captación natural y excluye la zona de captación del Lago Yahuecas de 17.4 millas

cuadradas.

b Este estimado incluye contribuciones de agua del Lago Yahuecas (1,642 millones de pies³/año).



4.1.9 El Guineo

El Embalse de El Guineo forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro (Figura 5.1.5). El embalse fue construido en el 1931 para almacenar agua tanto para la producción hidroeléctrica como para el riego de los llanos del Sur. El embalse está conectado a las plantas hidroeléctricas Toro Negro I y II, las que a su vez descargan eventualmente a Guayabal, embalse que a su vez suple el Canal de Riego de Juana Díaz. La Tabla 4.1.9-1 resume las características principales de este embalse.

El Guineo está localizado a una altura aproximada de 2,960 pies sobre el nivel del mar (elevación del vertedor) en el Municipio de Villalba. El embalse recibe aportes de agua del Río Toro Negro, el cual es un tributario del Río Grande de Manatí. La Figura 4.1.9-1 muestra la ubicación de este embalse.

Aunque este embalse posee un volumen relativamente menor (capacidad original = 1,857 acres-pies), es clasificado como un embalse mayor debido a que la altura de su represa (tipo escollera) sobrepasa los 100 pies. La inspección más reciente del Lago El Guineo fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 8 de junio de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Todas las recomendaciones producto de la inspección Fase I eran del Tipo C, todas asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura.

La batimetría más reciente disponible para este embalse, fue realizada en octubre de 2001 por el USGS (Soler-López 2003b). La misma reflejó que actualmente, el embalse tiene un área superficial de 0.07 millas² y un volumen de 1,533 acres-pies lo que representa una pérdida de un 17.5% de su capacidad original, a una tasa de sedimentación de 4.6 acres-pies/año. El volumen existente dividido entre el área superficial equivale a la profundidad promedio. Para el Lago El Guineo la profundidad promedio equivale a 32.7 pies. Soler-López (2003b) determinó una profundidad máxima de 72 pies.

Este embalse retiene en promedio 96% del sedimento que entra por sus afluentes (Soler-López, 2003b). La razón de sedimentación varía desde 4 pulgadas por año, cerca de la represa, hasta 16 pulgadas por año aguas arriba de la represa. Se estima que si la sedimentación continúa a esa tasa, el embalse estaría completamente sedimentado para el año 2332.

El embalse El Guineo incluye una estructura de salida de agua ubicada aproximadamente a 394 pies aguas arriba de la represa, en la zona más profunda del embalse. La elevación de la corona de esta estructura es de 2,874 pies sobre el nivel del mar. En esa zona, el nivel del fondo del embalse (2,887 pies sobre el nivel del mar) está sobre la elevación de esta estructura (Soler-López, 2003b). Esto indica que la capacidad de almacenaje de sedimentos

("dead storage") ha sido alcanzada. Aparentemente, la descarga continua asociada a la operación de la Planta Hidroeléctrica Toro Negro II mantiene esta estructura libre de obstrucciones. La operación de esta estructura es necesaria para mantener la estructura de salida de agua del embalse libre de obstrucciones. Si cesaran las descargas a través de esta estructura, la vida útil efectiva del embalse se podría reducir drásticamente. La remoción de sedimentos en las inmediaciones de la estructura de salida de agua así como la continua operación de la Planta Toro Negro II deben considerarse como medidas de manejo prioritarias en este embalse.

La cuenca hidrográfica de El Guineo esta esencialmente cubierta de bosques, pues esta forma parte del Bosque Estatal de Toro Negro. La intensidad de actividades humanas en esta cuenca es relativamente baja. Estos usos del terreno suponen una baja tasa de producción de sedimentos en esta cuenca. Sin embargo, Soler-López (2003b) estimó esta en 4,200 toneladas/milla²/año e indica que la tasa de sedimentación ha aumentado en un 21% desde 1986. La vida útil del embalse se estima se extenderá hasta el año 2332. Sin embargo, Soler-López (2003b) concluyó que la presente tasa de sedimentación en este embalse podría inhabilitar la estructura de salida de agua lo que podría limitar el uso efectivo del embalse. El aumento en la sedimentación en esta cuenca y su relación con el uso del terreno merece particular atención.

La cuenca de El Guineo (área de captación de 1.65 millas cuadradas) recibe un promedio de 90.16 pulgadas de lluvia al año. Soler-López (2003b) estimó el caudal promedio de entrada al lago en aproximadamente 168.7 millones de pies cúbicos al año. El caudal anual de agua que entra al lago divido por el volumen de almacenaje equivale a la tasa de renovación del agua del embalse o el número de veces al año que el agua se renueva. Para el Lago El Guineo, la tasa de renovación de agua es de 2.5 veces al año.

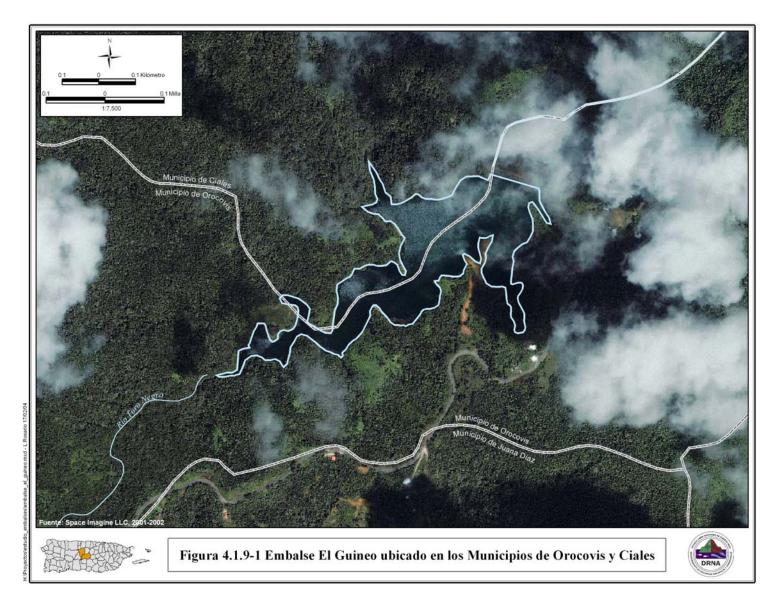
El rendimiento seguro de El Guineo para 1975 fue estimado por el USACE en 3.8 mgd. En 1987, Santiago-Vázquez y otros reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE. Desde entonces el cálculo de rendimiento seguro del embalse no se ha revisado. Se recomienda revisar este estimado a la luz de la nueva información hidrológica disponible.

El Guineo no forma parte de la red de embalses cuya calidad de agua es monitoreada por la JCA. Por esta razón la JCA no ha determinado su estado trófico. Sin embargo, dada la baja intensidad de actividad humana en la cuenca, se presume que la calidad de agua en la cuenca es de buena calidad para la mayoría de los usos regulados. La pesca en este embalse es limitada debido a la falta de facilidades de acceso de botes. Sin embargo, el DRNA ha poblado el embalse con chopas y lobinas por lo que tiene el potencial de desarrollo para pesca deportiva.

Tabla 4.1.9-1. Características principales del Embalse El Guineo.

Cuenca hidrográfica	Río Grande de Manatí
Municipio en que está ubicado	Villalba
Año en que se construyó	1931
Agencia dueña	AEE
Uso principal	Producción
	hidroeléctrica
Tipo de represa	Escollera
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en junio 2001	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas²	1.65
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	2,959
mar	
Largo total de la represa, pies	565
Altura estructural, pies	125
Área superficial, millas ²	0.07
Profundidad máxima en octubre 2001, pies	72
Profundidad promedio en octubre 2001, pies	32.7
Capacidad original en 1931, acres-pies	1,857
Capacidad en octubre 2001, acres-pies	1,533
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	1,519
Capacidad restante en el año 2004, %	82
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	4.6
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	0.48
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	4,200
Fecha estimada de sedimentación completa	2332
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	3,870
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	96
Veces al año en que el agua del lago se renueva	2.5
Rendimiento seguro, mgd	3.8
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	N.D.
Frantsa, AFF 2002, Calar I (non 2002h, UCACE 4	OZE Caratiana Máranca

Fuentes: AEE 2002; Soler-López 2003b; USACE 1975, Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.1.10 La Plata

El Embalse de La Plata fue construido en el 1974 por la AAA como parte del Sistema de Acueductos del Área Metropolitana de San Juan. La Plata produce un promedio 70 mgd de agua que alimenta la Planta de Filtración de La Plata en Toa Alta, cifra que en el 2003 constituía 30% de los abastos de agua potables en el Área Metropolitana de San Juan.

El embalse está localizado en el Municipio de Toa Baja, a aproximadamente tres (3) millas de su centro urbano. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río de La Plata, con un área de captación de 181 millas cuadradas en la presa. La Figura 4.1.10-1 muestra la localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica. La Tabla 4.1.10-1 muestra datos descriptivos de este embalse.

El embalse es formado por una represa de gravedad con una elevación en el tope del vertedor de 155 pies sobre el nivel del mar. La represa mide 131 pies de alto y 774 pies de largo. Está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor por el criterio de altura. Su capacidad original era de 32,598 acres-pies. La inspección más reciente del Lago La Plata (Fase 1) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos durante el 12 y 14 de febrero de 2003 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron 13 recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. Además, la Unidad realizó tres recomendaciones Tipo A que requerían inspeccionar y reparar algunos pernos de las compuertas 2, 5 y 6, rehabilitar los drenajes de la fundación e implementar un programa mensual de inspección de la seguridad de la represa.

La última batimetría disponible para este embalse fue realizada por el USGS en octubre de 1998 (Soler-López y otros 2000b). La batimetría de 1998 reflejó que el embalse tiene un volumen de 28,747 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 160.5 acres-pies durante el periodo de 1974 al 1998. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 27,784 acres-pies. De manera que al presente, el embalse ha perdido el 14.8 % de su capacidad original debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2175 (Soler-López y otros 2000b). La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca es 1,251 toneladas/milla²/año, una relativamente baja comparada con la tasa de otras cuencas en Puerto Rico. Según Soler-López y otros (2000b), la eficiencia de retención de sedimentos en La Plata es de 88%. El estudio batimétrico reveló además un área superficial de 1.28 millas cuadradas, una profundidad promedio de 35 pies y una profundidad máxima de 88.6 pies.

La represa del embalse posee seis estructuras de salida de agua ubicadas a 62, 82, 102, 121 y 141 pies sobre el nivel del mar. Actualmente, la sedimentación

ha inhabilitado la salida ubicada a 62 pies y amenaza la segunda estructura de salida de agua (82 pies), ya que se han acumulado cerca de 23 pies de sedimentos en la zona de la represa. Según Soler-López y otros (2000b), a través del embalse se han acumulado entre 13 y 20 pies de sedimentos en 24 años. Las inundaciones provocadas por el paso del Huracán Georges en septiembre de 1998 aceleraron el movimiento de sedimentos dentro del embalse hacia la represa.

La lluvia promedio en la cuenca del Lago La Plata es de aproximadamente 74 pulgadas al año. Soler-López y otros (2000b) estimaron el caudal promedio de entrada al embalse a través de la cuenca natural en aproximadamente 10,261 millones de pies cúbicos al año. Dada la capacidad de almacenaje actual, la tasa de renovación del agua del Lago La Plata o el número de veces al año que el agua se renueva se estima en 8.2 veces al año, o cada 45 días.

El rendimiento seguro del Lago La Plata fue calculado en el 1975 en 77 mgd por el USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987), usando los datos del USACE, proyectaron que al 2020 este será de 64 mgd. Usando estos datos, el rendimiento seguro de este embalse al 2004 fue estimado por interpolación en 68.6 mgd, lo que coincide con la tasa de extracción reportada para este embalse de 70 mgd. Se recomienda la revisión de este estimado a la luz de la nueva información hidrológica y batimétrica disponible.

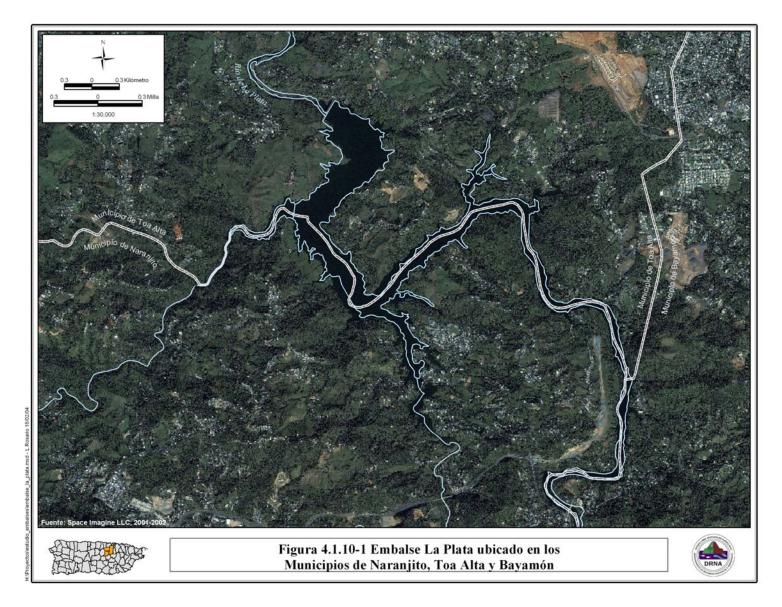
La JCA clasificó el Lago La Plata como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. Según el DRNA (1992), el embalse es habitáculo de lobinas, tucunarés, chopas, sardinas de agua dulce, barbudos y tilapias. La pesca recreativa es abundante en este lago.

Dada la importancia de este embalse para el abasto público en la Zona Metropolitana de San Juan, se recomiendan controles estrictos de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua. Además, se recomienda un programa continuo de monitoría de la sedimentación para así evaluar los efectos de los programas de control de erosión en la cuenca.

Tabla 4.1.10-1. Características principales del Embalse de La Plata.

Cuenca hidrográfica	Río de La Plata
Municipio en que está ubicado	Toa Alta
Año en que se construyó	1974
Agencia dueña	AAA
Uso principal	AAA
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 12 y 14 de febrero de	No existían riesgos
2003	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	181
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	155
mar	
Largo total de la represa, pies	774
Altura estructural, pies	131
Área superficial, millas ²	1.28
Profundidad máxima en octubre de 1998, pies	88.6
Profundidad promedio en octubre de 1998, pies	35.0
Capacidad original en 1974, acres-pies	32,598
Capacidad en octubre de 1998, acres-pies	28,747
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	27,785
Capacidad restante en el año 2004, %	85.2
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	160.5
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	0.89
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	1,251
Fecha estimada de sedimentación completa	2175
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	235,600
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	88
Veces al año en que el agua del lago se renueva	8.2
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	68.6
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López y otros 2000b; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003.



4.1.11 Loíza

El Embalse de Loíza fue construido por el ELA como parte de los "Proyectos de Agua para Consumo para la Zona Metro", los cuales fueron desarrollados para aumentar los abastos de agua a la Zona Metropolitana de San Juan (García-Martinó, 2000). Estos proyectos incluyeron la construcción de los embalses de Cidra (1946), Las Curias (1946), y Loíza (1953). Debido a su ubicación en el Barrio Carraízo de Trujillo Alto, Loíza es también referido como Carraízo.

Desde su construcción, el embalse de Loíza ha sido operado por la AAA, extrayendo un promedio de 100 mgd de aguas crudas para suplir la Planta de Filtración de Sergio Cuevas en Trujillo Alto. Por décadas, Loíza constituyó la fuente principal de agua de la Zona Metropolitana de San Juan. Según creció la población de San Juan, se ampliaron los sistemas de acueductos en la región, comenzando a operar La Plata en 1974. En 1999 se inició la operación del Superacueducto de la Costa Norte, con una capacidad de 100 mgd de agua potable proveniente de la cuenca del Río Grande de Arecibo, proyecto que suple hasta 70 mgd a la Zona Metropolitana de San Juan, mientras el balance se distribuye en los municipios en la zona norte. Loíza suple al presente aproximadamente el 30 % del agua potable que recibe la Zona Metropolitana. El embalse posee las instalaciones físicas para la operación de una planta hidroeléctrica con capacidad para 3,000 kva. Sin embargo, la falta de baja frecuencia relativa de picos de flujo de magnitud significativa en el Río Grande de Loíza provocaron que la AEE desistiera de su operación.

El Embalse de Loíza se encuentra localizado en los barrios San Antonio de Caguas, Jaguas de Gurabo y Carraízo y La Gloria de Trujillo Alto. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza. La represa del embalse está ubicada a aproximadamente 13.5 millas aguas arriba de la desembocadura del Río Grande de Loíza al Océano Atlántico. Loíza posee un área de captación natural de 208 millas cuadradas, lo que lo convierte en el embalse con la mayor área de captación en Puerto Rico. La lluvia anual en la cuenca varía desde cerca de 200 pulgadas en la Sierra de Luquillo hasta 63 pulgadas en el valle del Río Grande de Loíza en la zona de Caguas y Gurabo. Para 1994, el caudal natural promedio de entrada al embalse era de 15,134 millones de pies cúbicos al año. Sin embargo, luego de esta fecha, la AAA ha construido tres nuevas tomas que en total extraen cerca de 10 mad de aqua para suplir las plantas de Caquas Norte, San Antonio y Gurabo. De manera que se estima que el caudal promedio anual que entra el Lago Loíza aproximadamente 14,650 millones de pies cúbicos al año. Aproximadamente el 70% de este caudal proviene del Río Grande de Loíza y el Río Gurabo, sus tributarios principales (Webb y Soler-López, 1997). El balance de la escorrentía proviene de los ríos Caguitas, Bairoa y Cañas y de la zona periférica del lago. La Figura 4.1.11-1 muestra la localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica. La Tabla 4.1.11-1 muestra datos descriptivos de este embalse.

El Embalse de Loíza está formado por una represa de 98 pies de alto y 689 pies de largo. Está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor, a pesar que su represa mide menos de 100 pies de altura y su capacidad original era 21,727 acres-pies, menos que el criterio mínimo establecido por la AEE (2001) de 50,000 acres-pies. El lago formado por la represa tiene un área superficial de 1.03 millas cuadradas, una profundidad promedio de 17.4 pies y una profundidad máxima de 59 pies (Webb y Soler-López, 1997). La inspección más reciente del Lago de Loíza (Fase 1) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 10 de diciembre de 1999 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron ocho (8) recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura.

En 1994, Puerto Rico sufrió los efectos de una sequía severa que redujo sustancialmente los niveles en los embalses, particularmente en Loíza y La Plata. Esto resulto en la necesidad de imponer un racionamiento en el servicio de agua potable a la Zona Metropolitana, que se mantuvo durante 136 días. Luego de este evento, la AAA decidió aumentar la capacidad del embalse mediante un dragado parcial. Este dragado se realizó entre 1997 y 1998 y aumentó la capacidad del embalse en aproximadamente 5,000 acres-pies (de 11,504 acres-pies a 16,504 acres-pies al concluirse el dragado). Asumiendo una tasa de sedimentación histórica igual a 245.3 acres-pies/año, se estima que el dragado aumentó la vida útil del embalse en 20 años (5,000 acres-pies/245.3 acres-pies/año).

El USGS llevó a cabo un estudio de sedimentación en Loíza entre el 30 de enero y el 4 de febrero de 2002, reflejando los efectos netos del dragado y del paso del huracán Georges por la zona en el 1998 (Soler-López y Gómez-Gómez, 2002). Este estudio reflejó que el volumen del embalse era de 15,209 acres-pies. Esto sugiere que, luego de un periodo de ocho (8) años y de haber aumentado en 5,000 acres-pies la capacidad del lago mediante el dragado, el embalse ha experimentado un cambio neto en capacidad de -1,295 acres-pies (16,504 -15,209). Durante el periodo de 3.5 años entre el dragado (julio 1998) y la batimetría (2002), la tasa de sedimentación fue de 370 acres-pies por año, lo que refleja el efecto del paso del Huracán Georges. Utilizando una tasa de sedimentación histórica de 245.3 acres-pies (Webb y Soler-López 1997), la capacidad de Loíza al 2004 se estima en 14,718 acres-pies, o un 68% de al capacidad original. Asumiendo una tasa de sedimentación igual a la histórica, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2064. La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca es de 750 toneladas/milla²/año. Utilizando la información provista en el estudio de Webb y Soler-López (1997) y siguiendo el método de Brune (cf., Soler-López 2003a), se estimó la eficiencia de retención de sedimentos en el Lago de Loíza en aproximadamente un 94%.

El estudio del embalse llevado a cabo en el 2002 por Soler-López y Gómez-Gómez no incluye un mapa batimétrico del embalse que refleje sus condiciones físicas post-dragado. De manera que, al momento, las condiciones actuales de las estructuras principales del embalse no pueden ser evaluadas. Sin embargo, la AAA ha comisionado el USGS para que realice una nueva batimetría completa del embalse entre enero y febrero del 2004.

El rendimiento seguro de Loíza fue calculado en el 1975 en 68.7 mgd por el USACE. Santiago-Vázquez y otros (1987) proyectaron el rendimiento seguro para el año 2020 en 18 mgd. Por interpolación el rendimiento seguro al año 2004 se estima en 36 mgd. Sin embargo, se recomienda que este estimado se revise dado la nueva información batimétrica e hidrológica disponible para este embalse.

Dada la capacidad de almacenaje estimada al 2004 y el caudal promedio anual de entrada al embalse, se calculó que la tasa de renovación del agua de Loíza, o el número de veces al año que el agua se renueva, es en promedio de 22 veces al año. En otras palabras, el agua del embalse se renueva aproximadamente cada 16.5 días.

La JCA clasificó a Loíza como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. El problema de eutroficación de este embalse ha sido documentado desde la década del 70. Según Quiñones-Márquez (1980), el embalse recibía durante el periodo entre noviembre de 1973 y octubre de 1974 grandes aportes de nutrientes de sus tributarios; 564.1 toneladas métricas de nitrógeno y 128.3 toneladas métricas de fósforo. Su productividad primaria era suficientemente alta para clasificar el embalse como hiper-eutrófico. En la década del 70, la presencia prolífica del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en el embalse se consideraba un problema para la navegación, la recreación y para la estabilidad el ecosistema acuático. Hoy en día, luego de 30 años, el embalse sigue afectado por la presencia de jacintos de agua lo que sugiere que todavía este embalse continúa recibiendo grandes aportes de nutrientes desde sus tributarios. Esto a pesar de grandes inversiones en el tratamiento de aguas usadas en la región como la Planta Regional de Tratamiento de Aguas Usadas de Caguas, que provee tratamiento terciario a gran parte de las aguas usadas generadas en la cuenca del embalse. La falta de alcantarillado sanitario en gran parte de la cuenca podría ser la causa de la condición eutrófica del embalse va que generalmente. los sistemas de pozos sépticos contribuyen grandes cantidades de nutrientes a los cuerpos de agua lo que acelera el crecimiento de especies acuáticas como el jacinto de agua (Ramos-Ginés 1997).

El DRNA (1992) indica que en este embalse existen lobinas, chopa caracoleras y comunes, tilapias, tilapias cotorro, barbudos de canal o lisa y tucunares. La mayor parte del tiempo la pesca recreativa es solo posible de orilla debido a la presencia de jacintos de agua. Existen propiedades privadas alrededor del

embalse que poseen rampas que permiten el acceso de botes al embalse. Estas propiedades utilizan pozos sépticos que descargan aguas sanitarias indirectamente al embalse.

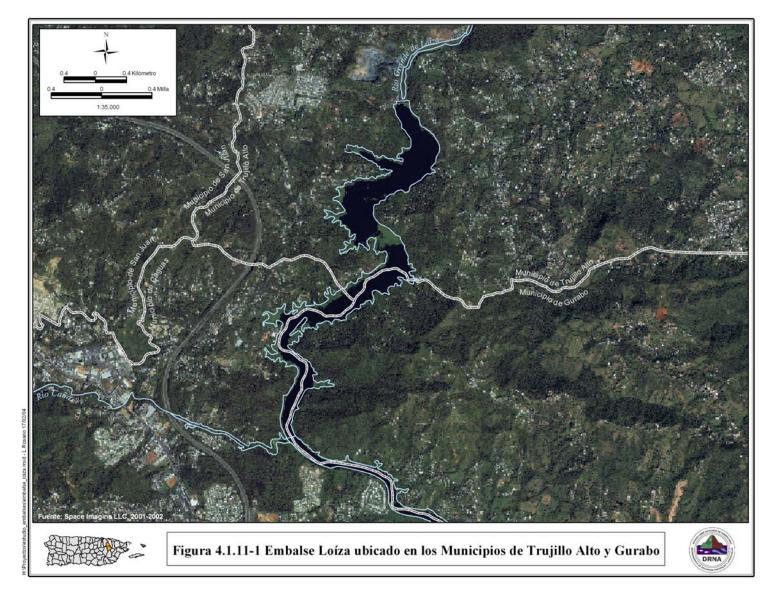
Dada la importancia de este embalse para el abasto público de la Zona Metropolitana de San Juan, se recomiendan controles estrictos de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua, que continúa en deterioro. Además, se recomienda un programa continuo de monitoría de la sedimentación y de la calidad de agua para así evaluar los efectos de los programas de control de erosión en la cuenca.



Tabla 4.1.11-1. Características principales del Embalse Loíza.

Cuenca hidrográfica	Río de Grande de
Cuerica filologianea	Loíza
Municipio en que está ubicado	Trujillo Alto
Año en que se construyó	1953
Agencia dueña	AAA
Uso principal	AAA
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 10 de diciembre de 1999	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas²	207.7
Elevación tope compuertas, pies sobre el nivel del mar	135
Largo total de la represa, pies	689
Altura estructural, pies	98
Área superficial, millas ²	1.03
Profundidad máxima en noviembre de 1994, pies	59.0
Profundidad promedio en enero-febrero de 2002, pies	17.4
Capacidad original en 1953, acres-pies	21,727
Capacidad en noviembre de 1994, acres-pies (pre-	11,504
dragado)	
Capacidad en enero-febrero de 2002, acres-pies (post-	15,209
dragado)	
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	14,718
Capacidad restante en el año 2004, %	67.7
Tasa de sedimentación, acres-pies/año (pre-dragado)	245.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año (pre-	1.18
dragado)	
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año (pre-	750
dragado)	
Fecha estimada de sedimentación completa	2064
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	336,500
Porciento del sedimento que entra que es atrapado	94
Veces al año en que el agua del lago se renueva	22.8
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	40e
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico

Fuentes: AEE, 2002; Webb y Soler-López 1997; Soler-López y Gómez-Gómez 2002; USACE, 1975, Santiago-Vázquez y otros, 1987; JCA 2003. e Estimado



4.1.12 Lucchetti

La construcción del Embalse de Lucchetti fue completada en el 1952 como parte del Proyecto del Suroeste, el proyecto de infraestructura hidroeléctrica y de riego más grande construido en la historia de Puerto Rico. La Figura 3.1.9-1 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Yauco y muestra la función del embalse Lucchetti dentro del Sistema.

Hoy en día, Lucchetti continua siendo utilizado principalmente para la operación del Sistema Hidroeléctrico de Yauco. Además se utiliza como una fuente de abasto público de agua, para recreación y como refugio de vida silvestre. Aunque no fue diseñado para control de inundaciones, la AEE opera el embalse para reducir el riesgo de inundaciones aguas abajo. La AAA está proponiendo un proyecto de mejoras al sistema de acueductos de Yauco que pretende aumentar hasta 8 mgd la producción de la planta Yauco Urbano, hoy con una capacidad de 1.5 mgd. La fuente de abasto de agua propuesta es el túnel que conecta a Lucchetti con la Planta Yauco 2. Este proyecto se encuentra en etapa de planificación.

Este embalse está ubicado en parte de los barrios Naranjo, Vegas y Algarrobo del Municipio de Yauco. La represa está localizada a 4.3 millas al norte de la Plaza Pública de Yauco. Hidrológicamente, el embalse drena la cuenca hidrográfica del Río Yauco, con aportes de los ríos Naranjo y Quebrada Grande. La Figura 4.1.12-1 muestra la localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica. La Tabla 4.1.12-1 muestra datos descriptivos de este embalse.

La represa de Lucchetti mide 178 pies de alto y 571 pies de largo. El embalse está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor. Su capacidad original es de 16,498 acres-pies. La inspección más reciente del Lago Lucchetti (Fase 1) fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 21 de septiembre de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron siete (7) recomendaciones, todas Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura.

El estudio más reciente sobre la sedimentación de Lucchetti fue realizado en marzo de 2000 por el USGS (Soler-López, 2001d). El estudio reflejó que el embalse tenía un volumen de 9,631 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación de 143.1 acres-pies por año durante el periodo de 1952 al 2000. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 9,059 acres-pies. Esto establece que el embalse ha perdido el 45.1 % de su capacidad original debido a la sedimentación. La tasa producción histórica de sedimentos de la cuenca toneladas/milla²/año. El estudio batimétrico reveló además que la eficiencia de retención de sedimentos en el Lago Lucchetti es de 96%, que su área superficial es de 1.08 millas cuadradas y que posee una profundidad promedio de 36.2 pies y una profundidad máxima de 83.6 pies. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2066 (Soler-López, 2001d).

