

## 9.1 Cuenca del Río Grande de Arecibo

La cuenca del Río Grande de Arecibo, en la Región Norte-Central de Puerto Rico, es una de las de mayor extensión e importancia en la Isla. La cuenca incluye un área de 257 mi<sup>2</sup>, desde la zona montañosa en la Cordillera Central en los municipios de Jayuya y Adjuntas, hasta el valle aluvial costanero cerca de Arecibo (Figura 9-3). La población actual en la cuenca se estima en 100,182 habitantes, incluyendo las zonas urbanas de los municipios de Adjuntas, Jayuya, y sectores de Utuado y Arecibo. Varios de los montes de mayor elevación en la Isla se levantan en la cuenca, incluyendo a Cerro de Punta (4,390 pies), Monte Jayuya (4,298 pies), Cerro Rosa (4,157 pies) y Tres Picachos (3,953 pies).

La cuenca incluye dos tributarios principales, el Río Grande de Arecibo en la parte oeste, y el Río Caonillas en la parte este. Estos dos ramales forman los embalses de Dos Bocas y Caonillas respectivamente, así como una serie de embalses menores interconectados a Caonillas o la Región Sur mediante túneles y canales. En conjunto, los embalses de Dos Bocas y Caonillas constituyen la infraestructura de agua más importante en la cuenca. Estos embalses proveen hasta 100 mgd de agua para el Superacueducto de la Costa Norte, además de ser fuentes de energía hidroeléctrica, sirven para la navegación recreativa y la pesca, y proveen control parcial a inundaciones aguas abajo del Embalse Dos Bocas. La cuenca incluye varios tributarios importantes que contribuyen al gran caudal de escorrentía generado anualmente, el mayor en la Isla.

El cauce principal del Río Grande de Arecibo se origina en la zona oeste de la cuenca, en la región montañosa de Adjuntas en la Cordillera Central. En esta zona fue construido en 1943 el Embalse Garzas, cercano a la divisoria con las laderas de la Región Sur, con una capacidad inicial de 4,700 acres-pies. Este embalse descarga agua hacia la Región Sur mediante un sistema de túneles, específicamente al Río Las Vacas, un tributario del Río Tallaboa cerca de Peñuelas. Aguas abajo de la represa de Garzas, el Río Grande de Arecibo fluye hacia el norte, recibiendo el influjo de los Ríos Viví y Pellejas, además de varias quebradas, hasta descargar al Embalse de Dos Bocas. Este embalse, inicialmente uno de los mayores en la Isla, también recibe la escorrentía proveniente del ramal este de la cuenca formado por el Río Caonillas y sus tributarios. Esta zona es drenada por los ríos Jayuya, Caonillas y Limón, que fluyen desde Jayuya hasta el Embalse Caonillas, el segundo mayor en capacidad en Puerto Rico (luego de Toa Vaca). El Embalse Caonillas también recibe el efluente de cuatro embalses menores ubicados en tributarios del Río Grande de Arecibo aguas arriba de Utuado y Adjuntas. Estos embalses con represas de bajo nivel incluyen a Jordán, Viví, Pellejas y Adjuntas, y descargan el agua por un sistema de canales y túneles hasta Caonillas, con el propósito de aumentar el volumen de agua disponible en este embalse para generar electricidad. Desde Caonillas el agua fluye a través de las turbinas hidroeléctricas operadas por la AEE (ahora fuera de servicio), descargando al ramal este del Embalse Dos Bocas. En la represa de Dos Bocas el agua alimenta turbinas hidroeléctricas de la AEE, descargando el agua por el cauce natural del río hacia el Valle de Arecibo. En la vecindad del Barrio Charco Hondo cerca de Arecibo, el cauce del Río Grande de Arecibo es parcialmente desviado a la laguna de retención que alimenta agua a la PF Santiago Vázquez, como parte del Acueducto Regional del Norte (Superacueducto). Aguas



Figura **Error! No text of specified style in document.**-1. Cuenca Hidrográfica del Río Grande de Arecibo.

abajo de la laguna indicada, el Río Tanamá alimenta al cauce principal, contribuyendo al flujo que transita hacia el estuario formado por el Río Grande de Arecibo.

