

9.0 Cuencas Principales

Una cuenca hidrográfica incluye el área superficial de una zona o región donde la topografía controla la escorrentía generalmente hacia un solo punto. Esta área se denomina como el área de captación o drenaje, ya que los cambios en elevación en el terreno que controlan la dirección de la escorrentía generalmente permiten definirla con precisión. Las cuencas son definidas por el área aguas arriba de su punto de descarga a otro río principal, embalse, lago o al mar. Todas las cuencas de importancia se componen de subcuencas más pequeñas que a su vez se alimentan de quebradas, riachuelos o ríos tributarios.

Puerto Rico, incluyendo las islas de Vieques, Culebra y Mona, está dividido en 134 cuencas hidrográficas principales de tamaño y complejidad variada que drenan la escorrentía a quebradas, ríos, sistemas de sumideros y como flujo difuso en áreas costaneras. Una cuenca hidrográfica incluye el área superficial de una zona o región donde la topografía controla la escorrentía generalmente hacia un solo punto. Esta área se denomina como el área de captación o drenaje, ya que los cambios en elevación en el terreno que controlan la dirección de la escorrentía generalmente permiten definirla con precisión. Las cuencas son definidas por el área aguas arriba de su punto de descarga a otro río principal, embalse, lago o al mar. Todas las cuencas de importancia se componen de subcuencas más pequeñas que a su vez se alimentan de quebradas, riachuelos o ríos de menor importancia que el cuerpo receptor.

Los efectos combinados de la geología, topografía y el clima han resultado en el desarrollo de 134 cuencas hidrográficas incluyendo 54 cuencas mayores, 10 cuencas menores y 70 áreas costaneras. Estas cuencas hidrográficas se originan en su mayoría en las regiones montañosas en el interior de Puerto Rico. La escorrentía en estas cuencas fluye por canales definidos en quebradas y ríos, lo que permite establecer con precisión sus límites. En las zonas donde se encuentran rocas calizas de alta permeabilidad, sumideros y conductos subterráneos, no es posible definir con exactitud hacia donde discurre toda la escorrentía. Esta condición de drenaje no definido ocurre en la Zona del Karso de la Región Norte de Puerto Rico. Como ejemplo, la escorrentía en el Río Camuy ocurre en un sistema complejo de ríos subterráneos y cavernas donde el área de captación no se puede definir con precisión. En las cuencas costaneras cercanas al mar donde la topografía es plana y las pendientes del terreno mínimas, resulta igualmente impreciso definir el área de captación. En estas áreas costaneras la escorrentía es difusa en direcciones múltiples sin un punto focal de descarga.

Anteriormente, en Puerto Rico las cuencas hidrográficas fueron delimitadas utilizando los mapas topográficos del *US Geological Survey (USGS)*, donde se definen unidades hidrológicas. Estas unidades hidrológicas comprendían una o más cuencas hidrográficas. Para esto, el *USGS* utilizó el relieve de la cuenca para definir la dirección del flujo de la escorrentía y datos climáticos e hidrológicos, de modo que cada unidad hidrológica representara condiciones similares. El *USGS* identificó 123 unidades hidrológicas en la Isla a nivel de cuenca.

Este informe, preparado por la Oficina del Plan de Aguas del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), revisa las unidades hidrológicas anteriormente publicadas por el *USGS (USGS, 2000)*. El propósito de la revisión es proveer información más detallada que

permita al DRNA optimizar el manejo de dichas cuencas como parte de la actualización del Plan Integral de Aguas de 1996. La diferencia principal entre las dos definiciones está relacionada a las cuencas costaneras en el norte y sur de la isla. En la publicación del *USGS*, muchas de estas cuencas costaneras formaban parte de unidades hidrográficas mayores. El DRNA prepara al momento un balance hidrológico de cada cuenca, donde es necesario definir o estimar la contribución de la escorrentía al balance de las cuencas principales, incluyendo algunas áreas costaneras. Esto permitirá determinar con más precisión los recursos de agua disponibles. En la revisión se utilizó el siguiente procedimiento:

1. Se identificaron las cuencas que exhiben áreas de captación o drenaje definidas en los mapas topográficos del *USGS*. Esto resultó en 64 cuencas drenadas por quebradas y/o ríos que tienen un solo punto de descarga al mar.
2. En la Zona del Karso de la Región Norte, se definieron áreas de captación aproximadas de los ríos que cruzan dicha región hasta el Océano Atlántico. Para definir las áreas de captación en zonas donde la escorrentía se infiltra total o parcialmente, y el flujo principal es mayormente subterráneo, se utilizaron los mapas geológicos y topográficos del *USGS*, estudios anteriores de la hidrogeología de la Región Norte, y fotos aéreas recientes. Esto resultó en 13 cuencas hidrográficas en la Zona del Karso donde el área de captación es aproximada. Estas cuencas se encuentran en la franja de rocas calizas de la Región Norte que se extiende desde Aguadilla a Loíza.
3. En las zonas costaneras donde ocurre flujo laminar o difuso, se definieron áreas de drenaje aproximadas usando los mapas topográficos, mapas de inundación de Agencia Federal de Manejo de Emergencias (*FEMA*), la Junta de Planificación (*JP*) y el *USGS*, así como fotos aéreas recientes. Los límites de estas cuencas se mantuvieron lo más posible dentro del área de captación de quebradas o riachuelos principales. Esto resultó en la definición de 70 cuencas costaneras.

Las 134 cuencas hidrográficas se dividieron en tres categorías: 54 cuencas mayores, 10 cuencas menores y 70 áreas costaneras.

1. Las 54 cuencas mayores son aquellas cuya área aporta toda su escorrentía al flujo de un río principal. Los nombres de los ríos principales utilizados en cada cuenca son los de los mapas topográficos del *USGS*. Estas cuencas mayores incluyen las de los ríos principales donde se define con precisión el área de captación, así como las de los ríos que cruzan la Provincia del Karso donde se estimó parte del área de captación. Ejemplos de estas cuencas en la Provincia del Karso son las del Río Guajataca y la del Río Grande de Arecibo.
2. Las 10 cuencas menores son aquellas cuya área drena a una quebrada o caño únicos de rango menor, con un área de captación definida. Un ejemplo de estas cuencas es el Caño Santiago cerca de Yabucoa.
3. Las 70 áreas costaneras carecen de una red hidrográfica definida, donde ocurre flujo difuso en múltiples direcciones, o parte de la escorrentía se infiltra al subsuelo. Estas áreas costaneras drenan sus aguas a través de quebradas intermitentes o menores, o a través de escorrentía difusa al mar. En la Región Norte, existen áreas costaneras en rocas calizas donde el área de captación es indefinida debido a que parte de la escorrentía se infiltra al acuífero a través de sumideros. En la clasificación de áreas

costaneras se incluye el drenaje no definido de la isleta del Viejo San Juan y de la isla de Mona. Las 70 áreas costaneras se desglosan de la siguiente manera: 60 en Puerto Rico, una (1) en la isleta del Viejo San Juan, seis (6) en Vieques y dos (2) en Culebra y una (1) en Mona.

El informe también incluye el área de captación en millas cuadradas (mi²) para cada una de las cuencas anteriormente descritas. Además, se incluye la longitud en millas del río o quebrada principal que drena la cuenca. Finalmente, se provee un estimado de la población en la cuenca basado en el Censo Federal del 2000 ajustado al 2004, utilizando una tasa de crecimiento del 0.9% de la población por año (tasa de crecimiento promedio proyectada por la JP). El estimado de población fue integrado a los datos del Censo para barrios y comunidades en cada municipio en la Isla y agregados utilizando los límites de cada cuenca.

9.1 Cuenca del Río Guajataca

La cuenca del Río Guajataca incluye un área de 55 mi² en la Región Central Oeste de Puerto Rico, en los municipios de Lares, San Sebastián, Camuy y Quebradillas (Figura 9-1). La cuenca yace primordialmente en la Región del Karso del norte de la Isla, donde el drenaje principal es a través de sumideros y cavidades formados en las rocas calizas. Este sistema captura la mayor parte de la escorrentía generada por la lluvia sobre la cuenca, infiltrándose el agua hacia el subsuelo y su descarga eventual al cauce del Río Guajataca y a los acuíferos costaneros de la Región Norte. La cuenca es primordialmente rural, excepto por la zona urbana de Lares, donde se origina el Río Guajataca a elevaciones de hasta 1,640 pies, formado por varias quebradas. El río se alimenta de manantiales y quebradas intermitentes locales, fluyendo desde la zona urbana de Lares hacia el norte hasta descargar al Embalse Guajataca. Cerca del embalse, en la vecindad de la Central Soller, se unen a su cauce el Río Chiquito y la Quebrada Margarita, sus principales tributarios. El Embalse Guajataca, construido en 1928 y operado por la AEE, es parte del Distrito de Riego de Isabela, que provee agua a la Región Noroeste a través de un sistema de canales y túneles. Desde el embalse, el agua fluye por gravedad hacia el noroeste y la zona de Isabela a través del Canal de Derivación. En el Barrio Llanadas de Isabela el canal se bifurca en los canales de Moca e Isabela, fluyendo en dirección al oeste hacia las plantas de filtración de la AAA en Isabela, Ramey y Aguadilla. El Canal de Isabela se convierte en el Canal de Aguadilla al oeste de la laguna de retención Guerrero, que alimenta la Planta de Filtración de Jobos en Isabela. Desde el embalse también se descarga agua hacia el norte por el cauce natural del río hacia su eventual desembocadura al Océano Atlántico cerca del Túnel de Quebradillas. El flujo en el cauce natural hacia el océano aguas abajo de la represa recibe aportaciones de varios manantiales cuantiosos, incrementando su caudal significativamente. El límite noreste de la cuenca incluye parte de la zona urbana de Quebradillas. La población de la cuenca en el 2004 era de aproximadamente 38,100 habitantes.

El clima de la cuenca es subtropical húmedo en su mayor área y subtropical muy húmedo hacia su extremo sur, variando significativamente desde la zona montañosa de Lares hasta el valle del río cerca de la costa norte. Aunque la lluvia promedio anual en la cuenca es de 82 pulgadas, esta varía desde 96 pulgadas en la zona de Lares hasta 51 pulgadas en la costa cerca de Quebradillas. Anualmente la lluvia varía en forma similar a otras cuencas de la Región Norte, con el período de sequía a principios de año, aguaceros intensos en mayo y junio, otro período de lluvias reducidas en julio y agosto, y la época de lluvias intensas hasta el final del año. Sin embargo, en las laderas norte hacia Lares, lluvias orográficas ocurren esencialmente todo el año, debido al enfriamiento del aire húmedo en su paso hacia el sur. En años de sequías, la lluvia promedio anual en la cuenca puede reducirse hasta 57 pulgadas. La evapotranspiración promedio anual en la cuenca se estima en 48 pulgadas (59% de la lluvia normal), debido principalmente a la densidad y extensión de los bosques en la Zona del Karso. La evapotranspiración se reduce a 43 pulgadas en años de sequía.

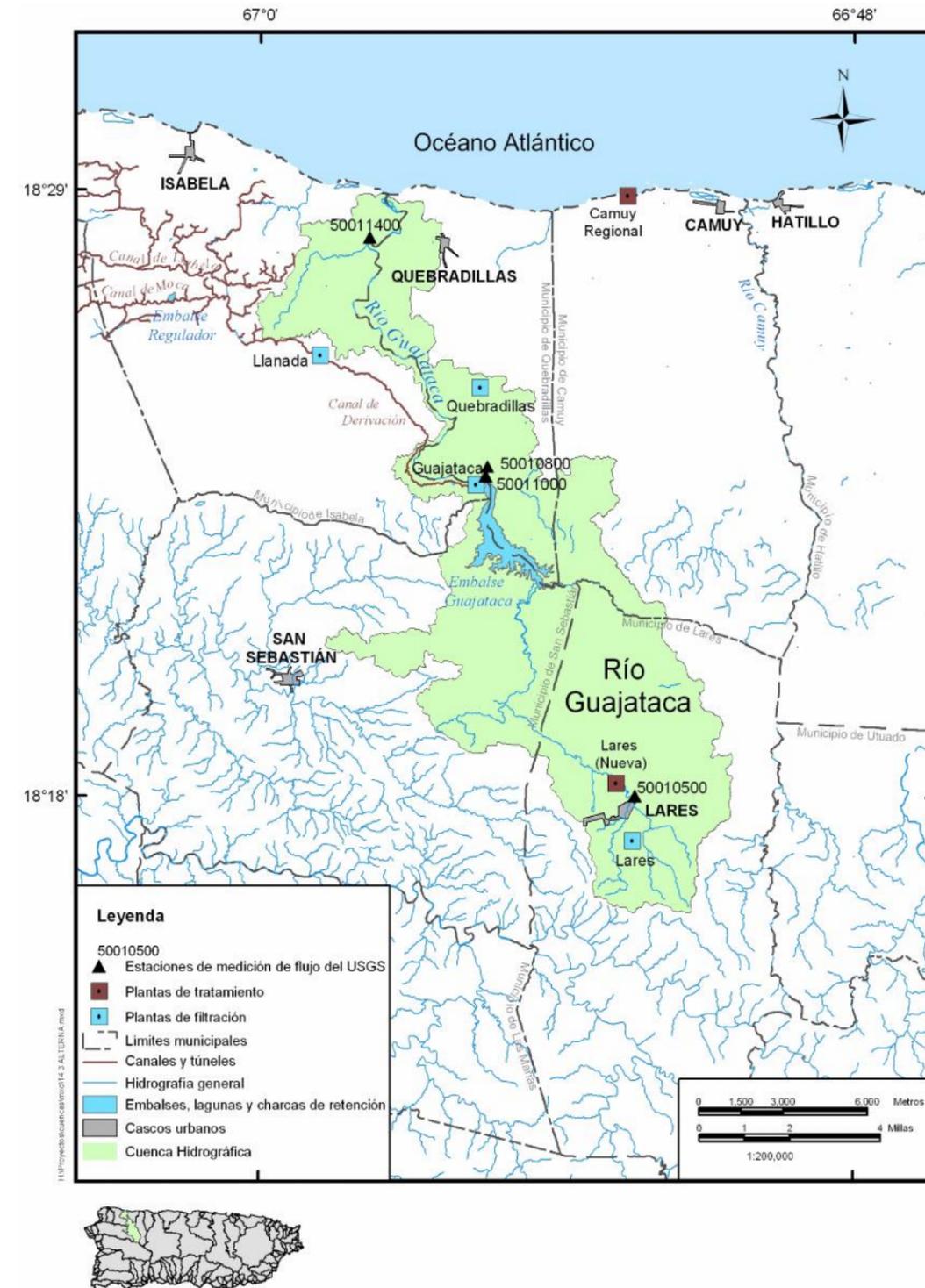


Figura 9-1. Cuenca hidrográfica del Río Guajataca.