Según Soler-López y otros (2000b), a través del embalse se han acumulado entre 3 y 16 pies de sedimentos en 14 años lo que ha afectado la operación del embalse. La represa del Lago Lucchetti posee una estructura de salida de sedimentos ("sluice gate") inoperante ya que está cubierta por 39 pies de sedimentos. El embalse descarga a la Planta Yauco 2 a través de una estructura de salida la cual se encuentra rodeada por una zona de 20 pies de sedimentos, según Soler-López (2001d).

La lluvia promedio en la cuenca que alimenta a Lucchetti es de aproximadamente 80 pulgadas al año. Soler-López (2001d) estimó el caudal promedio de entrada al embalse a través de la cuenca natural (excluyendo la descarga de la planta Yauco 1) en aproximadamente 1,221 millones de pies cúbicos al año. Dada la capacidad de almacenaje actual, la tasa de renovación del agua del Lago Lucchetti o el número de veces al año que el agua se renueva se estima en 2.9 veces al año, o cada 4 meses.

El rendimiento seguro de Lucchetti para 1975 fue calculado en 13.9 mgd por el USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987), usando los datos del USACE, proyectaron que al 2020 este será de 13.6 mgd. CSA (2002) calculó el rendimiento seguro de Lucchetti utilizado 10 años de datos operacionales de los embalses y obtuvo un valor de 13.3 mgd.

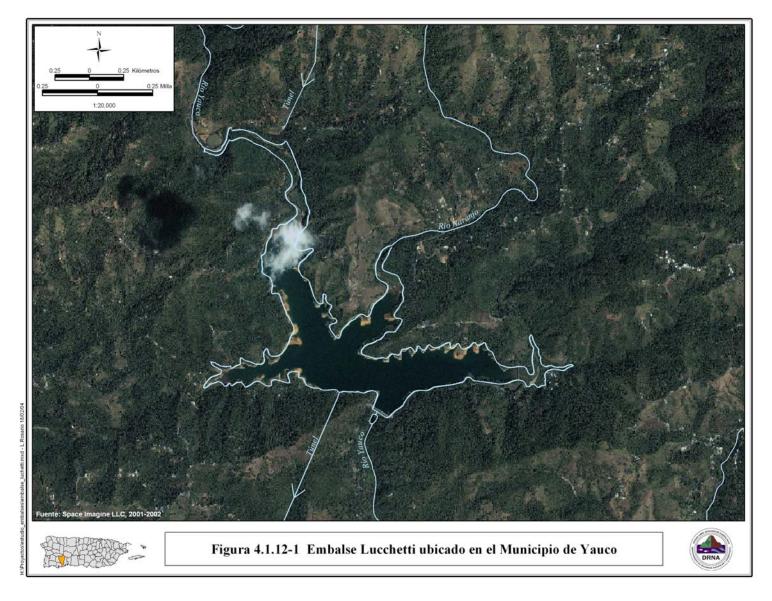
La JCA clasificó a Lucchetti como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. Según el DRNA (1992), el embalse es habitáculo de lobinas, tucunarés, guavinas, chopas, barbudos y tilapias. El DRNA maneja una zona a la orilla del embalse como un área recreativa donde cerca de 15,000 visitantes al año, la mayoría pescadores recreativos, visitan las facilidades, que incluyen zonas de acampar, rampa para botes y áreas de picnic.

Dada la importancia de este embalse para el abasto público de Yauco, se recomiendan medidas estrictas para el control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación, para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua. Además, se recomienda un programa continuo de monitoría de la sedimentación para así evaluar los efectos de los programas de control de erosión en la cuenca.

Tabla 4.1.12-1. Características principales del Embalse Lucchetti.

Cuenca hidrográfica	Río Yauco
Municipio en que está ubicado	Yauco
Año en que se construyó	1952
Agencia dueña	AEE
Uso principal	Riego, AAA,
	Hidroeléctrico
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 21 de septiembre de	No existían riesgos
2001	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	17.3
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	570
mar	
Largo total de la represa, pies	571
Altura estructural, pies	178
Área superficial, millas ²	1.08
Profundidad máxima en marzo de 2000, pies	83.6
Profundidad promedio en marzo de 2000, pies	36.2
Capacidad original en 1952, acres-pies	16,498
Capacidad en marzo de 2000, acres-pies	9,631
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	9,059
Capacidad restante en el año 2004, %	54.9
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	143.1
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	8.27
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	3,250
Fecha estimada de sedimentación completa	2066
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	28,000
Porciento del sedimento que entra que es atrapado	96
Veces al año en que el agua del lago se renueva	2.9
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	13.3
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA	Eutrófico
(2003)	
1000000	

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López 2001d; CSA 2002; JCA 2003.



4.1.13 Matrullas

El Embalse de Matrullas forma parte del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro (Figura 5.1.5). El embalse fue construido en el 1934 para almacenar agua tanto para la producción hidroeléctrica como para el riego de los llanos del Sur. El Lago está conectado a las plantas hidroeléctricas Toro Negro I y II, las que a su vez descargan eventualmente al Embalse de Guayabal que suple al Canal de Riego de Juana Díaz.

Matrullas está localizado en la cuenca hidrográfica del Río Grande de Manatí en el Municipio de Orocovis. El embalse es formado por una represa de tierra de 709.8 pies de largo y 120 pies de alto ubicada con una elevación de 2,455 pies sobre el nivel del mar. El área de captación del embalse es de 4.4 millas cuadradas. La Figura 4.1.13-1 muestra la ubicación de este embalse y la Tabla 4.1.13-1 sus características principales.

El embalse ha sido clasificado por la AEE como un embalse mayor. La inspección más reciente de Matrullas fue realizada por la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos el 2 de noviembre de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. La mayoría de las recomendaciones eran del Tipo C, relacionadas al mantenimiento de la estructura. Solo se realizó una recomendación Tipo B que indicaba la necesidad de reemplazar la verja del vertedor de la represa.

La capacidad original de Patrullas era de 3,009 acres-pies (AEE). El estudio de capacidad más reciente disponible para este embalse, realizada en diciembre de 2001 (Soler-López 2003a), reflejó un volumen de 2,498 acres-pies, lo que representa una pérdida de un 17% de su capacidad inicial basado en una razón de sedimentación de 7.6 acres-pies/año. Esto equivale a una razón de deposición de sedimentos 4.33 pulgadas al año. A esta razón de sedimentación el embalse estaría completamente sedimentado en el año 2,328. Actualmente, el embalse tiene un área superficial de 0.12 millas². La profundidad promedio es de 32.5 pies, con una profundidad máxima de 71 pies.

Matrullas incluye tres estructuras de salida de agua, de las cuales dos están fuera de servicio ya que ha sido cubiertas por los sedimentos. La más alta de las tres estructuras, ubicada a 2,343 pies sobre el nivel del mar es la única en servicio. Según Soler-López (2003a), si esta estructura de salida de agua no es operada regularmente podría quedar fuera de servicio, ya que el fondo del embalse en la zona de esta ha alcanzado su nivel por motivo de la sedimentación. Esta información establece que el área para almacenar sedimentos del embalse (conocida coma la capacidad muerta o "dead storage") ha sido agotada. El área operacional, considerado almacenaje vivo ("live storage"), no ha sido afectada por los sedimentos. Este embalse retiene en

promedio 90% del sedimento que entra por los afluentes del embalse (Soler-López, 2003a).

La cuenca del Embalse de Patrullas recibe un promedio de 150 pulgadas de lluvia al año sobre su área de captación de 4.4 millas cuadradas. Soler-López (2003a) estimó el caudal promedio de entrada al lago en aproximadamente 925.2 millones de pies cúbicos al año. Esto equivale a una tasa de renovación de agua de 8.5 veces al año.

Aunque la vida útil de Matrullas se estima se extenderá hasta el año 2,328, Soler-López (2003a) concluyó que la tasa de sedimentación en este embalse podría inhabilitar estructuras de control importantes como la salida de agua o las compuertas de salida de sedimentos ("sluice gates"), lo que podría reducir el periodo de uso efectivo del embalse significativamente.

Durante los últimos 40 años la cuenca del Lago de Matrullas ha experimentado un aumento moderado en población, lo que podría explicar en parte la reducción en la capacidad de almacenaje del embalse debido al efecto que tiene la construcción asociada a desarrollos rurales sobre la erosión de los suelos. Aumentos significativos en la actividad humana en la cuenca podrían incrementar la tasa de producción de sedimentos actual de 2,678 toneladas/milla²/año, lo que podría reducir aún más la utilidad del embalse.

El rendimiento seguro de Matrullas para 1975 fue calculado en 8 mgd por USACE. Más tarde, Santiago-Vázquez y otros (1987) reportaron el mismo rendimiento seguro citando los datos del USACE. Desde entonces el cálculo de rendimiento seguro del embalse no se ha revisado.

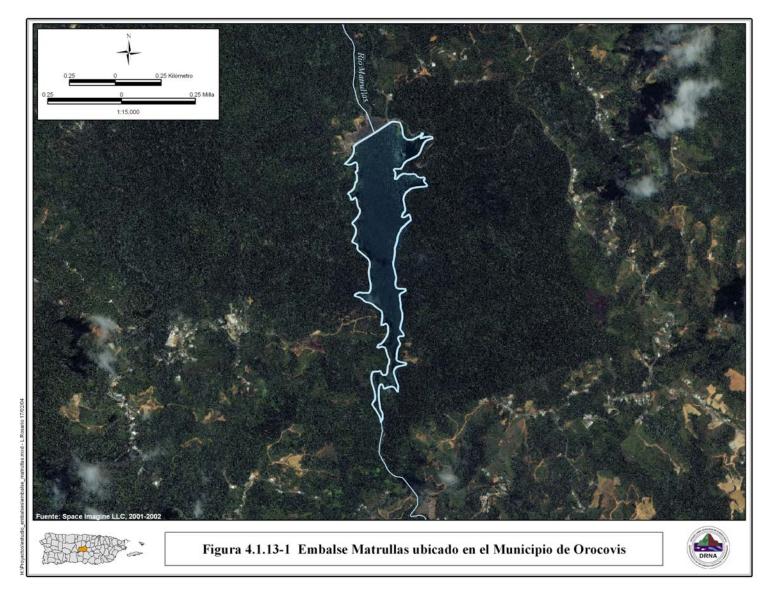
La JCA (2003) clasifica a Matrullas como eutrófico debido a la alta concentración de fósforo total encontrada (0.22 mg/L). Durante los últimos dos años su calidad ha mejorado pues se ha registrado una reducción en las concentraciones de nitratos y nitrito y bacterias coliformes fecales. Sin embargo, el embalse mostró un aumento en las concentraciones de fósforo total y oxígeno disuelto. Según el DRNA, en este embalse predominan las chopas, las lobinas y los barbudos.

Medidas de control de erosión deben ser implantadas con rigurosidad en esta cuenca para reducir el impacto de los desarrollos rurales que se han ido estableciendo en la zona. Igualmente, se debe comenzar a evaluar la posibilidad de realizar un dragado de emergencia en las inmediaciones de la salida de agua del embalse debido a que el fondo del embalse ha alcanzado el nivel de esta lo que ha puesto en riesgo la operación del embalse para su uso designado.

Tabla 4.1.13-1. Características principales del Embalse de Matrullas.

Cuenca hidrográfica	Río Grande de Manatí
Municipio en que está ubicado	Orocovis 1934
Año en que se construyó	
Agencia dueña	AEE
Uso principal	Generación
Tipe de versee	hidroeléctrica
Tipo de represa	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en noviembre 2001	Satisfactorio
Área de captación, millas²	4.42
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	2,455
mar	
Largo total de la represa, pies	709.8
Altura estructural, pies	120
Área superficial, millas ²	0.12
Profundidad máxima en diciembre 2001, pies	71
Profundidad promedio en diciembre 2001, pies	32.5
Capacidad original en 1934, acres-pies	3,009
Capacidad en diciembre 2001, acres-pies	2,498
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	2,475
Capacidad restante en el año 2004, %	82
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	7.6
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.73
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	2,678
Fecha estimada de sedimentación completa	2328
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	21,200
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	90
Veces al año en que el agua del lago se renueva	8.5
Rendimiento seguro, mgd	8.0
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA	Eutrófico
(2003)	

Fuentes: AEE 2002; Soler-López 2003a; USACE 1975; Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.1.14 Patillas

La Ley de Riego Público de 1908 permitió el desarrollo del Distrito de Riego de la Costa Sur, el cual incluyó la construcción del Embalse Patillas y el Canal del Patillas, entre otras obras. El embalse fue construido por el Servicio de Riego de Puerto Rico entre 1910 y 1914, siendo uno de los primeros embalses construidos en la isla para satisfacer las demandas de agua del sector agrícola. Hoy en día, el embalse continúa proveyendo agua para riego y además suple agua cruda a las plantas de filtración de la AAA que sirven agua potable a Patillas, Arroyo y Guayama.

El embalse ha sido objeto de varias obras de rehabilitación incluyendo la reconstrucción del sistema de salida de agua (1961), el reemplazo total del vertedor (1976), y la adición de una planta hidroeléctrica con capacidad para 1200 kva (1983), que actualmente no está en operación. La reparación del sistema de salida de agua en 1961 requirió el vaciado del embalse. En esa ocasión se realizó un estudio topográfico de la zona del embalse lo que permitió calcular su volumen de almacenaje. La Figura 3.1.9-1 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Patillas y muestra la función del embalse dentro del Sistema.

El embalse está ubicado en el Municipio de Patillas a aproximadamente a una (1) milla al noroeste de su centro urbano. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Grande de Patillas, recibiendo aportes de agua del Río Marín. La Figura 4.1.14-1 muestra la localización del embalse en relación con su cuenca hidrográfica, mientras que la Tabla 4.1.14-1 muestra datos descriptivos de las estructuras.

El embalse está formado por una represa de tierra de 147 pies de alto y 1,067 pies de largo. Está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor. Su capacidad original era de 14,307 acres-pies, con un área superficial de 0.58 millas cuadradas, con profundidad promedio es de 30.5 pies y máxima de 78.7 pies. La inspección más reciente del embalse (Fase 1) fue realizada por la AEE el 23 de enero de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron 11 recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. Además, se realizó una (1) recomendación Tipo A que requería la reparación del sistema eléctrico de la compuerta del vertedor.

El estudio más reciente de la capacidad del Embalse de Patillas fue realizado en abril de 1997 por el USGS (Soler-López y otros 1999b). El estudio reflejó que para esa fecha el embalse tenía un volumen de 11,220 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 85.7 acres-pies durante el periodo entre 1961 y el 1997. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de aproximadamente 10,620 acres-pies, lo que indica una pérdida del 26% de su capacidad original

debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2128 (Soler-López y otros 1999b).

El caudal promedio de entrada al embalse en 2,187 millones de pies cúbicos al año, lo que representa una tasa de renovación del agua al año de 4.5, o cada 81 días. El rendimiento seguro del embalse en 1975 fue calculado por USACE en 34.3 mgd. En 1987, Santiago-Vázquez y otros (1987), usando los datos del USACE, proyectaron que al 2020 el rendimiento seguro será de 33.8 mgd. Estimados llevados a cabo por la AFI en 1999 como parte del Acueducto Regional de Guayama validaron el rendimiento seguro en 34 mgd. Se recomienda realizar un nuevo estudio del rendimiento seguro que incorpore los nuevos datos batimétricos así como los nuevos datos hidrológicos disponibles.

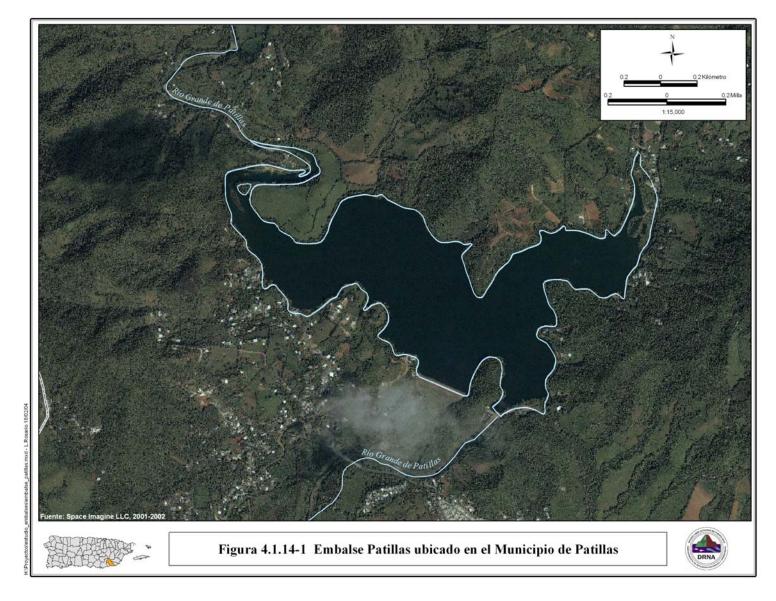
La JCA clasificó el Lago Patillas como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. Según el DRNA, el embalse es habitáculo de tucunaré, lobinas, chopas, barbudos y tilapias. En las inmediaciones del embalse existen áreas recreativas y negocios, así como rampas para botes pequeños, siendo una fuente importante de recreación en la zona de Patillas.



Tabla 4.1.14-1. Características principales del Embalse de Patillas.

Municipio en que está ubicado Año en que se construyó	Río Grande de Patillas Patillas 1914 ELA
Año en que se construyó	1914 ELA
Año en que se construyó	ELA
Agencia dueña	
Uso principal	AAA, Riego
Tipo de represa	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 23 de enero de 2001	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	25.2
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	191.0
mar	
Largo total de la represa, pies	1,066
Altura estructural, pies	147
Área superficial, millas ²	0.58
Profundidad máxima en abril de 1997, pies	78.7
Profundidad promedio en abril de 1997, pies	30.5
Capacidad original en 1914, acres-pies	14,307
Capacidad en marzo de 1997, acres-pies	11,220
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	10,620
Capacidad restante en el año 2004, %	74.2
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	85.7
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	3.4
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	4,507
Fecha estimada de sedimentación completa	2128
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	50,200
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	93
Veces al año en que el agua del lago se renueva	4.5
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	23
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico

Fuentes: AEE, 2002 Soler-López y otros 1999b; USACE 1975; Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.1.15 Toa Vaca

Luego de su construcción en 1914, el Embalse de Guayabal perdió rápidamente capacidad de almacenaje debido a la alta tasa de erosión en la cuenca de los ríos Toa Vaca y Jacaguas, de los cuales se nutría. Esto propició el desarrollo de un plan para aumentar la capacidad de almacenaje de agua de la región y garantizar la disponibilidad de agua para suplir las necesidades de agua potable de la zona y para riego del Distrito de Riego de la Costa Sur. El plan contempló la construcción de un nuevo embalse en el Río Toa Vaca, aguas arriba de Guayabal. Este embalse recibiría aportes de agua desde regiones en la vertiente norte de la Isla a través de transferencias entre cuencas desde el Río Grande de Arecibo, el Río Grande de Manatí y el Río Saliente. Sin embargo, el proyecto se modificó y solo se construyó el embalse Toa Vaca en 1972. Es por esta razón que este embalse posee una capacidad de almacenaje de agua desproporcionadamente grande en relación con su área de captación (AEE, 2002).

Luego de su construcción, el uso proyectado de Toa Vaca cambió de agrícola a proveer abasto público a las plantas de filtración de la AAA, debido al aumento en la demanda de agua en la región sur-central (zona de Ponce, Juana Díaz, Villalba). Por esta razón, la AEE transfirió la operación del embalse a la AAA en 1972. Toa Vaca continúa siendo utilizado principalmente como fuente de agua para abasto público, sirviendo agua a Ponce. Al presente se construye el Acueducto Regional de Villalba, que se alimentará de Toa Vaca, produciendo hasta 7.5 mgd de agua potable para ser servida a Juana Díaz, Santa Isabel, Coamo y sectores de Villalba.

Toa Vaca se encuentra localizado en el Municipio de Villalba, a aproximadamente dos (2) millas al sur de su centro urbano. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Jacagüas, alimentándose del Río Toa Vaca aguas arriba de Guayabal. El embalse drena un área de captación de 21.9 millas cuadradas. La lluvia promedio en la cuenca es de aproximadamente 80 pulgadas al año. La Figura 4.1.15-1 muestra la localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica, mientras que la Tabla 4.1.15-1 resume sus características principales.

El embalse está formado por una represa de 215 pies de alto y 1,740 pies de largo, y es clasificado por la AEE (2002) como de tamaño mayor. Su capacidad original en 1972 era de 55,890 acres-pies, lo que lo convierte en el embalse de mayor capacidad en Puerto Rico. Este posee un área superficial de 1.24 millas cuadradas, una profundidad promedio de 65.3 pies y una profundidad máxima de 177 pies.

La inspección más reciente del Lago Toa Vaca (Fase 1) fue realizada por la AEE el 30 de noviembre de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se

realizaron 13 recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. Además se presentó una (1) recomendación Tipo A donde se requirió establecer un programa de inspecciones mensuales de la seguridad del embalse.

El estudio más reciente sobre la capacidad de Toa Vaca fue realizado por el USGS entre junio y julio de 2002 (Soler-López 2004). Anterior a esta batimetría, el Servicio Federal de Conservación de Suelos realizó, en cooperación con el USGS, una batimetría en julio de 1985 (Figueroa-Alamo 1991). La batimetría más reciente reflejó que el embalse tiene un volumen de 51,950 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 131.3 acres-pies durante el periodo entre 1972 y 2002. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 51,688 acres-pies. Esto indica que el embalse ha perdido aproximadamente el 7 % de su capacidad original debido a la sedimentación. Utilizando esta tasa de sedimentación, se proyecta que el embalse estará completamente sedimentado en el año 2398 (Soler-López 2004). La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca es 7,674 toneladas/milla²/año, la más alta para una cuenca de un embalse mayor en Puerto Rico. El estudio batimétrico reveló además que la eficiencia de retención de sedimentos en Toa Vaca es de 98%.

Desde su construcción en 1972, la capacidad de almacenaje de sedimentos de Toa Vaca se ha reducido de 3,997 acres-pies a 989 acres-pies, lo que representa una reducción de un 75%. El área operacional del embalse no se ha afectado por los sedimentos. Según Soler-López y otros (2004), a través del embalse se han acumulado entre 13 y 49 pies de sedimentos en 30 años a una razón de 11 pulgadas por año. A esta tasa de sedimentación, se estima que el sedimento estará alcanzando la estructura de salida de agua más baja de la represa (396.9 pies sobre el nivel del mar) en aproximadamente 10 años (Soler-López 2004).

El caudal promedio de entrada al embalse es de aproximadamente 763.3 millones de pies cúbicos al año (Soler-López, 2001d). Dada la capacidad de almacenaje actual, la tasa de renovación del agua del Lago Toa Vaca o el número de veces al año que el agua se renueva, se estima en 0.34 veces al año, equivalente a que el agua del embalse se renueva cada tres años. Esta es la tasa de renovación más baja de un embalse en Puerto Rico. Como se indicara anteriormente, esto se debe a que el embalse no recibe toda el agua que inicialmente se planificó, limitando la entrada de agua a la cuenca del Río Toa Vaca sin las transferencias de los ríos del norte proyectadas inicialmente.

El rendimiento seguro del Lago Toa Vaca para el 1975 fue calculado por USACE en 25.7 mgd. Santiago-Vázquez y otros (1987) proyectaron un rendimiento similar al año 2020. Ambos estudios tomaron en cuenta las transferencias de agua de los ríos de la región norte. Estos estimados fueron revisados en el 1999 como parte del Acueducto Regional de Villalba, resultando en un rendimiento

seguro neto de aproximadamente 14 mgd. Se recomienda que este estimado se revise dado la nueva información batimétrica e hidrológica disponible para este embalse.

La JCA clasificó a Toa Vaca como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. Sin embargo, la baja tasa de renovación de agua propicia la acumulación de contaminantes en el embalse y podría ser responsable de su eutrofización.

El embalse posee un atractivo recreacional ya que es habitáculo de lobinas, chopas, barbudos, tucunarés y tilapias. Posee áreas para acceso de botes administradas por la AAA. En el embalse se realizan torneos de pesca de se han pescado las lobinas y tucunarés más grandes de la Isla (DRNA 1992).

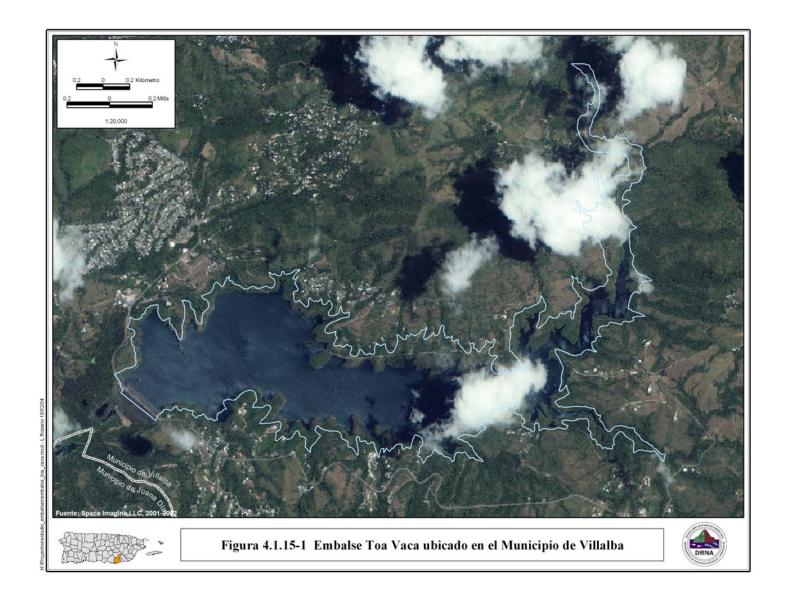
Dada la importancia de este embalse para el abasto público de la zona sur y su potencial recreativo, se recomiendan controles estrictos de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua. Además, se recomienda un programa continuo de monitoría de la sedimentación para así evaluar los efectos de los programas de control de erosión en la cuenca.



Tabla 4.1.15-1. Características principales del Embalse de Toa Vaca.

Cuenca hidrográfica	Río Jacagüas
Municipio en que está ubicado	Villalba
Año en que se construyó	1972
Agencia dueña	AAA
Uso principal	AAA, Riego
Tipo de represa	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 30 de noviembre de	No existían riesgos
2000	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	21.9
Elevación tope compuertas, pies sobre el nivel del	541
mar	
Largo total de la represa, pies	1,740
Altura estructural, pies	215
Área superficial, millas ²	1.24
Profundidad máxima en junio-julio de 2002, pies	177
Profundidad promedio en junio-julio de 2002, pies	65.3
Capacidad original en 1972, acres-pies	55,890
Capacidad en junio-julio de 2002, acres-pies	51,950
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	51,688
Capacidad restante en el año 2004, %	92.5
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	131.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	5.99
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	7,674
Fecha estimada de sedimentación completa	2398
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	17,500
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	98
Veces al año en que el agua del lago se renueva	0.34
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	14
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico

Fuentes: AEE, 2002 Soler-López 2004b; USACE 1975; Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.2 Embalses Activos de Tamaño Intermedio

El inventario de embalses de la AEE (2002) establece que en la Isla existen cuatro (4) embalses activos de tamaño intermedio, esto es, poseen un volumen entre 1,000 y 50,000 acres-pies o una altura de represa entre 40 y 100 pies. Estos embalses fueron construidos entre la década del 1940-50 para riego, producción hidroeléctrica y/o abasto público. Sin embargo, la sedimentación ha reducido su utilidad significativamente debido a que sus estructuras de control de agua están inoperantes o están amenazadas de quedar inoperantes debido a la acumulación de sedimentos en sus inmediaciones. A continuación se presenta una descripción de estos embalses y de la magnitud de la sedimentación en ellos.

4.2.1 Cidra

El Embalse de Cidra fue construido por el ELA como el primero de la serie de Proyectos de Agua para Consumo para la Zona Metro, desarrollados con el propósito principal de suplir agua para consumo en la Zona Metropolitana de San Juan (García-Martinó 2000). Estos proyectos incluyeron la construcción de la represa y el Lago de Cidra (1946), la represa y el Lago Las Curias (1946), y la represa y el Lago Loíza (1954). Desde su construcción, el Lago de Cidra ha sido operado por la AAA para suplir hasta 6 mgd de aguas crudas a las Plantas de Filtración de Guaynabo y Cidra.

embalse encuentra localizado el Municipio de se en Cidra, aproximadamente dos (2) millas al noreste de su centro urbano. Hidrológicamente, el embalse pertenece a la cuenca hidrográfica del Río de Bayamón, con un área de captación natural de 8.3 millas cuadradas. La lluvia promedio en su cuenca es de 61.2 pulgadas al año, de las cuales el 43% se convierte en escorrentía que entra al embalse (Ramos-Ginés 1997). El balance se evapotranspira (48.4%) en la cuenca o se infiltra a los acuíferos (8.6%). Además, el embalse recibe aportes de agua desde la cuenca hidrográfica del Río de la Plata a través de una tubería que descarga a un tributario del embalse. Ramos-Ginés (1997) estableció que esta tubería descargó al embalse cerca de 156.3 millones de pies cúbicos durante el 1993. Sin embargo, esta descarga no es continua ya que es controlada por una estación de bombas que opera intermitentemente. Durante el 1993, este sistema operó durante 226 días del año (Ramos-Ginés 1997). Actualmente, esta derivación no se utiliza, ya que el Superacueducto de la Costa Norte suple abastos adecuados a la PF de Guaynabo. La Figura 4.2.1-1 muestra la localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica, mientras que la Tabla 4.2.1-1 muestra datos de sus estructuras.