La geología superficial de la cuenca incluye rocas de origen volcánico, intrusivas y sedimentarias, que contribuyen a las características hidrológicas de la región. La parte alta de la cuenca es formada por rocas de origen volcánico en la Cordillera Central esencialmente impermeables, con pendientes inclinadas y cubierta parcial de bosques. En el ramal del Río Grande de Arecibo, en la vecindad de Utuado, rocas intrusivas forman el Batolito de Utuado, una masa que cubre varias millas cuadradas de residuos volcánicos intrusivos, primordialmente granodiorita, un mineral silíceo que una vez descompuesto, contiene cantidades sustanciales de arena. El ramal de los Ríos Jayuya y Caonillas, en el este de la cuenca, drena un área formada por rocas volcánicas esencialmente impermeables, con residuos aluviales en los valles de los cauces. En esta parte de la cuenca, los ríos exhiben pendientes con inclinaciones de hasta 460 pies por kilómetro, tales como el Río Salientito en Jayuya. Estas pendientes inducen velocidades extremas en los cauces de los ríos, lo que a su vez contribuye a altas tasas de erosión y transporte de sedimentos. Aguas abajo de Dos Bocas, luego de generarse electricidad, el río discurre a través de la Región del Karso disectando las rocas calizas que la forman. En su paso hacia el valle aluvial de Arecibo, el río ha erodado un cañón semi-profundo que se extiende desde la represa de Dos Bocas hasta la vecindad del Barrio Tanamá, donde comienza el valle. En este cañón, varios manantiales abundantes, incluyendo el de San Pedro cerca de Charco Hondo, contribuyen a aumentar el flujo del río. En esta zona del Barrio Tanamá, el canal se ensancha y emigra durante crecientes debido a que el aluvión que forma el valle se erosiona con facilidad. Aguas abajo de la laguna de retención del Superacueducto, el Río Tanamá fluye al cauce principal. Desde la vecindad de la Central Cambalache, el río fluye hacia la costa formando un canal llano y meandros en su paso por el valle aluvial hasta descargar al Océano Atlántico al este de la zona urbana de Arecibo. Los meandros en la desembocadura del río al mar forman uno de los estuarios más importantes en la Isla, penetrando la cuña de agua salada hasta la vecindad de la Central Cambalache, aproximadamente una milla aguas arriba de la desembocadura del río al mar.

Aproximadamente 192 mi<sup>2</sup> de la superficie de la cuenca ocurren en la zona de rocas volcánicas, mientras el balance de 82 mi<sup>2</sup> son rocas calizas de la Región del Karso. Las series de suelo predominantes en la zona más elevada de la cuenca incluyen las de Pellejas y Humatas. Las series Soller, San Sebastián y depósitos marinos mezclados dominan la zona central y costanera de la cuenca. Los usos principales de terrenos incluyen los bosques y los pastos (52%), seguido de agricultura (42%). La parte central de la cuenca se caracteriza por la siembra y cultivo de café y otros frutos menores. La cuenca incluye parte de los bosques estatales de Toro Negro, Tres Picachos y Guilarte, y la totalidad de los bosques de Río Abajo y del Pueblo. Los centros urbanos son relativamente menores (4%) cuando son comparados con la extensión geográfica de los municipios que componen la cuenca.

El clima de la cuenca del Río Grande de Arecibo es primordialmente subtropical muy húmedo, similar a otras regiones de la Isla que incluyen parte de la Cordillera Central. La cuenca contiene además zonas donde el clima es montano bajo muy húmedo. En la zona montañosa de la cuenca en Utuado, Jayuya y Adjuntas, la temperatura promedio es de 75° F, comparada con un promedio de 85° F en el valle costanero cerca de Arecibo. La lluvia varía a través del año en forma similar a otras cuencas de la Región Norte, con un período de sequía desde enero hasta abril, lluvias intensas durante mayo y junio, un segundo período seco hasta agosto, y la época de lluvia abundante desde septiembre hasta diciembre. Aguaceros y tronadas intensas ocurren casi diariamente durante la época de lluvia en las pendientes de las montañas debido a los efectos orográficos inducidos por la topografía y los vientos del norte-noreste. La lluvia promedio anual en la cuenca varía desde 90 pulgadas en la zona montañosa hasta 55 pulgadas en la costa, con un promedio de 76 pulgadas. Durante sequías extremas, la precipitación anual puede disminuir hasta 58 pulgadas, como ocurrió en el 1994. La evapotranspiración consume una gran parte de la lluvia que cae sobre la cuenca, con un promedio anual de 48 pulgadas, lo que disminuye a 41 pulgadas en época de estiaje. En promedio la evapotranspiración representa un 63% de la precipitación sobre la cuenca.