La geología de la cuenca incluye principalmente rocas calizas que son parte de la Región del Karso de la costa norte de Puerto Rico. En su punto original, el cauce del Río Guajataca fluye desde la zona de rocas de origen volcánico al sur de Lares, pero esta área es menos del 10% de la cuenca. Afloramientos de rocas calizas de las formaciones Lares, Cibao y Aymamón ocupan la mayor parte de la superficie de la cuenca desde Lares hasta la vecindad del Embalse Guajataca. Estas rocas forman el intrincado sistema de mogotes y sumideros que proveen la mayor parte del drenaje subterráneo de la zona, desde donde brotan manantiales cuantiosos que nutren el río. Aguas abajo del embalse predomina una red de colinas y sumideros en las formaciones Aymamón y Aguada sin un drenaje definido. Desde la represa hasta la costa, el río discurre por un cañón profundo con acantilados de hasta 200 pies desde el cauce, erosionado entre las rocas calizas a través de antiguas cavernas ahora colapsadas. Depósitos aluviales y marinos en cantidades menores ocurren en la planicie costanera cerca de la desembocadura del río al mar. En esta zona, cerca de la costa y el Túnel de Guajataca, el río ha disectado la planicie formando un cañón de hasta 500 pies desde la superficie de la meseta original formada por las rocas calizas sedimentarias. El agua subterránea que se infiltra en los sumideros y cavernas, y que no retorna al río descargado por los manantiales, fluye hacia el norte y el acuífero formado cerca de la costa por las rocas de las formaciones Aguada y Camuy. El nivel freático en la meseta costanera de la cuenca se encuentra a profundidades de hasta 500 pies bajo la superficie. Los estudios del USGS sobre los acuíferos de la Región Noroeste y la cuenca establecen que el agua es salina, y la conductividad hidráulica relativamente baja (USGS, 1998). Estas características, en combinación con la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, limitan su disponibilidad y uso, por lo que los recursos de agua subterráneos no son una fuente importante en la cuenca.

Los suelos principales en la cuenca incluyen series de Humatas, Soller y Caliza, entre otros. Los bosques y los pastos ocupan la mayor parte de la cuenca (7%), seguidos por zonas agrícolas (11%) y áreas urbanas y semiurbanas. En los valles entre los mogotes de la zona más cercana a la costa, se siembra principalmente hierba pangola, para producción de heno como alimento de ganado.

El Río Guajataca y el Embalse de Guajataca son de gran importancia para la Región Noroeste de Puerto Rico, ya que son la fuente principal de agua potable a aproximadamente 125,000 habitantes. En esta región no existen otros ríos y los acuíferos no son una fuente sustancial de agua, por lo que el embalse y el Distrito de Riego del Noroeste son cruciales para el bienestar de sus residentes. El embalse tiene una capacidad actual de aproximadamente 33,900 acres-pies, y es formado por una represa de tierra enclavada en las rocas calizas. Desde el embalse se descarga un promedio de 34.7 mgd de agua por el Canal de Derivación hacia los canales de Moca e Isabela, la que se utiliza primordialmente para alimentar las plantas de filtración (PF) de la AAA en Camuy, Isabela, Ramey y Aguadilla, ubicadas en otras cuencas. Estas plantas producen aproximadamente 21.1 mgd de agua potable, parte de la cual proviene del Río Culebrinas (hasta 10 mgd en la PF de Aguadilla). Aguas arriba del embalse, en Lares, la AAA opera una PF que suple la zona urbana del pueblo, con una capacidad de 2.7 mgd. Además, el sistema de canales suple hasta 20 tomas agrícolas, con una extracción promedio de solamente 0.5 mgd. Aproximadamente la mitad del agua descargada al Canal de Derivación se pierde en salideros y roturas antes de llegar a las plantas de la AAA y las tomas de riego, aunque parte de estos se reparan al presente. Una cantidad similar se pierde en los canales de Moca, Isabela y Aguadilla.

Por otro lado, el Río Guajataca recibe las aguas sanitarias tratadas de la planta que opera la AAA en Lares (promedio de 0.77 mgd).

La producción promedio de escorrentía en la cuenca es de aproximadamente 100,690, acres-pies por año, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. Aproximadamente 38,900 acres-pies por año son descargados desde el embalse por los canales de riego hacia el noroeste. Esta escorrentía abundante resulta en que el Embalse de Guajataca experimente una tasa de renovación de aproximadamente 2.5 veces al año. El balance del agua entre la escorrentía promedio y las descargas por el Canal de Derivación (aproximadamente 70,830 acres-pies), es descargado aguas abajo de la represa por el canal natural del Río Guajataca hasta su desembocadura en el océano cerca de Quebradillas. Los análisis de escorrentía aguas abajo de la represa establecen que el flujo en el río se duplica entre el embalse y la costa, debido a las descargas de manantiales al cauce provenientes de las formaciones calizas.

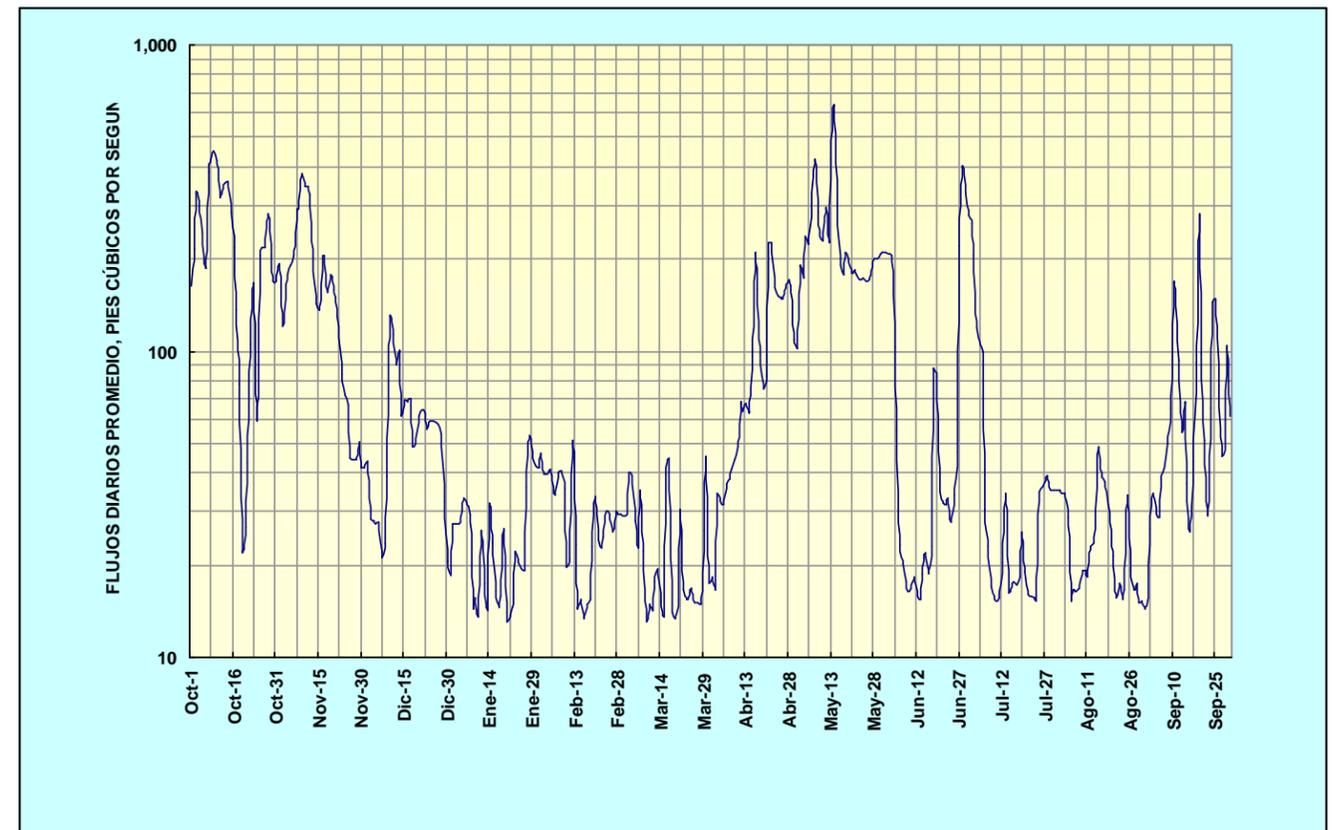


Figura 9-2. Flujo diario promedio en el Río Guajataca cerca de Quebradillas (50011400). 1969-1989.

La calidad del agua en la cuenca del Río Guajataca varía con el segmento de éste y época del año. El Estudio 305(b) de la JCA para el año 2003 establece que el 39% de los segmentos del Río Guajataca donde se tomaron muestras no cumplen con los estándares de calidad de agua. No existen datos adecuados para definir la calidad del agua en el 59% de los tramos del río.

Tampoco existen datos de la calidad de agua en el sistema de canales del Distrito de Riego de Isabela. Datos históricos del USGS y la JCA establecen que descargas sanitarias al río y sus tributarios aguas arriba del Embalse Guajataca, resultan en concentraciones de bacterias que exceden la mayor parte del tiempo los estándares ambientales locales, procedentes de pozos sépticos y actividades agrícolas. El Estudio 305(b) también clasifica al Embalse Guajataca como mesotrófico (concentraciones intermedias de nutrientes). En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al Río Guajataca y sus tributarios.

El transporte de sedimentos en la cuenca es relativamente bajo, según reflejado por la acumulación de sedimentos en el Embalse de Guajataca. La tasa de sedimentación del embalse se encuentra entre las menores en la Isla, aproximadamente 70.6 acres-pies por año, o 3,080 toneladas por milla cuadrada por año, equivalente a una tasa de sedimentación anual es 0.18% de la capacidad inicial. La vida útil del embalse se estima en aproximadamente 480 años (DRNA, 2004). Esta tasa de sedimentación baja se debe a la cubierta forestal densa que predomina sobre la mayor parte de la cuenca, que incluye parte del Bosque Estatal de Guajataca, minimizando la erosión de los suelos. También contribuye a la baja tasa de sedimentación los sumideros del área del Karso, que retienen gran parte de los sedimentos transportados por la escorrentía.

Tabla 9-1. Balance hidrológico en la Cuenca del Río Guajataca.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	239,700
Evapotranspiración	139,850
Flujo	
" promedio anual	70,830
" estiaje (90 días)	16,340
" estiaje (150 días)	22,310
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	10,000
Tomas AAA	29,850
Descargas aguas usadas a ríos	860
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	560
Transferencias de agua	-14,570
No contabilizado	-25,170
Por ciento no contabilizado	-11

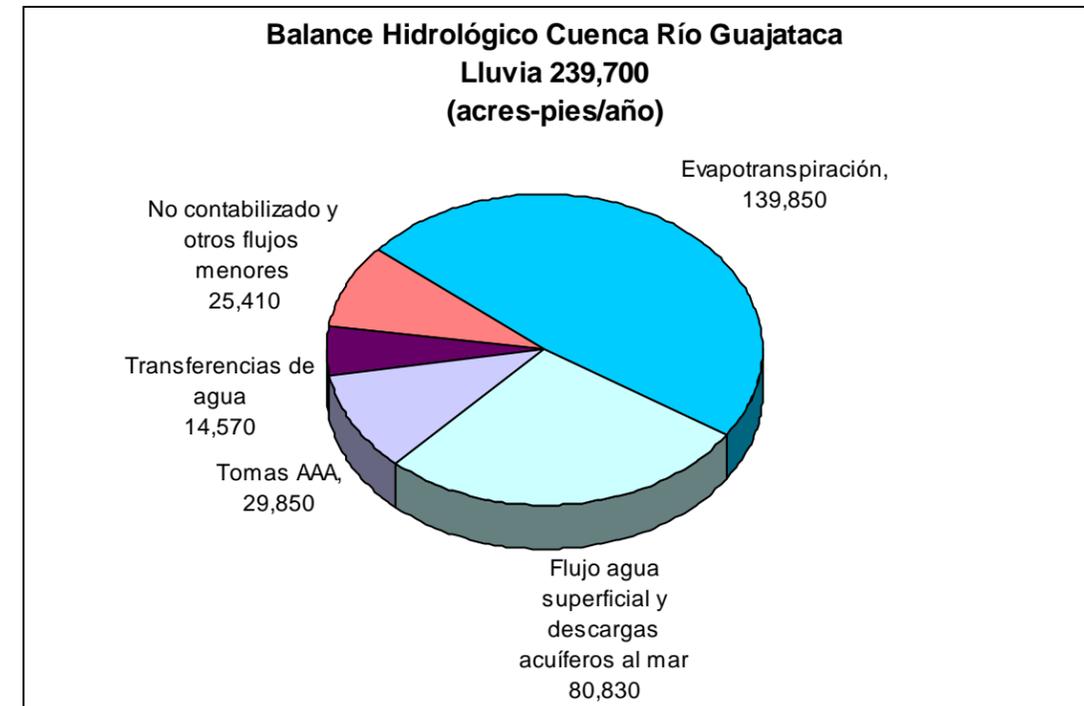


Figura 9-3. Balance hidrológico Cuenca Río Guajataca. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.2 Cuenca del Río Camuy

La cuenca del Río Camuy, con un área aproximada de 61.8 mi², está localizada en la región norte de Puerto Rico, entre los municipios de Camuy, Hatillo, Lares y Utuado (Figura 9-2). El Río Camuy se origina en las laderas de la Cordillera Central cerca de Lares, a una altura aproximada de 2,198 pies sobre el nivel del mar. El río fluye desde la zona de rocas volcánicas en la cordillera hacia la franja de rocas calizas donde comienza la Región del Karso de la Costa Norte de la Isla. Entre Camuy y Lares, el río desaparece bajo la superficie del terreno fluyendo a través de conductos y cavernas en las rocas calizas de la zona, manteniéndose sumergido en un tramo de aproximadamente seis (6) millas. En este tramo el río ha formado el sistema de cavernas de mayor extensión y tamaño en la Isla, donde ubica el Parque de Las Cavernas. El caudal resurge a la superficie cerca del Barrio Cibao de Camuy, donde la permeabilidad de las rocas es menor y el sistema de cavernas se extingue. Desde este punto el río sigue su curso sobre la superficie hacia el norte, descargando al Océano Atlántico cerca de la zona urbana de Camuy. La cuenca es primordialmente rural, con una población en el 2004 de 38,360 habitantes.

La topografía de la cuenca es variada, incluyendo suelos con pendientes empinadas en la zona montañosa cerca de Lares, la zona de mogotes, y sumideros en el tramo donde el Río Camuy fluye sumergido, y la zona de colinas y pequeños valles de residuos calizos hacia el norte hasta la desembocadura del río al mar. La mayor parte de la cuenca (43%) está cubierta de bosques secundarios, arbustos densos en la zona de las calizas, y pastos. Los suelos de la región son mayormente mezclas de residuos calizos, barros y materia orgánica, con espesores mínimos y fertilidad moderada. Las series de suelos predominantes son las Humatas, Soller, San Sebastián y *Rock outcrop*. En la zona montañosa se cultivan café, frutos y vegetales, representando el 18% del área de la cuenca. Hacia el sur de la zona de sumideros en la Región del Karso, en los valles entre los mogotes y colinas, predominan los pastos y el ganado, además de porquerizas.