El Embalse de Cidra está formado por una represa de 105 pies de alto y 541 pies de largo. Está clasificado por la AEE (2002) como de tamaño intermedio, a

pesar que su represa mide más de 100 pies de altura y su capacidad original es de 5,302 acres-pies, datos que sugieren que es un embalse mayor (AEE, 2001). Este posee un área superficial es de 0.41 millas cuadradas, una profundidad promedio de 17.7 pies y una profundidad máxima de 60.7 pies (Soler-López 1999b). La inspección más reciente del embalse (Fase 1) fue realizada por la AEE el 10 de octubre de 2001 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron siete (7) recomendaciones Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura. Además se presentó una recomendación Tipo B requiriendo un análisis de estabilidad estructural. Además, se realizó una recomendación Tipo A, requiriendo establecer un programa de inspecciones mensuales de la seguridad del embalse.

El estudio más reciente de la capacidad del embalse fue realizada por el USGS en noviembre de 1997 (Soler-López, 1999b). Anterior a esta batimetría, Hunt (1977) realizó un estudio en el 1971 donde determinó la capacidad del embalse en 4,821 acres-pies. La batimetría de 1997 reflejó que el embalse tenía un volumen de 4,670 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 12.4 acres-pies durante el periodo entre 1946 y 1997. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 4,583 acres-pies. De manera que al presente, el embalse ha perdido el 13.6 % de su capacidad original debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2374. La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca es 1,989 toneladas/milla²/año. El estudio batimétrico reveló además que la eficiencia de retención de sedimentos en el Lago de Cidra es de 96%.

La operación de las tomas de agua en el embalse está siendo afectada por la sedimentación. La represa posee dos estructuras de salida de agua ubicadas a 1,253 y 1,295.5 pies sobre el nivel del mar. La batimetría reveló que la salida más profunda está probablemente cubierta por cerca de ocho (8) pies de sedimentos. La otra estructura, a pesar de que no está en peligro de ser afectada por la sedimentación por el momento, podría convertirse en inoperante si el nivel del agua del embalse es reducido drásticamente durante una sequía. Además, el embalse posee otra estructura para descargar sedimentos ("sluice gate") que está inoperante ya que está cubierta por una capa de aproximadamente nueve (9) pies de sedimentos (Soler-López, 2001d).

El caudal promedio de entrada al embalse es de aproximadamente 511.7 millones de pies cúbicos al año (Soler-López, 2001d). La tasa de renovación del agua se estima en 2.6 veces al año. En otras palabras, el agua del embalse se renueva cerca de cada 142 días.

El rendimiento seguro del Lago de Cidra fue calculado en el 1975 por el USACE en 6.3 mgd. Santiago-Vázquez y otros (1987) proyectaron el rendimiento seguro para el año 2020 en 6.0 mgd. Por interpolación el rendimiento seguro al año

2004 se estima en 6.1 mgd. Una vez se actualice la capacidad actual del embalse, se recomienda que este estimado se revise.

La JCA clasificó el Lago de Cidra como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. Según Ramos-Ginés (1997), el problema de eutrofización de este embalse ha sido documentado desde la década del 70 y se acentuó a principios de la década del 90 cuando cerca de un 60% del embalse estaba cubierto por jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*) y se reportaron varios incidentes de mortandad masiva de peces.

En 1993, el USGS realizó un muestreo comprensivo de las fuentes de agua y de nutrientes del embalse (Ramos-Ginés 1997). El estudio reflejó que, para el 1993, las principales fuentes de agua al lago fueron:

- escorrentía superficial a través de los ríos que descargan al lago (511.7 millones de pies cúbicos al año o 61% de la entrada de agua total);
- transferencias desde la cuenca del Río de la Plata (156.3 millones de pies cúbicos al año o 19% de la entrada de agua total);
- Iluvia directa al lago (66 millones de pies cúbicos al año o 8% de la entrada de agua total);
- descargas del acuífero local (2,342 acres-pies al año o 12% de la entrada de agua total); y
- descargas de una planta de tratamiento de aguas usadas (1.76 millones de pies cúbicos al año o <1% de la entrada de agua total).

El estudio también contabilizó las contribuciones de fósforo y nitrógeno por subcuenca y por uso de terreno. Se concluyó, que las zonas de la cuenca hidrográfica sin servicio de alcantarillado sanitario estaban contribuyendo la mayor cantidad de nutrientes al embalse por unidad de área. Igualmente, las zonas urbanas servidas por alcantarillados sanitarios contribuyeron con cantidades significativas de fósforo y nitrógeno al igual que las zonas agrícolas de la ruralía. Las zonas de bosques son las que contribuyen menos nutrientes por unidad de área.

En este lago abundan las lobinas, las chopas, el tucunaré, los barbudos, las tilapias y las sardinas de agua dulce. La pesca recreativa es común en este embalse y existen propiedades privadas que permiten el acceso de botes (DRNA 1992). Las riberas del lago son habitáculo de la Paloma Sabanera (*Columba inornata*), especie designada como en peligro de extinción.

Dada la importancia de este embalse para el abasto público de Cidra, se recomiendan controles estrictos de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua, que continúa en deterioro. Además, se recomienda un programa continuo de monitoría de la sedimentación para así

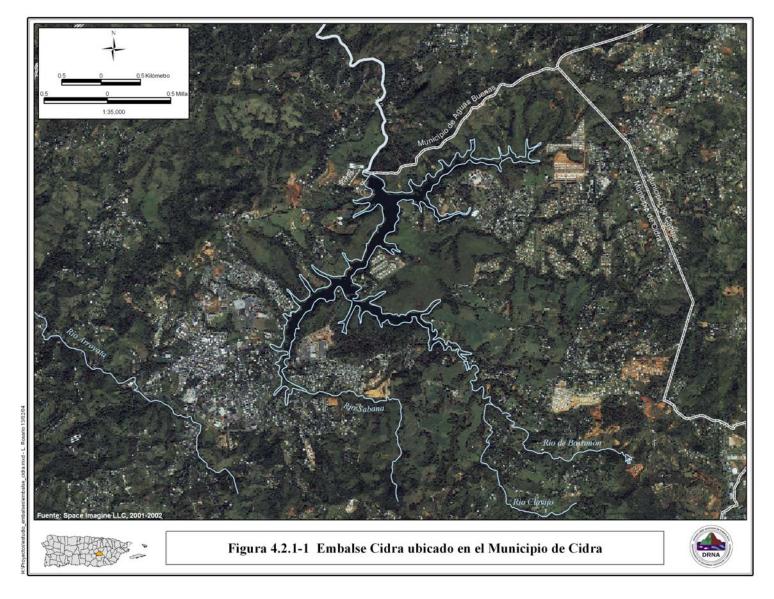
evaluar los efectos de los programas de control de erosión en la cuenca. Finalmente, debido a la condición de sedimentación de este embalse, se recomienda un estudio de viabilidad para un dragado por fases cuya etapa inicial permita rehabilitar las estructuras de salida de agua y de sedimento, actualmente cubiertas por sedimentos.



Tabla 4.2.1-1. Características principales del Embalse de Cidra.

	5/ 5 /
Cuenca hidrográfica	Río Bayamón
Municipio en que está ubicado	Cidra
Año en que se construyó	1946
Agencia dueña	AAA
Uso principal	AAA
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Intermedio
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 10 de octubre de 2001	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	8.3
Elevación tope compuertas, pies sobre el nivel del	1,322
mar	
Largo total de la represa, pies	541.2
Altura estructural, pies	105
Área superficial, millas ²	0.41
Profundidad máxima en noviembre de 1997, pies	60.7
Profundidad promedio en noviembre de 1997, pies	17.7
Capacidad original en 1946, acres-pies	5,302
Capacidad en noviembre de 1997, acres-pies	4,670
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	4,583
Capacidad restante en el año 2004, %	86.4
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	12.4
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.50
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	1,989
Fecha estimada de sedimentación completa	2374
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	11,800
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	96
Veces al año en que el agua del lago se renueva	2.6
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	6.1
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	Eutrófico
Verbranden der Verbranden verbran	

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López 1999b; Ramos-Ginés 1997; USACE 1975; Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.2.2 Loco

La construcción del Embalse de Loco fue completada por la AFF en el 1951 como parte del Proyecto del Suroeste. El Proyecto del Suroeste incluye el Sistema Hidroeléctrico de Yauco y el Distrito de Riego del Valle de Lajas y consta de cinco (5) embalses, dos (2) plantas hidroeléctricas con una capacidad original de 35,000 kva, 25.5 millas de canales y túneles y 100 millas de canales secundarios. Actualmente el manejo de este embalse esta a cargo de la Central Hidro-Gas de la AEE.

La Figura 3.1.9-1 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Yauco y la función del Embalse de Loco dentro del sistema. Loco es el embalse de menor elevación y más cercano al mar en el Proyecto del Suroeste. Este recibe agua de la Planta Yauco II que su vez opera con agua descargada desde el Embalse Lucchetti. Las aguas recibidas en Loco son descargadas al Canal de Riego del Valle de Lajas, supliendo aguas para riego y a tres (3) plantas de potabilización de la AAA (Maginas en Sabana Grande, Lajas en Lajas y Boquerón en Lajas. En el 2002, mediante la Ley 277, la Legislatura declaró aproximadamente 14,000 cuerdas como parte de la Reserva Agrícola del Valle de Lajas. Esta Ley promueve el desarrollo agrícola de la zona por lo que se vislumbra un aumento futuro en la actividad agrícola y consecuentemente en la demanda de agua. La AAA está proponiendo expandir el acueducto urbano de Yauco, aumentando su capacidad de 1.5 a 4 mgd, supliendo el agua cruda desde el túnel que conecta el Embalse Loco con la Planta Hidroeléctrica Yauco 2. Este proyecto se encuentra en etapa de planificación.

El Embalse Loco está ubicado en el Municipio de Yauco a cuatro (4) millas al oeste de su centro urbano. Hidrológicamente, el embalse se nutre de la cuenca hidrográfica del Río Loco, recibiendo trasferencias de agua de otras cuencas hidrográficas (Río Grande Añasco y Río Yauco) asociadas a otros embalses del Proyecto del Suroeste. La cuenca natural del embalse recibe un promedio de 65 pulgadas de lluvia al año y genera un caudal promedio anual a la entrada del embalse de 483.8 millones de pies cúbicos (Soler-López, 2001b). Sin embargo, las trasferencias de agua de las cuencas antes indicadas aumentan la mediana del caudal de entrada a 1,736 millones de pies cúbicos al año (CSA, 2002). La Figura 4.2.2-1 muestra la localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica y a los componentes del Proyecto del Suroeste. La Tabla 4.2.2-1 muestra datos descriptivos de este embalse.

La represa que forma el Embalse Loco mide 72 pies de alto y 600 pies de largo. Está clasificada por la AEE (2002) como de tamaño intermedio. Su capacidad original en el 1951 era de 1,948 acres-pies. La inspección más reciente del embalse (Fase 1) fue realizada por la AEE el 22 de febrero de 2002 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron nueve (9) recomendaciones, ocho (8) de ellas Tipo C asociadas a trabajo rutinario de

mantenimiento de la estructura. Se realizó además una recomendación Tipo B que requería una evaluación de la estabilidad estructural de la represa bajo condiciones normales, de terremoto e inundaciones usando las más actualizadas guías federales de estabilidad y seguridad de represas.

El estudio más reciente de la capacidad del embalse fue realizada por el USGS en marzo de 2000 (Soler-López, 2001b), así como un estudio similar comparativo completado en 1986. La batimetría reciente reflejó que el embalse tiene un volumen de 705 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 25.3 acres-pies durante el periodo de 1951 al 2000. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 604 acres-pies. De manera que al presente, el embalse ha perdido el 69 % de su capacidad original debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2028. La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca es de 3,895 toneladas/milla²/año. El estudio batimétrico reveló además que la eficiencia de retención de sedimentos en Loco es de 86%, su área superficial es de 0.11 millas cuadradas, y la profundidad promedio y máxima 9.8 y 29.5 pies, respectivamente.

El estudio del USGS revela que a través del embalse se han acumulado hasta 23 pies de sedimentos en 14 años, lo que ha afectado la operación de las estructuras en la represa. La represa incluye una estructura de salida de sedimentos ("sluice gate"), la cual está inoperante debido a que está cubierta por 16 pies de sedimentos. El embalse descarga al Canal de Riego del Valle de Lajas a través de otra estructura que también podría resultar afectada por la sedimentación ya que para marzo de 2000, esta se encontraba a solo a tres (3) pies sobre el nivel del fondo.

Estos datos indican que es necesario llevar a cabo un dragado de emergencia en la zona aledaña a la represa de Loco. Esto es necesario para evitar que se inhabilite el canal de riego por la sedimentación, ya que si esto ocurriera se afectarían las plantas de filtración de la AAA y los agricultores que el sistema suple. Además se afectarían los ecosistemas naturales como la Laguna Cartagena y el Refugio de Aves de Boquerón, ya que ambos reciben aportes de aguas del Canal de Lajas. Mientras se tramita un dragado de este embalse, se recomienda la continua operación del canal para así minimizar la sedimentación en la zona de la represa.

El embalse recibe aproximadamente 39,800 acres-pies al año (CSA, 2002). Utilizando la capacidad de almacenaje estimada para el 2004 (604 acres-pies), la tasa de renovación del agua en Loco se estima en 66 veces al año, o cada 5.5 días.

El rendimiento seguro (Q99) del Lago Loco fue calculado recientemente en 16.6 mgd por CSA (2002), como parte de los estudios de impacto ambiental de

Proyecto de Mejoras al Sistema de Acueductos de Yauco. Este cálculo está basado en una análisis de balance de masa que incorporó un periodo de 10 años de operación de todo el Sistema Hidroeléctrico de Yauco, incluyendo la operación diaria de las Plantas Yauco I y II y los cinco (5) embalses que conforman este sistema. Además incorpora datos de niveles diarios en los embalses Lucchetti y Loco.

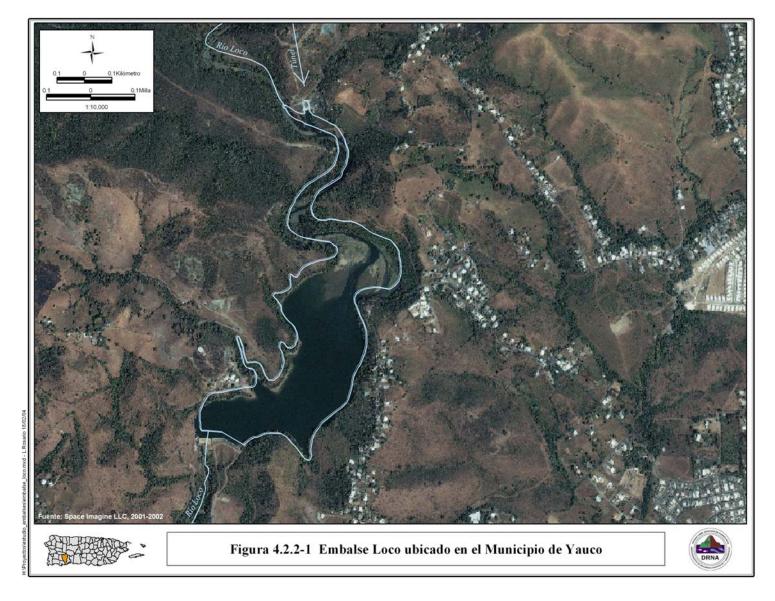
La JCA clasificó a Loco como eutrófico, lo que significa que el agua del embalse está siendo afectada por fuentes de contaminación. La mayor parte de la cuenca del Lago Loco está cubierta por vegetación natural protegida, ya que forma parte del Bosque Estatal de Susúa, administrado por el DRNA. Sin embargo, existen zonas en la parte alta de la cuenca hidrográfica del embalse aguas arriba del Bosque Estatal de Susúa, que están sujetas a intensas actividades agrícolas. Una inspección realizada en esa zona en el año 2000 (J.R. Ortiz-Zayas, observación personal), reveló una falta de prácticas de control de erosión en las fincas lo que está provocando la sedimentación de las quebradas tributarias del Río Loco. Es necesario que se mejoren estas prácticas para así reducir la sedimentación del Lago Loco, que según el DRNA (1992), es habitáculo de lobinas, tucunarés, guavinas, chopas, barbudos y tilapias que podrían afectarse por la contaminación proveniente de fuentes dispersas en la parte alta de la cuenca.

Dada la importancia de este embalse para las actividades agrícolas del Valle de Lajas y para el abasto público de los municipios de Yauco, Sabana Grande, Lajas y Cabo Rojo, se recomiendan controles estrictos de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible y mejorar la calidad del agua. Además, se recomienda un programa continuo de monitoría de la sedimentación para así evaluar los efectos de los programas de control de erosión en la cuenca. Tal y como se mencionó anteriormente, se debe evaluar la posibilidad de realizar un dragado de emergencia en este embalse con el fin de extender la vida útil de este, y así mantener los usos de agua en la región. La multiplicidad de usos y el aumento en la demanda proyectada de agua en la Región Suroeste requerirá de un manejo integrado del agua para así garantizar la disponibilidad del recurso a todos los usuarios la mayor parte del tiempo.

Tabla 4.2.2-1. Características principales del Embalse Loco.

Cuanaa hidraarática	Dialogo
Cuenca hidrográfica	Río Loco
Municipio en que está ubicado	Yauco
Año en que se construyó	1951
Agencia dueña	ELA
Uso principal	AAA, Riego,
	Hidroeléctrico
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Intermedio
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 22 de febrero de 2002	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	8.4
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	230
mar	
Largo total de la represa, pies	600
Altura estructural, pies	72
Área superficial, millas ²	0.11
Profundidad máxima en marzo de 2000, pies	29.5
Profundidad promedio en marzo de 2000, pies	9.8
Capacidad original en 1951, acres-pies	1,945.7
Capacidad en marzo de 2000, acres-pies	705.3
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	604.1
Capacidad restante en el año 2004, %	31
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	25.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	3.0
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	3,895
Fecha estimada de sedimentación completa	2028
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	39,800
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	86
Veces al año en que el agua del lago se renueva	66
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	3
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA	Eutrófico
(2003)	

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López 2001b; CSA 2002; JCA 2003.



4.2.3 Prieto

La construcción del Embalse Prieto fue completada en el 1955 por la AFF como parte del Proyecto del Suroeste, el cual genera electricidad y suple agua al Valle de Lajas, y es operado al presente por la AEE. El Sistema Hidroeléctrico de Yauco y la función de Prieto en dicho sistema se ilustra en a Figura 3.1.9-1. Prieto es uno de los cinco embalses interconectados en dicho proyecto, descargando agua a la Planta Yauco I a través de un túnel subterráneo desde el Embalse Guayo. Una vez el agua sale de esta Planta esta es almacenada en el Embalse Lucchetti, donde el agua es utilizada en la Planta Yauco II para generar electricidad. Finalmente, el agua es descargada al Embalse Loco de donde es distribuida a los canales de riego del Valle de Lajas.

Prieto está ubicado entre los municipios de Maricao y Lares, a aproximadamente ocho (8) millas al oeste del pueblo de Adjuntas. Hidrológicamente, el embalse se nutre de la escorrentía en la cuenca hidrográfica del Río Prieto, tributario del Río Grande de Añasco. La cuenca del embalse recibe un promedio de 90 pulgadas de lluvia al año y genera un caudal promedio anual a la entrada del embalse de 801 millones de pies cúbicos (Soler-López, 1999a). La localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica y a los componentes del Proyecto del Suroeste se ilustra en la Figura 4.2.3-1. La Tabla 4.2.3-1 muestra datos descriptivos de este embalse.

La represa que forma el embalse Prieto mide 98 pies de alto y 247 pies de largo. Está clasificada por la AEE (2002) como de tamaño intermedio. Su capacidad original en 1955 era de 621 acres-pies. La inspección más reciente del embalse (Fase 1) fue realizada por la AEE el 29 de septiembre de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron ocho (8) recomendaciones, todos Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura.

El estudio más reciente sobre la capacidad de Prieto fue llevado a cabo por el USGS en 1997 (Soler-López, 1999a). Un estudio similar llevado a cabo por el USGS en 1990 no ha sido publicado. El estudio de 1997 reflejó que el embalse tenía un volumen de 180.8 acres-pies, lo que representa una tasa de sedimentación anual de 10.48 acres-pies durante el periodo de 1955 al 1997. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 107.4 acres-pies. Esto resulta en que el embalse ha perdido el 83 % de su capacidad original debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2014. La tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca es de 2,331 toneladas/milla²/año.

El estudio de 1997 reveló además que la eficiencia de retención de sedimentos en el Lago Prieto es de 45% y que su área superficial es de 0.023 millas cuadradas, con una profundidad promedio de 12.3 pies y una profundidad

máxima de 32.1 pies. La capa de sedimentos acumulados en el fondo del embalse alcanzaba hasta 50 pies de espesor, lo que ha afectado la operación del embalse. La represa que forma a Prieto incluye una estructura de salida de sedimentos ("sluice gate"), la cual está inoperante ya que al momento del estudio del USGS estaba cubierta por aproximadamente 33 pies de sedimentos. El embalse descarga al túnel de la Planta Yauco I a través de otra estructura que también está afectada por la sedimentación, ya que para octubre de 1997 se encontraba cubierta por una capa de 13 pies de sedimentos, reduciendo el tamaño de la estructura de salida de agua a unos dos (2) pies de diámetro. El embalse, debido a su tamaño menor y lluvia abundante en su cuenca, exhibe una tasa de renovación promedio de 171 veces al año, actuando más como un canal de transporte de agua que como un embalse efectivo.

Es necesario llevar a cabo un dragado de emergencia en la zona aledaña a las estructuras de salida al túnel en la represa de Prieto, para evitar que se inhabiliten por la acumulación adicional de sedimentos. La obstrucción de este túnel afectaría la operación de la Planta Yauco I y por consiguiente los servicios de riego, abasto de agua y de producción eléctrica que provee el Proyecto de Suroeste. Además, la entrada de sedimentos del Lago Prieto al túnel aceleraría la sedimentación de los embalses Lucchetti y Loco.

El rendimiento seguro de Prieto en 1975 fue calculado por USACE en 6.4 mgd. En 1987, Santiago-Vázquez y otros, usando los datos del USACE, proyectaron que al 2020 este será de 1.5 mgd. Interpolando entre estos valores, se estima un rendimiento seguro actual de 3.2 mgd. Es necesario llevar a cabo un nuevo estudio del rendimiento seguro de este embalse que incorpore nuevos datos batimétricos e hidrológicos.

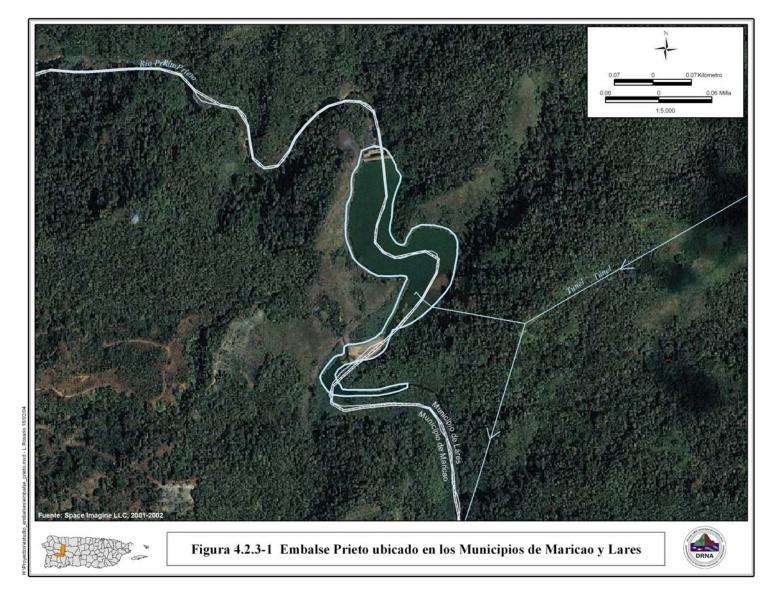
Prieto no está incluido dentro de la red de embalses en el programa de monitoría de la JCA, por lo que esta agencia no determinó su estado trófico en su más reciente informe 305b (JCA 2003). Sin embargo, dada la intensa actividad agrícola en la cuenca de este embalse, se recomienda la implantación de un programa de control de erosión para reducir la contaminación por fuentes dispersas y la sedimentación del embalse.

Aunque este embalse no posee gran capacidad de almacenaje comparado con otros embalses del Proyecto del Suroeste, se recomienda su rehabilitación debido al efecto que tendría la sedimentación total del mismo en la operación del Sistema Hidroeléctrico de Yauco y en el Distrito de Riego del Valle de Lajas. Se recomiendan además, la implantación de medidas estrictas de control de sedimentos y de fuentes dispersas y precisas de contaminación para reducir la tasa de sedimentación al máximo posible. Tal y como se mencionó anteriormente, se debe evaluar la posibilidad de realizar un dragado de emergencia en este embalse con el fin de extender la vida útil de este y así mantener los usos de agua en la región.

Tabla 4.2.3-1. Características principales del Embalse Prieto.

Cuenca hidrográfica	Río Grande de
Cuerica filurografica	Añasco
Municipio en que está ubicado	Maricao y Lares
Año en que se construyó	1955
Agencia dueña	AEE
Uso principal	Hidroeléctrico
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Intermedio
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 29 de septiembre de	No existían riesgos
2000	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	9.6
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	1,485
mar	
Largo total de la represa, pies	246.8
Altura estructural, pies	98
Área superficial, millas ²	0.023
Profundidad máxima en octubre de 1997, pies	32.1
Profundidad promedio en octubre de 1997, pies	12.3
Capacidad original en 1955, acres-pies	621.0
Capacidad en octubre de 1997, acres-pies	180.8
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	107.4
Capacidad restante en el año 2004, %	17.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	10.48
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.09
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	2,331
Fecha estimada de sedimentación completa	2014
Caudal anual promedio de entrada, acres-pies/año	18,400
Por ciento del sedimento que entra que es atrapado	45
Veces al año en que el agua del lago se renueva	171.2
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	3.2
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA	N.D.
(2003)	

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López 1999a; USACE 1975; Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.2.4 Yahuecas

La construcción del Embalse de Yahuecas fue completada en el 1956 por la AFF como parte del Proyecto del Suroeste, operado al presente por la AEE. La Figura 3.1.9-1 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Yauco y la función de Yahuecas dentro del sistema. Yahuecas es uno de los seis (6) embalses que conforman el Proyecto del Suroeste, descargando al Embalse Guayo a través de un túnel de 1.2 millas de largo. Una vez en Guayo, el agua fluye por gravedad hacia la Planta Yauco I, que a su vez descarga al Embalse Lucchetti donde es utilizada en la Planta Yauco II para generar electricidad. Finalmente, el agua es descargada al Embalse Loco de donde es distribuida a los canales de riego del Valle de Lajas. El túnel que conduce el agua del embalse Guayo el embalse Lucchetti también recibe aportaciones de dos lagunas interconectadas entre sí por un túnel: el Toro (charca de retención) que descarga al Prieto (embalse intermedio).

Yahuecas está ubicado en el Municipios de Adjuntas, a aproximadamente cuatro (4) millas al noroeste del pueblo de Adjuntas. Hidrológicamente, el embalse se nutre de la cuenca hidrográfica del Río Yahuecas, tributario del Río Grande de Añasco. La cuenca natural del embalse recibe un promedio de 90 pulgadas de lluvia al año y genera un caudal promedio anual a la entrada del embalse de 1,642 millones de pies cúbicos (Soler-López, 1999c). La localización de este embalse en relación con su cuenca hidrográfica y a los componentes del Proyecto del Suroeste se ilustra en La Figura 4.2.4-1. La Tabla 4.2.4-1 muestra datos descriptivos de este embalse.

La represa que forma a Yahuecas es de tierra operada por gravedad, de 90 pies de alto y 450 pies de largo. Está clasificada por la AEE (2002) como de tamaño intermedio. Su capacidad original en 1956 era de 1,427 acres-pies. La inspección más reciente de Yahuecas (Fase 1) fue realizada por la AEE el 27 de octubre de 2000 (Apéndice A). La misma reflejó que el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad. Como producto de la inspección, se realizaron siete (7) recomendaciones, todos Tipo C asociadas a trabajo rutinario de mantenimiento de la estructura.

Aunque Yahuecas continúa siendo utilizado como fuente de agua del Embalse Guayo, la sedimentación prácticamente ha eliminado esta función, convirtiendo este embalse en uno sin capacidad efectiva. El estudio más reciente de capacidad del embalse fue realizado por el USGS en marzo de 1997 (Soler-López y otros, 1999c). Este estudio reveló que el embalse tenía un volumen de 267.5 acres-pies, lo que sugiere que se ha sedimentado a una tasa anual de 28.3 acres-pies durante el periodo de 1956 al 1997. Proyectando esa tasa de sedimentación al presente, la capacidad de almacenaje estimada al 2004 es de 69.6 acres-pies. Esto representa que ha perdido el 95 % de su capacidad original debido a la sedimentación. A esta tasa, el embalse estará completamente sedimentado en el año 2007. En un embalse, la eficiencia de

retención de sedimentos se reduce según la sedimentación aumenta. Por esta razón, es probable que la fecha de sedimentación completa se extienda más allá del 2007 a menos que un huracán afecte el embalse en los próximos años, ya que estos fenómenos tienden a aumentar drásticamente la sedimentación de los embalses.