La infiltración de la escorrentía en la cuenca es mínima en la zona de rocas volcánicas, pero significativa en la Región del Karso. El USGS estima que aproximadamente 36 pulgadas de la precipitación neta (lluvia menos evapotranspiración) se infiltra al subsuelo a través de sumideros y cavidades en la franja de rocas calizas al sur de Dos Bocas. Parte del agua que se infiltra retorna al cauce del Río Grande de Arecibo y al Río Tanamá en forma de manantiales que ayudan a sostener los flujos mínimos. En el valle aluvial cerca de la Central Cambalache, el río inicialmente pierde parte de su flujo al recargar secciones del Acuífero Superior de la zona. Sin embargo, datos recientes establecen que en la vecindad de la desembocadura del río al mar, el mismo recibe descargas del acuífero.

La cuenca del Río Grande de Arecibo produce la mayor cantidad de escorrentía por milla cuadrada con 1,357 acres-pies por año por milla cuadrada. La gran extensión territorial de la cuenca, y la lluvia abundante, resultan en escorrentía neta abundante la mayor parte del año, lo que permite extraer de los ríos y embalses en la cuenca cantidades sustanciales de agua para abasto público. El flujo promedio descargado hacia el mar previo al desarrollo del Superacueducto era de 432,240 acres-pies/año. El Superacueducto extrajo durante el 2000-2003 un promedio de 75 mgd, equivalente a 84,070 acres-pies/año. Recientemente el DRNA aprobó aumentar dicha extracción a 100 mgd, o 112,100 acres-pies/año. La AAA también opera tomas de agua para sus PF en Utuado, Jayuya, Adjuntas y Arecibo, extrayendo un promedio de 5.59 mgd (6,265 acres-pies/año). A la misma vez, la AAA descarga a los ríos de la cuenca aproximadamente 1.30 mgd de aguas sanitarias tratadas y desinfectadas proveniente de sus plantas de tratamiento en Utuado, Adjuntas y Jayuya. Estas aguas sanitarias tratadas a nivel secundario, fluyen eventualmente hasta Dos Bocas, donde son parcialmente reusadas para generar electricidad y eventualmente en la toma de agua

del Superacueducto. Aún así, la cuenca descarga al mar aproximadamente 348,160 acres-pies/año. Esta descarga al océano es la mayor de todas las cuencas en la Isla.

El Río Tanamá, uno de los tributarios más importantes en la cuenca, contribuye flujos sustanciales al estuario en Arecibo, además de suplir agua para consumo doméstico en dicha ciudad. Este tributario, originado en las zonas elevadas de Utuado, discurre primordialmente a través de la Región del Karso, sumergiéndose en varios puntos a través de túneles y cavernas antes de confluir con el Río Grande de Arecibo aguas arriba de la Central Cambalache. La AAA opera una toma de agua en Charco Hondo, aguas arriba de la confluencia con el Río Grande de Arecibo, que extrae un promedio de 1.60 mgd para la planta de filtración de Arecibo. Este río descarga un promedio de 67,000 acres-pies al año hacia el Río Grande de Arecibo, fluyendo el agua hacia el estuario de Arecibo, ayudando a su conservación y salud biológica.