El sur o interior de la cuenca, entre Lares y Camuy, es de clima subtropical muy húmedo, con una pequeña extensión de área de clima montano bajo muy húmedo, mientras que el resto de la cuenca es de clima subtropical húmedo. La lluvia promedio anual varía desde 90 pulgadas en la vecindad de Lares hasta 60 pulgadas en Camuy, resultando en un promedio de 77 pulgadas anuales. La lluvia varía a lo largo del año en forma similar al resto de la Isla, con períodos de relativa sequía desde enero hasta marzo, lluvia abundante en abril y mayo que se reduce hasta agosto, cuando comienza la época de lluvias copiosas. Sin embargo, en la zona de Lares los períodos de poca lluvia son menos intensos, reflejándose en una mayor escorrentía en el Río Camuy. La alta densidad de bosques y la insolación contribuyen a una evapotranspiración (ET) promedio de 47 pulgadas anuales. Aun así, y a pesar de que una gran parte de la lluvia en la Zona del Karso se infiltra al subsuelo a través de los sumideros en las formaciones calizas, la escorrentía es cuantiosa debido a la lluvia copiosa.

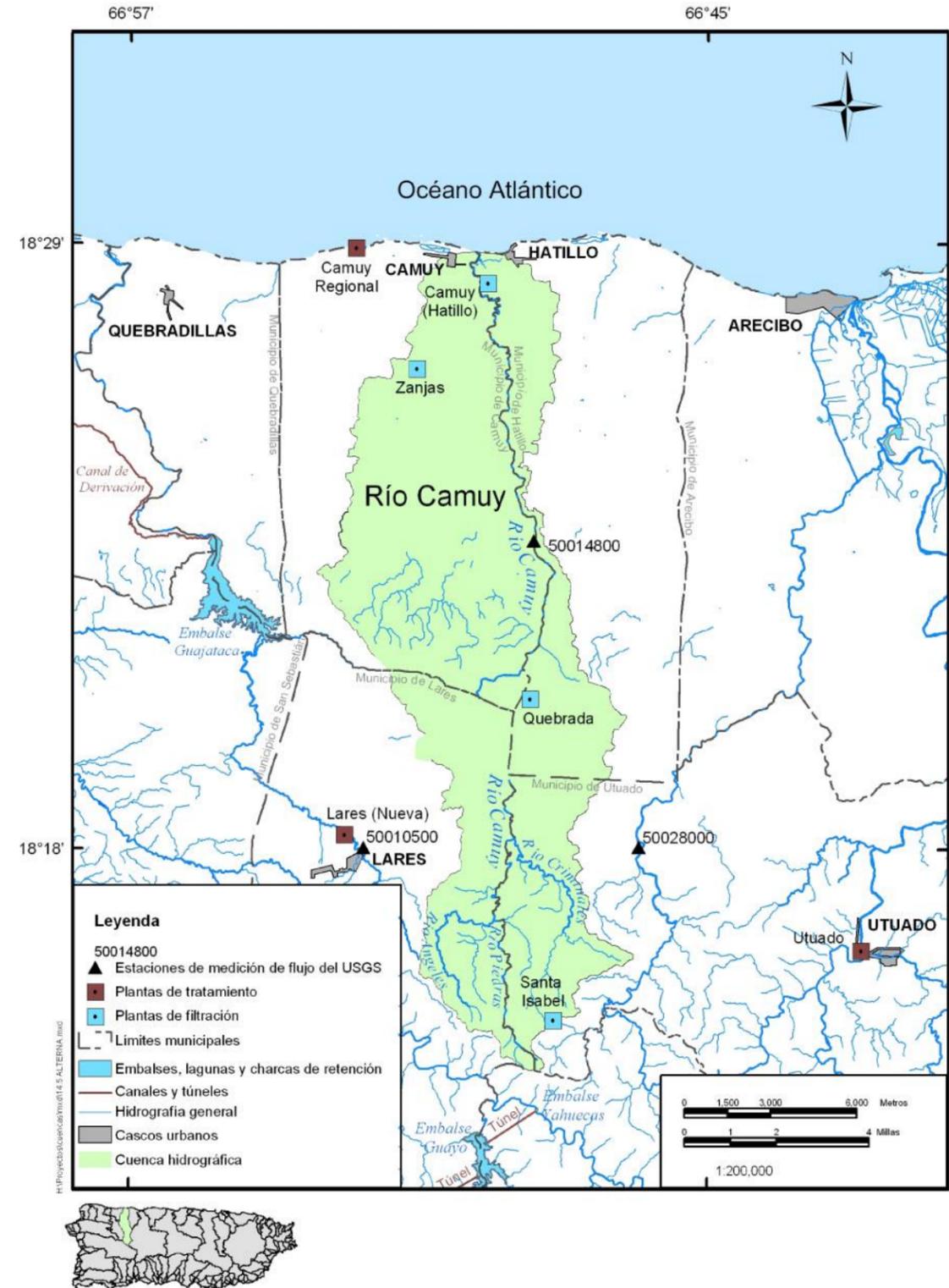


Figura 9-4. Cuenca Hidrográfica del Río Camuy.

La escorrentía promedio cerca de la desembocadura del Río Camuy al mar es de 100,160 acres-pies por año, con un mínimo de aproximadamente 44,500 acres-pies por año en el 1994, cuando ocurrió una sequía severa en la Región Norte-Central de la Isla. Las lluvias intensas en Lares inducen crecientes de gran magnitud, por lo que una parte sustancial de esta escorrentía ocurre en períodos cortos, limitando su disponibilidad. No existen embalses en la cuenca, ya que los suelos de la región no son propicios para la construcción de represas en el cauce. La AAA opera tomas en el Río Camuy para la PF cerca de Lares (2.67 mgd) y para las plantas de los barrios Pueblo y Quebradas de Camuy, con capacidades de producción de agua potable de 2.19 y 1.42 mgd respectivamente. La planta Quebrada extrae agua del río mediante pozos en el sistema de cavernas de Camuy. La extracción promedio anual total de agua del Río Camuy por la AAA es de aproximadamente 6,500 acres-pies. No se extrae agua en cantidades significativas para la agricultura u otras actividades.

Los recursos de agua subterráneos de la cuenca son limitados. La cuenca incluye zonas de recarga a los acuíferos Superior (Freático) e Inferior (Artesiano) de la Región Norte. La cantidad de agua que se infiltra a los acuíferos en esta zona no es conocida con precisión, pero se estima en aproximadamente 15 pulgadas al año (Torres-González, 1996). En la zona de mogotes los niveles freáticos no son claramente definidos, aunque ocurren fracturas donde los pozos pueden producir hasta 200 gpm. Hacia la costa, cerca de Camuy, el nivel freático en el Acuífero Freático se encuentra a una profundidad promedio de 158 pies (Quiñones-Aponte, 1986). La zona costanera de la cuenca sufre de intrusión salina natural, debido a la alta permeabilidad de las rocas y la pendiente limitada de los niveles freáticos. La extracción promedio anual de agua subterránea para abasto público en la cuenca es 7,040 acres-pies.

La calidad del agua en la cuenca es generalmente excelente, ya que no existen descargas industriales o sanitarias significativas al Río Camuy. El Estudio 305(b)/303(d) de la JCA para el año 2003 establece que el 98% de los tramos estudiados en la cuenca cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. No existen datos adecuados para definir el transporte de sedimentos en la cuenca. Sin embargo, comparaciones estadísticas con la cuenca del Río Tanamá, colindante con la del Río Camuy, sugieren que las tasas de transporte de sedimentos son bajas.

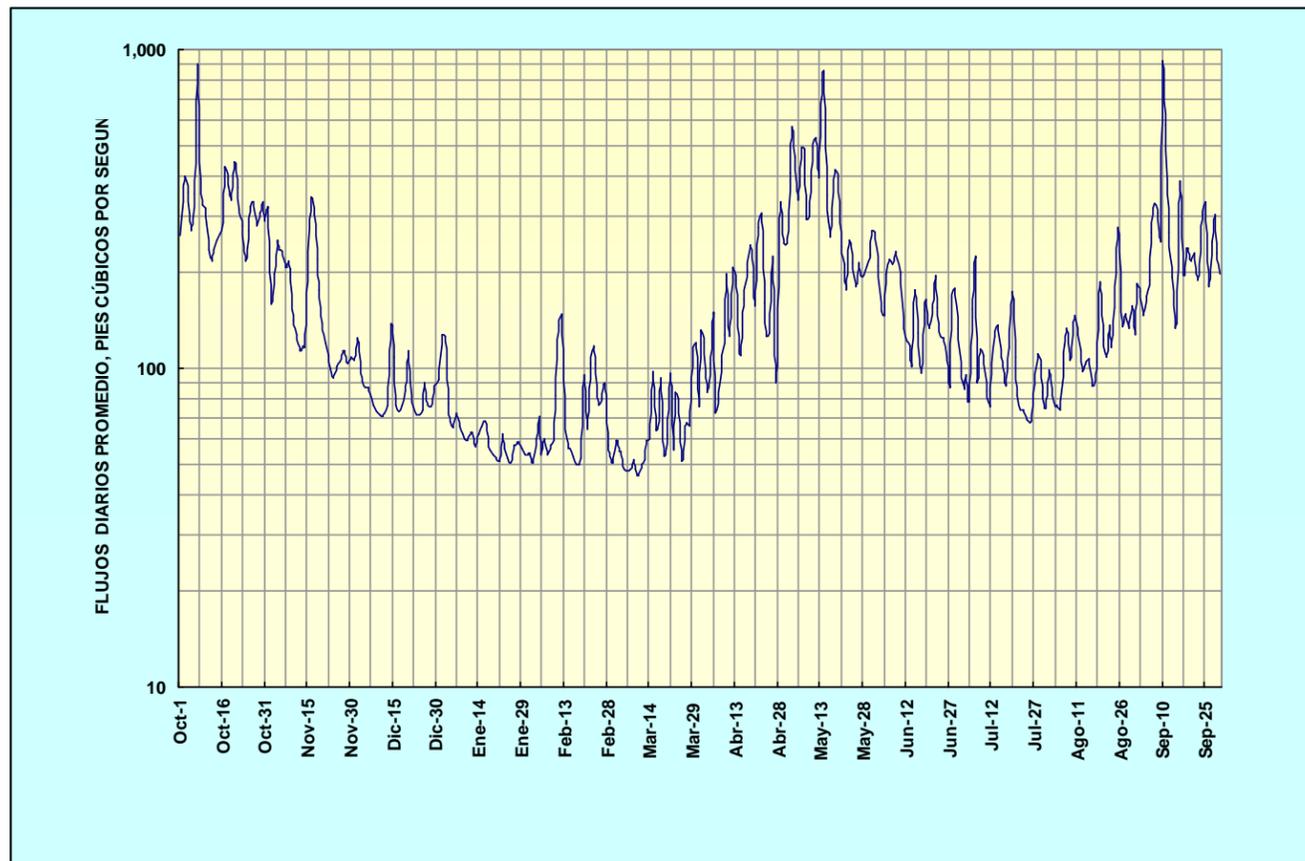


Figura 9-5. Flujos diario promedio en el Río Camuy cerca de Hatillo (50015700), 1984-1996.

Tabla 9-2. Balance hidrológico Cuenca del Río Camuy.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	253,860
Evapotranspiración	156,120
Flujo	
" promedio anual	100,160
" estiaje (90 días)	18,360
" estiaje (150 días)	25,070
Extracción pozos	7,040
Descarga de agua subterránea al mar	10,000
Tomas AAA	6,500
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-18,800
Por ciento no contabilizado	-7

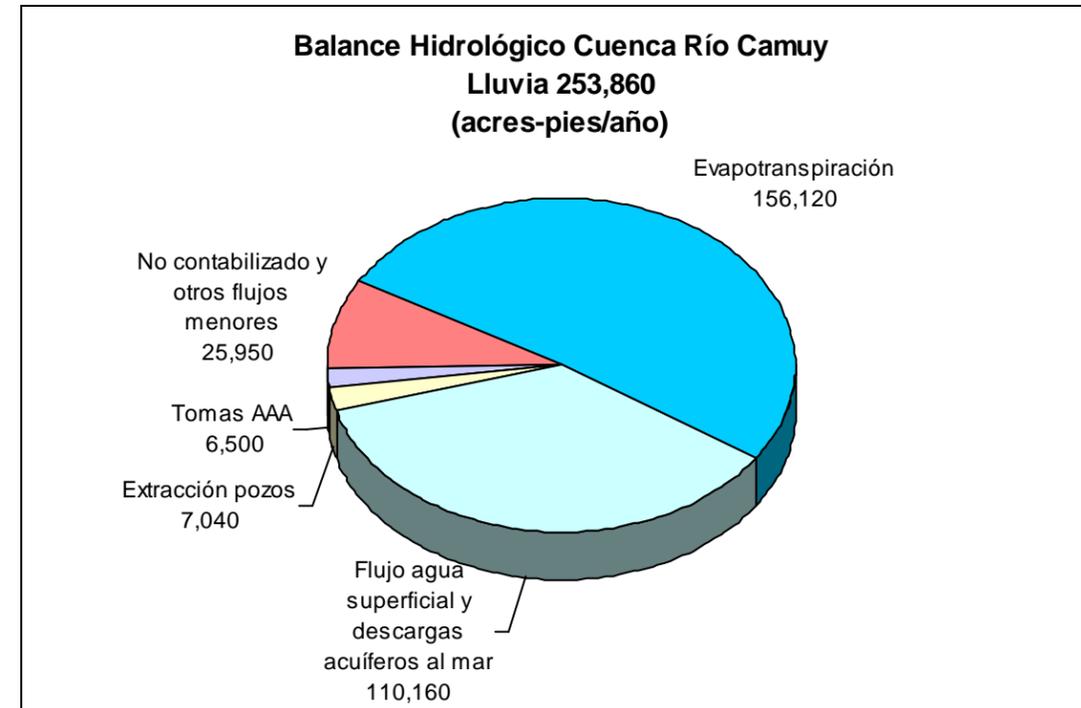


Figura 9-6. Balance hidrológico Cuenca del Río Camuy. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

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 mi² de la superficie de la cuenca ocurren en la zona de rocas volcánicas, mientras el balance de 82 mi² 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. Aun 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.