El estudio de 1997 del USGS también reveló que la tasa histórica de producción de sedimentos de la cuenca del Río Yahuecas es de 1,961 toneladas/milla²/año, mientras que la eficiencia de retención de sedimentos en el embalse era de 35%, con una profundidad máxima de 21.3 pies. Este estudio no calculó el área superficial del embalse. Sin embargo, asumiendo un área superficial de 0.08 millas cuadradas (DRNA, 1990), se estimó la profundidad promedio del embalse en 5.4 pies. Debido a su capacidad limitada y la escorrentía abundante en la cuenca, la tasa de renovación de agua en 1997 era de 541 veces por año. El espesor de los sedimentos a través del embalse alcanzaba hasta 62 pies, afectando la operación del embalse. La represa del Yahuecas incluye una estructura de salida de sedimentos ("sluice gate"), la cual está inoperante ya que está cubierta por una capa de 41 pies de sedimentos.

La condición de sedimentación del Yahuecas es severa y requiere un dragado de emergencia en las inmediaciones de la represa de acciones inmediatas de mantenimiento. Este embalse descarga agua con una gran cantidad de sedimentos a Guayo, lo que acelerara su sedimentación. Además, los sedimentos podrían inhabilitar el túnel que descarga a Guayo.

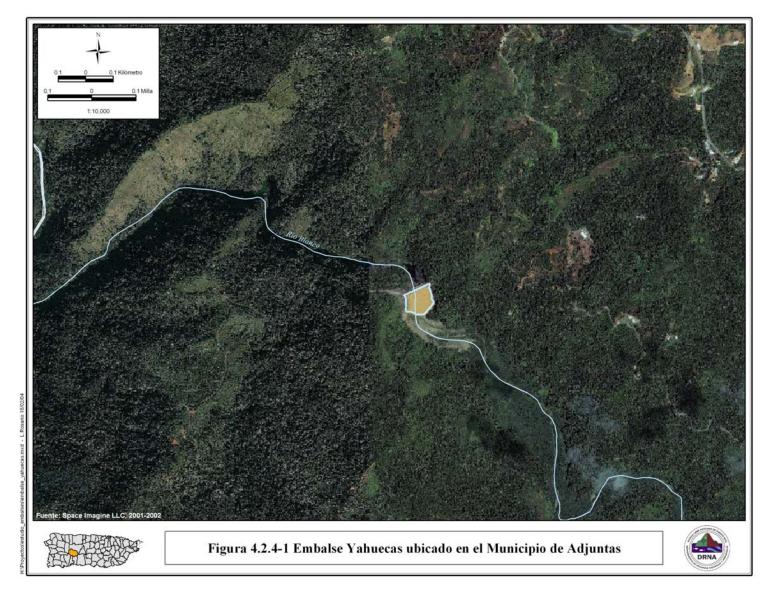
El rendimiento seguro de Yahuecas en 1975 fue calculado por el USACE en 13.9 mgd. En 1987, Santiago-Vázquez y otros, utilizando los datos del USACE, proyectaron que al 2020 el rendimiento estaría limitado a la escorrentía del Río Yahuecas, sin contribuciones del almacenamiento en el embalse. Interpolando entre estos valores, se estima el rendimiento seguro actual en aproximadamente 4.9 mgd. Sin embargo, se recomienda se realice un nuevo estudio del rendimiento seguro de este embalse que incorpore los nuevos datos batimétricos e hidrológicos disponibles, ya que es probable que el rendimiento de este embalse sea menor al estimado debido a sedimentación acelerada en la zona.

Yahuecas no está incluido dentro de la red de embalses monitoreados por la JCA, por lo que esta agencia no determinó su estado trófico en su más reciente informe 305b (JCA 2003).

Tabla 4.2.4-1. Características principales del Embalse Yahuecas.

Cuenca hidrográfica	Río Grande de Añasco
Municipio en que está ubicado	Adjuntas
Año en que se construyó	1956
Agencia dueña	AEE
Uso principal	Hidroeléctrico
Tipo de represa	Hormigón
Clasificación de tamaño	Intermedio
Clasificación de riesgo	Alto
Estado físico/estructural en 27 de octubre de 2000	No existían riesgos
	inminentes a la
	seguridad
Área de captación, millas ²	17.4
Elevación tope del vertedor, pies sobre el nivel del	1,471
mar	
Largo total de la represa, pies	450
Altura estructural, pies	90
Área superficial, millas ²	0.08
Profundidad máxima en marzo de 1997, pies	21.32
Profundidad promedio en marzo de 1997, pies	5.4
Capacidad original en 1956, acres-pies	1,427
Capacidad en marzo de 1997, acres-pies	267.5
Capacidad estimada en el año 2004, acres-pies	69.6
Capacidad restante en el año 2004, %	4.9
Tasa de sedimentación, acres-pies/año	28.3
Tasa de sedimentación, acres-pies/milla²/año	1.62
Tasa de sedimentación, toneladas/milla²/año	1,961
Fecha estimada de sedimentación completa	2007
Caudal anual promedio de entrada, millones	37,700
pies ³ /año	, i
Porciento del sedimento que entra que es atrapado	35
Veces al año en que el agua del lago se renueva	541
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	4.9
Estado trófico según el informe 305(b) de la JCA (2003)	N.D.
Fuentes: AEE 2002: Solar Lánez y etros 1000e:	LICACE 1075: Contingo

Fuentes: AEE, 2002; Soler-López y otros 1999c; USACE 1975; Santiago-Vázquez y otros 1987; JCA 2003.



4.3 Embalses activos de menor importancia para el Plan de Aguas

El inventario de embalses de la AEE del 2002 incluye diez (10) embalses activos con capacidad de diseño limitada. La mayoría de estos embalses están ubicados en propiedades privadas y fueron construidos para riego o para control local de inundaciones. La Figura 4.3-1 muestra la localización de estos embalses y la Tabla 4.3-1 resume sus características principales.

4.3.1 Ajíes y Dagüey

Los embalses Ajíes y Dagüey fueron construidos por el Servicio Federal de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura Federal para control de inundaciones en el pueblo de Añasco. Dagüey se construyó en 1978 y Ajíes en 1984.

- Ajíes está ubicado a aproximadamente una (1) milla al norte del pueblo de Añasco y posee una capacidad de 95 acres-pies.
- Dagüey está ubicado al noreste del pueblo de Añasco, cerca de la Carretera PR-404 en la intersección con el Río Dagüey. El embalse tiene una capacidad de diseño de 334 acres-pies.

Se desconoce la capacidad actual de ambos embalses ya que no se han realizado batimetrías recientes. Desde su construcción, estos embalses son operados por el DRNA.

4.3.2 Ana Maria II, Ana María V, Bronce y Ponceña

Estos embalses fueron diseñados y construidos en 1939 por el Departamento de Ingeniería de la Corporación Serrallés. Los mismos fueron dedicados al riego de fincas de caña de azúcar. El Río Inabón es la fuente principal de abasto de agua de Ana María II, Ana María V y Bronce, mientras que el Río Guayo es el tributario principal de Ponceña.

- Ana María II (373 acres-pies) y Ana María V (1,927 acres-pies) están ubicados en el Barrio Coto Laurel a 5 millas al noreste del centro urbano de Ponce.
- Bronce (843 acres-pies) está ubicado al norte de la Autopista PR-52 en el tramo de Ponce-Coto Laurel a dos (2) millas al este de Ponce.
- Ponceña (1,742 acres-pies) está ubicado en el Barrio Callabo de Juana Díaz, al norte de la Carretera PR-14. Actualmente, este embalse suple agua a una finca de mangos de la compañía Fruit Internacional, Inc.

No existe evidencia de estudios de capacidad realizados en estos embalses luego de su construcción. Se presume que la sedimentación ha reducido su capacidad significativamente ya que están ubicados en zonas de intensa actividad agrícola.

4.3.3 Guerrero

El Embalse Guerrero fue construido en 1922 por la AFF como parte de las obras del Distrito de Riego de Isabela, aunque no figura en el inventario de embalses de la AEE del 2002. Guerrero era parte del Sistema Hidroeléctrico de Isabela, el cual ya no está en operación. Actualmente, el embalse es utilizado para suplir agua cruda a la Planta de Filtración de la AAA en Ramey, cerca de Aguadilla. El agua que recibe el embalse proviene del Embalse de Guajataca a través del Canal de Riego de Isabela. Un informe de la AFF de 1958 reveló que este embalse tenía una capacidad original de diseño de 156 acres-pies y una represa con altura de 39 pies, lo que lo cualifica como un embalse menor.

Un estudio de capacidad realizado por el USGS en el 2001 (Soler-López, 2002) reveló que la capacidad del embalse se ha reducido a 103 acres-pies, lo que representa una reducción de un 34% de su capacidad original. La tasa de sedimentación de este embalse se estima en 0.67 acres-pies al año, lo que sugiere que posee una vida útil de alrededor de 154 años.

El llamado "Lago Calero" recibe agua a través de un canal proveniente del Embalse Guerrero. Al igual que éste, forma parte del sistema de riego de Isabela. La charca Calero tiene una limitada capacidad de almacenaje de 39 acres-pies, de los cuales 6 ya se han perdido a la sedimentación. La batimetría más reciente fue realizada por Unlimited Marine Corporation en febrero de 2003. La charca cuenta con una estación de bombas que conduce el agua a las plantas de filtración de Aguadilla, que recibe 15-16 mgd, y a la planta de filtración Ramey, que recibe 3 mgd. La laguna recibe agua del canal constantemente, lo que le permite suplir más de su capacidad en un día. Por su limitada capacidad, esta charca no se clasifica como embalse. Es más bien una laguna de retención. Pertenece a la AAA aunque es operada por la AEE.

4.3.4 Icacos

El Embalse de Icacos fue construido en 1930 por la "Porto Rico Railway, Light and Power Company" como parte del Sistema Hidroeléctrico del Río Blanco, en la región este de Puerto Rico. La Figura 3.1.3 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco, uno de los primeros sistemas construidos en la isla para proveer energía eléctrica a los centros urbanos. Icacos es operado por la AEE como fuente de agua para la producción hidroeléctrica.

Este embalse está ubicado en el Municipio de Naguabo, en la cuenca del Río Icacos, tributario del Río Blanco. El agua descargada por las unidades hidroeléctricas se une al Río Blanco, donde parte de la misma es desviada hacia la Base Naval de Roosevelt Roads en Ceiba. El balance fluye hacia la Planta de Filtración de la AAA en Naguabo, que suple agua potable a Las Piedras, Juncos,

Vieques, Culebra y sectores de Humacao y Ceiba. El embalse contaba originalmente con una capacidad de almacenaje de agua limitada (15 acrespies). Se desconoce la capacidad actual de este embalse, pero es probable que esta se haya reducido grandemente debido a la sedimentación producto de la erosión en la cuenca ya que esta se encuentra en la Sierra de Luquillo, la zona más lluviosa de Puerto Rico.

4.3.5 Llanadas (Lago Regulador)

El Embalse de Llanadas, construido en el 1996 por la AAA, está ubicado a dos (2) millas al sur del pueblo de Isabela. Este embalse, con una capacidad de 399 acres-pies, se nutre de agua proveniente del Embalse de Guajataca a través del Canal de Moca y suple hasta 6 mgd de agua cruda a la Planta de Filtración de Isabela. No existen datos sobre su capacidad actual, auque es probable que la cantidad de sedimentos acumulados sea mínima, ya que el agua proveniente del Guajataca contiene cantidades menores de sedimentos.

4.3.6 Melanía

El Embalse Melanía fue construido en el 1914 como parte de las obras del Distrito de Riego de la Costa Sur, particularmente de la Sección Este del sistema de canales que cubre la región desde Patillas hasta Salinas. El embalse, operado por la AEE, tenía una capacidad original de 312 acres-pies, y se nutre de los canales de Guamaní y Patillas. El embalse suple agua para riego y hasta 6 mgd de agua cruda a la Planta de Filtración de la AAA en Guayama. Además, recibe aguas de una cuenca natural de una (1) milla cuadrada.

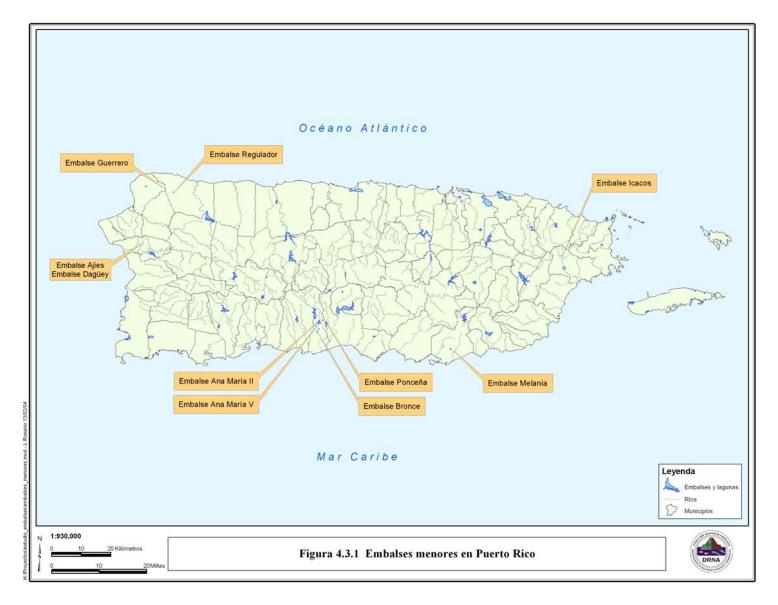
Un estudio de llevado a cabo por la AEE en 1986 reveló una capacidad de 261.5 acres-pies, o el 84% de la original, lo que sugiere una tasa de sedimentación de 0.7 acres-pies por año. Debido a la importancia de este embalse para el riego y abastos de agua potable en la zona de Guayama, en junio de 1997 la AEE aumentó la elevación de la represa del embalse de 30 a 36 pies. El aumento efectivo en capacidad de este aumento en elevación de la represa no ha sido determinado. Este permite que la represa pueda manejar mejor un caudal mayor de aguas de escorrentía durante periodos de inundación.

Tabla 4.3-1 Características principales de diez (10) embalses activos considerados de menor importancia para el Plan de Aguas.

NOMBRE DEL	CUENCA HIDRO-	AÑO CONSTRUIDO	AGENCIA DUEÑA	USO PRINCIPAL	ALTURA REPRESA, PIES	ÁREA DE CAPACIDAD INICIAL DEL EMBALSE		CAPACIDAD TOTAL ACTUAL		CAPACIDAD RESTANTE SOBRE LA INICIAL	
EMBALSE	GRÁFICA	CONSTRUIDO	DOENA	FRINCIPAL	PIES	MILLAS CUADRADAS	ACRES- PIESS	MILLONES DE GALONES	ACRES- PIES	AÑO	PORCIENTO
Ajíes	Río Gde. de Añasco	1984	DRNA	Control de inundación	52	0.23	95	31	N.D.	N.D.	N.D.
Ana María II	Río Inabón	1939	Privada	Riego	40	0.38	373	122	N.D.	N.D.	N.D.
Ana María V	Río Inabón	1939	Privada	Riego	56	0.17	1,927	628	N.D.	N.D.	N.D.
Bronce	Río Inabón	1939	Privada	Riego	52	N.D.	843	275	N.D.	N.D.	N.D.
Dagüey	Río Gde. de Añasco	1978	DRNA	Control de inundación	50	0.88	334	109	N.D.	N.D.	N.D.
Guerrero	Canal de Riego de Isabela	1922	AEE	Hidroeléctrico/ Riego	39	19	156	51	103	2001	66
Icacos	Río Blanco	1930	AEE	Hidroeléctrico	36	2.38	15	4.9	N.D.	N.D.	N.D.
Lago Regulador	Canal de Riego de Isabela	1996	AAA	Abasto público	39	N.D.	399	130	N.D.	N.D.	N.D.
Melanía	Canal de Riego Costa Sur	1914	AEE	Riego	36	1	312	102	261.5	1986	84
Ponceña	Río Guayo	1939	Privada	Riego	48	N.D.	1,742	567	N.D.	N.D.	N.D.

Fuente: AEE (2002); Soler-López 2002. N.D. significa información no disponible.





4.4. Embalses Sedimentados

En Puerto Rico, siete (7) embalses cuya capacidad de almacenaje de agua es mínima debido a la acumulación de sedimentos. Estos embalses fueron construidos entre 1907 y 1950 para propósitos de riego o generación hidroeléctrica. Su capacidad de almacenaje de diseño fluctúa entre aproximadamente 100 hasta 5,000 acres-pies, lo que indica que la mayoría son embalses de tamaño intermedio. La excepción es el Lago Comerío II (4,925 acres-pies), clasificado por la AEE como un embalse mayor por el criterio de altura de la de su represa de 128 pies, lo cual excede el criterio de mínimo de 100 pies que define un embalse mayor (AEE, 2001).

Estos embalses operaron durante la primera mitad del Siglo XX, un periodo de intensa actividad agrícola en Puerto Rico. Se desconoce cual fue la vida útil de estos embalses ya que no hay información sobre el historial de acumulación de sedimentos. Aparentemente, el periodo de vida útil de estos embalses de tamaño intermedio no fue mucho mayor de 50 años.

Actualmente, algunos de estos embalses están siendo dragados por la AEE, incluyendo a Viví y Coamo. La probabilidad de dragado de otros embalses dependerá de la necesidad de agua en la región donde se encuentran y de la disponibilidad de fondos para el costo del dragado. La experiencia más reciente de dragados de embalses en Puerto Rico es la del Embalse Loíza, donde se aumentó la capacidad del embalse por cerca de 5,000 acres-pies a un costo de cerca de \$61 millones, lo que equivale a un costo de \$12,200 por acre-pie.

4.4.1 Adjuntas, Pellejas y Viví

Los Embalses Adjuntas, Pellejas y Viví fueron construidos entre el 1950 y el 1952 como parte del Sistema Hidroeléctrico de Caonillas (Figura 5.1.7). El Embalse Adjuntas (384 acres-pies), localizado cerca de la Carretera PR-10 entre Adjuntas y Utuado, es el de mayor elevación entre los embalses de este sistema. El embalse captura aguas de una cuenca de 14.7 millas cuadradas, la cual descarga al Embalse Pellejas, el que a su vez descarga al Embalse Viví. En este punto el agua se usaba para generar electricidad en la Planta Caonillas No. 2. Actualmente, esta planta está fuera de operación debido a que la sedimentación ha reducido el caudal aportado por estos embalses.

La AEE indica en su informe del 2002 que el Embalse Adjuntas se encuentra totalmente sedimentado, obstruyendo la descarga de agua hacia al túnel de salida. Pellejas (108 acres-pies), ubicado a unas cinco (5) millas al sur de Utuado, está también sedimentado, afectando su operación ya que sus aguas no pueden ser transportadas efectivamente por el túnel de salida que descarga al Viví.

El Embalse Viví, con una capacidad de diseño de 277 acres-pies, está localizado a unas tres (3) millas al sureste de Utuado. Este embalse se encuentra esencialmente sedimentado, provocando el cese de operaciones de la Planta Hidroeléctrica de la AEE Caonillas No.2. Recientemente, el DRNA otorgó un permiso de remoción de material del embalse para reuso como agregado, como parte de una acción concertada dirigida a rehabilitar paulatinamente su capacidad y fomentar el reuso de los sedimentos.

4.4.2 Embalses Comerío I y Comerío II

Los Embalses Comerío I y Comerío II fueron construidos por la "Porto Rico Railway, Light, and Power" como parte del Sistema Hidroeléctrico de Comerío, el primer proyecto de masificación eléctrica de Puerto Rico. Este sistema incluía dos embalses (Comerío I y II) con represas en el Río Grande de La Plata. La represa del embalse Comerío I (construida en 1907) estaba localizada a 2.5 millas aguas abajo del centro urbano de Comerío. La represa Comerío II (construida en 1913) se localizó a 0.5 millas aguas arriba de la represa Comerío I

Esto embalses se llenaron de sedimentos rápidamente luego de su construcción. Según la AEE (1958), el paso del Huracán San Felipe en 1928 depositó grandes cantidades de sedimentos en ambos embalses. Comerío I, con capacidad de diseño de 500 acres-pies, estaba completamente lleno de sedimentos para 1958. La capacidad original de Comerío II fue de 4,925 acres-pies. Para 1958, la capacidad del embalse se había reducido a 1,825 acres-pies debido a los sedimentos. Como dato sobresaliente se determinó que el nivel de inundación en la represa Comerío II provocado por el Huracán San Felipe, que impactó a Puerto Rico el 13 de septiembre de 1928, fue de 18 pies sobre el tope del vertedor. La erosión provocada por las prácticas agrícolas de la época y el paso del Huracán San Felipe fueron sin duda las fuentes de sedimentos que promovieron la sedimentación inicial de ambos embalses.

4.4.3 Coamo

El Embalse de Coamo fue construido en el 1914 por el Servicio de Regadío de Puerto Rico para suplir agua para riego en los llanos costeros de la zona. La represa que forma el embalse está ubicada a aproximadamente cinco (5) millas al sur de Coamo. Su capacidad original era de 2,827 acres-pies, la cual se redujo rápidamente por la acumulación de sedimentos descargados por el Río Coamo. En 1968 la AEE determinó que su capacidad se había reducido a un 4% de la original, equivalente a 115 acres-pies (H. R. Rosario, comunicado de prensa de la AEE, 11 de octubre de 2002).

Actualmente, este embalse no está en operación ya que la sedimentación ha inhabilitado todas sus estructuras principales de control de agua. Sin embargo, en octubre de 2002, la AEE anunció un programa de rehabilitación para mejorar

la seguridad del embalse y para aumentar su capacidad a aproximadamente 800 acres-pies. La AAA planifica instalar una planta de filtración en las inmediaciones del embalse para suplir hasta 2 mgd de agua potable a sectores de Coamo y Santa Isabel. El costo de la rehabilitación se estimó en \$4.7 millones.

4.4.4 Las Curías

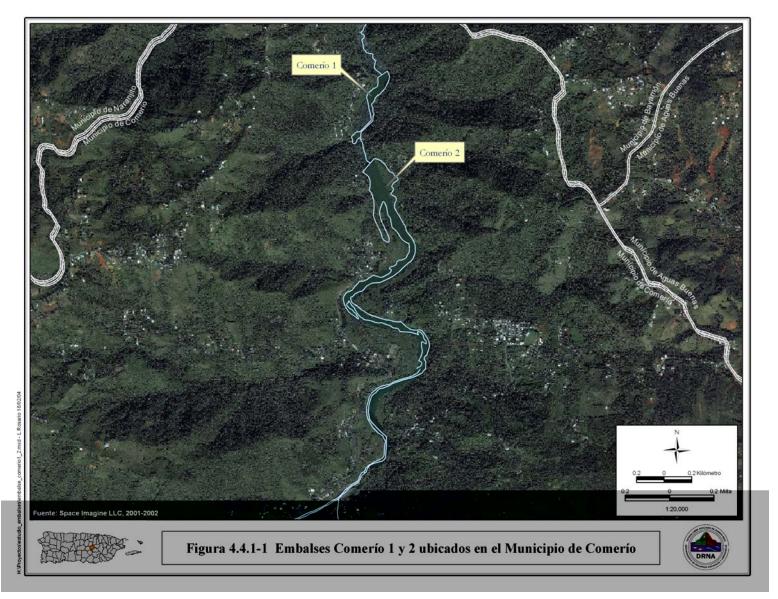
El Embalse Las Curías fue construido por el ELA como el primero de los proyectos para suplir agua potable a la Zona Metropolitana de San Juan (García-Martinó 2000). El embalse se encuentra localizado a aproximadamente cuatro (4) millas al sur de San Juan, en la cuenca del Río Piedras, nutriéndose de la Quebrada Las Curías. Desde su construcción, Las Curías fue operado por la AAA como fuente de abasto público, supliendo una planta de filtración que ubicaba en la Estación Experimental Agrícola de Río Piedras. Actualmente, el embalse no está en operación como fuente de agua para abasto público por causa de la sedimentación. El embalse, sin embargo, es utilizado para uso recreativo y para la pesca.

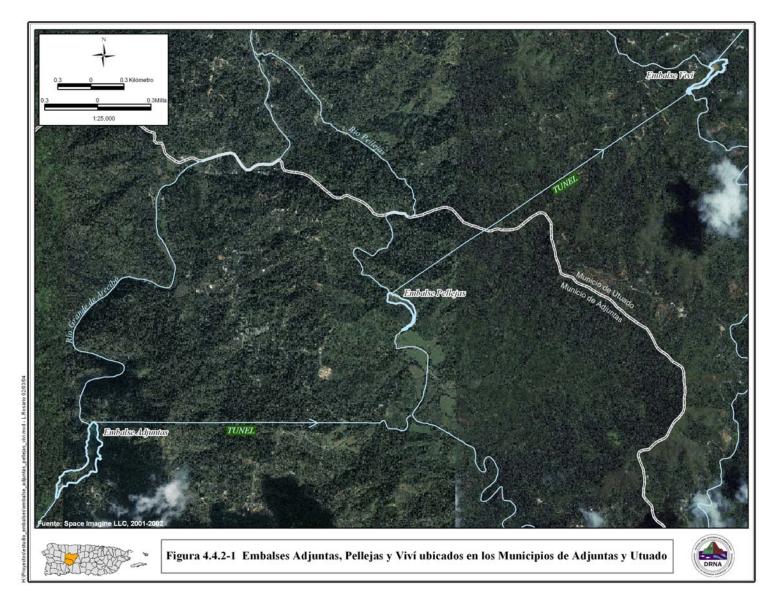


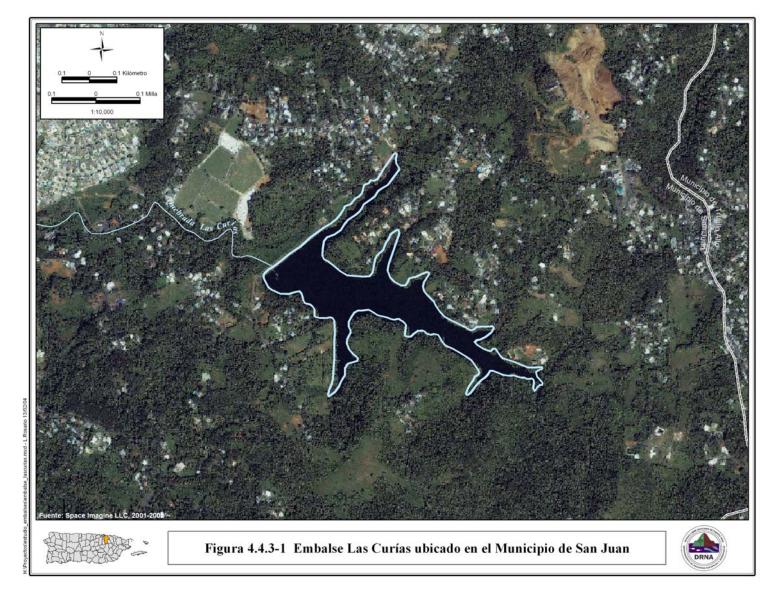
Tabla 4.4-1 Características principales de embalses en Puerto Rico con capacidad mínima debido a la sedimentación.

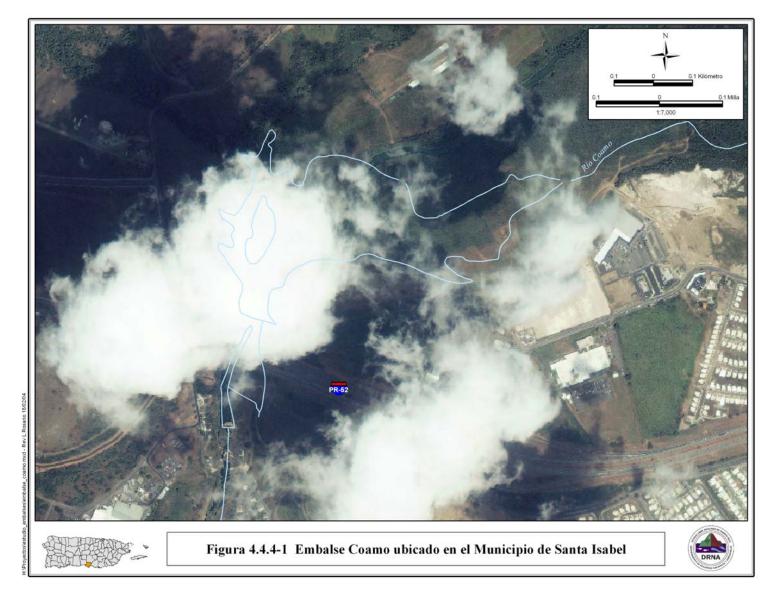
NOMBRE	CUENCA	AÑO	AGENCIA	USO	ALTURA REPRESA	ÁREA DE CAPTACIÓN		DAD INICIAL MBALSE
DEL EMBALSE	HIDRO- GRÁFICA	CONSTRUIDO	DUEÑA	PRINCIPAL	PIES	MILLAS CUADRADAS	ACRES- PIES	MILLONES DE GALONES
Adjuntas	Río Grande de Arecibo	1950	AEE	Hidroeléctrico	80	14.7	384	125
Comerío I	Río La Plata	1907	AEE	Hidroeléctrico	47	136	500	163
Comerío II	Río La Plata	1913	AEE	Hidroeléctrico	128	135	4,925	1,604
Coamo	Río Coamo	1914	ELA	Riego	65	66	2,827	921
Las Curías	Río Piedras	1946	AAA	Abasto Público	75	1.1	1,120	365
Pellejas	Río Gde. de Arecibo	1950	AEE	Hidroeléctrico	50	8.5	108	35
Viví	Río Gde. de Arecibo	1952	AEE	Hidroeléctrico	85	6.5	277	90

Fuentes: Quiñones 1995, AEE 2002.