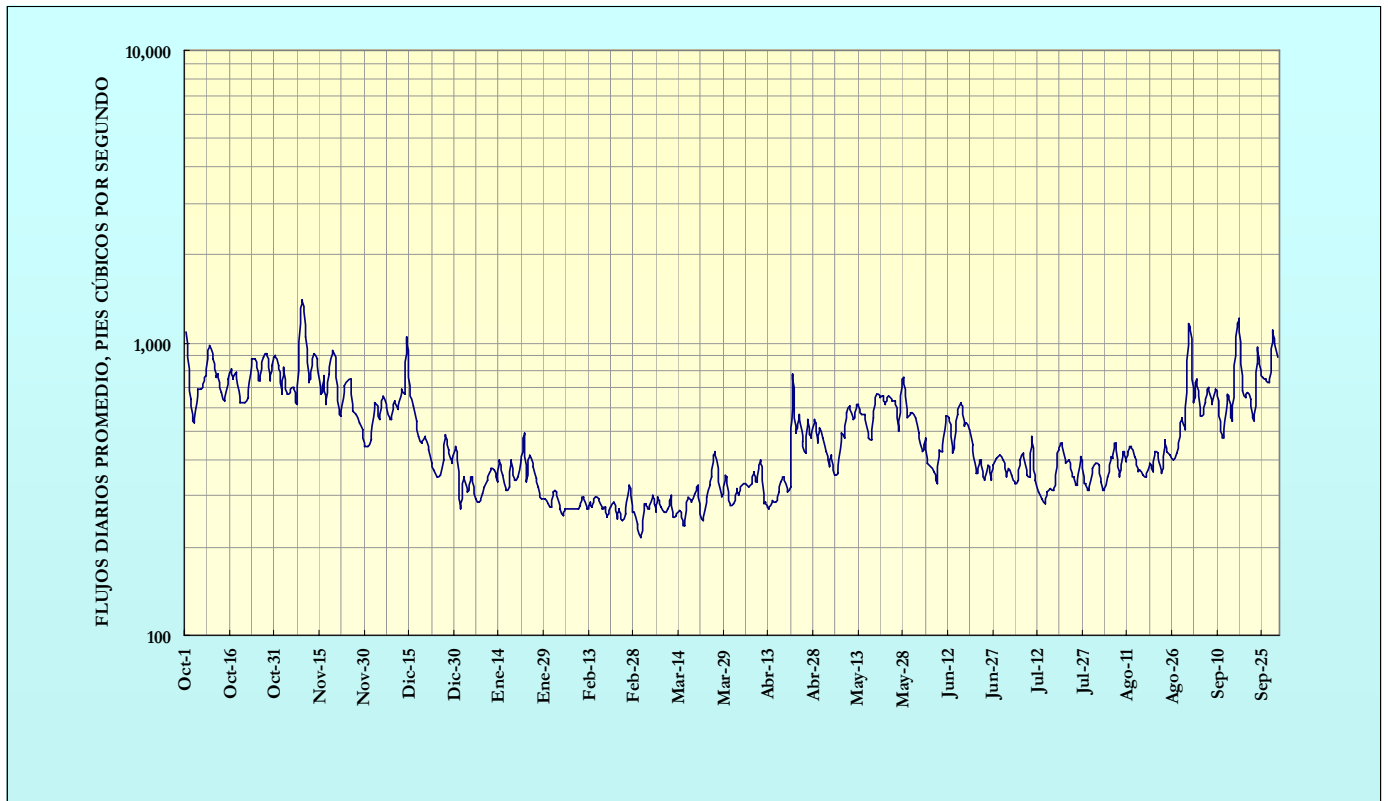


Figura **Error! No text of specified style in document.-2**. Flujos diario promedio en el Río Grande de Arecibo en la Central Cambalache (50029000), 1969-2002.

Los embalses de Caonillas y Dos Bocas, construidos por la AEE cerca de Utuado en la década de 1940, están entre los de mayor tamaño y capacidad en Puerto Rico. Caonillas, con una capacidad inicial de 45,100 acres-pies, y actual de 33,400 acres-pies, tiene un rendimiento seguro de hasta 70 mgd de agua. Aunque su capacidad se ha reducido debido a los sedimentos descargados por los Ríos Jayuya y Caonillas, su vida útil se estima en 160 años. Dos Bocas, con una capacidad inicial de 30,400 acres-

pies, actualmente de solamente 13,200 acres-pies, y mantiene un rendimiento seguro de 52 mgd de agua. Sedimentos provenientes de la zona de rocas volcánicas de Adjuntas y Utuado han reducido la capacidad de Dos Bocas en forma alarmante, limitando su vida útil a 48 años. Garzas, el otro embalse importante en la cuenca, cuyas aguas son desviadas hacia la Región Sur, tiene una capacidad actual de 4,200 acres-pies de una inicial de 4,700 acres-pies. Su ubicación en la zona de bosques densos entre Lares, Adjuntas y Utuado, minimiza su sedimentación.