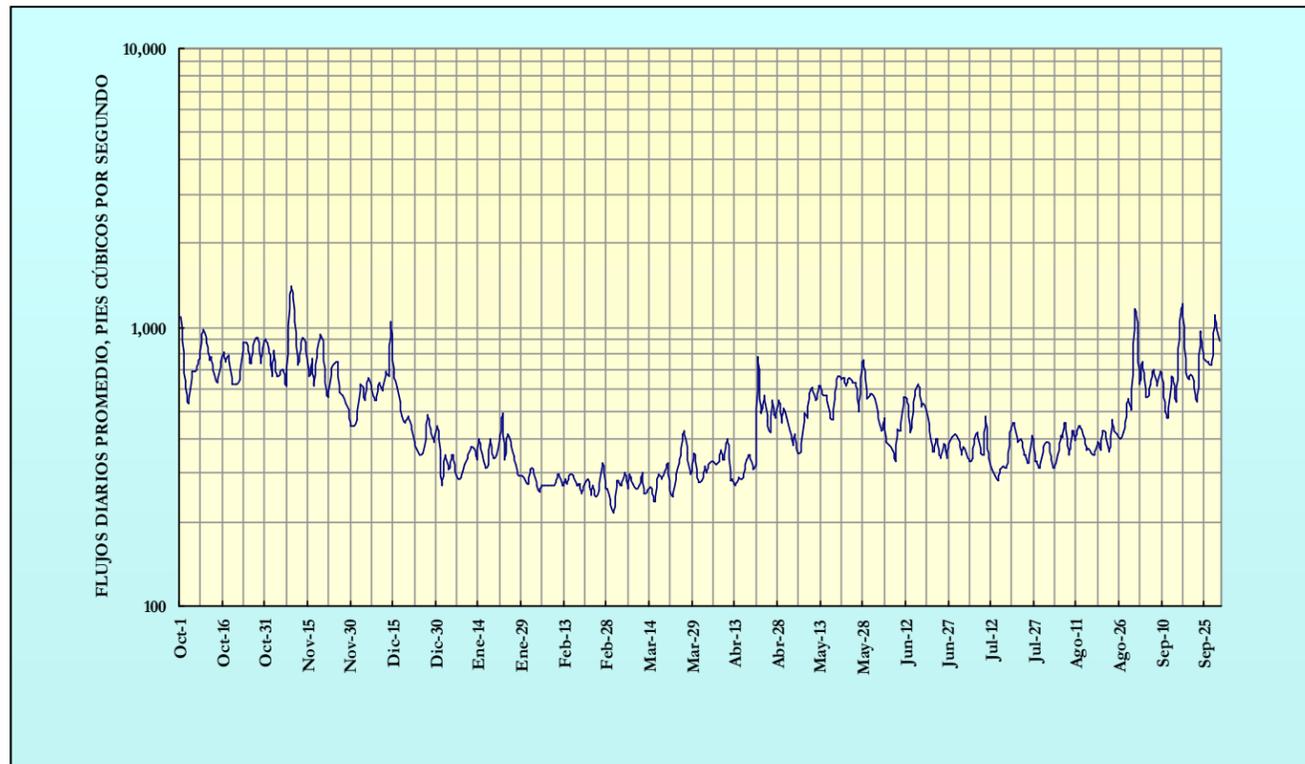


Figura 9-8. Flujos diario promedio en el Río Grande de Arecibo en la Central Cambalache (50029000), 1969-2002.

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 mi² 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 9-3. Balance hidrológico de la Cuenca del Río Grande de Arecibo.

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

^a incluye tomas del Acueducto del Norte, este componente se ilustra en la transferencia de agua

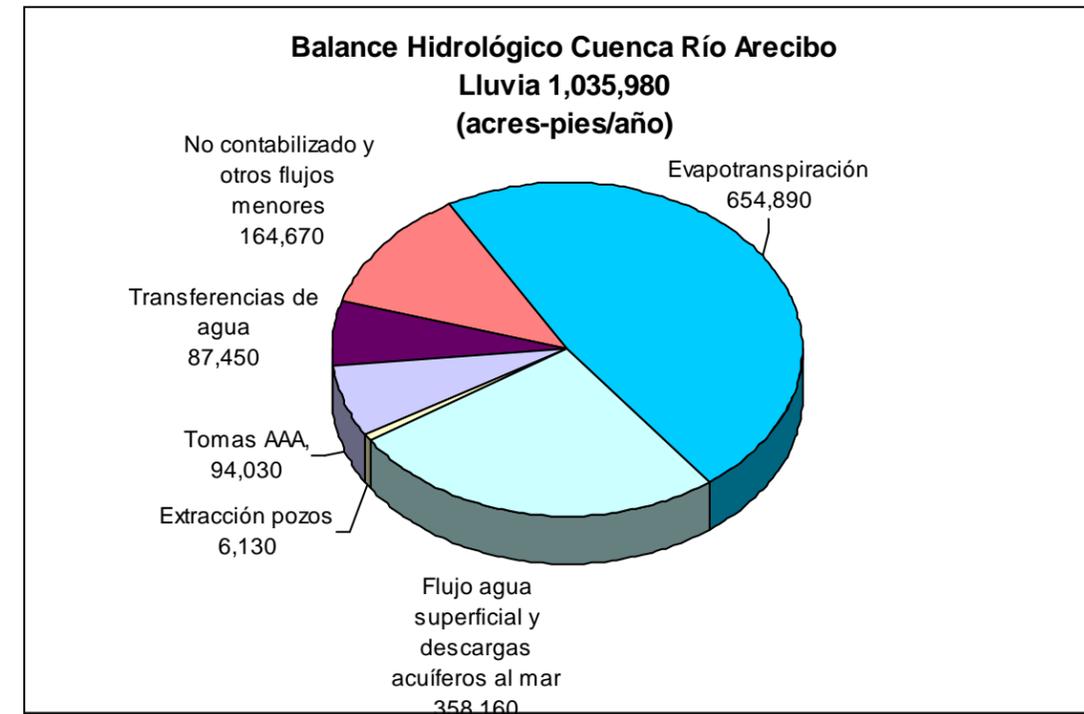


Figura 9-9. Balance hidrológico Cuenca del Río Grande de Arecibo. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.4 Área Costanera del Caño Tiburones

El Caño Tiburones, entre los municipios de Arecibo y Barceloneta en la Región del Karso de la costa norte de Puerto Rico, comprende un área de aproximadamente 58.5 mi² (Figura 1-9). El Caño incluye dos zonas hidráulicas distintivas:

1. Una zona pantanosa de aproximadamente 8.3 mi² cerca de la costa entre el Río Grande de Manatí y el Río Grande de Arecibo. Hasta mediados del Siglo 20, esta zona constituía uno de los humedales más extensos en la Isla, formada de depósitos sedimentarios marinos y orgánicos sobre las rocas calizas. Parte de esta zona forma ahora la Reserva del Caño Tiburones, bajo la custodia del DRNA.
2. Una zona de aproximadamente 50.2 mi² al norte de la Carretera PR-1, formada de rocas calizas al sur del área que se extiende hasta el Municipio de Arecibo. En esta zona abundan mogotes y sumideros, y la lluvia se infiltra al subsuelo casi en su totalidad.

La topografía del Caño Tiburones es semi-llana, con elevaciones máximas de 984 pies al sur de Arecibo hasta aproximarse a la elevación del mar en la vecindad de la costa. En el área propia del Caño no existen zonas urbanas concentradas, pero abundan residencias dispersas. En el 2004, la población del área que define el Caño era de 46,170 habitantes, incluyendo la mayor parte del Barrio Islote de Arecibo.

El Caño Tiburones es único en la Isla por su ecología e hidrología. El Caño es parte de una franja costanera donde el Acuífero Freático de la Región del Karso aflora a la superficie, generalmente en la zona de interfase formada por una capa de agua fresca y la cuña de agua salada cerca del mar. El agua subterránea fluye desde la zona caliza en el sur de la cuenca hacia el litoral costanero y la franja de humedales. Esta franja de humedales costaneros fue alterada en la década de 1940 mediante la construcción de canales de desagüe, con el propósito de secar los terrenos y crear áreas adicionales para el cultivo de la caña de azúcar. Los canales, que incluyen tres primarios de este a oeste y cientos de laterales de norte a sur, tenían inicialmente una extensión de aproximadamente 60 millas de longitud. El sistema de canales converge en el Canal Principal, que discurre de este a oeste desde la vecindad de Barceloneta hacia Arecibo a lo largo de la parte norte del Caño. El agua fluye hacia el oeste debido al gradiente hidráulico causado por bombas operadas por el DRNA en el sector de El Vigía, en el Barrio Islote en la vecindad del Puerto de Arecibo. Las bombas descargan aproximadamente 105 mgd de agua salobre del Caño hacia la Bahía de Arecibo, manteniendo los niveles en los canales artificialmente bajo el nivel del mar. Estudios anteriores indican que aproximadamente hasta 41 mgd del bombeo es agua esencialmente fresca suministrada por el acuífero y escorrentías superficiales al Caño, (Giusti, 1978; Díaz, 1973; Zack y Class-Cacho, 1984; y Torres-González, 1996).

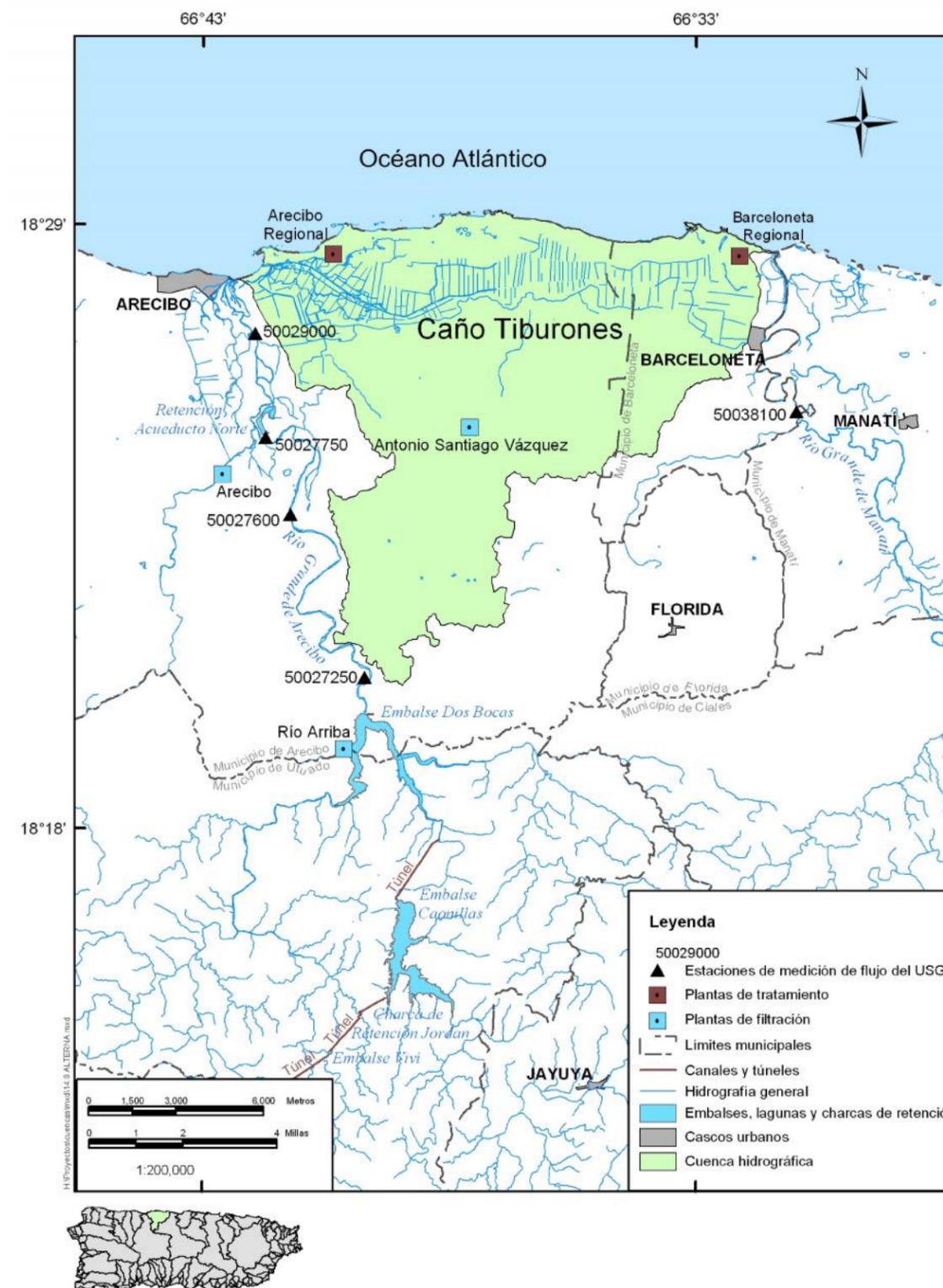


Figura 9-10. Cuenca Hidrográfica del Caño Tiburones.

El diferencial en los niveles hidráulicos entre el mar (mayor) y el Caño (menor) induce el flujo de agua desde el mar hacia los canales de desagüe a través de manantiales y cáncoras (fisuras en el material del fondo). Los manantiales y afloramientos salinos se deben a conductos formados en las rocas calizas. El agua de mar se mezcla en los canales con el agua fresca proveniente del acuífero. Previo al inicio del bombeo, el sistema hidráulico en el acuífero mantenía primordialmente agua fresca en el Caño en un equilibrio dinámico con el mar. Los humedales constituían un reducto extraordinario de vida silvestre acuática abundante, con zonas principalmente de agua fresca y parches de agua salina hacia el norte del segmento litoral. Luego de iniciarse el bombeo en la década de 1940, al reducirse el nivel del agua en el Caño y sus canales, el influjo de agua de mar aumentó, inundando áreas anteriormente ocupadas por agua fresca proveniente del acuífero. Durante décadas este balance artificial prevaleció, permitiendo que sales marinas se depositaran en los terrenos rescatados por el desagüe, inutilizándolos aún para el uso agrícola propuesto. Excepto por zonas de pasto para ganado, los terrenos del Caño no producen cultivos de valor significativo.

En 1998, la Legislatura de Puerto Rico creó la Reserva Natural del Caño Tiburones, con el propósito de restaurar aproximadamente 4.6 mi² de la zona del Caño lo más cercano posible a su condición natural. El bombeo en la estación El Vigía se redujo al mínimo posible para propiciar que los niveles de agua en los canales aumenten sin inundar residencias construidas en zonas bajo el nivel del mar. Durante los últimos seis años, el agua fresca ha comenzado a predominar en los canales, y la vida silvestre a resurgir en la zona. La Reserva ahora constituye el uso principal de los terrenos, seguido de pastos y ganadería.

La calidad del agua superficial en el área del Caño Tiburones es pobre considerando la salinidad de los suelos, actividades agrícolas y residenciales en el área. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que para el Caño Tiburones no existen datos suficientes para determinar si el agua cumple con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Las residencias y comercios en la zona operan pozos sépticos, que probablemente descargan indirectamente a los canales que drenan el Caño. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA. Sin embargo, en las inmediaciones de la estación de bombas en El Vigía opera la Planta Termoeléctrica de Cambalache de la AEE, que mantiene permisos de emisiones de particulado al aire de la JCA, y descarga aguas termales a la Bahía de Arecibo. Además, extrae aproximadamente un (1) mgd de agua subterránea del acuífero aluvial, que está hidráulicamente conectado al Caño. Anteriormente operaban en la vecindad del Caño cerca de Arecibo la Central Azucarera Cambalache, y una planta de producir papel adyacente a la central. No existen otras extracciones de agua ni descargas sanitarias al Caño de plantas operadas por la AAA. El transporte de sedimentos en la cuenca es mínimo, ya que en la parte de rocas calizas de la cuenca no existen canales de ríos o quebradas definidos. Las partículas de los suelos erosionados se re-depositan en la misma zona, o se infiltran por los sumideros. La presencia de áreas boscosas y de pastos probablemente resulta en beneficios para la calidad del agua.