4.5. Embalses en Construcción

Actualmente la AFI construye el Embalse de Fajardo para la AAA, ubicado al este del Río Fajardo cerca del Aeropuerto Municipal. Separadamente, la AAA recientemente subastó la construcción del Embalse de Río Blanco, que estará ubicado en el Municipio de Naguabo, aguas arriba de la Planta de Filtración de la AAA en dicho municipio. Los embalses tendrán como función principal la de servir como fuente de abasto de agua a los municipios del noreste, los cuales están experimentando un rápido crecimiento poblacional y turístico. La Tabla 4.5-1 muestra las características principales de estos embalses. Las Figuras 4.5-2 y 4.5-3 muestran su ubicación.

Ambos embalses están ubicados fuera del cauce de los ríos que los nutren, en depresiones en la zona cerradas mediante represas de tierra. Este diseño reduce significativamente la tasa de sedimentación, ya que las tomas en los ríos retienen los sedimentos suspendidos en la escorrentía. En el caso del Embalse de Fajardo, el agua fluye por gravedad desde la parte alta del Río Fajardo hasta el embalse. En forma similar, el agua de la parte alta del Río Blanco fluirá hasta el Embalse de Río Blanco. La Figura 4.5-1 ilustra el concepto de un embalse fuera del cauce en comparación con un embalse convencional.

4.5.1 Embalse Fajardo

La construcción de este embalse en Fajardo comenzó en agosto de 2000 bajo la dirección de la AFI en representación de la AAA, como parte del Acueducto Regional de Noreste. El sistema incluye una planta de filtración adyacente al embalse que proveerá hasta 12 mgd de agua potable a los municipios de Fajardo, Ceiba y Luquillo. El embalse esta ubicado a aproximadamente 1.6 millas al suroeste de Fajardo, con una capacidad de diseño de 4,455 acres-pies y un rendimiento seguro de 12 mgd. Se espera que la construcción de las obras termine en diciembre de 2004, por lo que se espera que el llenado del embalse comience a inicios del año 2005.

4.5.2 Embalse Río Blanco

El Embalse Río Blanco tendrá una capacidad de almacenaje inicial de 3,810 acres-pies, que con un rendimiento seguro de hasta 18 mgd. El embalse se alimentará del Río Blanco mediante una tubería de 3.2 km de longitud, supliendo agua cruda a la planta de filtración de Naguabo, la cual se expande al presente para expandir su capacidad de producción de agua potable de 12 a 18 mgd. Al igual que el Embalse de Fajardo, su vida útil será de cientos de años debido a su ubicación fuera del cauce del Río Blanco. La AAA planifica comenzar su construcción durante el 2004, completando las obras en el 2007.

Tabla 4.5-1. Características principales de los Embalses Fajardo y Río Blanco.

	Embalse	Embalse Río
	Fajardo	Blanco
Cuenca hidrográfica	Río Fajardo	Río Blanco
Municipio en que está ubicado	Fajardo	Naguabo
Fecha en que finalizará la construcción	2004	2007
Tipo de represa	Tierra	Tierra
Clasificación de tamaño	Mayor	Mayor
Clasificación de riesgo	Alto	N.D
Área de captación, millas ²	10.9	7.3
Elevación de la presa, pies sobre el nivel del	178.8	101
mar		
Altura estructural, pies	115	66
Capacidad de almacenaje, acres-pies	4,455	3,810
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	12.0	18.0

Fuente: AEE 2002; AFI, 2001.

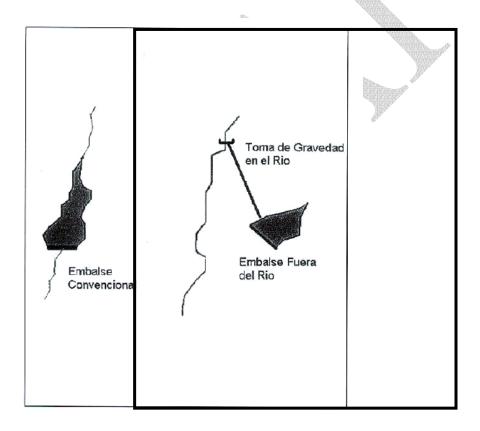
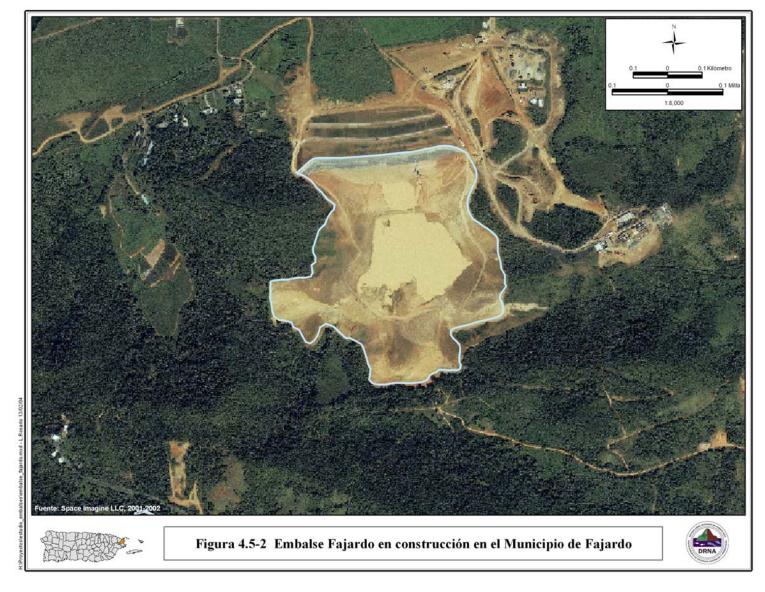
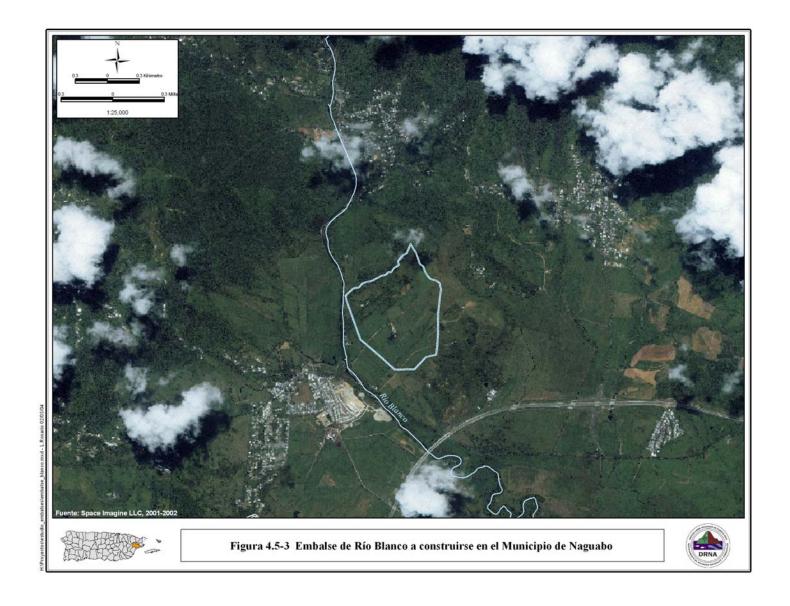


Figura 4.5-1 Comparación conceptual entre un embalse convencional y un embalse fuera del cauce (AFI, 2001).





4.6 Embalses en Planificación

En las últimas décadas, el Gobierno del Estado Libre Asociado en coordinación con agencias federales, ha estado planificando una serie de nuevos embalses para poder lidiar con algunos problemas de abasto de agua y de control de inundaciones en varias zonas de Puerto Rico. Algunos de los proyectos, como el Proyecto de Propósitos Múltiples Portugués-Bucaná, están en planificación desde finales de la década del 60 (Vázquez y Santiago-Vázquez 1972). En la década del 70, el USACE realizó un estudio abarcador de los abastos de agua en la Isla que incluyó una evaluación de lugares potenciales para construir nuevos embalses (Black and Veatch Engineers 1976). En la década de los 80, los planes de abasto de agua de la Isla y de construcción de embalses fueron revisados nuevamente (Santiago-Vázquez, Flaherty y Giavara 1987). En esa ocasión se identificaron cerca de 26 lugares potenciales para la construcción de embalses, de los cuales se han desarrollado (o están en vías de construcción) tres: Cerrillos, Portugués y Fajardo. Como se discutió anteriormente, el embalse Cerrillos se terminó de construir en 1991, el embalse Fajardo está en vías de construcción y el embalse Portugués se trata en esta sección como embalse en planificación.

Recientemente, la Autoridad para el Manejo de la Infraestructura de Puerto Rico (AFI) desarrolló un plan de abasto de agua para la región noreste (AFI, 2002) donde se han recomendado la construcción de tres (4) nuevos embalses: Beatriz, Quebrada Jiménez, Valenciano y Canóvanas. La AFI también planifica la construcción del embalse Casei en la zona suroeste para aliviar la crisis de abasto de agua en esa región (AFI, 2003). La Tabla 4.6-1 resume las características principales de diseño de los embalses Portugués, Beatriz, Jiménez, Valenciano, Canóvanas y Casei. Las Figuras 4.6-1, 4.6.1.-2 y 4.6.1-3 muestran la localización de estos embalses.

4.6.1 Embalse Portugués

El Embalse Portugués forma parte del Proyecto de Propósitos Múltiples Portugués-Bucaná el cual consiste de:

- la canalización de 7.8 millas de los ríos Portugués y Bucaná;
- la construcción de un canal de 1.3 millas para desviar el Río Portugués hacia el Río Bucaná;
- la construcción de la represa y embalse Cerillos; y
- la construcción de la represa y embalse Portugués.

Este proyecto fue autorizado en 1970 por el Congreso de los Estados Unidos. El mismo fue diseñado por el USACE, quien además estará a cargo de la administración y supervisión de la construcción. Portugués está diseñado principalmente para control de inundaciones y actividades recreativas.

La represa de Portugués estará localizada entre dos laderas del Sector Tibes en Ponce sobre el Río Portugués. La represa será una represa de gravedad construida en hormigón.

El embalse se construirá en dos fases. La primera fase servirá para control de inundaciones y recreación, tendrá una capacidad de almacenaje de 12,161 acres-pies. La segunda fase, la cual se realizará a petición del ELA para proveer agua a las plantas de filtración de la AAA en la Ciudad de Ponce, aumentará la capacidad total del embalse a 24,200 acres-pies. Se estima que el embalse tendrá un rendimiento seguro de 11.1mgd (USACE, 2002). Actualmente, el diseño final de la estructura está en revisión por el USACE. Una vez se complete el diseño final, se procederá con la subasta para adjudicar un contrato de construcción. El USACE estima que tomará 5-6 años luego de adjudicada la subasta el completar las obras del embalse.

4.6.2 Embalse Beatriz

Este embalse se planifica desarrollar en el Barrio Beatriz del Municipio de Caguas como parte de un proyecto de abasto de agua para la región estecentral. El embalse consistirá de una represa de tierra de aproximadamente 105 pies de alto, un área superficial de 0.20 millas cuadradas y un volumen de 5,675 acres-pies con un rendimiento seguro de 11.1 mgd. El embalse se suplirá de aguas de la cuenca de la Quebrada Beatriz y de dos (2) tomas ubicadas en el Río Turabo y en la Quebrada Las Quebradillas. El agua será transportada de las tomas al embalse por gravedad. El embalse suplirá por gravedad agua cruda a la Planta de Filtración Las Quebradillas, la cual requerirá de una expansión. El costo estimado del proyecto es de 28.5 millones. La AAA espera completar en los próximos dos años los estudios para obtener los permisos requeridos para la construcción del embalse, incluyendo la Declaración de Impacto Ambiental.

4.6.3 Embalse Jiménez

La Planta de Filtración El Yunque de la AAA posee una capacidad de 20 mgd. Sin embargo, durante la época de sequía produce menos de esa cantidad debido a la falta de agua cruda. El flujo durante la época de sequía en el Río Grande y el Río Espíritu Santo, de los cuales se suple la planta, no es adecuado para suplir 20 mgd.

La AFI identificó dos (2) lugares potenciales para desarrollar un embalse y aumentar la producción de la Planta de Filtración El Yunque. El embalse recibiría por gravedad aguas de nuevas tomas de agua en la parte alta del Río Espíritu Santo y de la Quebrada Jiménez. Dos lugares potenciales para ubicar la represa que formaría el embalse, identificados por el USACE desde 1976, son evaluados al presente por la AFI y la AAA.

4.6.4 Embalse Valenciano

Este embalse se planifica desde hace más de 25 años por la AAA en el Río Valenciano cerca de Juncos. El lugar para el desarrollo de este embalse fue seleccionado desde la década de los 70 por el USACE (Black and Veatch, 1976). Desde entonces la AAA comenzó un plan de adquisición de terrenos. Actualmente esta agencia es propietaria de aproximadamente 700 cuerdas de terrenos donde se desarrollará el embalse y completa los estudios técnicos conducentes a obtener los permisos ambientales y de construcción.

La AFI completó en 1999 un diseño esquemático del proyecto que sugiere la construcción de una represa de gravedad construida por la técnica de concreto compactado por un rolo vibrador (RCC por sus siglas en inglés). El proyecto consiste en la construcción de una primera fase del embalse y una nueva planta de filtración. La primera fase de la construcción del embalse, a un costo estimado de 10.9 millones de dólares, incluiría una represa de 49 pies de alto que formará un embalse con capacidad de 2,675 acres-pies. En una segunda fase, se contempla aumentar la altura de la represa a 98 pies para aumentar la capacidad del embalse a 15,403 acres-pies. Los costos de esta segunda fase se estiman en \$15.7 millones. Con el desarrollo de la segunda fase, el rendimiento seguro del embalse aumentaría de 6.0 mgd (Fase I) a 18 mgd.

4.6.5 Embalse Canóvanas

En Canóvanas existe una nueva planta de filtración con una capacidad para procesar 10mgd de aguas crudas. Sin embargo, la producción de esta planta está limitada por el bajo rendimiento seguro de sus fuentes de agua (Río Canóvanas y Río Canovanillas), el cual se estima en 5.6mgd.

Un estudio de AFI (2002) estableció dos (2) lugares donde se podría desarrollar un embalse tipo fuera del cauce que supliera agua cruda por gravedad a la nueva planta de Canóvanas. Los lugares, llamados Canóvanas Alto y Canóvanas Bajo, están ubicados en la cuenca hidrográfica del Río Canóvanas, al este de la Carretera 185 y del Sector Campo Rico en el Barrio Hato Puerto de Canóvanas. El embalse Canóvanas Alto tendría un volumen de 6,486 acrespies, una represa con una altura de 125 pies y un rendimiento seguro de 11mgd. El costo de construcción de este embalse se estima en \$45.1 millones. El embalse Canóvanas Bajo tendría un volumen de 3,729 acre-pie, una represa con una altura de 148 pies y un rendimiento seguro de 8mgd. El costo de construcción de este embalse se estima en \$37.3 millones.

Estimados preliminares establecen que la vida útil de estos embalses sería extensa. Se proyecta que la baja tasa de sedimentación en la zona alargará su vida útil entre 1,052 y 1,601 años. El costo por galón es relativamente alto (sobre \$ 4.00) debido a los altos costos de construcción de ambas alternativas.

4.6.6 Embalse Casei

La Región Suroeste de Puerto Rico, incluyendo los municipios de Mayagüez, Hormigueros, Cabo Rojo, San Germán, Sabana Grande, Lajas y Guánica, sufre una escasez crítica de agua potable. Las plantas de filtración de la AAA no tienen la capacidad de suplir la demanda de agua potable, que aumenta vertiginosamente con los desarrollos turísticos y residenciales en la zona. La población de esta región se estima al presente en alrededor de 168,000 habitantes y se espera que aumente hasta 205,000 al año 2020 (Quiñones, 2003).

Actualmente, la fuente de agua principal en esta región es el Canal de Riego del Valle de Lajas que suple agua a las plantas de filtración de Maginas (Sabana Grande), Lajas y Cabo Rojo. El proyectado aumento en la demanda de agua para consumo es tal que podría limitar en ocasiones el abasto de agua para propósitos agrícolas. Esto representaría un conflicto potencial debido a que el Valle de Lajas, sectores del cual han sido declarados como una Reserva Agrícola mediante la Ley 277 del 20 de agosto de 1999. Esto supone un aumento en las tierras bajo cultivo y por ende un posible aumento en la demanda de agua para riego.

Ante esta situación se pretende desarrollar un nuevo acueducto regional para la región suroeste. La fuente de agua de este acueducto sería un nuevo embalse fuera del cauce ubicado en el Río Casei, tributario del Río Grande de Añasco. La Figura 4.6.1-3 muestra la ubicación general de este embalse y la Figura 4.5-3 muestra el concepto del embalse fuera del cauce. Este embalse supliría agua a una nueva planta regional con capacidad inicial de 25 mgd, con potencial de expansión a 40 mgd en el año 2020. Este acueducto sustituiría la operación de las plantas que se suplen de canal de riego (Lajas, Maginas, Boquerón) reduciendo así las demandas de agua del canal, lo que su vez haría el agua disponible para propósitos agrícolas. Además, eliminaría la necesidad de operar las plantas de Añasco, Ponce de León de Mayagüez, San Germán, Caín Alto y reduciría la extracción de los acuíferos de la región.

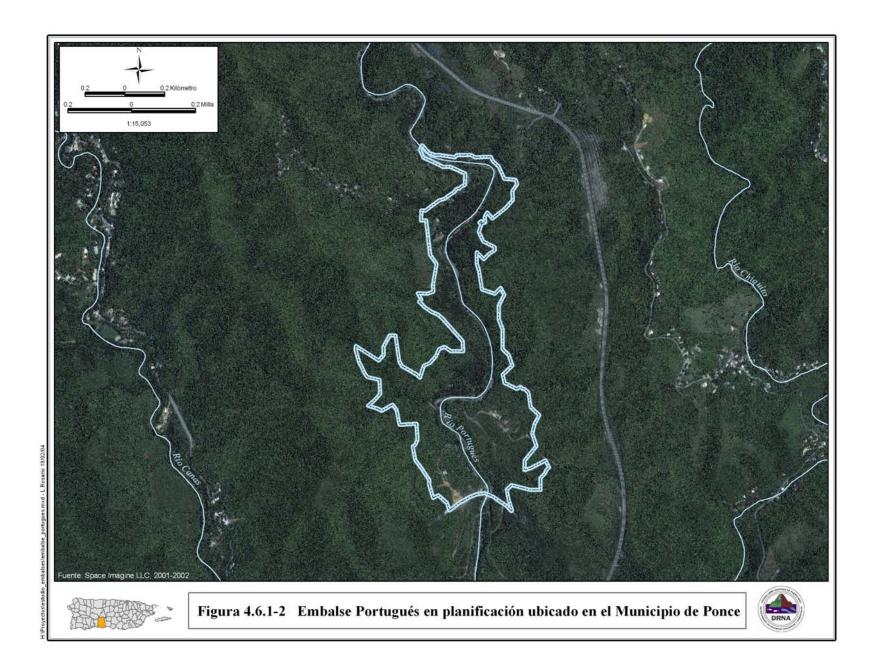
El embalse podría almacenar hasta 15,400 acres-pies y se supliría de una toma de agua ubicada aproximadamente a 8 km al noreste en el Río Grande de Añasco. Esta toma sería diseñada para extraer agua durante caudales medios y permitir un flujo constante aguas abajo de la toma, manteniendo los flujos necesarios en el río para preservar los ecosistemas acuáticos aguas abajo. Este diseño del embalse fuera del cauce reduciría su sedimentación sustancialmente, ya que los sedimentos arrastrados por el río durante episodios de flujos altos no entrarían a la toma ni al embalse. El costo de construcción estimado para la toma y la Fase I del embalse se estima en \$62 millones.

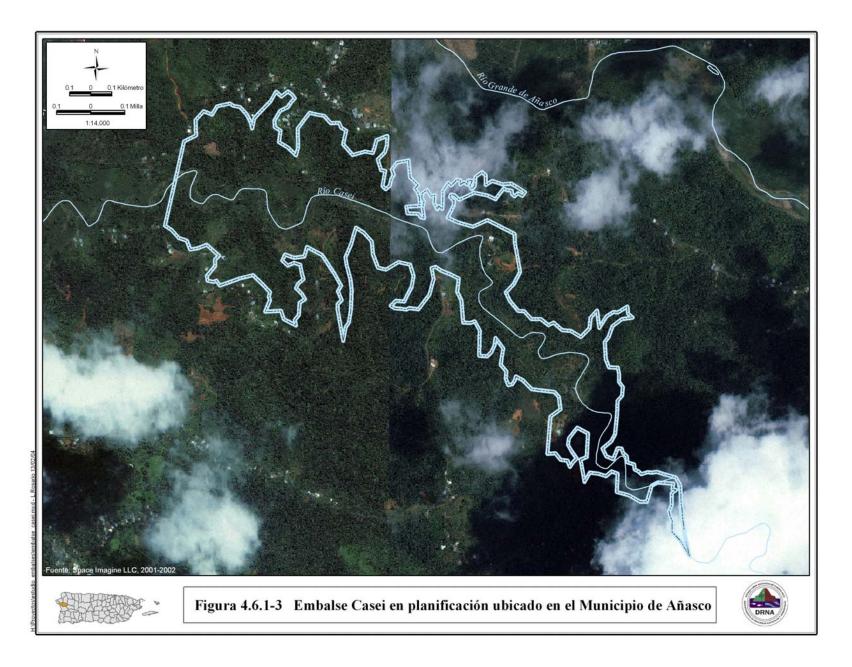
Tabla 4.5-1. Características principales de seis (6) embalses en planificación en Puerto Rico.

	Embalse									
Característica		Quebrad	Jiménez Valenciano		Canóvanas		Casei			
Caracteristica	Portugués	a Beatriz	Alto (11-5)	Bajo	Fase 1	Fase 2	Alto	Bajo	Case	ei Abajo
Cuenca hidrográfica	Río Portugués	Río Turabo	Río Espíritu Santo		Río Valenciano		Río Canóvanas		Río Ca	asei Abajo
Municipio en que está ubicado	Ponce	Caguas	Río Grande		Juncos		Canóvanas		A	ñasco
Uso principal del embalse	Control de inundaciones	Abasto público	Abasto público		Abasto público		Abasto público		Abasto público	
Tipo de represa	po de represa Arco Tierra N.D.		Gravedad		N.D.		N.D.			
Altura estructural, pies	220	105	150.9	111.5	160.7	321.4	124.6	147.6	٨	I.D.
Capacidad de almacenaje, acres-pies	24,200	5,675	2,756	5,675	2,675	15,403	6,486	3,729	6,	950
Rendimiento seguro estimado al 2004, mgd	11.1	11.8	12	16	6.0	18.0	11	8.1		58
Costo de construcción, millones de dólares	185	28.5	N.D.	N.D.	10.9	15.7	45.1	37.3	N.D.	N.D.
Costo por galón, \$	0.02	2.38	N.D.	N.D.	1.82	1.66	4.10	4.60	N.D.	N.D.

Fuente: AFI 2002







5.0 Los Embalses y los Sistemas Hidroeléctricos

El desarrollo de los sistemas hidroeléctricos principales en Puerto Rico por parte de la AEE y sus agencias antecesoras (*WRA* y AFF) se extendió desde 1907 a 1956, comenzando con la construcción de la Planta Hidroeléctrica Comerío No. 1 y concluyendo con la construcción de la Planta Hidroeléctrica Yauco 2. Posterior a este período se instaló la unidad del Canal de Patillas, la cual nunca ha sido utilizada. El período de desarrollo del sistema hidroeléctrico, qua ahora opera la AEE, se puede agrupar en tres subperiodos resumidos a continuación:

- Primer Subperiodo (1913-1915). En un periodo de dos años, se construyeron los embalses: Comerío No. 1, Comerío No. 2, Carite, Guayabal, Melanía, Coamo y Patillas. Además comienzan a operar las plantas hidroeléctricas Comerío No. 2 y Carite 1.
- Segundo Subperiodo (1927-1930). En 1927 comienza un periodo de tres años cuando inician operaciones las plantas hidroeléctricas Isabela 1, Toro Negro 1 y Río Blanco. Además, se construyó el embalse de Guajataca (1928).
- Tercer Subperiodo (1940-1956). Muy pocos desarrollos hidroeléctricos ocurrieron entre el 1930 y el 1940. Sin embargo, los próximos 16 años fueron de gran actividad con la construcción de ocho plantas hidroeléctricas (Garzas 1, Garzas 2, Dos Bocas, Isabela 3, Caonillas 1, Caonillas 2, Yauco 1 y Yauco 2). Además, se construyeron los embalses: Dos Bocas (1942), Garzas (1943), Caonillas (1948), Lucchetti (1952), Guayo (1956) y Yahuecas (1956).

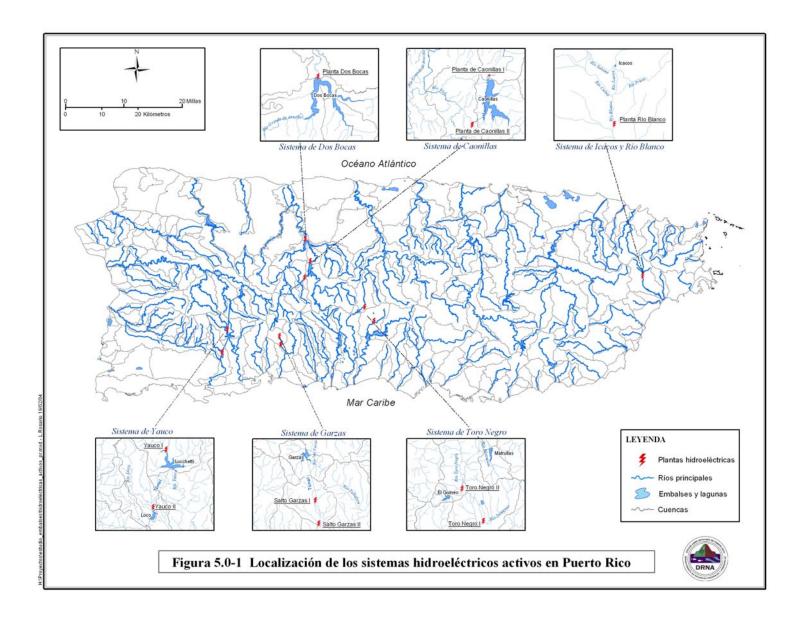
Los sistemas hidroeléctricos desarrollados durante estos tres períodos tenían una capacidad combinada de 127,205 kilovatios (kva). La Tabla 5.0-1 muestra. en orden cronológico, el inventario de plantas hidroeléctricas construidas en Puerto Rico. También muestra la capacidad de producción actual de cada sistema incluyendo aquellos sistemas cuya operación ha sido descontinuada. En Puerto Rico se han construido 20 plantas hidroeléctricas, de las cuales 10 continúan en operación. Actualmente, la capacidad de producción es de 66,325 kva o un 52.1% de la capacidad original. Esta reducción se debe a que la AEE ha descontinuado la operación de unidades generatrices en algunos sistemas y ha reducido la capacidad en otros sistemas. La principal razón para descontinuar estas unidades está relacionada a mermas en la capacidad de los embalses donde operaban, debido a la acumulación acelerada de sedimentos. También han ocurrido problemas operacionales que han resultado en el cierre de unidades, ya que en estos casos, el flujo de agua en los embalses no se ha reducido. La Figura 5.0-1 muestra la localización de los sistemas hidroeléctricos en Puerto Rico.