Los embalses de Caonillas y Dos Bocas son también fuentes de energía hidroeléctrica que suplen a la red energética de la AEE, además de ser utilizados para la recreación y turismo en la zona. En Caonillas, la AEE operaba turbinas con capacidad de producir un promedio anual de 19,460 megavatios hora (MW-hr). Estas turbinas fueron dañadas durante el Huracán Hortense, y se reparan al presente. El efluente de Caonillas fluye hasta Dos Bocas, donde se utiliza por la AEE para generar electricidad, produciendo un promedio anual de 34,960 MW-hr. En promedio, el sistema hidroeléctrico de Caonillas y Dos Bocas genera el 75% de la energía hidroeléctrica que produce la AEE en la Isla. Caonillas, Dos Bocas y Garzas son también fuente importante de recreación en la Región Central de la Isla. El Departamento de Transportación y Obras Públicas opera en Dos Bocas un sistema de lanchas para el transporte de residentes. En estos embalses se practica la pesca deportiva y la navegación recreativa, reglamentadas por el DRNA.

Los recursos de agua subterráneos en la cuenca están limitados al valle aluvial costanero, en una área de aproximadamente 19 mi<sup>2</sup> cerca de Arecibo. En esta zona al acuífero superior se le extraen hasta 2.6 mgd mediante pozos operados por la AAA (14,125 acres-pies por año). Sin embargo, la producción de agua subterránea está limitada por la intrusión salina y la presencia de minerales conteniendo hierro y manganeso. El Acuífero Inferior (Artesiano) se extiende hasta la vecindad de Islote, al este de la zona urbana de Arecibo. Varios pozos de la AAA producen aproximadamente 0.03 mgd de agua para abastos públicos de este acuífero.

La calidad de las aguas superficiales en la cuenca del Río Grande de Arecibo es generalmente desconocida, aunque los datos disponibles indican condiciones variables y la presencia de bacterias y nutrientes en concentraciones que exceden los estándares ambientales de la JCA. Sin embargo, la calidad de las aguas superficiales generalmente cumplen con los estándares del Departamento de Salud como fuentes de agua potable y contacto, particularmente en las partes elevadas de la cuenca. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que no existen datos suficientes para caracterizar en forma general la calidad de las aguas superficiales o subterráneas en la cuenca. Existen datos de calidad de agua para solamente el 27% de los tramos de los ríos en la cuenca. En estos tramos, solamente el 3.5% la calidad del agua cumple con los estándares ambientales de la JCA. En aproximadamente el 36% de los tramos evaluados, las concentraciones de bacterias y nutrientes exceden los estándares de la JCA para aguas superficiales. La presencia de bacterias fecales en las aguas superficiales de la cuenca se debe a descargas de pozos sépticos y actividades agrícolas. Las plantas de tratamiento de aguas usadas que opera la AAA

en Utuado, Adjuntas y Jayuya, descargan su efluente tratado a nivel secundario y desinfectado (1.30 mgd) directamente al Río Grande de Arecibo aguas arriba de Dos Bocas, o a los tributarios aguas arriba de Caonillas. El efluente de estas plantas generalmente cumple con los requisitos ambientales federales y locales.

El transporte de sedimentos en la cuenca es considerable, según se desprende de la reducción de capacidad en el Embalse de Dos Bocas y datos preliminares obtenidos por el USGS. Esto se debe en parte a los depósitos de granodiorita en la parte central de la cuenca provenientes de las rocas areniscas del Batolito de Utuado. Esto ha resultado en la sedimentación acelerada de Dos Bocas, con una acumulación presente de aproximadamente 17,200 acre-pies de sedimentos. La extracción de grava y arena en los cauces aguas arriba de Dos Bocas y Caonillas, es otro factor que favorece el transporte de sedimentos hacia los embalses, al afectar la estabilidad de los cauces y bancos de los ríos. También se observan tasas de transporte de sedimentos elevados en cuencas no desarrolladas, tales como la del Río Tanamá. Estudios del USGS en este río establecen que el transporte de sedimento excede el de muchas cuencas desarrolladas (USGS, 2002), debido a la combinación de lluvias intensas, pendientes empinadas de los suelos y prácticas inadecuadas de conservación de suelos.