Además de los usos naturales de la Reserva del Caño Tiburones, de gran importancia ecológica, la zona ofrece varias oportunidades para posibles aprovechamientos adicionales de los recursos de agua. El balance preliminar de agua antes descrito establece que hasta 41 mgd de agua fresca es descargada al mar en la estación de bombas El Vigía en Arecibo. Esta agua

proviene primordialmente de la descarga del acuífero a la zona de canales del Caño, además de escorrentía difusa proveniente de la parte norte. Existe el potencial de interceptar parte de esta agua en la zona al sur de los canales, en áreas denominadas "cuencas intermogotes". Depresiones naturales entre líneas de mogotes al sur del Caño actúan como áreas de captura de flujo laminar y de infiltración al Acuífero Freático. Es necesario evaluar esta zona para tales usos mediante un programa de pozos de prueba, ya que existe el potencial de que la extracción del agua pudiera afectar el nuevo balance hidráulico en el Caño. La naturaleza salina de la descarga de agua en El Vigía también necesita evaluarse como una fuente potencial para una planta de desalinización por osmosis inversa (RO).

Tabla 9-4. Balance hidrológico del Área Costanera del Caño Tiburones.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	186,580
Evapotranspiración	136,970
Flujo	
" promedio anual	-
" estiaje (90 días)	-
" estiaje (150 días)	-
Bombeo equivalente de agua fresca en El Vigía y Palmas Altas	42,500
Extracción pozos	11,210
Descarga de agua subterránea al mar	10,000
Tomas AAA	-
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-36,570
Por ciento no contabilizado	-20

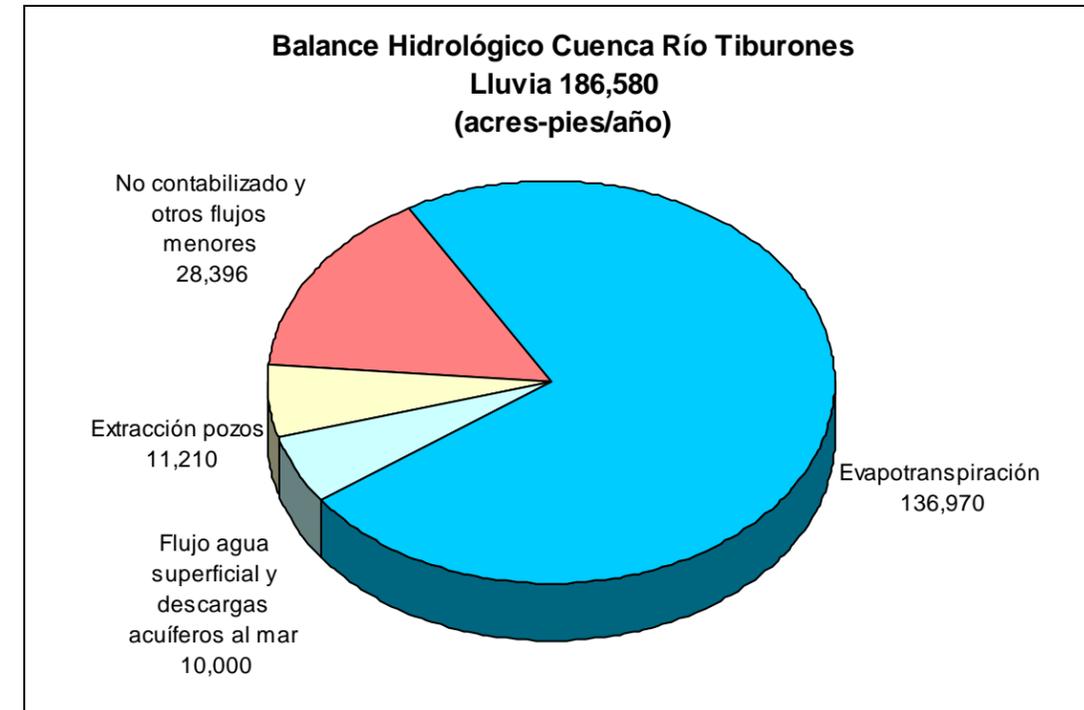


Figura 9-11. Balance hidrológico Área del Caño Tiburones. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.5 Cuenca del Río Grande de Manatí

La cuenca hidrográfica del Río Grande de Manatí, en la Regiones Norte y Central de Puerto Rico, es la cuarta en tamaño en la isla, mientras que el río es el tercero en longitud. La cuenca, con un área de captación de 235 mi², drena terrenos en los municipios de Orocovis, Barranquitas, Morovis, Ciales, Florida, Jayuya, Corozal, Manatí y Barceloneta. Además del cauce principal del Río Grande de Manatí, la cuenca incluye los Ríos Bauta, Toro Negro, Botijas, Cañabón, Orocovis, Sanamuerto, Matrullas, Cialitos, y numerosas quebradas y riachuelos. Estos ríos se originan en la Cordillera Central, a elevaciones de hasta 2,570 pies sobre el nivel del mar, fluyendo hacia el norte por las laderas de las montañas hasta la Región del Karso. Los tributarios principales convergen en el cauce del Río Grande de Manatí al sur de Ciales, descendiendo hacia Manatí por un canal profundo formado en las rocas calizas de la zona por el abundante caudal del río. Aguas abajo de la convergencia con el Río Cialitos al sur de Ciales, el río fluye hacia la costa por un ancho valle formado por depósitos aluviales transportados desde las montañas en tiempos ancestrales. Al sur de la Carretera # 2, el río fluye en meandros a través del valle aluvial hasta desembocar al Océano Atlántico en Barceloneta. Aunque la cuenca incluye las zonas urbanas de los municipios anteriormente indicados, es primordialmente rural, con una población en el 2004 de aproximadamente 127,800 habitantes. Los usos de terrenos principales son los bosques y los pastos (74%), zonas agrícolas (19%) y zonas urbanas (5%). La cuenca incluye varias reservas forestales importantes, incluyendo la de Toro Negro.

El clima de la cuenca es primordialmente subtropical húmedo, con una importante área de clima subtropical muy húmedo en el Bosque de Toro Negro. Ocurren variaciones anuales en la lluvia típicas de la Región Norte, incluyendo el período de estiaje a principios de año y la época de lluvias abundantes desde septiembre a diciembre. La lluvia aumenta de un promedio de 55 pulgadas en la costa hasta 100 pulgadas en sectores de la Cordillera Central, debido a los efectos orográficos inducidos por los vientos y las pendientes de las laderas de las montañas. El promedio anual de lluvia en toda la cuenca durante años normales es de 75 pulgadas, aunque durante años de sequías puede reducirse hasta 53 pulgadas. En años de lluvia promedio, la evapotranspiración consume 47 pulgadas (63% de la lluvia), reduciéndose a 41 pulgadas en años de estiaje. El balance entre la lluvia y la evapotranspiración (28 pulgadas en años normales) discurre como escorrentía o se infiltra a los acuíferos.

La geología de la cuenca incluye rocas de origen volcánico en la Cordillera Central y sus laderas; rocas sedimentarias calizas en la Provincia del Karso; y depósitos aluviales y marinos que descansan sobre las rocas calizas en los valles costaneros. Las rocas volcánicas son generalmente poco porosas, por lo que su capacidad de almacenar agua es limitada excepto en zonas de fracturas. En contraste, las rocas calizas en la cuenca son de alta permeabilidad y, conjuntamente con los depósitos aluviales en el valle costanero, contribuyen a formar las zonas más productivas de los acuíferos de la Región Norte. En el valle aluvial se manifiestan zonas del Acuífero Superior (Llano o Freático) y el Inferior (Artesiano). En el Acuífero Freático en el valle cerca de Manatí, formado por los depósitos aluviales y rocas calizas de la Formación Aymamón, los pozos pueden producir hasta 1,200 gpm. Los pozos que interceptan el Acuífero Inferior (artesiano) en Manatí y Barceloneta producen hasta 1,500 gpm. En el balance de agua de la



Figura 9-12. Cuenca hidrográfica del Río Grande Manatí.

cuenca, el USGS estima que en promedio aproximadamente 1.60 pulgadas de lluvia anualmente se infiltra a los acuíferos en la franja de rocas calizas y aluvión en la parte no confinada del acuífero inferior. Los suelos más comunes son: en el norte de la cuenca las series *Rock outcrop*, en el centro, las series Morado y Múcara, y en el sur, la serie Maricao.

Los recursos de agua en la cuenca del Río Grande de Manatí son abundantes y el uso de los mismos es relativamente mínimo. La producción promedio neta de escorrentía en la cuenca en años de lluvias normales es de aproximadamente 275,820 acres-pies. En comparación con otras cuencas en la Isla de tamaño similar, es la tercera de mayor caudal luego de Río Grande de Arecibo y el Río Culebrinas. Aunque esta producción promedio de escorrentía puede reducirse a 61,237 acres-pies en años de estiaje, este volumen es todavía sustancial. La mayor parte de esta escorrentía fluye hacia el Océano Atlántico, ya que en la cuenca no existen embalses de gran capacidad y una parte significativa del flujo ocurre durante la época de lluviosa al final del año. Las extracciones principales de agua en la cuenca incluyen las PF de la AAA en los municipios de Barrancas, Barrio Negro, Ciales, La Julita, Las Delicias, Morovis Sur, Orocovis, Patrullas, Posas y Sanamuerto, con una capacidad combinada de 12.0 mgd (13,450 acres-pies anuales). Comenzando en 1931, la AEE desarrolló el Sistema de Toro Negro, que incluye dos embalses y una serie de túneles diseñados para generar electricidad y llevar agua al Embalse Guayabal, en la Región Sur. Este sistema incluye el Embalse El Guineo, en la cuenca del Río Toro Negro entre Orocovis y Ciales, con una capacidad actual de 1,520 acres-pies. Este embalse también recibe agua de un complejo de 12 charcas de retención, cuya capacidad es insignificante en comparación con la escorrentía de la cuenca. El agua del Embalse El Guineo se utiliza para generar 1,900 Kva de electricidad en la unidad Toro Negro II. En la cuenca del Río Matrullas, la AEE construyó en 1934 el Embalse Matrullas, con una capacidad de 2,480 acres-pies, que descarga agua hacia una bifurcación donde se mezcla con la que procede de la planta generatriz Toro Negro II. El agua fluye por un túnel hasta la unidad hidroeléctrica Toro Negro I, y luego de generar 2,000 Kva de electricidad, se descarga mediante otro túnel hacia las laderas sur y el Embalse Guayabal al norte de Juana Díaz. El promedio anual de flujo desde el Sistema de Toro Negro hacia el Embalse Guayabal en la Región Sur es de 1.75 mgd (1,960 acres-pies anuales). Estudios anteriores del USCOE y SVFG (1980) sugieren que se aumente el almacenamiento de agua en la cuenca construyendo embalses en el Río Bauta en el sector Bauta cerca de Orocovis, y en el propio Río Grande de Manatí al sur de la zona urbana de Ciales. Estos dos embalses podrían almacenar de 60-70 mil acres-pies de agua, produciendo hasta 80 mgd de rendimiento seguro. La viabilidad actual de estos embalses necesita evaluarse, tomando en cuenta los factores ambientales, sociales y el potencial de vida útil proporcional a las tasas de sedimentación en la cuenca.

Las escorrentías durante huracanes y lluvias intensas en la cuenca causan inundaciones que afectan el valle de Manatí y parte de la zona urbana de Barceloneta. Inundaciones históricas se registraron en 1960, 1970, 1985 y 1987 (USGS, 2002). El DRNA desarrolla al presente en cooperación con el USCOE un proyecto para controlar la extensión de las inundaciones en el valle, incluyendo la construcción de un dique que protegerá la zona de Barceloneta.

La calidad del agua en la cuenca del Río Grande de Manatí varía con su ubicación y época del año, siendo en general satisfactoria como fuente de agua potable. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que en los tramos estudiados, el 43% de las aguas en el área de la cuenca

no cumplen con los estándares de calidad de agua, principalmente debido a la presencia de bacterias y nutrientes. Estos contaminantes provienen de pozos sépticos dispersos y descargas agrícolas en la cuenca. Las plantas de tratamiento de aguas usadas de la AAA en Ciales, Alturas de Orocovis y Orocovis, descargan aproximadamente 0.636 mgd a los ríos de la cuenca. Estas plantas proveen tratamiento a nivel secundario y desinfección del efluente, que generalmente cumple con las normas locales y federales.

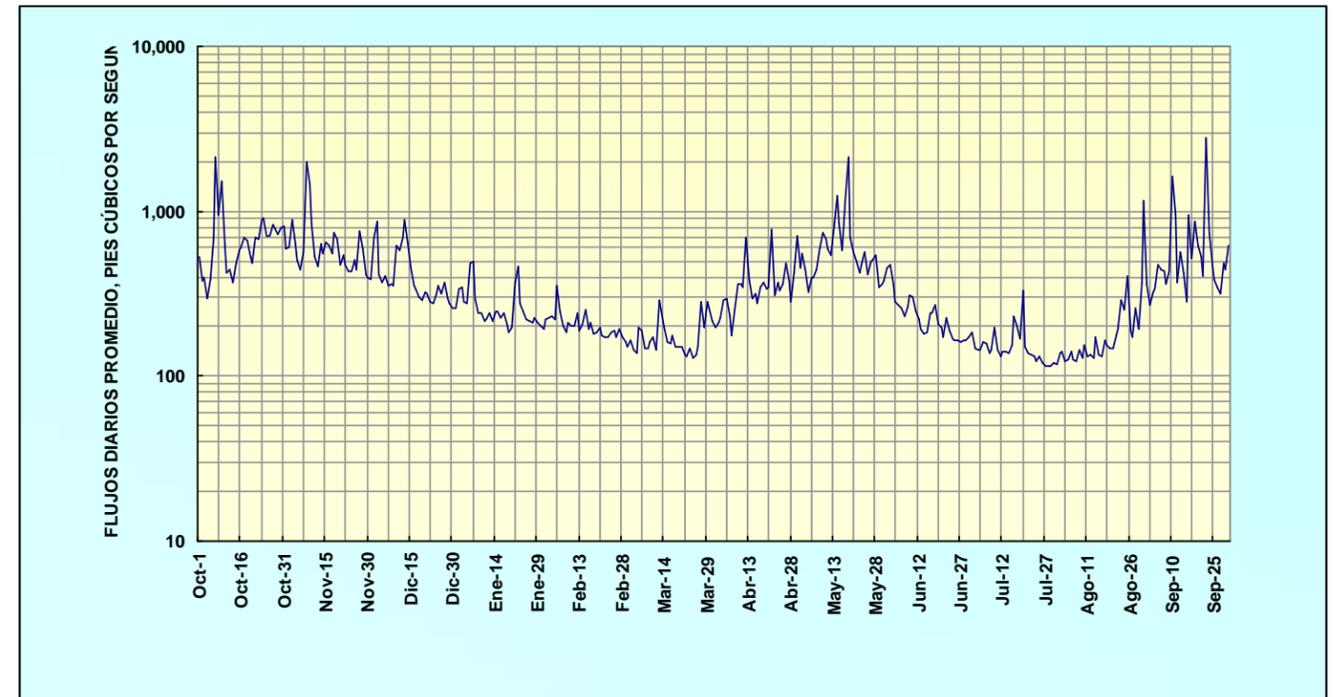


Figura 9-13. Flujos diarios promedio en el Río Grande de Manatí cerca de Manatí (50038100), 1970-2002.