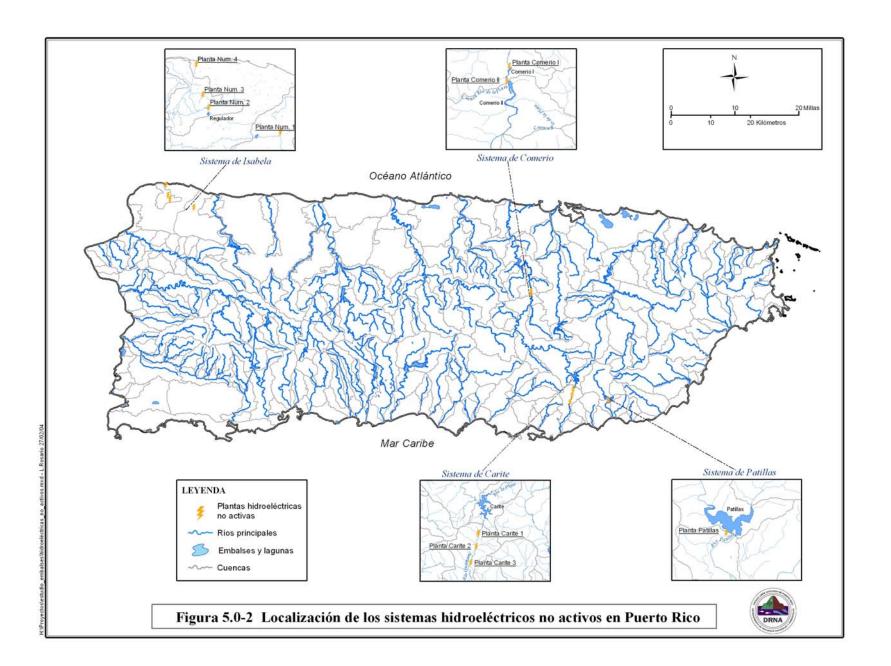
El historial reciente de operación del sistema hidroeléctrico de Puerto Rico fue evaluado basado en datos de producción mensual para cada una de las unidades hidroeléctricas que operó la AEE desde enero 1993 hasta septiembre

2003. La Tabla 5.0-2 resume la producción eléctrica de cada planta durante los pasados 5 y 10 años. Con el propósito de evaluar la actividad de producción en cada sistema, se realizó un análisis de la frecuencia mensual de producción calculando el por ciento del tiempo en que cada planta operó durante los pasados 5 y 10 años. El análisis reveló que durante los pasados 10 años, la producción hidroeléctrica fue mayor en cinco (5) plantas: Dos Bocas, Yauco 1, Caonillas I, Toro Negro I y Yauco II. En estas plantas la producción eléctrica mensual osciló entre 2,667 megavatios-hora (Mva*h) y 1,183 Mva*h. Estas unidades operaron frecuentemente durante el periodo de 1993 y 2003; entre un 80.6 y un 99.2% del tiempo. En los últimos 5 años, la producción y la frecuencia de operación aumentaron en todos estos sistemas. Solo la Planta Caonillas I mostró una disminución en la frecuencia de su operación. Según los datos de la AEE, durante los pasados 5 años, esta planta ha estado intermitentemente fuera de operación por 16 meses (de octubre 1998 a abril 1999; de octubre 1999 a febrero 2000; y de marzo 2003 a septiembre 2003). Según la AEE, esta disminución se debe a trabajos de reparación de la línea de transmisión de aqua del Lago Caonillas asociados a daños provocados por la inundación que produjo el paso del Huracán Georges por la zona en septiembre de 1998.

Tabla 5.0-1. Resumen de las unidades hidroeléctricas instaladas en Puerto Rico por la WRA, la AFF y la AEE desde 1913 a 1960, incluyendo las unidades descontinuadas durante este período. Datos de la AEE (2003).

		Canadidad			
Unidad de Producción	Año	Capacidad original (kva)	Capacidad actual (kva)		
Comerío 1	1907	2,000	0		
Comerío 2	1913	4,000	0		
Carite 1	1915	4,200	0		
Carite 2	1924	800	0		
Isabela 1	1928	880	0		
Toro Negro 1	1929	5,400	5,500		
Río Blanco	1930	6,250	3,125		
Carite 3	1931	800	0		
Toro Negro 2	1937	2,400	2,000		
Isabela 2	1938	1,000	0		
Garzas 1	1941	9,000	3,600		
Garzas 2	1941	6,300	5,000		
Dos Bocas	1942	22,500	5,000		
Isabela 3	1947	1,250	0		
Isabela 4	1947	1,625	0		
Caonillas 1	1949	17,600	9,000		
Caonillas 2	1950	5,000	3,600		
Yauco 1	1953	25,000	25,000		
Yauco 2	1953	10,000	4,500		
Patillas	1984	1,200	0		
TOTAL		127,205	66,325		





Durante los pasados 10 años, la producción en las plantas Garzas I, Río Blanco, Garzas II, Toro Negro II y Caonillas II fue un orden de magnitud menor que en las demás plantas. Esta ha fluctuado entre 421 y 147.4 Mva*h. Igualmente la frecuencia de operación fue menor en estas plantas ya que operaron entre un 36 y un 96%. Con la excepción de Caonillas II y Río Blanco, en los últimos 5 años, estas plantas aumentaron su producción y su frecuencia de operación en comparación con el periodo de los últimos 10 años, según se evidencia en la Figura 5.0-2.

Tabla 5.0-2. Resumen de la operación histórica de los sistemas hidroeléctricos de Puerto Rico. Datos de la AEE.

	Periodo 1	993-2003	Periodo 1999-2003			
Unidades	Promedio	% meses	Promedio	% meses		
Offidades	mensual	en	mensual	en		
	(Mva*h)	operación	(Mva*h)	operación		
Dos Bocas	2,666.8	99.2	3,000.6	100		
Yauco I	2,520.8	98.4	2,882.8	100		
Caonillas I	1,758.4	80.6	1,936.0	71.9		
Toro Negro I	1,283.5	98.4	1,374.9	98.2		
Yauco II	1,183.3	98.5	1,275.1	100		
Garzas I	411.5	49.6	477.4	84.2		
Río Blanco	420.8	93.0	301.0	86.0		
Garzas II	186.4	43.4	226.1	69.4		
Toro Negro II	147.4	84.5	153.4	91.2		
Caonillas II	320.8	36.4	86.0	17.5		

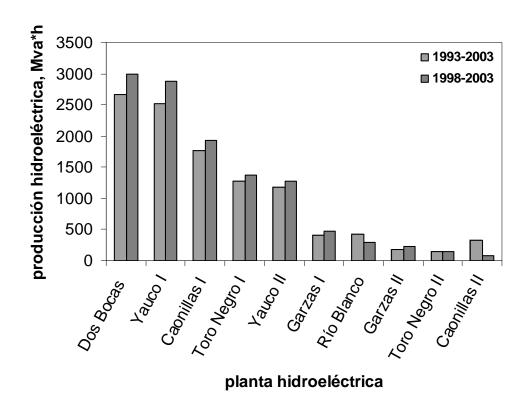


Figura 5.0-2. Historial de producción de las distintas plantas hidroeléctricas de la AEE durante los pasados 5 años (1999-2003). Los datos son basados en datos de producción mensuales provistos por la AEE.

5.1.1 Sistema Hidroeléctrico de Comerío

Según García-Martinó (2000), el Sistema Hidroeléctrico de Comerío constituyó el primer esfuerzo importante de masificación del sistema eléctrico en Puerto Rico. El Proyecto proveyó electricidad a los centros urbanos de San Juan, Río Piedras, Caguas y Guaynabo y a otros 23 pueblos (Latimer, 1997). La localización del sistema se ilustra en la Figura 5.0-2, mientras que la Figura 5.1.1-1 es una representación esquemática de sus componentes (AFF, 1958).

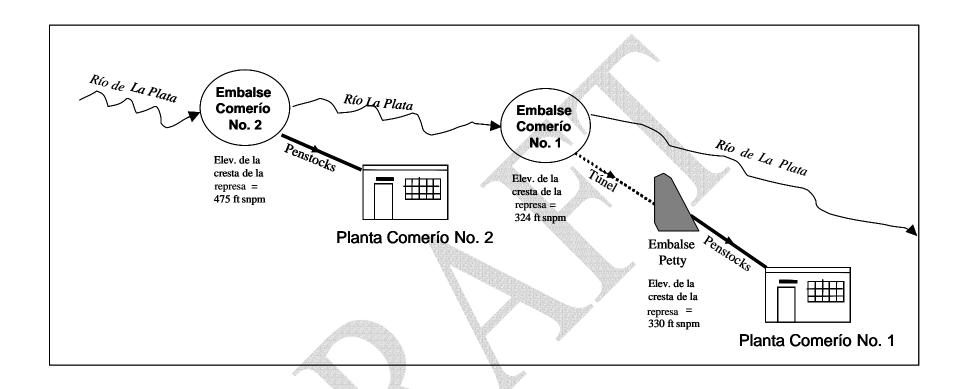
El Sistema Hidroeléctrico de Comerío incluye los embalses Comerío I y Comerío II, localizados en el Río Grande de La Plata.

- La represa del Embalse Comerío I (construida en 1907) está localizada a 2.5 millas aguas abajo del casco urbano de Comerío. La represa Comerío I está construida en concreto con una altura de 30 pies. No existe evidencia disponible de la capacidad original del Embalse Comerío I, aunque datos de la AFF indican que este embalse ya estaba completamente sedimentado para 1958.
- La represa Comerío II (construida en 1913) ubica a 0.5 millas aguas arriba de la represa Comerío I. La represa Comerío II también está fabricada de concreto con una altura de 128 pies. Datos de la AFF

establecen que la capacidad original del Embalse Comerío II era de 6,150 acres-pies. Para 1958, la capacidad del embalse se había reducido a 1,825 acres-pies debido a la sedimentación. Como dato sobresaliente se encontró que el nivel de inundación en la represa Comerío II provocado por el Huracán San Felipe, que impactó a Puerto Rico el 13 de septiembre de 1928, fue de 18 pies sobre el tope del vertedor de la represa. La erosión provocada por las prácticas agrícolas de la época y el paso del Huracán San Felipe fueron sin duda las fuentes de sedimentos que promovieron la sedimentación inicial de ambos embalses.

Este sistema operaba dos plantas hidroeléctricas con una capacidad generatriz instalada de 6,000 kilovatios (kva). En 1942 la operación del sistema pasó a manos del Gobierno al momento mediante expropiación como una medida de defensa ante la Segunda Guerra Mundial. La transacción de venta se realizó en enero de 1944.

Actualmente ambos embalses se encuentran totalmente sedimentados y las dos plantas hidroeléctricas están fuera de servicio. En 1992, la AEE tenía planes de rehabilitar una de las unidades generatrices de este sistema (Comerío 2-2). Sin embargo, esta unidad no ha entrado en operación y actualmente se encuentra en desuso.



Unidad de Producción	Capacidad	original	Capacidad actual (kva)**
	(kva)*		
Comerío No. 1	2,000		0
Comerío No. 2	4,000		0
Total	6,000		0

^{*} Datos de la AFF (1958).

Figura 5.1.1-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Comerío y resumen de capacidad de generación eléctrica original y actual.

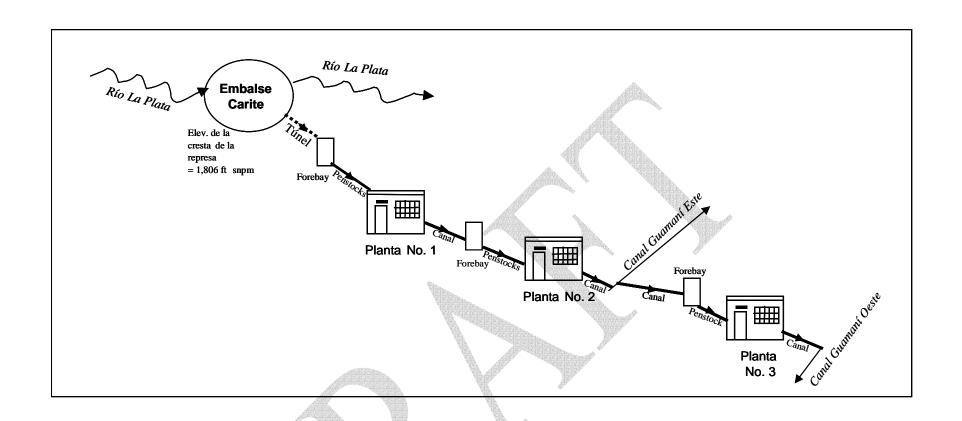
^{**} Datos de la AEE (1992).

5.1.2 Sistema Hidroeléctrico de Carite

La Ley de Riego Público de Puerto Rico del 10 de septiembre de 1908 propició el desarrollo del Distrito de Riego de la Costa Sur, el primer proyecto de infraestructura masivo en la historia de Puerto Rico dirigido a fomentar la agricultura en la Costa Sur. Este proyecto, discutido en detalle en la Sección 6.0, consistió en la construcción de siete embalses mayores, incluyendo el Carite (construido en 1913). El Embalse Carite, localizado aproximadamente a 6 millas al norte del casco urbano de Guayama, está formado por una represa de tierra de 104 pies de altura y 500 pies de largo. La localización de este sistema hidroeléctrico, se ilustra en la Figura 5.0-2, mientras que la Figura 5.1.2 ilustra un diagrama esquemático del sistema según diseñado originalmente por la AFF en 1958.

- Como parte de este proyecto, se construyó para 1915 la primera planta hidroeléctrica del Gobierno de Puerto Rico. Esta planta, conocida como Carite I (construida en 1915), poseía una capacidad de 4,200 kva.
- o En 1937 se añadieron dos plantas adicionales (Carite 2 y 3), aumentando así la capacidad de producción hidroeléctrica a 5,800 kva. Casi la totalidad de la energía hidroeléctrica producida se utilizaba para bombear agua para riego y otros usos industriales. Relata Latimer (1997) que cerca de un 15% se usaba para alumbrado y otros usos domésticos en los pueblos de la zona. Este proyecto inició el desarrollo de la infraestructura eléctrica de Puerto Rico incluyendo los procesos de transmisión, distribución y venta de energía.

Al presente, ninguna de las tres plantas genera electricidad debido a que los sedimentos han obstruido la tubería de salida de agua a las plantas hidroeléctricas. En efecto, estas plantas han estado en desuso por más de 10 años. Actualmente, el manejo del sistema ha sido redirigido para suplir demandas de abasto público y de riego agrícola (AEE, 2003). En el pasado, el agua era dirigida a los canales de riego Guamaní Este y Guamaní Oeste luego de generar electricidad en Carite III. Debido a que la operación hidroeléctrica ya no ocurre, se construyó una nueva salida de agua del embalse Carite que transporta el agua directamente a los canales de riego.



Unidad de Producción	Capacidad original (kva)*	Capacidad actual (kva)**
Carite No. 1	4,200	0
Carite No. 2	800	0
Carite No. 3	800	0
Total	5,800	0

^{*} Datos de la AFF (1958).

Figura 5.1.2. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Carite y resumen de la capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{* *}Datos de la AEE (1992).

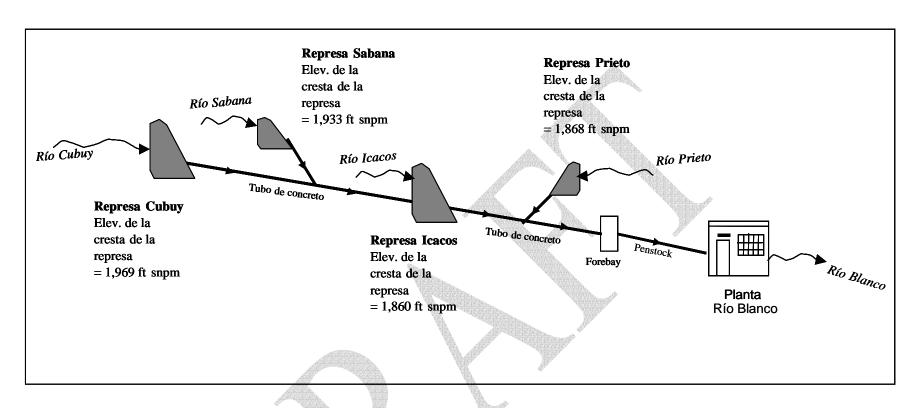
5.1.3 Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco

El Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco fue construido en Naguabo en el 1929 por la "Porto Rico Railway, Light, and Power". Este sistema se diseñó para proveer energía eléctrica a los primeros centros urbanos de la región noreste de Puerto Rico. La Figura 5.0-1 muestra la localización de este sistema, mientras que la Figura 5.1.3-1 muestra un diagrama esquemático del mismo. El sistema consiste de una planta hidroeléctrica tipo "run-of-river" con una capacidad generatriz instalada de 6,250 kva. La planta se suple de un sistema de canales que recolecta escorrentías de un área de captación de 6.7 millas cuadradas dentro de los lindes del Bosque Nacional del Caribe. Cuatro represas (Cubuy, Sabana, Icacos y Prieto) desvían la escorrentía a los canales que suplen a la Planta de Río Blanco. Solo la represa Icacos en el Río Icacos, contaba originalmente con una capacidad de almacenaje de agua limitada (15 acres-pies). Actualmente esta represa está totalmente sedimentada. En julio de 1942, el Sistema Hidroeléctrico del Río Blanco pasó a manos del Gobierno mediante expropiación motivada por la Segunda Guerra Mundial. La transacción de venta se realizó en enero de 1944.

Actualmente el Sistema Hidroeléctrico del Río Blanco continúa en operación con una capacidad generatriz de 3,125 kva (AEE, 2003). La Figura 5.1.3-2 muestra el historial de operación de este sistema durante los últimos 10 años. Los datos revelan que durante este periodo este sistema ha operado casi continuamente, excepto durante un periodo de siete (7) meses entre septiembre 2000 y marzo 2001 cuando aparentemente el sistema estuvo fuera de operación ya que la AEE no reporta producción para este periodo. El promedio mensual de producción del sistema durante los últimos 10 años es de 421 Mya*h.

El promedio mensual de producción del sistema muestra una tendencia de decrecimiento durante los últimos 10 años. Esto se puede comprobar dividiendo el periodo de 10 años en dos (2) periodos de cinco (5) años y comparando el promedio mensual de producción para cada uno de los periodos. Este análisis revela que mientras el promedio mensual de producción de enero 1993 a diciembre 1998 es de 503.4 Mva*h, el promedio de enero 1999 a septiembre 2003 es de 301.0 Mva*h.

La producción mensual del Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco muestra un patrón marcado según ilustra la Figura 5.1.3-3. Esta figura muestra que la producción máxima del sistema es de septiembre a enero y la mínima de marzo a mayo. Esto coincide con las temporadas climáticas de Puerto Rico donde la Iluvia máxima, y por ende los caudales mayores en los ríos, ocurren en los meses de septiembre a diciembre. La época seca en Puerto Rico ocurre de febrero a abril.



Unidad de Producción	Capacidad	original Capacidad	actual
and the first of the second	(kva)*	(kva)**	
Río Blanco	6,250	3,125	
Total	6,250	3,125	

^{*} Datos de la AFF (1958).

Figura 5.1.3-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco y resumen de capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{**} Datos de la AEE (2003).

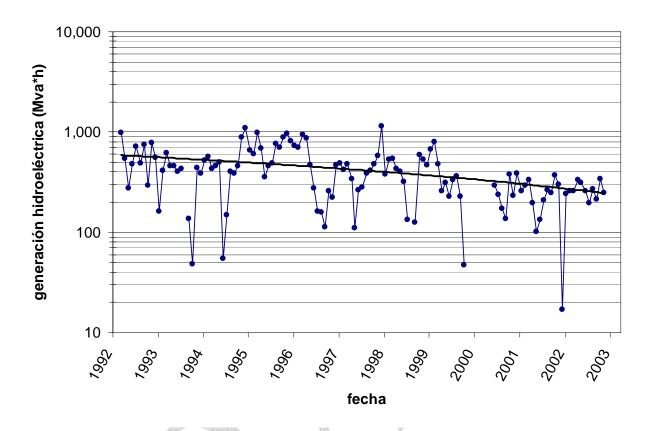


Figura 5.1.3-2. Generación hidroeléctrica del Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Datos de la AEE.

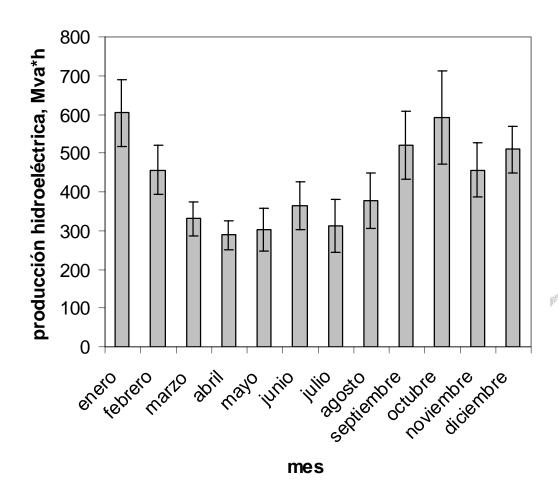


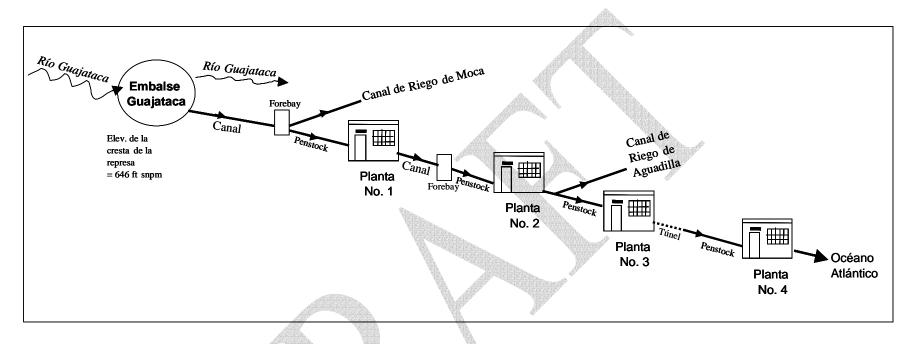
Figura 5.1.3-3. Promedio de generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Río Blanco durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Las barras son el error estándar del promedio. Datos de la AEE.

5.1.4. Sistema Hidroeléctrico de Isabela

El Sistema Hidroeléctrico de Isabela (Figura 5.1.4-1) fue construido luego del éxito logrado en el proyecto hidroeléctrico de Carite, mediante una asignación de fondos por el Gobierno para el estudio de las fuentes fluviales del país y su potencial hidroeléctrico. Como resultado de estos estudios, en 1925 se creó la Autoridad de las Fuentes Fluviales de Puerto Rico (AFF) bajo el liderato del ingeniero Antonio Lucchetti.

Este sistema es parte del Sistema de Riego de Isabela, creado luego de la aprobación de la Ley 63 (Ley de Riego Público de Isabela) del 19 de junio de 1919. La ley promovió la construcción del Embalse de Guajataca (construido en 1928) y de un extenso sistema de canales de riego conectado a cuatro plantas hidroeléctricas con una capacidad instalada de 4,775 kva. La construcción de las plantas hidroeléctricas (Isabela No. 1, No. 2, No. 3 y No. 4) comenzó en 1928 y se extendió hasta la década del 1950. Su localización se presenta en la Figura 5.0-2.

Actualmente el Sistema Hidroeléctrico de Isabela no genera electricidad ni lo ha hecho por los últimos diez años según la AEE (2003). Sin embargo, sus canales de riego sirven agua para riego y abasto público, alimentando las plantas de filtración de Isabela, Aguadilla y Ramey operadas por la AAA. Las plantas de Isabela y Ramey reciben agua desde el Canal de Isabela y el Canal de Aguadilla, alimentados desde Guajataca por el Canal de Derivación de dicho embalse. La planta de Aguadilla recibe agua a través del Canal de Moca, y sirve agua potable no solamente a Aguadilla, sino también a Rincón, Aguada y sectores de Moca. El total de agua extraída del Embalse de Guajataca a través de estos canales es de aproximadamente 40 mgd.



n Capacidad	original	•	actual
(kva)*		(kva)**	
880		0	_
1,000		0	
1,250		0	
1,625		0	
4,775		0	
	(kva)* 880 1,000 1,250 1,625	(kva)* 880 1,000 1,250 1,625	(kva)* (kva)** 880 0 1,000 0 1,250 0 1,625 0

^{*} Datos de la AFF (1958).

Figura 5.1.4-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Isabela y resumen de la capacidad de generación eléctrica

^{**} Datos de la AEE (1992).

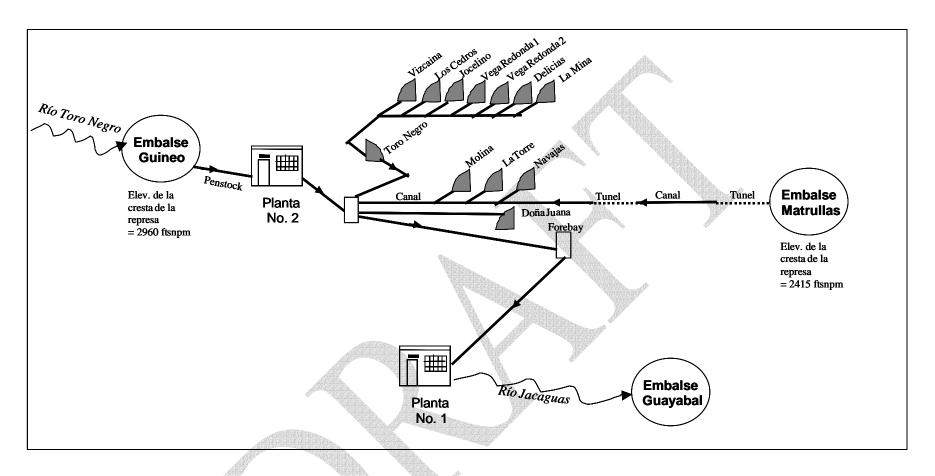
5.1.5 Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro

El Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro está ubicado en la zona central de la Isla, en el Municipio de Villalba (Figura 5.0-1). Este proyecto comenzó a construirse en 1929 como parte de la red hidroeléctrica de la antigua AFF. En el 1935 la capacidad total instalada en todo Puerto Rico ascendía a 5,800 kva y la producción anual fue de 21 millones de kilovatios - hora. En ese mismo año se iniciaron las obras de ampliación de la planta Toro Negro 1 y la construcción de Toro Negro 2. Ambos proyectos se completaron en el 1937.

El Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro es uno de los más complejos en la Isla. Además de operar dos (2) plantas hidroeléctricas con una capacidad original de 7,800 kva, el sistema cuenta con dos embalses mayores (Matrullas y El Guineo) y 12 represas menores, todas interconectadas por una serie de canales y túneles. Actualmente, este sistema es operado por la Central Hidro Gas de la AEE. Su capacidad de generación eléctrica actual es de 7,500 kva (AEE, 2003). Al final de este sistema, el agua usada en la generación en la Planta No. 1 es descargada al Río Jacaguas que suple de agua al Lago Guayabal utilizado para propósitos de riego agrícola.

Actualmente, la AEE mantiene en operación a las plantas Toro Negro 1 y 2 según muestra la Tabla 5.0-2. Durante los pasados 10 años, la Planta Toro Negro 1 ha operado 98% del tiempo y ha generado mensualmente un promedio de 1,284 Mva*h. La Planta Toro Negro 2 ha generado mensualmente un promedio de 147 Mva*h, operando un 85% del tiempo durante el mismo periodo. La Figura 5.1.5-2 muestra la generación histórica en cada planta. Esta información revela que la generación hidroeléctrica ha mostrado una leve tendencia alcista durante los últimos 10 años. La información presentada en la Tabla 5.0-2 confirma esta observación ya que el promedio de producción mensual de los últimos cinco (5) años es mayor que el promedio histórico.

La producción hidroeléctrica en las plantas Toro Negro 1 y 2 ocurre todo el año y es mayor los meses más húmedos de mayo y octubre y menor en diciembre y enero, meses más secos en Puerto Rico. La Figura 5.1.5-3 muestra este patrón.



Unidad de Producción	Capacidad	original	Capacidad actual (kva)**
	(kva)*		
Planta No. 1	5,400		5,500
Planta No. 2	2,400		2,000
Total	7,800		7,500

^{*} Datos de la AFF (1958).

Figura 5.1.5-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro y resumen de la capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{**} Datos de la AEE (2003).

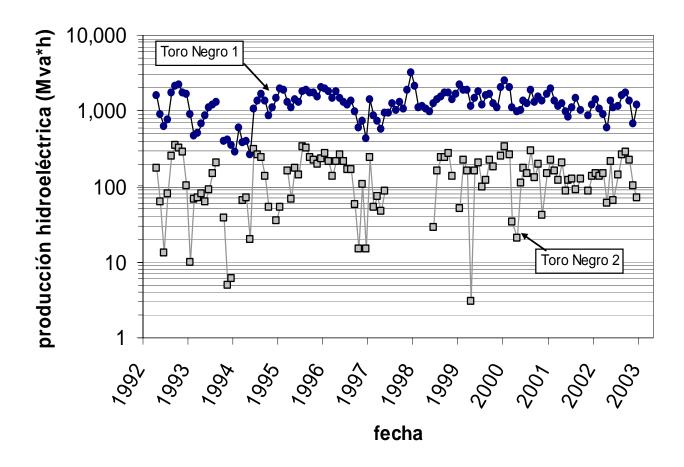


Figura 5.1.5-2. Generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Datos de la AEE.

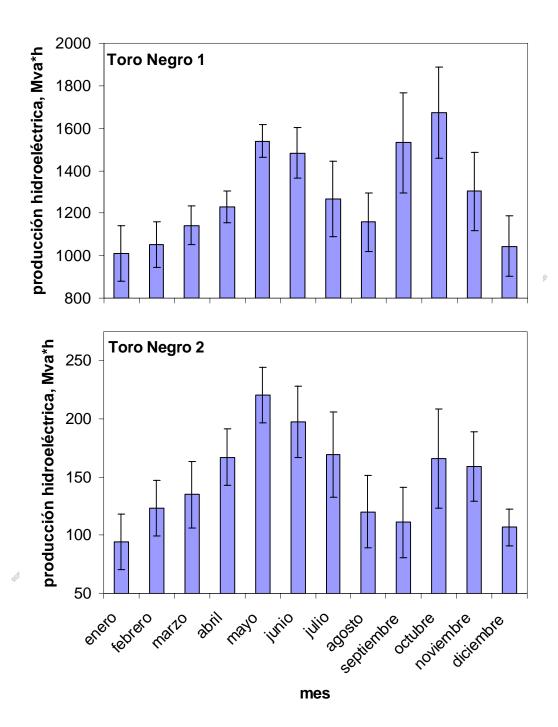


Figura 5.1.5-3. Promedio de generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Las barras son el error estándar del promedio. Datos de la AEE.