Tabla **Error! No text of specified style in document.**-1. Balance hidrológico de la Cuenca del Río Grande de Arecibo.

<b>Componente hidrológico</b>	<b>(acres-pies/año)</b>
<b>Precipitación</b>	1,035,980
<b>Evapotranspiración</b>	654,890
<b>Flujo</b>	
" promedio anual	348,160
" estiaje (90 días)	76,220
" estiaje (150 días)	104,100
<b>Extracción pozos</b>	6,130
<b>Descarga de agua subterránea al mar</b>	10,000
<b>Tomas AAA</b>	94,030
<b>Descargas aguas usadas a ríos</b>	1,450
<b>Descargas aguas usadas al mar</b>	6,460
<b>Entregado a fincas</b>	-
<b>Transferencias de agua</b>	-87,450
<b>No contabilizado</b>	-123,770
<b>Por ciento no contabilizado</b>	-12
<sup>a</sup> incluye tomas del Acueducto del Norte, este componente se ilustra en la transferencia de agua	

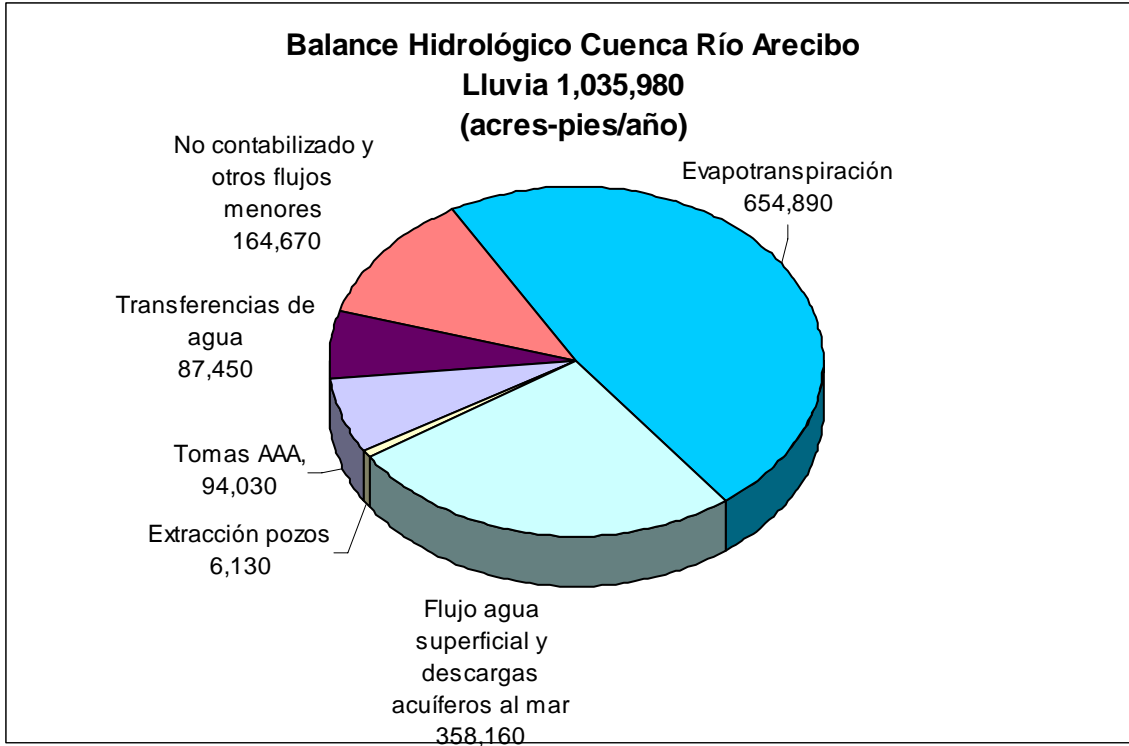


Figura **Error! No text of specified style in document.**-3. Balance hidrológico Cuenca del Río Grande de Arcibo. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.