Los datos de transporte de sedimentos en la cuenca son limitados, por lo que no es posible definir tasas anuales en la mayor parte de los tributarios. En la zona montañosa de la cuenca la erosión y transporte de sedimentos aparentan ser moderados, según reflejado por las bajas tasas de sedimentación de los embalses de Toro Negro y Matrullas (0.25% de su capacidad original por año, Soler, 2002). Esto se debe en gran medida a la cubierta densa de bosques en esta zona, lo que limita la erosión de los suelos. En comparación cantidades significativas de aluvión se acumulan en el valle de Manatí, aguas abajo de Ciales. Varias canteras operan en esta zona extrayendo aluvión del cauce del río y de terrenos cercanos.

Tabla 9-5. Balance hidrológico de Río Grande de Manatí.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	938,520
Evapotranspiración	593,910
Flujo	
" promedio anual	275,820
" estiaje (90 días)	61,240
" estiaje (150 días)	59,540
Extracción pozos	6,400
Descarga de agua subterránea al mar	5,000
Tomas AAA	13,030
Descargas aguas usadas a ríos	554
Descargas aguas usadas al mar	5,960
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	2,000
No contabilizado	64,210
Por ciento no contabilizado	7

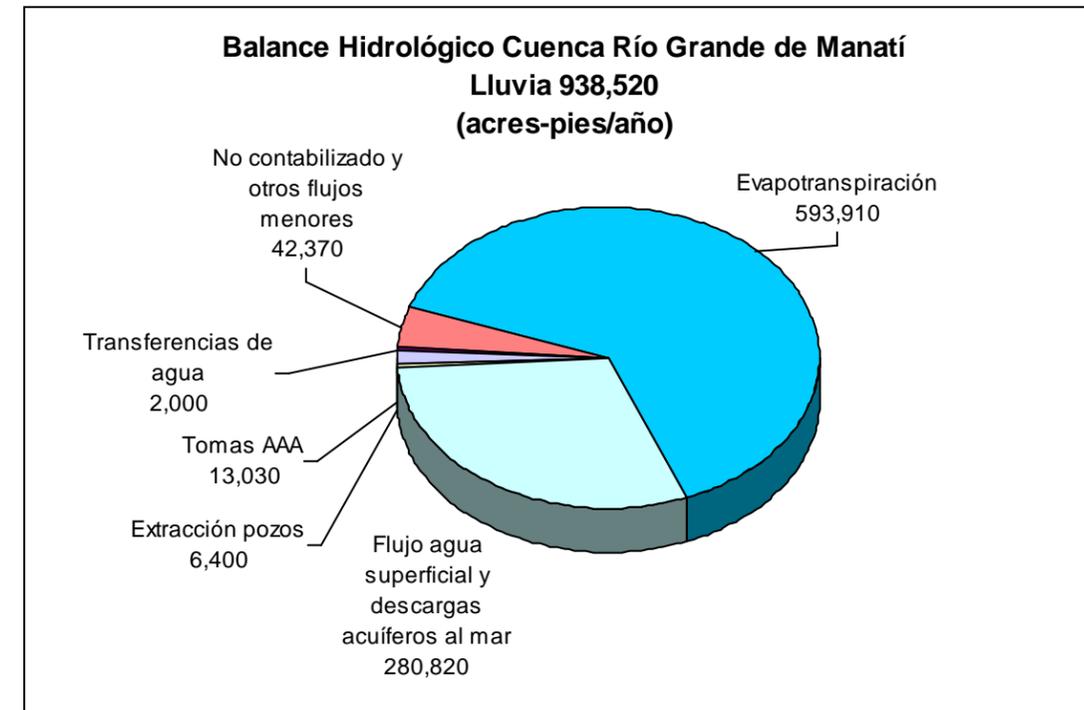


Figura 9-14. Balance hidrológico Río Grande de Manatí. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.6 Cuenca del Río Cibuco

La cuenca del Río Cibuco incluye un área de 91.6 mi² en la Región Norte de Puerto Rico, en sectores de los municipios de Naranjito, Morovis, Corozal, Vega Baja y Vega Alta. El Río Cibuco se origina en las laderas norte de la Cordillera Central, en los lindes del municipio de Naranjito, a elevaciones de hasta 1,800 pies, descendiendo hacia el norte entre Morovis y Corozal. En esta zona el río cruza desde la Región Central de rocas de origen volcánicas de la cordillera hacia la Provincia del Karso de la Región Norte, caracterizada por mogotes y sumideros en rocas calizas sedimentarias. Varios manantiales y quebradas sin nombre aumentan su caudal en esta zona, además de dos tributarios principales, los ríos Mavilla e Indio. Al noreste de Corozal, el río recibe el influjo del Río Mavilla, continuando su curso hacia el norte y el valle aluvial costanero. Cerca de Vega Alta, el río recibe el flujo del Río Indio, su principal tributario, que se origina cerca de Morovis. Estos tributarios principales del Río Cibuco drenan áreas totalmente comprendidas en la Región del Karso, y su flujo es parcialmente alimentado por manantiales perennes. El río continúa su curso hacia el norte atravesando el valle aluvial costanero entre Vega Baja y Vega Alta, hasta desembocar al Océano Atlántico al este de la Laguna Tortuguero. La cuenca es primordialmente rural, con una población en el 2004 de 106,000 habitantes, incluyendo las zonas urbanas de Morovis, Corozal y Vega Alta.

El clima de la cuenca es primordialmente subtropical húmedo, con una pequeña área en la Cordillera Central representativa de zonas de climas subtropicales muy húmedos. En la mayor parte de la cuenca ocurren lluvias abundantes desde agosto a diciembre, seguido del período anual de sequía a principios de año hasta mayo, cuando aumenta nuevamente la precipitación. Hacia la cordillera y las laderas formadas en rocas calizas, lluvias orográficas ocurren usualmente durante las tardes. La precipitación promedio anual en la cuenca es de 69 pulgadas, variando desde 90 pulgadas en las zonas altas del Municipio de Naranjito hasta 60 pulgadas en el valle costanero en Vega Baja. En años de sequías la precipitación anual promedio puede disminuir a 48 pulgadas. La evapotranspiración consume un promedio de 47 pulgadas de la lluvia anual (63%), lo que se reduce a 39 pulgadas en años de sequías.

La geología de la cuenca incluye rocas de origen volcánico en la parte de la Cordillera Central cerca de Naranjito; rocas calizas de las formaciones Cibao, Lares y Aymamón de la Región del Karso desde Morovis hasta Vega Alta, y depósitos sedimentarios aluviales y marinos en el valle costanero. La abundancia de sumideros en la zona de rocas calizas contribuye a que parte de la lluvia en esta zona se infiltre al subsuelo y fluya hacia el norte, recargando eventualmente el segmento de Vega Alta del Acuífero Superior (Freático) de la Región Norte. Este acuífero es formado por capas de aluvión que descansan sobre rocas de alta permeabilidad de las calizas de las formaciones Lares y Aymamón. Cerca de Vega Alta, el espesor de las capas de aluvión y rocas calizas que forman el acuífero alcanza hasta 1,000 pies, aunque la zona saturada es de 450 pies. El acuífero acumula grandes cantidades de agua, y pozos hincados en esta zona son capaces de producir hasta 800 gpm. Hacia el norte de la Carretera # 2, depósitos marinos areniscos y orgánicos descansan sobre el aluvión, contribuyendo a zonas superficiales de poca permeabilidad donde se forman humedales costaneros. Sin embargo, la alta permeabilidad del aluvión y las rocas calizas hacia el fondo del acuífero, promueven intrusión salina natural e

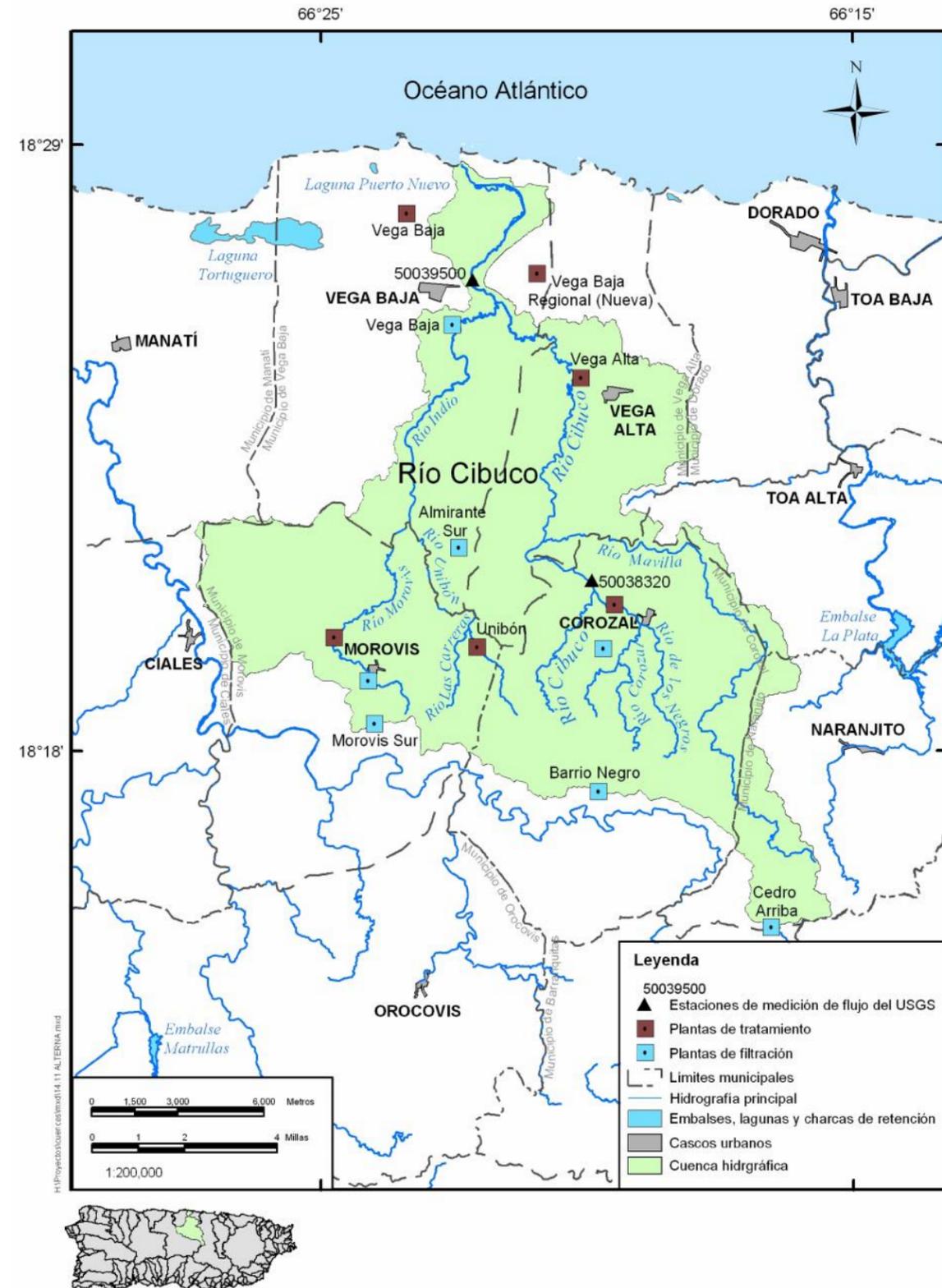


Figura 9-15. Cuenca Hidrográfica del Río Cibuco.

inducida. La interfase de agua salada resultante del influjo natural del mar hacia tierra ha avanzado hasta la vecindad de la Carretera #2, aunque a profundidades de hasta aproximadamente 400 pies bajo la superficie. Aunque la interfase de agua salada ocurre en la parte profunda del acuífero, extracciones excesivas de agua han promovido intrusión vertical del agua salobre, afectando pozos en el valle costanero.

Los suelos superficiales son primordialmente series de Bajura y *Rock outcrop* en la parte norte de la cuenca; series Colinas y Soller en el centro; y las series Múcara y Consumo hacia el sur. La mayor parte de la cuenca (74%) está cubierta de bosques y pastos, principalmente en la Región del Karso. Las actividades agrícolas, principalmente en el valle aluvial al norte de Vega Alta, ocupan el 13% de los terrenos. Las zonas urbanizadas ocupan un 11% del área de la cuenca.

La escorrentía en la cuenca es significativa al tomar en cuenta el tamaño y la geología superficial, con un promedio de flujo anual hacia el Océano Atlántico de aproximadamente 88,620 acres-pies. En años de lluvias abundantes (1981), el flujo de escorrentía hacia el mar puede alcanzar hasta 223,140 acres-pies, mientras que en años de estiaje (1994) el mínimo se reduce a 23,840 acres-pies. Inundaciones severas afectan el valle aluvial y las áreas cercanas a la zona urbana de Vega Baja, resultantes de lluvias intensas en la parte alta de la cuenca. Estas lluvias de hasta 29 pulgadas en 24 horas pueden ser inducidas por frentes de frío, vaguadas y huracanes que pueden afectar sectores o toda la Isla. El DRNA planifica al presente en cooperación con el USCOE un proyecto diseñado para minimizar las inundaciones en esta zona. En la cuenca no existen embalses, y las extracciones de agua se limitan a las Planta de Filtración operadas por la AAA en Morovis Urbana (Río Indio), Corozal Urbana (Río Cibuco), Vega Alta (Río Cibuco) y Almirante Sur de Vega Baja (Pozos). La extracción promedio de estas PF es de 4.8 mgd (5,380 acres-pies anuales). La AAA también opera en la cuenca cuatro plantas de tratamiento de aguas usadas (Corozal, Morovis, Unibón y Vega Alta), con una descarga promedio diaria combinada al Río Cibuco y sus tributarios de 2.5 mgd (2,800 acres-pies por año).

Los recursos de agua subterráneos en la cuenca son también significativos. El segmento del Acuífero Superior que se estima forma parte de la cuenca tiene la capacidad aproximada de descargar 4.5 mgd de agua fresca al mar. Las extracciones de agua del Acuífero Superior, incluyendo usos domésticos, industriales y agrícolas son de aproximadamente 20 mgd, principalmente para abasto público y usos industriales. La explotación excesiva del acuífero en áreas costaneras próximas a esta cuenca ha resultado en intrusión salina vertical y lateral, afectando pozos agrícolas y de la AAA. El DRNA estima que la capacidad de producción sostenible de esta áreas costaneras próximas a la cuenca del Río Cibuco, y que constituyen el Acuífero Superior, es de 16 mgd (17,940 acres-pies por año).