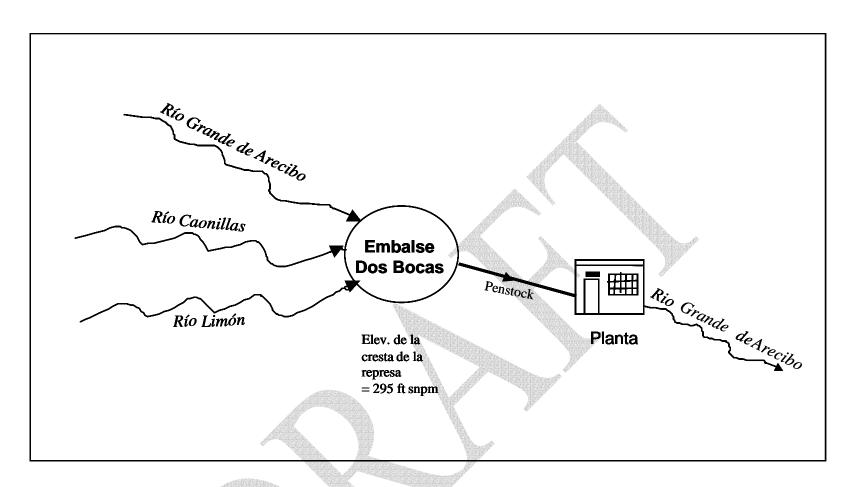
5.1.6 Sistema Hidroeléctrico de Dos Bocas

El Sistema Hidroeléctrico de Dos Bocas incluye el Embalse Dos Bocas, ubicado en la cuenca de Río Grande de Arecibo en el Municipio de Utuado, aproximadamente 7 millas al sur de Arecibo. El sistema fue construído por la "Puerto Rico Reconstruction Administration" (PRRA) entre 1937 y 1942. La Figura 5.1.6-1 muestra un diagrama esquemático de este sistema y la Figura 5.0-1 muestra su localización. Este sistema cuenta con una planta hidroeléctrica con una capacidad original de 22,500 kva, que descarga al Río Grande de Arecibo aguas abajo de la represa que forma a Dos Bocas. Dos Bocas es uno de los embalses de mayor tamaño en la isla y es clasificado por la AEE como de tamaño mayor, con una represa de concreto de 188 pies de alto y capacidad de almacenaje original de 30,400 acres-pies.

Desde 1998, el Sistema Hidroeléctrico de Dos Bocas forma parte integral del Acueducto de la Costa Norte, operado por la AAA. Luego de utilizarse para generar electricidad, el agua descargada desde Dos Bocas al Río Grande de Arecibo fluye hacia una laguna de retención construida por la AAA, aproximadamente a una milla aguas arriba de la Central Cambalache en Arecibo. La AAA extrae hasta 100 mgd de agua de la laguna de retención, la cual es bombeada a la Planta de Filtración Antonio Santiago Vázquez en el Barrio Miraflores de Arecibo. En esta planta de filtración, el agua es potabilizada y enviada por gravedad mediante tuberías subterráneas hacia Arecibo y la Zona Metropolitana de San Juan, así como hacia los municipios a lo largo de la ruta hacia San Juan.

Actualmente, la capacidad de producción hidroeléctrica en Dos Bocas es de 5,000 kva (AEE, 2003). Durante los pasados 10 años, su producción promedio mensual ha sido de 2,667 Mva*h. Esta ha aumentado en los pasados cinco (5) años a 3,001 Mva*h y ha operado todos los meses durante ese periodo (Tabla 5.0-2). Esto refleja un cambio en la regla de operación del sistema hidroeléctrico para satisfacer las demandas de agua del Acueducto de la Costa Norte, ubicado aguas abajo. La Figura 5.1.6-2 muestra el historial de producción de este sistema. Es notable el descenso en la producción registrado durante la sequía del 1993-94 cuando los niveles del embalse bajaron drásticamente.

La relación entre el clima y la operación hidroeléctrica se puede apreciar en la Figura 5.1.6-3 donde se observa que la producción eléctrica aumenta durante la temporada húmeda (mayo, septiembre-noviembre) y se reduce durante los meses secos de febrero y marzo.



	Unidad de Producción	Capacidad (kva)*	original	Capacidad (kva)**	actual
410	Planta Dos Bocas	22,500		5,000	

^{*} Dato de la AFF (1958).

Figura 5.1.6-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Dos Bocas y resumen de la capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{**} Dato de la AEE (2003).

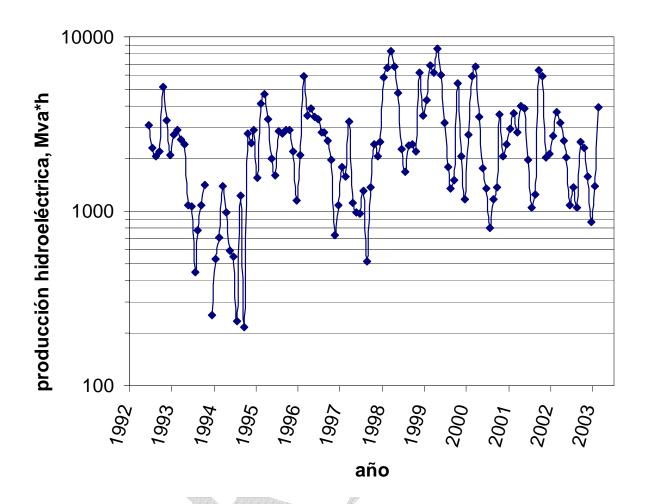


Figura 5.1.6-2. Generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Dos Bocas durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Datos de la AEE.

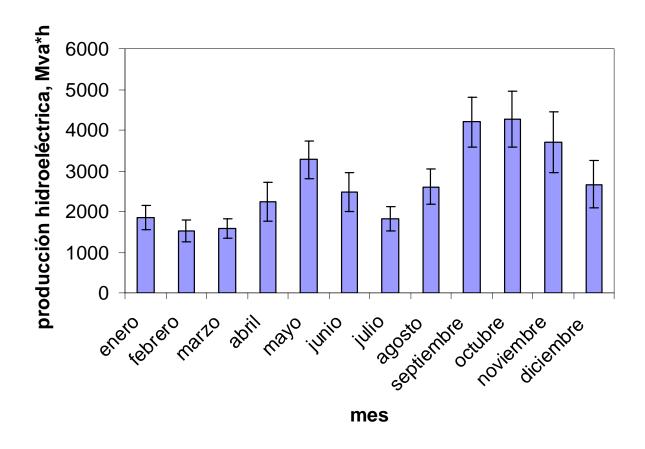


Figura 5.1.6-3. Promedio de generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Dos Bocas durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Las barras son el error estándar del promedio. Datos de la AEE.

5.1.7. Sistema Hidroeléctrico de Caonillas

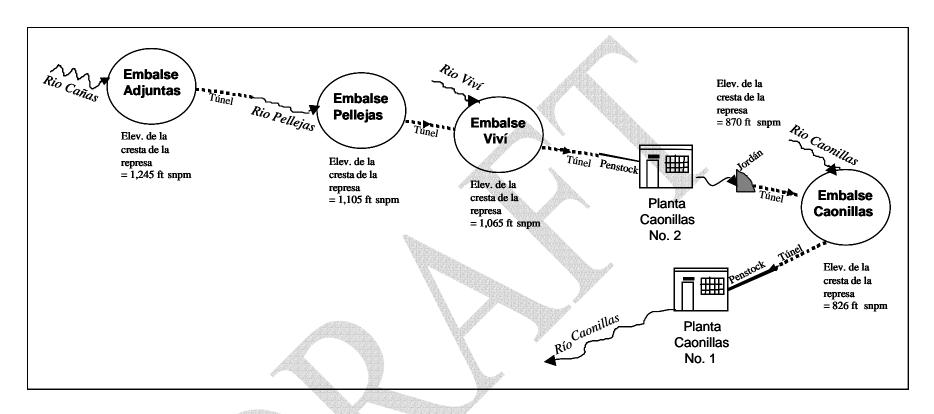
El Sistema Hidroeléctrico de Caonillas, construido entre los años 1942 al 1950, es uno de los más complejos y extensos en Puerto Rico. El mismo ubica entre los municipios de Adjuntas y Utuado y consiste de cinco (5) embalses (cuatro de ellos mayores) con una capacidad de almacenaje original combinada de 47,000 acres-pies, así como dos (2) plantas hidroeléctricas con una capacidad inicial instalada de 22,600 kva. La localización del sistema se ilustra en la Figura 5.0-1, mientras que la Figura 5.1.7-1 muestra un diagrama esquemático de este.

Los cinco (5) embalses que forman el sistema de Caonillas incluyen a Adjuntas, Pellejas, Viví, Jordan y Caonillas. Estos embalses están interconectados por aproximadamente cinco (5) millas de túneles para transportar agua de un embalse a otro hasta llegar a Caonillas. La capacidad de producción actual del sistema es de 12,600 kva. Sin embargo, la sedimentación de los embalses y daños por el paso de huracanes han reducido significativamente la capacidad y confiabilidad de este sistema. En 1998, el Huracán Georges causó grandes daños en la región que afectaron la infraestructura de este sistema. Actualmente, ambas plantas hidroeléctricas están fuera de servicio debido a trabajos de reparación que realiza la AEE.

El Embalse de Caonillas es ahora parte integral del Acueducto de la Costa Norte, contribuyendo hasta el 60% del agua que eventualmente es utilizada en este sistema. Caonillas descarga al Embalse de Dos Bocas, donde se mantienen niveles elevados como parte de la estrategia de suplir agua al Superacueducto y mantener un máximo de generación hidroeléctrica.

Durante los pasados 10 años, la producción promedio mensual de la Planta Caonillas 1 ha sido de 1,758 Mva*h. Esta ha aumentado en los pasados cinco (5) años a 1,936 Mva*h a pesar de que la frecuencia de operación ha disminuido (Tabla 5.0-2) debido a trabajos de rehabilitación, mayormente asociados a los daños provocados por el paso del huracán Georges por la zona en septiembre de 1998. La Figura 5.1.7-2 muestra el historial operacional de Caonillas 1 y 2.

La Planta Caonillas 2, que no opera desde octubre 2001, es de las plantas activas de menor producción en el sistema hidroeléctrico de la AEE. En los últimos cinco (5) años, su producción mensual promedia 86 Mva*h y ha sido intermitente ya que solo ha operado el 18% del tiempo. Tampoco presenta un patrón mensual de operación (Figura 5.1.7-3). Problemas de sedimentación en el Lago Viví han sido la causa principal de su baja producción y operación esporádica. Al igual que en otros sistemas hidroeléctricos en Puerto Rico, la producción en la Planta Caonillas 2 aumenta durante la temporada húmeda (mayo, septiembre-noviembre). Sin embargo, la producción más baja ocurre en los meses de noviembre y diciembre, antes de lo típico para otros sistemas hidroeléctricos (Figura 5.1.7-3).



Unidad de Producción	Capacidad	original	Capacidad	actual
	(kva)*		(kva)**	
Caonillas No. 1	17,600		9,000	
Caonillas No. 2	5,000		3,600	
Total	22,600		12,600	

Figura 5.1.7-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Caonillas y resumen de la capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{*} Dato de la AFF (1958). ** Datos de la AEE (2003).

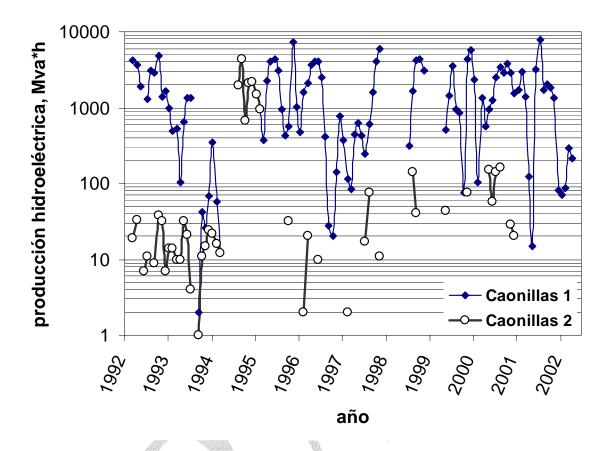


Figura 5.1.7-2. Generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Caonillas durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Datos de la AEE.

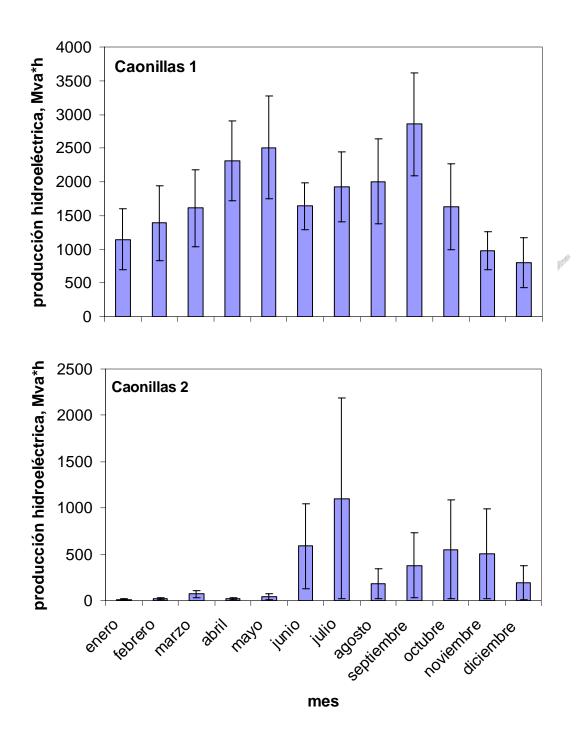


Figura 5.1.7-3. Promedio de generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Toro Negro durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Las barras son el error estándar del promedio. Datos de la AEE.

5.1.8 Sistema Hidroeléctrico Garzas

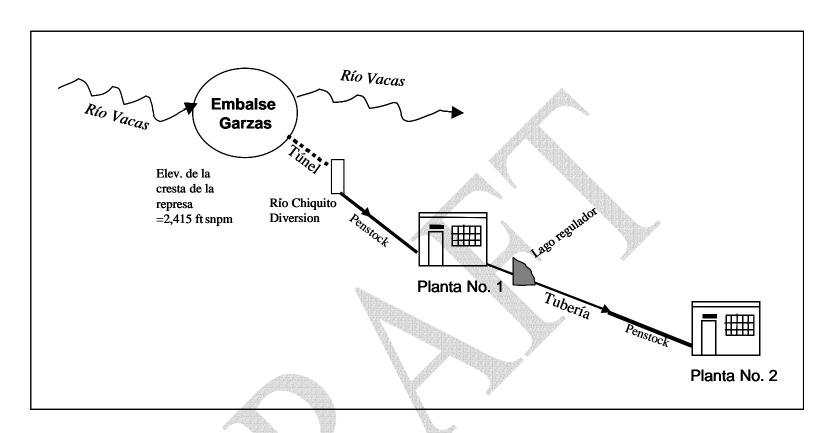
El Sistema Hidroeléctrico Garzas está localizado a aproximadamente 4.8 km al sureste de Adjuntas (Figura 5.0.1). El mismo consta del Embalse de Garzas, con una capacidad inicial de 4,700 acres-pies y dos (2) plantas hidroeléctricas con una capacidad generatriz instalada de 15,300 kva. Este sistema incluye aproximadamente cinco (5) millas de túneles, "penstocks" y tuberías de transmisión de agua. La Figura 5.1.8-1 muestra un diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico Garzas.

Este Sistema de Garzas fue diseñado y construido entre los años 1936 al 1943 por la División de Electrificación Rural de la "Puerto Rico Reconstruction Administration, (PRRA)". En 1941, la Ley 83 creó la AFF, resultando en que se trasladaron a esta agencia las propiedades y funciones de la antigua "Utilización de las Fuentes Fluviales y de la Administración del Servicio de Riego de Puerto Rico". Actualmente este sistema está en operación por la Central HidroGas de la AEE. La capacidad generatriz actual de este sistema es de 8,600 kva (AEE, 2003).

Durante los pasados 10 años, la producción promedio mensual de la Planta Garzas 1 ha sido de 411.5 Mva*h. Esta ha aumentado en los pasados cinco (5) años a 477.4 Mva*h (Tabla 5.0-2). Igualmente, la frecuencia de operación ha aumentado en los pasados cinco (5) años. La Figura 5.1.8-2 muestra el historial operacional de Garzas 1 y 2. Se puede notar que la producción en ambas plantas fue limitada durante 1993 y 1998 ya que operaron intermitentemente. Desde 1998, la frecuencia de la operación de ambos sistemas ha aumentado drásticamente. Sin embargo, es notable que la producción en ambas plantas muestra un patrón descendente durante ese periodo.

La Planta Garzas 2, aunque de mayor capacidad actual que Garzas 1 (Tabla 5.0-3 y Figura 5.1.8-1), ha generado en promedio menor energía eléctrica que Garzas 1 (Tabla 5.0-2) durante los pasados años debido, probablemente, a que la frecuencia de la operación de Garzas 2 es menor que la Garzas 1. Durante los pasados 5 años, Garzas 2 generó mensualmente un promedio de 2,226 Mva*h durante 69.4% del tiempo, mientras que Garzas 1 generó mensualmente un promedio de 477 Mva*h durante 84.2% del tiempo.

Al igual que en otros sistemas hidroeléctricos en Puerto Rico, la producción en las plantas Garzas 1 y 2 aumenta durante los meses húmedos (mayo, octubre). Sin embargo, la producción más baja ocurre en los meses de enero y julio (Figura 5.1.8-3) lo que sugiere que otros factores, apartes de la disponibilidad de agua, también controlan la operación.



Unidad de Producción	Capacidad original (kva)*	Capacidad actual (kva)**
Garzas No. 1	9,000	3,600
Garzas No. 2	6,300	5,000
Total	15,300	8,600

Figura 5.1.8-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico Garzas y resumen de la capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{*} Datos de la AFF (1958) ** Datos de la AEE (2003)

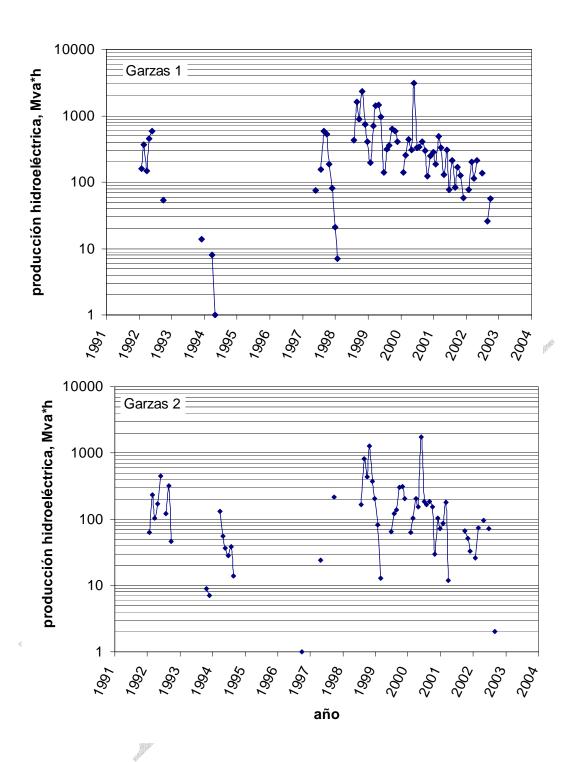


Figura 5.1.8-2. Generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico Garzas durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Datos de la AEE.

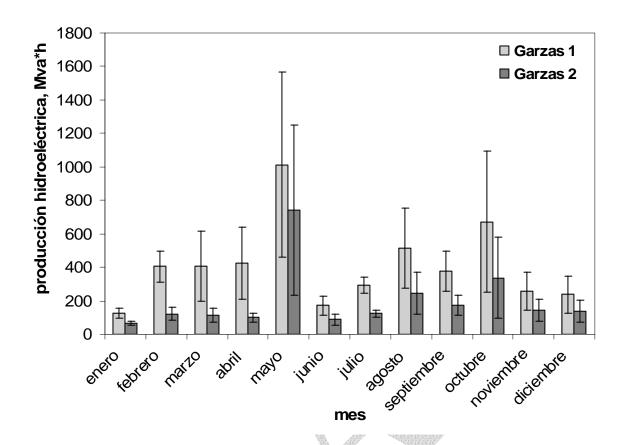


Figura 5.1.8-3. Promedio de generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico Garzas durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Las barras son el error estándar del promedio. Datos de la AEE.

5.1.9 Sistema Hidroeléctrico de Yauco

El Sistema Hidroeléctrico de Yauco posee una gran extensión y su diseño es altamente complejo. Este sistema forma parte del Proyecto del Suroeste diseñado en la década del 1940 y construido entre 1950 y 1956. La Figura 5.0-1 muestra la localización del sistema, mientras que la Figura 5.1.9-1 muestra un diagrama esquemático de este.

Este sistema se origina en el Embalse Yahuecas en el Municipio de Adjuntas, desde donde el agua es transportada a través de un túnel de 1.2 millas de largo hasta el Embalse Guayo, ubicado en el poblado de Castañer de Lares. De Guayo, el agua es transportada por gravedad a través de un túnel de 6.8 millas de largo hasta la Planta Yauco 1, donde está ubicada la unidad generatriz de mayor capacidad instalada en Puerto Rico (25,000 kva). En el trayecto a la Planta Yauco 1, el sistema recibe agua de dos embalses adicionales: Prieto y Toro. Luego de generar electricidad en la Planta Yauco 1, el agua es descargada al Embalse Lucchetti. Desde Lucchetti, el agua es transportada a través de un túnel de alrededor de 3 millas de largo hasta la Planta Yauco 2, la cual posee una capacidad instalada de 5,000 kva. El agua descargada de Yauco 2 suple al Embalse Loco, que a su vez descarga al sistema de canales del Valle de Lajas. El Embalse Loco y el sistema de canales de riego son administrados por el Distrito de Riego del Valle de Lajas de la AEE.

Actualmente, el Sistema Hidroeléctrico de Yauco posee una capacidad hidroeléctrica total de aproximadamente 29,500 kva (AEE, 2003). Este opera casi diariamente durante las horas de la mañana y tarde, cuando ocurre la mayor demanda de electricidad.

Durante los pasados 10 años, la producción promedio mensual de la Planta Yauco 1 ha sido de 2,521 Mva*h. Esta ha aumentado en los pasados cinco (5) años a 2,883 Mva*h (Tabla 5.0-2). Su operación ha sido continua por los pasados cinco (5) años.

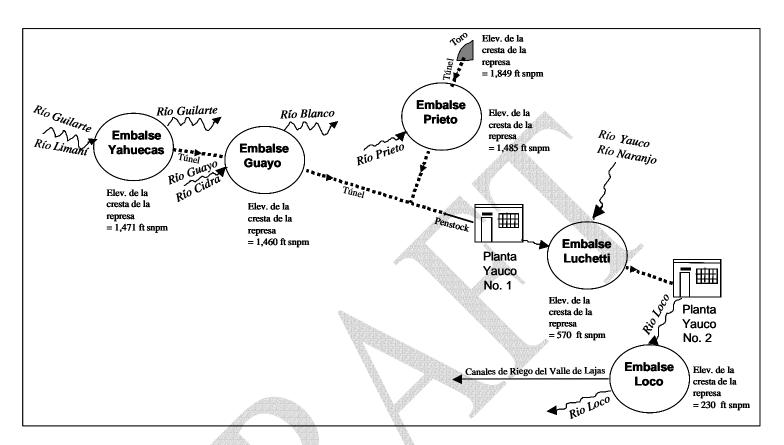
La Figura 5.1.9-2 muestra el historial operacional de las plantas Yauco 1 y 2 por los pasados 10 años. La producción en ambas plantas ha sido continua durante casi todo ese periodo y se ha mantenido en un rango bastante uniforme excepto durante el 1994, un año de sequía severa en Puerto Rico, cuando la producción bajó considerablemente en ambas plantas.

La Planta Yauco 2 ha generado un promedio mensual de energía eléctrica de 1,183 Mva*h durante los pasados 10 años (Tabla 5.0-2). Su producción ha aumentado durante los pasados 5 años ya que esta planta generó 1,275 Mva*h y operó todo los meses durante ese periodo.

Al igual que en otros sistemas hidroeléctricos en Puerto Rico, la producción en las plantas Yauco 1 y 2 aumenta durante los meses húmedos (mayo, septiembre-octubre) y se reduce los meses de poca precipitación (febrero-abril). La Figura 5.1.9-3 muestra este patrón que sugiere que un alto grado de control climático sobre la operación histórica de este sistema.

El Sistema Hidroeléctrico de Yauco juega un papel de gran importancia en los abastos de agua para riego y consumo humano en el Valle de Lajas y los municipios de San Germán, Sabana Grande, Cabo Rojo, Lajas y Guánica. Luego de la generación hidroeléctrica anteriormente descrita, parte del agua es descargada desde el Embalse Loco por el Canal de Lajas hacia el Valle de Lajas, donde suple agua para riego a aproximadamente 300 agricultores, así como a tres plantas de la AAA que suplen agua potable a los residentes de la Región.





Approach	Annual Market Ma		
Unidad de Pro	ducción Capacidad origina	al (kva) Capacidad	actual
		(kva)	
Yauco No. 1	25,000	25,000	_
Yauco No. 2	10,000	4,500	
Total	35,000	29,500	_
"Value de de la companya del companya del companya de la companya			

^{*} Datos de la AFF (1958)

Figura 5.1.9-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Yauco y resumen de la capacidad de generación eléctrica original y actual.

^{**} Datos de la AEE (2003)

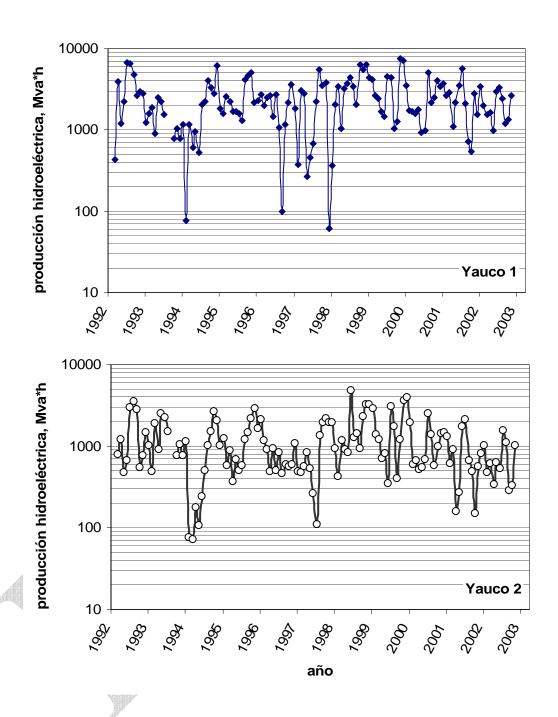


Figura 5.1.9-2. Generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico Yauco durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Datos de la AEE.

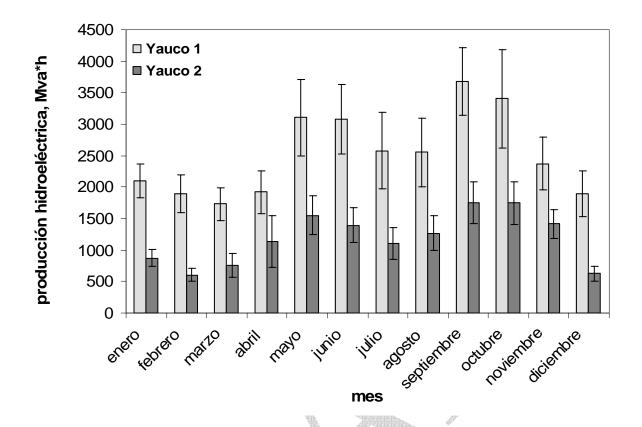
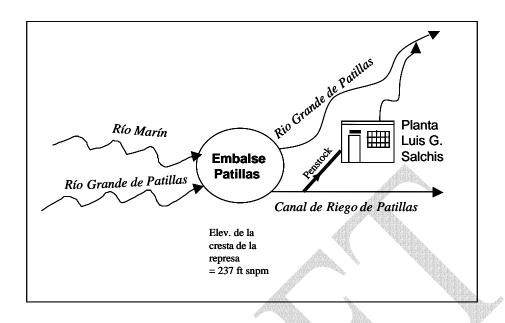


Figura 5.1.9-3. Promedio de generación hidroeléctrica mensual del Sistema Hidroeléctrico de Yauco durante el periodo de enero 1993 a septiembre 2003. Las barras son el error estándar del promedio. Datos de la AEE.