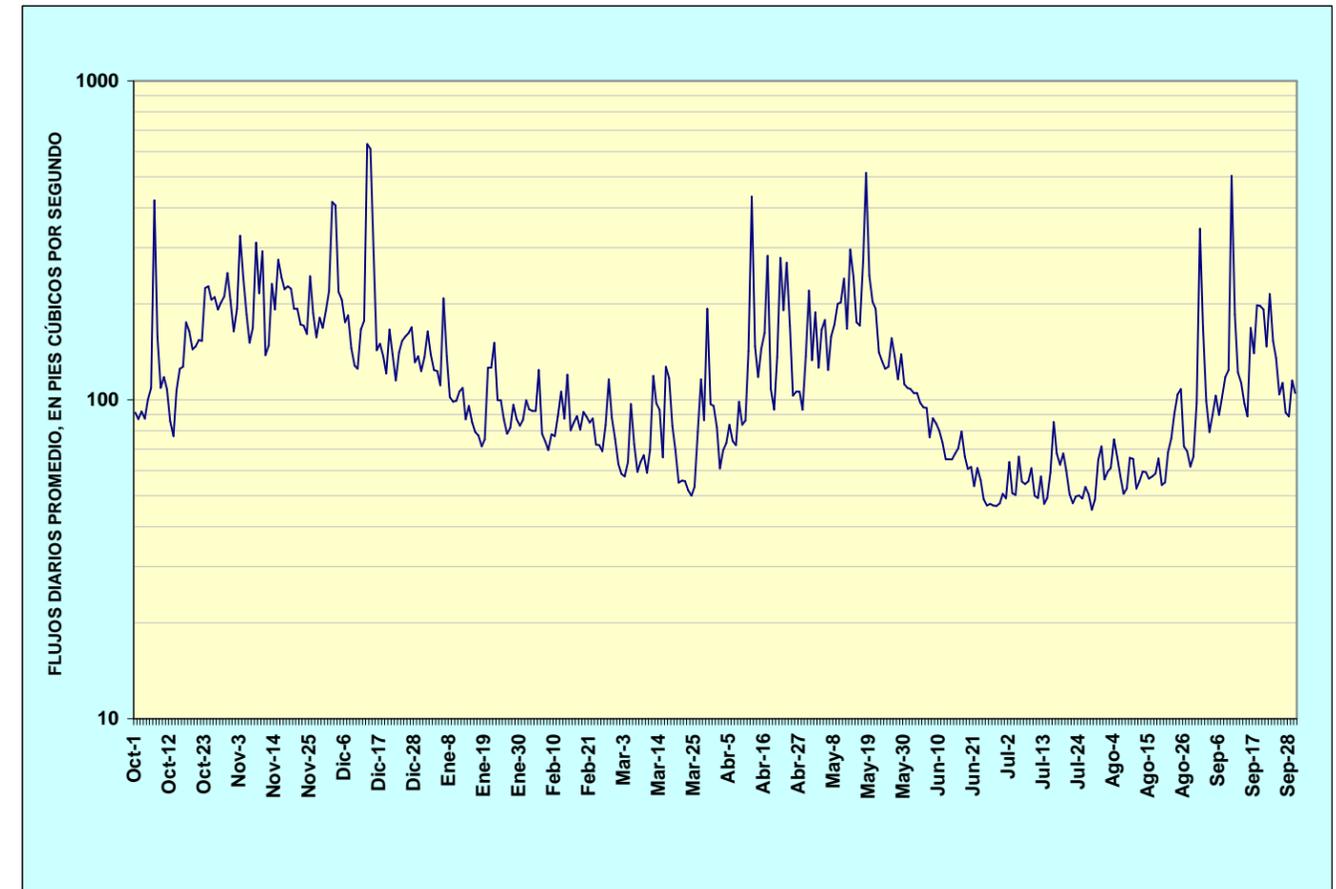


Figura 9-16. Flujos diarios promedio en el Río Cibuco en Vega Baja (50039500), 1973-2002.

La calidad del agua en la cuenca Río Cibuco es generalmente desconocida, ya que no existen suficientes datos para evaluarla. El Estudio 305(b)/303(d) de la Junta de Calidad Ambiental (JCA) para el año 2003 establece que no existen datos adecuados para el 82% de los tramos de los ríos en la cuenca. El balance de los tramos estudiados no cumple con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales establecidos por la JCA. Datos históricos de la calidad del agua obtenidos por el USGS en el cruce del Río Cibuco en la Carretera #2 en Vega Alta, confirman que las concentraciones de bacterias de origen fecal exceden los estándares indicados. Fuentes dispersas provenientes de pozos sépticos y actividades agrícolas son las fuentes probables de estos contaminantes en el agua. Tampoco existen datos del transporte de sedimento en la cuenca.

Tabla 9-6. Balance Hidrológico en la Cuenca del Río Cibuco.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	335,980
Evapotranspiración	227,730
Flujo	
" promedio anual	88,620
" estiaje (90 días)	23,880
" estiaje (150 días)	23,220
Extracción pozos	17,940
Descarga de agua subterránea al mar	5,000
Tomas AAA	5,380
Descargas aguas usadas a ríos	2,430
Descargas aguas usadas al mar	2,820
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	3,360
No contabilizado	-602
Por ciento no contabilizado	-

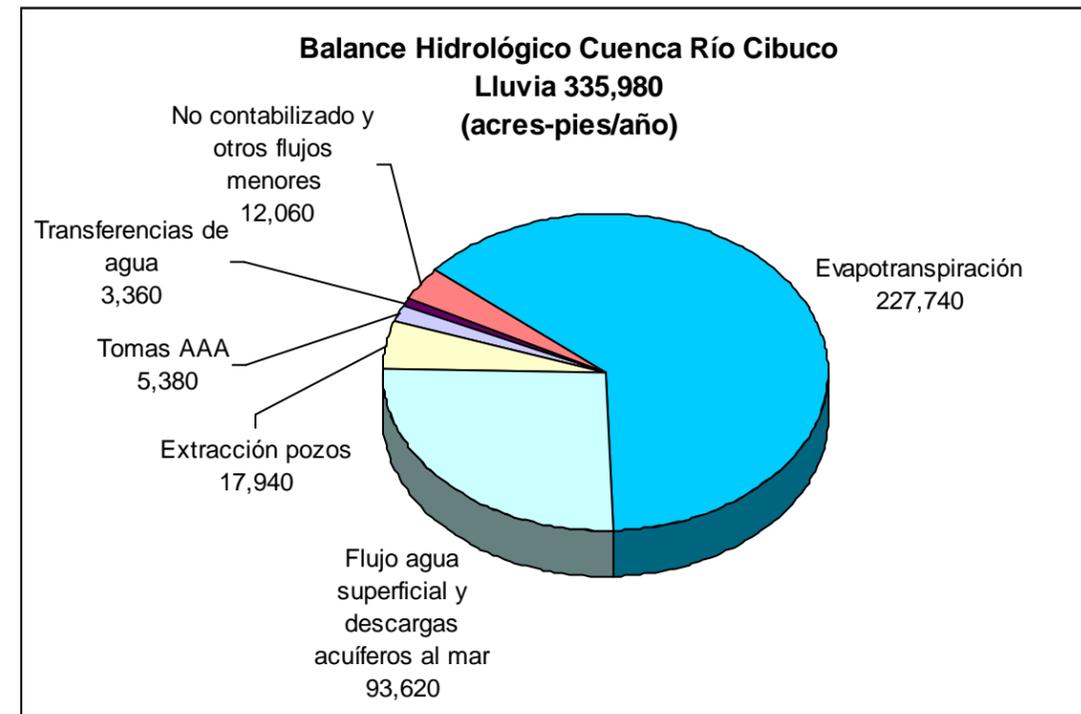


Figura 9-17. Balance hidrológico Cuenca del Río Cibuco. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.7 Cuenca del Río Grande de La Plata

La cuenca hidrográfica del Río Grande de La Plata (referido de aquí en adelante como el Río La Plata), es la tercera de mayor en extensión en Puerto Rico, con un área de captación de 241 mi². El Río de la Plata es el de mayor longitud en la isla, con 58.5 millas desde su origen cerca de Cayey hasta su desembocadura al mar cerca de Vega Alta. Esta cuenca está localizada en la Región Norte-Central de Puerto Rico, incluyendo parte de los municipios de Cayey, Aibonito, Barranquitas, Coamo, Comerío, Naranjito, Cidra, Toa Alta, Toa Baja, Dorado y Bayamón (Figura 1-12). La población actual en la cuenca se estima en 354,260 habitantes, incluyendo los centros urbanos en los municipios indicados. Su densidad poblacional es una de las más altas entre las cuencas principales en la Isla, con 1,470 habitantes por milla cuadrada.

El Río de La Plata, el cauce principal de la cuenca, se origina en la Sierra de Cayey, a elevaciones de hasta 2,770 pies, descendiendo en dirección noroeste hacia Naranjito y Comerío por las laderas de la zona montañosa central. A pocas millas de su origen, la AEE construyó en 1913 el Embalse Carite, con una capacidad actual de 8,560 acres-pies (DRNA, 2004). Este embalse provee un promedio de 6.14 mgd (6,880 acres-pies por año) de agua al Canal de Guamaní, en las laderas sur de la Isla, alimentado la Planta de Filtración de la AAA en Guayama. En Comerío, el río fluye a través de dos embalses construidos en la década de 1910 para generar electricidad (Comerío I y II). Estos embalses, de capacidad limitada y ahora esencialmente llenos de sedimentos, proveen almacenaje limitado para la abundante escorrentía de la cuenca. Desde la vecindad de Comerío el río continúa su descenso hacia Toa Alta y la costa norte, fluyendo al Embalse de Toa Alta. Este embalse, construido por la AAA en 1974, provee un promedio de 72.4 mgd (81,159 acres-pies por año) a la Planta de Filtración de Toa Alta, la que abastece agua potable a sectores de la Zona Metropolitana de San Juan, primordialmente en Toa Alta y Bayamón. El Río Lajas fluye al cauce principal entre Toa Alta y Dorado, aguas arriba de la Planta de Filtración La Virgencita en la vecindad del puente sobre la Carretera # 1. En esta área, la AAA extrae del Río de la Plata un promedio de 3.64 mgd para suplir agua potable a Toa Alta y Dorado mediante una galería de pozos horizontales en el valle aluvial contiguos al canal. El río fluye finalmente hacia Dorado descargando al Océano Atlántico al este de esta ciudad. El uso principal de los terrenos en la cuenca son los bosques y los pastos (76%), zonas urbanas (14%) y cultivos (8%).

El clima de la cuenca varía con la elevación en la cuenca, desde subtropical muy húmedo en el extremo sureste en la Sierra de Cayey, hasta subtropical húmedo en el área restante. La lluvia exhibe fluctuaciones a través del año similares a otras cuencas en la Región Norte, incluyendo el período de sequía a principios de año y las lluvias abundantes desde septiembre a diciembre. En la parte alta de la cuenca, en la Sierra de Cayey y hacia Barranquitas, la lluvia puede ser más frecuente, debido a los efectos orográficos. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 66 pulgadas, variando desde 102 pulgadas en la cabecera del Río de La Plata hasta 65 pulgadas cerca de Dorado. Durante sequías intensas, el promedio de lluvia anual puede reducirse a 48 pulgadas.

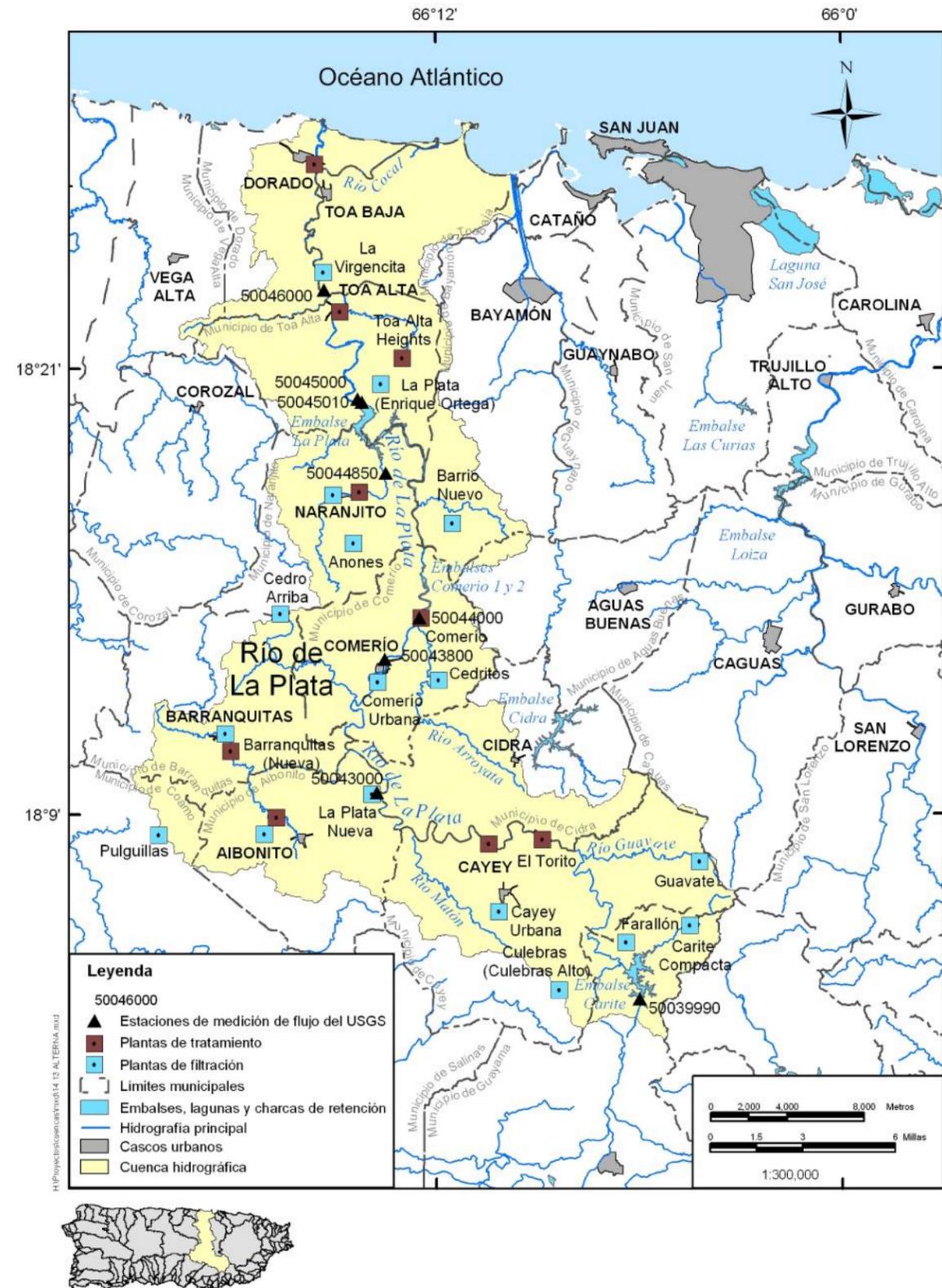


Figura 9-18. Cuenca hidrográfica del Río Grande de La Plata.