5.1.10 Sistema Hidroeléctrico de Patillas

El Sistema Hidroeléctrico de Patillas está ubicado en la cuenca del Río Grande de Patillas, aproximadamente a una milla al noreste del pueblo de Patillas en el sureste de la Isla (Figura 5.0.1). El mismo consta del Embalse de Patillas, el Canal de Patillas y de la Planta Hidroeléctrica Luis G. Salchis con capacidad actual de 1,200 kva. La Figura 5.1.10-1 muestra un diagrama esquemático de este sistema hidroeléctrico.

Este sistema es el de más reciente construcción en Puerto Rico. Originalmente, el Embalse de Patillas se usó para riego en los valles de Patillas, Arroyo, Guayama y Salinas a través del Canal de Patillas, como parte del Sistema de Riego de la Costa Sur. En 1985 se instaló la unidad hidroeléctrica para aprovechar el caudal producido por las entregas de agua para riego. Actualmente, este sistema no opera debido a insuficiencias en el abasto de agua a la planta. Este sistema tampoco muestra actividad operacional en los pasados 10 años. El uso del agua proveniente del Embalse de Patillas está dedicado a riego agrícola y suplir agua a las plantas de filtración de la AAA en Patillas y Guayama.



Unidad de Producción	Capacidad		original Capacidad	actual
	(kva)*		(kva)**	
Luis G. Salchis	1,200		0	

Figura 5.1.10-1. Diagrama esquemático del Sistema Hidroeléctrico de Patillas y resumen de la capacidad de generación

Datos de la AEE (1992)Datos de la AEE (2003)

Referencias citadas

- Autoridad de Energía Eléctrica. 1992. Génesis y desarrollo de los sistemas hidroeléctricos en Puerto Rico. Oficina de Comunicaciones. 22 p.
- Autoridad de Energía Eléctrica. 1998a. Informe de Inspección Represa Guajataca-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- Autoridad de Energía Eléctrica. 1998b. Informe de Inspección Represa Garzas-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- Autoridad de Energía Eléctrica. 1999a. Informe de Inspección Represa Coamo-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- Autoridad de Energía Eléctrica. 1999b. Informe de Inspección Represa Las Curías-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- Autoridad de Energía Eléctrica. 2000a. Informe de Inspección Represa Caonillas-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 7. Autoridad de Energía Eléctrica. 2000b. Informe de Inspección Represa Dos Bocas-Fase I. Lago en Río Grande de Arecibo. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 8. Autoridad de Energía Eléctrica. 2000c. Informe de Inspección Represa Lago Regulador de Isabela-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- Autoridad de Energía Eléctrica. 2000d. Informe de Inspección Represa Carite-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 10. Autoridad de Energía Eléctrica. 2000e. Informe de Inspección Represa Loíza (Carraízo) – Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 11. Autoridad de Energía Eléctrica. 2000f. Informe de Inspección Represa Yahuecas-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y

- Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 12. Autoridad de Energía Eléctrica. 2000g. Informe de Inspección Represa Prieto-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 13. Autoridad de Energía Eléctrica. 2000h. Informe de Inspección Represa Toa Vaca-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 14. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001a. Informe de Inspección de Seguridad Represa Garzas. Preparado por Barret & Hale Consulting Engineers y ECI, División de Recursos de Agua de DMJM+HARRIS.
- 15. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001b. Informe de Inspección de Seguridad Represa Antonio Lucchetti. Preparado por Barret & Hale Consulting Engineers y ECI, División de Recursos de Agua de DMJM+HARRIS.
- 16. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001c. Informe de Inspección de Seguridad - Opinión de costos para medidas de estabilización en secciones de "Non-Overflow" Represa Guayo. Preparado por Black & Veatch.
- 17. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001d. Informe de Inspección de Seguridad Represa Guayo. Preparado por Black & Veatch.
- 18. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001e. Informe de Inspección Represa Melanía-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 19. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001f. Informe de Inspección Represa Patillas-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 20. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001g. Informe de Inspección Represa Matrullas-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 21. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001h. Informe de Inspección Represa Guineo-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 22. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001i. Informe de Inspección Represa Cidra-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 23. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001j. Informe de Inspección Represa Ponceña-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y

- Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 24. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001k. Informe de Inspección Represa Bronce-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 25. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001. Informe de Inspección Represa Antonio Lucchetti-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 26. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001m. Informe de Inspección Represa Antonio Lucchetti-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 27. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001n. Informe de Inspección Represa Antonio Lucchetti-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 28. Autoridad de Energía Eléctrica. 2001o. Programa Estatal de Inspección y Reglamentación de Presas y Lagos de Puerto Rico en la Autoridad de Energía Eléctrica. San Juan, P.R. 73 p.
- 29. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002a. Compendio de represas y embalses de Puerto Rico. Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 30. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002b. Informe de Inspección Represa Comerío II-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 31. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002c. Informe de Inspección Represa Viví-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 32. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002d. Informe de Inspección Represa Pellejas-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 33. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002e. Informe de Inspección Represa Adjuntas-Fase I. Lago en Río Grande de Arecibo. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 34. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002f. Informe de Inspección Represa Guayabal-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.

- 35. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002g. Informe de Inspección Represa Icacos-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 36. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002h. Informe de Inspección Represa Ana María II-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 37. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002i. Informe de Inspección Represa Dagüey-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 38. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002j. Informe de Inspección Represa Ajíes-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 39. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002k. Informe de Inspección Represa Ana María V-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 40. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002l. Informe de Inspección Represa Loco-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 41. Autoridad de Energía Eléctrica. 2002m. Informe de Inspección Represa Comerío I-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 42. Autoridad de Energía Eléctrica. 2003a. Informe de Inspección Represa La Plata-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 43. Autoridad de Energía Eléctrica. 2003b. Informe de Inspección Represa Guayo-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 44. Autoridad de Energía Eléctrica. 2003c. Informe de Inspección Represa Cerrillos-Fase I. Preparado por la Unidad de Inspección y Regulación para la Seguridad de Represas y Lagos de Puerto Rico. San Juan, P.R.
- 45. Autoridad de Energía Eléctrica. 2003d. Plantas hidroeléctricas (activas). Información provista por HidroGas. San Juan, P.R.
- 46. Autoridad de Fuentes Fluviales de Puerto Rico (Puerto Rico Water Resources Authority, Power Division). 1958. *General Data Hydro System.* San Juan, P.R.

- 47. Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura de Puerto Rico (AFI). 1999. Declaración de Impacto Ambiental Final: Acueducto Regional del Noreste. Preparado por la Iniciativa AFI/AAA con fecha del 31 de agosto de 1999. San Juan, P.R.
- 48. Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura de Puerto Rico (AFI). 2001?. Declaración de Impacto Ambiental Final: Embalse Fuera del Cauce de Río Blanco. San Juan, P.R.
- 49. Black and Veatch Engineers, 1976. Water supply study for entire island of Puerto Rico, First Phase. Report to the USACE, Jacksonville.
- 50. Brown, R.A., Jobin, W.R., Laracuente, A., Mercado, R. y Quiñones, V. 1979?. *Preliminary results from a survey of water quality in some Puerto Rican lakes.* Human Ecology Division, Center for Energy and Environment Research. Caparra Height Station, Puerto Rico. 270 p.
- 51. Brune, G.M. 1953. *Trap efficiency of reservoirs.* Transactions of the American Geophysical Union 34(3):407-418.
- 52. Carvajal-Zamora, J.R. 1979?. *Ecological survey of lakes: Final Report.*Project No. F-4. Study No. XI. Departamento de Recursos Naturales, San Juan, P.R. 52 p.
- 53. Carvajal-Zamora, J.R., Armstrong-Anselmi, J.T., Vázquez-Otero, M. y Usúa-Ocasio, E. 1978? *Ecological Productivity of Lakes, Annual Performance Report.* Project No. F4-6. Study XI. Departamento de Recursos Naturales, San Juan, P.R. 30 p.
- 54. Cham, C. y Carvajal-Zamora, J.R. 1977. *A study of the microbiology of Lago La Plata and Lago Cidra*. Cuarto Simposio de los Recursos Naturales. Departamento de Recursos Naturales, San Juan, P.R. p. 54-82.
- 55. Collar, P.D. and Guzmán-Ríos, S. 19??. Sedimentation rates and capacity restoration options, Lago Loiza, Puerto Rico. p. 15-17 to 15-24. Unknown publisher.
- 56. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 1990?. Los lagos de Puerto Rico. Hoja informativa. La fecha de publicación es estimada ya que el documento no posee esta información.
- 57. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 1992. Guía para la pesca recreativa en los embalses de Puerto Rico. Programa de Educación de Recursos Acuáticos, Sección de Recursos Marinos, Área de Investigaciones Científicas. 55 p.
- 58. Figueroa-Alamo, C. 1991. Sedimentation survey of Lago Toa Vaca, Puerto Rico, July 1985. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Open-File Report 90-199. San Juan, Puerto Rico. 9 p.
- 59. García-Martinó, A.R. 2000. La construcción de represas ante el desarrollo económico: Puerto Rico en el Siglo 20. Dimensión CIAPR (4): 7-14.
- 60. García-Saís, J.R. y Tilly, L. 1983. Trayectoria anual de la distribución de nutrientes en el Lago La Plata, Toa Alta, Puerto Rico. Décimo

- Simposio de los Recursos Naturales, Departamento de Recursos Naturales, San Juan, P.R. p. 57-65.
- 61. Giusti, E.V. y López, M.A. 1967. Climate and streamflow of Puerto Rico. Caribbean Journal of Science 7(3-4): 87-93.
- 62. Gómez-Gómez, F. y Torres-González, A. Unpublished manuscript. Preliminary Trophic State Classification of Seven Reservoirs in Puerto Rico (and extrapolation to include other inland lakes). Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Preparado en cooperación con el Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- 63. Gregory L. Morris & Associates. February 1995. Firm Yield Analysis: Dos Bocas and Caonillas Reservoirs, Arecibo, Puerto Rico. p.34.
- 64. Hunt, J.L. 1977. Sedimentation of Cidra Reservoir Puerto Rico. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Federal de Conservación de Suelos (SCS). U.S. Government Printing Office: 1977 O-227-555. 14 p.
- 65. Jobin, W.R. y Brown, R.A. 1978. Water Quality in Reservoirs of Puerto Rico. Science-Ciencia 6(1):31-32.
- 66. Junta de Calidad Ambiental. 1998. Goals and progress of statewide water quality management planning: Puerto Rico 1996-1997. San Juan, Puerto Rico. 175 páginas más apéndices.
- 67. Junta de Calidad Ambiental. 1999. Lagos de Puerto Rico. Area de Calidad de Agua, División de Planes y Programas. Publicado en junio de 1999.
- 68. Junta de Calidad Ambiental. 2000. Goals and progress of statewide water quality management planning: Puerto Rico 1998-1999. San Juan, Puerto Rico. 108 páginas más apéndices.
- 69. Junta de Calidad Ambiental. 2003. Puerto Rico Water Quality Inventory and list of impaired waters. 2002 305(b)/303(d) Integrated report, Final Version. San Juan, Puerto Rico. 160 páginas.
- 70. Quiñones-Marquéz, F. 1980. Limnology of Lago Loiza, Puerto Rico. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 79-97. San Juan, Puerto Rico. 114 p.
- 71. Quiñones, F., Green, B. y Santiago, L. R. 1989. Sedimentation survey of Lago Loíza, Puerto Rico, July 1985. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 87-4019. San Juan, Puerto Rico. 17 p.
- 72. Quiñones, F., Melendez, F. y Bonnet, C. 1989. Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, June 1985. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Open-File Report 86-241. San Juan, Puerto Rico. 14 p.
- 73. Quiñones, F. 1995. Infraestructura de Puerto Rico: Problemas de abasto y manejo de los recursos de agua de Puerto Rico. Informe del

- Comité para el Desarrollo Económico de Puerto Rico, Inc., San Juan, P.R. 150 p.
- 74. Quiñones, F. 2003. Abastos de agua en la Región Suroeste de Puerto Rico. Presentación preparada para la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados en agosto de 2003.
- 75. Ramos-Ginés, O. 1997. Water balance and quantification of total Phosphorus and total Nitrogen loads entering and leaving the Lago de Cidra, Central Puerto Rico. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 96-4222. San Juan, Puerto Rico. 28 p.
- 76. Ramos-Ginés, O. 1999. Estimation of magnitude and frequency of floods for streams in Puerto Rico: New Empirical Models. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 99-4142. San Juan, Puerto Rico. 41 p.
- 77. Rivera, J.E. 1975. *Pesquería en lagos de Puerto Rico.* Segundo Simposio de Recursos Naturales. Departamento de Recursos Naturales, San Juan, P.R. p. 164-176.
- 78. Sáez, F. 1988. Río Piedras, estampas de mi pueblo. Editorial Palma Real. San Juan, Puerto Rico.
- 79. Santiago-Vázquez, Flaherty, Giavarra. 1987. Chapter 6. Water Resources. January 1983, Revised November 1986 and in May 1987. San Juan, P.R.
- 80. Soler-López, L.R. 2004a. Sedimentation history of Lago Guayabal, Puerto Rico, 1913-2001. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report. Borrador final. San Juan, Puerto Rico.
- 81. Soler-López, L.R. 2004b. Sedimentation survey of Lago Toa Vaca, Puerto Rico, June-July 2002. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report. Borrador final. San Juan, Puerto Rico.
- 82. Soler-López, L.R. 2003a. Sedimentation survey of Lago de Matrullas, Puerto Rico, December 2001. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 03-4102. San Juan, Puerto Rico. 24 p.
- 83. Soler-López, L.R. 2003b. Sedimentation survey of Lago El Guineo, Puerto Rico, October 2001. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 03-4093. San Juan, Puerto Rico. 21 p.
- 84. Soler-López, L.R. 2002. Sedimentation survey of Lago Guerrero, Puerto Rico, May 2001. Departamento del Interior de los Estados Unidos,

- Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 02-4169. San Juan, Puerto Rico. 12 p.
- 85. Soler-López, L.R. 2001a. Sedimentation survey results of the principal water supply reservoirs of Puerto Rico. **En** W.F. Silva (editor) Proceedings of the Sixth Caribbean Islands Water Resources Congress, Mayaguez, Puerto Rico, February 22-23, 2001, Disco compacto.
- 86. Soler-López, L.R. 2001b. Sedimentation survey of Lago Loco, Puerto Rico, March 2000. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 01-4187. San Juan, Puerto Rico. 19 p.
- 87. Soler-López, L.R. 2001c. Sedimentation survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 2000. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 01-4043. San Juan, Puerto Rico. 25 p.
- 88. Soler-López, L.R. 2001d. Sedimentation survey of Lago Lucchetti,-Puerto Rico, March 2000. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 01-4105. San Juan, Puerto Rico. 22 p.
- 89. Soler-López, L.R. 2001e. Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, October 1999. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 00-4234. San Juan, Puerto Rico. 19 p.
- 90. Soler-López, L.R. 1999a. Sedimentation survey of Lago Prieto, Puerto Rico, October 1997. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 99-4169. San Juan, Puerto Rico. 11 p.
- 91. Soler-López, L.R. 1999b. Sedimentation survey of Lago de Cidra, Puerto Rico, November 1997. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 99-4144. San Juan, Puerto Rico. 19 p.
- 92. Soler-López, L.R. 1999c. Sedimentation survey of Lago Guayo, Puerto Rico, October 1997. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 99-4053. San Juan, Puerto Rico. 20 p.
- 93. Soler-López, L.R. y Carrasquillo-Nieves, R.A. 2001. Sedimentation survey of Lago Carite, Puerto Rico, October 1999. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 00-4235. San Juan, Puerto Rico. 22 p.
- 94. Soler-López, L.R. y Gómez-Gómez, F. 2002. Partial bathymetry results and análisis of the January/February 2002 bathymetric survey of *Lago Loíza*. Internal unpublished report. San Juan, Puerto Rico. 3 p.

- 95. Soler-López, L.R. y Webb, R.M.T. 1999. Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, June 1997. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 98-4188. San Juan, Puerto Rico. 14 p.
- 96. Soler-López, L.R., Webb, R.M.T. y Carrasquillo-Nieves, R.A. 2000a. Sedimentation survey of Lago Guajataca, Puerto Rico, January 1999. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 00-4044. San Juan, Puerto Rico. 20 p.
- 97. Soler-López, L.R., Webb, R.M.T. y Carrasquillo-Nieves, R.A. 2000b. Sedimentation survey of Lago La Plata, Puerto Rico, October 1998. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 00-4045. San Juan, Puerto Rico. 23 p.
- 98. Soler-López, L.R., Webb, R.M.T. y Pérez-Blair, F. 1999a. Sedimentation survey of Lago Garzas, Puerto Rico, September 1996.

 Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 99-4143. San Juan, Puerto Rico. 20 p.
- 99. Soler-López, L.R., Webb, R.M.T. y Pérez-Blair, F. 1999b. Sedimentation survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 99-4030. San Juan, Puerto Rico. 14 p.
- 100. Soler-López, L.R., Webb, R.M.T. y Pérez-Blair, F. 1999c. Sedimentation survey of Lago Yahuecas, Puerto Rico, March 1997. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 98-4259. San Juan, Puerto Rico. 15 p.
- Tilly, L.J. 1983. A review of the trophic state classification of Puerto Rican lakes. Décimo Simposio de Recursos Naturales. Departamento de Recursos Natuales. 49-56h.
- 102. Tilly, L.J. y García-Saís, J.R. 1987. Limnological features of a Puerto Rican reservoir. Arch. Hydrobiol./Suppl. 76. (1/2): 145-167.
- 103. U.S. Army Corp of Engineers. 1975a. *Ponce Regional Water Resources Management Study, Puerto Rico. Summary Report.* Prepared in cooperation with the Government of the Commonwealth of Puerto Rico.
- 104. U.S. Army Corp of Engineers. 1975b. Ponce Regional Water Resources Management Study, Puerto Rico. Appendix D. Technical Appendix Part I. Water Supply. Prepared in cooperation with the Government of the Commonwealth of Puerto Rico.
- 105. U.S. Army Corp of Engineers. 1997. Water control manual for Cerrillos Dam and reservoir: Portugües and Bucaná rivers, Puerto Rico. Jacksonville District. Jacksonville, Florida.

- 106. U.S. Army Corp of Engineers. 2002?. Portugués and Bucaná Rivers, Puerto Rico GI Flood Control Project (Construction Phase). Disponible por internet en: http://www.saj.usace.army.mil/dp/puerto_rico/projects. Acezado por última vez el 29 de diciembre de 2003.
- 107. U.S. Army Corp of Engineers y Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 2000. Proyecto de propósitos múltiples Portugués-Bucaná Ponce, Puerto Rico. Folleto informativo publicado por la Oficina de Planificación del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. San Juan, P.R.
- 108. Vázquez, R. y Santiago-Vázquez, A. 1972. Water Resources of Puerto Rico: Planning and Management. Borrador de un reporte preparado por el Departamento de Obras Públicas. Este borrador se publicó oficialmente bajo el nombre de "The 1973 Water Resources Assessment for Puerto Rico" bajo el Departamento de Recursos Naturales en abril de 1974.
- 109. Webb, R.M.T. y Soler-López, L.R. 1996. Sedimentation survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 1995. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal (USGS). Water-Resources Investigations Report 96-4153. San Juan, Puerto Rico. 27 p.
- 110. Webb, R.M.T. y Soler-López, L.R. 1997. Sedimentation history of Lago Loíza, Puerto Rico, 1953-94. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Servicio Geológico Federal. Water-Resources Investigations Report 97-4108. San Juan, Puerto Rico. 18 p.
- 111. Wetzel, R.G. 1983. Limnology. Second Edition. Saunders College Publishing, Orlando. 767 p. más apéndices.

Apéndice A

Resumen de reportes de inspección de la Unidad de Inspección y
Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos
Autoridad de Energía Eléctrica

	Fecha de Inspección más reciente	Recomend	Recomendaciones			
Represa	realizada por la AEE	A	В			
		Uso Hidroeléctrico y Riego				
Sistema de Toro Negro Matrullas	2 de noviembre de 2001		Reemplazar la verja del vertedor.			
Sistema de Caonillas y Dos Bocas						
Pellejas	6 de diciembre de 2002	Establecer un programa de inspección de seguridad para el embalse.	<u>-</u>			
Sistema de Yauco						
Guayo	20 de junio de 2003	Llevar a cabo una inspección mensual del embalse y sus facilidades.	<u>-</u>			
Loco	22 de febrero de 2002		Evaluar la estabilidad estructural de la represa bajo condiciones normales, de terremoto e inundaciones extremas. Se debe utilizar el criterio de estabilidad de seguridad federal actual para evaluar la estabilidad de la represa.			
Sistema de Comerío						
Comerío 1	8 de marzo de 2002	Establecer un programa de inspección de seguridad para el embalse.	-			
Comerío 2	8 de marzo de 2002	Establecer un programa de inspección mensual de seguridad para el embalse y se debe enviar una copia del mismo a la Unidad de Inspección de Seguridad de Embalses.	Evaluar la estabilidad estructural de la represa bajo condiciones de terremoto e inundaciones.			
Sistema de Isabela						
Lago Regulador	7 y 14 julio de 2000	Se debe establecer un programa de inspección mensual de seguridad para el embalse.	-			
Sistema de Carite	A					
Patillas	23 de enero de 2001	Reparar la operación eléctrica de la compuerta en el vertedor.	-			
Carite	16 de marzo de 2000	Establecer un programa de inspección mensual de seguridad para el embalse.	-			
Melanía	3 de agosto de 2001		Remover los árboles del pie de salida de la represa.			
Sistema de Costa Sur - Oeste Guayabal	18 de diciembre de 2001		Evaluar la estabilidad estructural de la represa bajo condiciones normales, de terremoto e inundaciones extremas. Se debe utilizar el criterio federal actual de			
			estabilidad de seguridad para evaluar la estabilidad de la represa.			
Coamo	5 de mayo de 1999	- ·	Reparar las áreas corroídas entre el lado derecho de la falda del vertedor y el "abutment".			

		Uso de Abasto Público y Control de Inundaciones	
Ajíes	14 de junio de 2002	Establecer un programa de inspección mensual de seguridad para el embalse. Establecer un Programa de Operación y Mantenimiento para el embalse y se debe de enviar una copia del mismo a la Unidad.	Drenar el "lower berm" y proveer un dique de drenaje.
		de Inspección de Seguridad de Embalses para su revisión y aprobación.	
Cerrillos	8 y 9 de mayo de 2003	Reparar el medidor de flujo en el conducto de dreanaje al pie de la represa y llevar a cabo lecturas de calidad y cantidad. En ausencia del medidor de flujo, se deben utilizar otros medios para realizar las medidas. Los datos recopilados se deben enviar a la Unidad de Inspección de Seguridad para Embalses.	
Cidra	10 de octubre de 2001	Se debe establecer inmediatamente un programa de inspecciones rutinarias de seguridad para el embalse. Inpecciones por el personal propietario se deben realizar por lo menos una vez al mes y la Unidad de Inspección de Seguridad de Embalses verificará y evaluará los datos de las inspecciones.	Realizar un análisis de estabilidad estructural.
Dagüey	14 de junio de 2002	1. Establecer inmediatamente un programa de inspecciones rutinarias de seguridad para el embalse. Inpecciones por el personal propietario se deben realizar por lo menos una vez al mes y la Unidad de Inspección de Seguridad de Embalses verificará y evaluará los datos de las inspecciones, incluyendo aquellos datos existentes y de nuevas intrumentaciones.	De estar disponible el documento de cálculos de estabilida de diseño, se deben revisar las suposiciones y criterios par determinar si los mismos cumplen con los criterios federale actuales de estabilidad de seguridad.
	d	 Establecer un Programa de Operación y Mantenimiento y se debe enviar una copia del mismo a la Unidad de Inspección de Seguridad de Embalses para su aprobación. 	
La Plata	12 y 14 de febrero de 2003	Inspeccionar y reparar según sea necesario el compartimento de "pin" en la compuerta #2 y los "pins" en las compuertas #5 y #6 Implementar un programa de inspección mensual de seguridad de la represa y de mantenimiento. Rehabilitar los drenajes de la fundación.	
Las Curías	26 de marzo de 1999	Establecer inmediatamente un programa de inspecciones rutinarias de seguridad para el embalse. Inspecciones por el personal propietario se deben realizar por lo menos una vez al mes y una copia se debe enviar a la Unidad de Inspección de Seguridad de Embalses.	Realizar un análisis de estabilidad de pendiente en el "embankment" para confirmar si existen los factores de seguridad adecuados. El criterio de estabilidad del Cuerp de Ingenieros o de la Comisión Federal Reguladora de Energía se debe utilizar para esta evaluación.
Toa Vaca	30 de noviembre de 2000	Establecer inmediatamente un programa de inspecciones rutinarias de seguridad para el embalse. El personal propietario debe realizar inspecciones por lo menos una vez al mes y la Unidad de Inspección para Embalses verificará y evaluará los datos de las inspecciones, incluyendo datos de instrumentaciones existentes.	Preparar Planes de Acción para Emergencias. - - - - - - - - - - - - -

A - Recomendación de importancia crítica. Acciones correctivas son necesarias de inmediato debido a que existe evidencia que sugiere:

⁽¹⁾ que la seguridad de la represa se afecta de forma inmediata;
(2) que puede llevar potencialmente a una condición no segura de la represa
(3) que pone en riesgo la seguridad pública.

B - Recomendación crítica para la seguridad del embalse a largo plazo. Acciones correctivas son necesarias en un plazo de 1 a 5 años.

Apéndice B
Resumen de recomendaciones de la Unidad de Inspección y Reglamentación para la Seguridad de Presas y Lagos
Autoridad de Energía Eléctrica

Represa	Fecha de inspección más reciente realizada por la AEE	Resultado de inspección	Recor	Recomendaciones		Tamaño	Peligro Potencial
-			Α	В	С		
		Uso Hidroeléctrico y Riego	1				
Sistema de To	oro Negro						
Guineo	8 de junio de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	<u>-</u>	8	Mayor	Alto
Matrullas	2 de noviembre de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	1	9	Mayor	Alto
Sistema de G	arzas			7	W.		
Garzas	6 de marzo de 1998	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	13	Mayor	Alto
Sistema de Is	abela						
Guajataca	25 de marzo de 1998	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	<u>-</u>		3	Mayor	Alto
Lago Regulador	7 y 14 julio de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	<u>-</u>	8	Intermedio	Alto
Sistema de R	ío Blanco						
Icacos	8 de febrero de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad	-	-	5	Menor	Bajo
Sistema de Ca	aonillas y Dos Bocas						
Adjuntas	2 de agosto de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	8	Intermedio	Alto
Caonillas	10 de marzo de 2000 y 7 de junio de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	9	Mayor	Alto
Dos Bocas	11 de agosto de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	7	Mayor	Alto

Pellejas	6 de diciembre de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	-	5	Intermedio	Alto
Viví	20 de septiembre de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	7	Intermedio	Alto
		Uso Hidroeléctrico y Rieg	ю		0		
Sistema de Come	erío						
Comerío 1	8 de marzo de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	-	2	Intermedio	Alto
Comerío 2	8 de marzo de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	1	12	Mayor	Alto
Sistema de Carité	е						
Carite	16 de marzo de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	-	6	Mayor	Alto
Melanía	3 de agosto de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	1	4	Menor	Alto
Patillas	23 de enero de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	-	11	Mayor	Alto
Sistema de Costa	a Sur - Oeste						
Guayabal	18 de diciembre de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	1	12	Mayor	Alto
Coamo	5 de mayo de 1999	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	1	1	Intermedio	Alto
Sistema de Yauc	0						
Guayo	20 de junio de 2003	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	-	11	Mayor	Alto

Loco	22 de febrero de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	1	8	Intermedio	Alto
Lucchetti	21 de septiembre de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	7	Mayor	Alto
Prieto	29 de septiembre de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	6	Intermedio	Alto
Yahuecas	27 de octubre de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.		-	7	Intermedio	Alto
	Uso para	Abasto Público y Control de	Inundacio	nes			
Ajíes	14 de junio de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	2	1	4	Intermedio	Alto
Cerrillos	8 y 9 de mayo de 2003	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	-	19	Mayor	Alto
Cidra	10 de octubre de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	1	7	Intermedio	Alto
Dagüey	14 de junio de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	2	1	3	Intermedio	Alto
La Plata	12 y 14 de febrero de 2003	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	3	-	13	Mayor	Alto
Las Curías	26 de marzo de 1999	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1	2	8	Intermedio	Alto
Loíza	10 de diciembre de 1999	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	-	8	Mayor	Alto

Toa Vaca	30 de noviembre de 2000	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	1 -	13	Mayor	Alto
		Otros				
Ana María 2	23 de octubre de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.		4	Intermedio	Alto
Ana María 5	23 de octubre de 2002	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	3	Intermedio	Alto
Bronce	21 de marzo de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.	-	3	Intermedio	Alto
Ponceña	21 de marzo de 2001	Al momento de la inspección el embalse no indicaba riesgos inminentes a la seguridad.		3	Intermedio	Alto

A - Recomendación de importancia crítica. Acciones correctivas son necesarias de inmediato debido a que existe evidencia que sugiere que:

⁽¹⁾ la seguridad de la represa se afecta de forma inmediata;

⁽²⁾ puede llevar potencialmente a una condición no segura de la represa;

⁽³⁾ pone en riesgo la seguridad pública.

B - Recomendación crítica para la seguridad del embalse a largo plazo. Acciones correctivas son necesarias en un plazo de 1 a 5 años.

C - Recomendación que envuelve mantenimiento rutinario o actividades de vigilancia.