La geología de la cuenca incluye rocas de origen volcánico en la parte alta de la cuenca, rocas calizas de las formaciones Aymamón, Montebello y Mucarabones de la Región del Karso y depósitos aluviales y marinos en el área de Cayey y en el valle costanero del Río de La Plata. Las series de suelos Caguabo, Múcara y Los Guineos predominan en la zona central de la cuenca.

Los recursos de agua subterráneos son moderados, concentrados en los valles aluviales de Cayey y de Toa Baja (Valle del Toa). En la parte alta de la cuenca aguas arriba de Cayey, las rocas de origen volcánico son de baja porosidad y no forman acuíferos productivos. En la vecindad de la zona urbana de Cayey, depósitos aluviales y residuos no consolidados de origen volcánico depositados por el Río de La Plata, forman un acuífero local que en zonas puede rendir hasta 500 gpm a pozos profundos. En el 2002, las extracciones de agua de este acuífero fueron de aproximadamente 15.7 mgd para abasto público (AAA) y usos industriales (USGS, 2002). Aguas abajo de Cayey y hasta donde comienza la franja de rocas calizas, la permeabilidad de las rocas volcánicas es similar a la parte alta de la cuenca, y excepto en fracturas, no existen acuíferos productivos. Luego del Embalse La Plata, el río atraviesa la zona de rocas calizas, hasta fluir hacia Toa Alta y el valle aluvial costanero que se extiende hasta Toa Baja y Dorado. Los depósitos aluviales en el valle descansan sobre las rocas calizas. En esta zona, el acuífero profundo o artesiano no se manifiesta como una unidad geológica importante, debido que su espesor saturado se reduce significativamente. El Acuífero Superior en el valle costanero tiene espesores de hasta 300 pies y ocupa un área en el valle de aproximadamente 35.6 mi². Pozos hincados en el acuífero en esta zona pueden producir hasta 400 gpm.

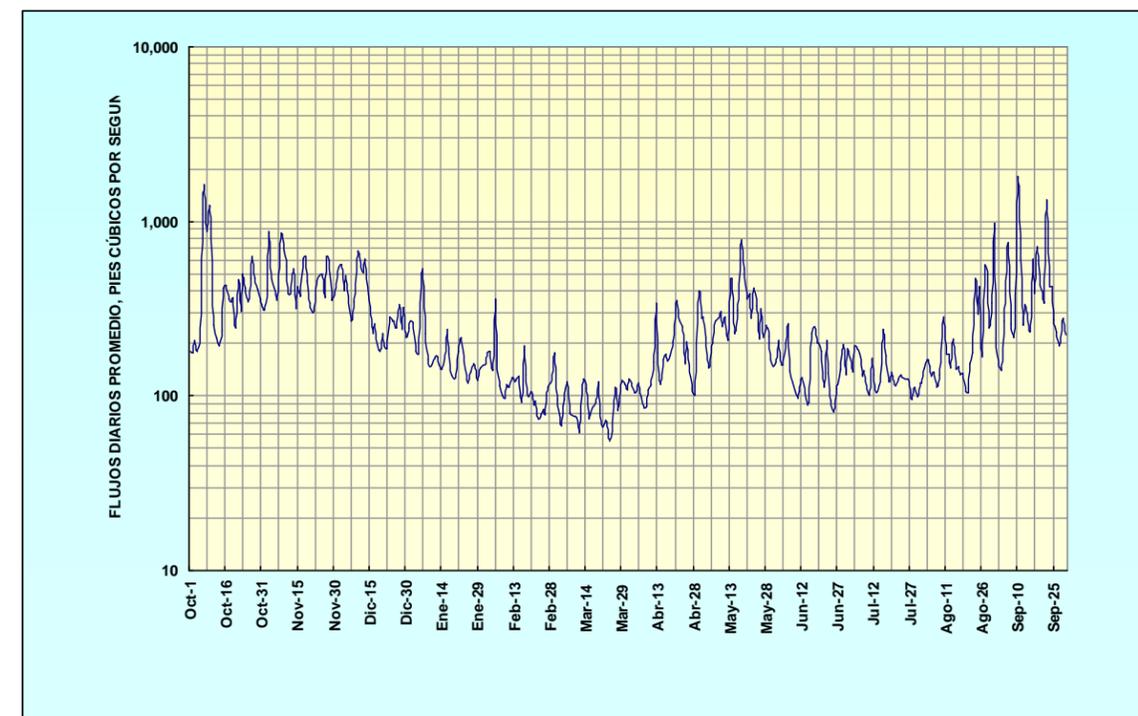


Figura 9-19. Flujos diarios promedio en el Río de la Plata cerca de Toa Alta (50046000), 1960-2002.

La producción de escorrentía en la cuenca del Río de La Plata es de 1,292 acres-pies por año por milla cuadrada. La cuenca produce un promedio anual de escorrentía de aproximadamente 311,580 acres-pies, la cual es utilizada en diferentes puntos o descarga al Océano Atlántico en Dorado. Las extracciones de agua superficial incluyen las tomas de la AAA en Cayey para desviaciones hacia el Canal de Guamaní (1.7 mgd) y la planta de filtración de Cayey (3.11 mgd); tomas para las plantas de filtración de Comerío (1.17 mgd) y Naranjito (0.6 mgd); la toma en el Embalse La Plata para la planta de filtración de Toa Alta (74.3 mgd); y la toma en la planta de filtración de la Virgencita en Toa Baja (3.64 mgd). Estas extracciones suman en promedio 94,740 acres-pies/año. El flujo promedio anual hacia el océano es de 210,530 acres-pies/año, que sumado a las extracciones resulta en la producción promedio anual de 311,580 acres-pies antes indicada. Esta cantidad equivale a 1,292 acres-pies por año por mi² de área de captación. Durante años de estiaje, esta cantidad puede reducirse en un 20-30%.

El balance de agua en la cuenca refleja que el 70% de la escorrentía generada en la cuenca del Río de La Plata discurre hacia el mar. El Embalse de La Plata exhibe una tasa de renovación de 8 veces al año, descargando hacia el océano 7 veces su capacidad máxima debido a su tamaño limitado. Análisis de la frecuencia de los flujos en la cuenca establecen que hasta el 60% de la escorrentía en la cuenca es descargada durante los meses de agosto a diciembre. Aunque existe el potencial de aumentar los abastos de agua en la cuenca proveyendo almacenaje adicional, esta estrategia necesita considerar los ciclos de flujo. Este almacenaje pudiera obtenerse modificando el Embalse de La Plata para aumentar su capacidad, o restaurando los embalses en Comerío. No existe el potencial para almacenar cantidades significativas de agua en el acuífero freático, debido a la alta transmisividad del aluvión y rocas calizas, lo que induciría una descarga rápida hacia el océano.

Lluvias intensas de hasta 25 pulgadas en 24 horas ocurren periódicamente en la cuenca, ocasionando inundaciones severas en el valle aluvial del Río de La Plata en Toa Baja y Dorado. El incidente más reciente de inundaciones en el Valle del Toa se registró durante las lluvias ocasionadas por el Huracán Hortense, en el 1998 (USGS, 2002). El DRNA, en cooperación con el USCOE, iniciará próximamente un proyecto diseñado para contener estas inundaciones dentro del canal del río. El proyecto incluirá la canalización del río aguas abajo de Toa Alta y la construcción de diques que protejan el Valle del Toa de inundaciones severas.

La calidad del agua en la cuenca varía con su ubicación y la época del año, pero en general cumple con los requisitos locales y federales para el ambiente y como fuentes de agua potable. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que la calidad del agua en el 20% de los tramos de ríos y quebradas en la cuenca no cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales establecidos por dicha agencia. No existen datos para determinar la calidad del agua en la mayor parte de los otros tramos de cuerpos de agua superficiales en la cuenca. Datos del USGS y la JCA establecen que descargas de pozos sépticos y actividades agrícolas en la cuenca son la fuente principal de las bacterias y nutrientes. La construcción en la zona rural de residencias equipadas con pozos sépticos inadecuados aparenta ser la causa principal de efectos adversos en la calidad del agua. La AAA opera plantas de tratamiento de aguas usadas en Cayey, Comerío, Naranjito y Toa Alta, descargando un promedio de 12.6 mgd al Río de la Plata y sus tributarios. Estas aguas reciben tratamiento secundario y desinfección previas a ser descargadas a la cuenca, y en general cumplen con los

requisitos ambientales de la JCA y la EPA. Igualmente, varias actividades industriales en Cayey que descargan efluentes al río también cumplen con los requisitos federales para descargas superficiales. Las aguas subterráneas en el valle costanero también cumplen en general con los requisitos como fuente de agua potable. Los pozos más cercanos a la costa, en la vecindad de Toa Baja y Dorado, reflejan efectos de intrusión salina.

A pesar del extenso desarrollo urbano en la cuenca, y la remoción de gran parte de la arboleda y cubierta vegetal, la erosión y el transporte de sedimentos en los ríos y quebradas es relativamente baja. Esto se refleja en la tasa de sedimentación del Embalse La Plata, que es de aproximadamente 0.89 acres-pies/mi²/año, equivalente a 161 acre-pies/año (DRNA, 2004). Esta aparente anomalía se debe probablemente a varios factores, principalmente la morfología y geología de la cuenca, que limita la erosión de los terrenos. Sin embargo, parte de los sedimentos que normalmente se acumularían en este embalse, se depositan en los Embalses Comerío I y II, que han perdido la mayor parte de su capacidad. Aun así, la tasa de sedimentación neta en la cuenca es menor que en la mayor parte de otras cuencas con desarrollos urbanos y agrícolas sustanciales en la Isla.

Tabla 9-7. Balance hidrológico en la Cuenca del Río de La Plata.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	853,070
Evapotranspiración	586,470
Flujo	
" promedio anual	210,530
" estiaje (90 días)	62,910
" estiaje (150 días)	61,160
Extracción pozos	17,600
Descarga de agua subterránea al mar	5,000
Tomas AAA	101,060 ^a
Descargas aguas usadas a ríos	10,098
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-81,690
No contabilizado	-131,174
Por ciento no contabilizado	-15

^a Incluye producción embalse La Plata

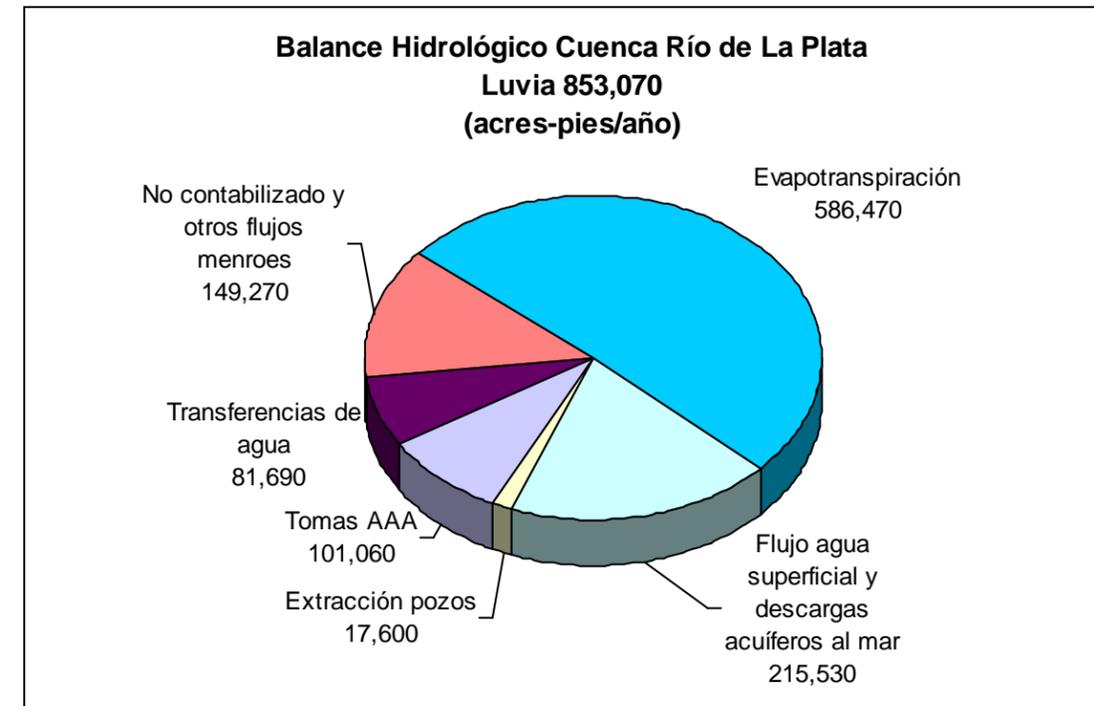


Figura 9-20. Balance hidrológico Cuenca del Río de La Plata. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.8 Cuenca del Río Bayamón

La cuenca hidrográfica del Río Bayamón incluye un área de captación de aproximadamente 89.9 mi² en la Región Norte-Central de Puerto Rico. La cuenca incluye zonas rurales y urbanas en las laderas de la Cordillera Central en los municipios de Aguas Buenas, Cidra, Toa Alta y Toa Baja, así como parte de los centros urbanos de Bayamón y Guaynabo en el valle costanero. El Río de Bayamón se origina en las la zona montañosa al sur de Cidra, a elevaciones de hasta 1,637 pies, fluyendo hacia el norte hasta el Embalse Cidra. Previo a descargar al embalse, el río recibe el afluente de los Ríos Clavija y Sabana, luego de lo cual continúa su curso hacia la parte sur de Bayamón. Aguas abajo del embalse, el flujo aumenta debido a las contribuciones de los Ríos Minillas y Guaynabo. En la vecindad de la Carretera 177 (Los Filtros), el cauce del río fue canalizado en la década de 1970 para controlar las inundaciones en el centro urbano de Bayamón y en áreas urbanas al norte de dicha ciudad. El Río Hondo, el tributario final al río, también fue canalizado con el mismo propósito de control de inundaciones, y fluye esencialmente paralelo al canal del Río Bayamón. Ambos canales descargan al Océano Atlántico en la vecindad de la zona de Palo Seco, entre Cataño y Levittown. La población de la cuenca en el 2004 era de aproximadamente 348,400 habitantes, incluyendo una gran parte de la zona urbana de Bayamón.

El clima de la mayor parte de la cuenca es subtropical húmedo, con áreas clasificadas como subtropical muy húmedo en la zona del embalse Cidra. La lluvia varía anualmente comenzando con el período de sequía desde enero hasta abril, lluvias intensas en mayo y junio, seguidas de una merma en la precipitación hasta agosto o septiembre, cuando comienza la época de lluvias frecuentes. La lluvia promedio anual a través de la cuenca es relativamente uniforme, variando desde 73 pulgadas en la parte alta aguas arriba del Embalse Cidra hasta 64 pulgadas en el valle costanero al sur de Bayamón. El promedio anual es de 72 pulgadas, lo que puede reducirse hasta 51 pulgadas en años de sequía. La evapotranspiración promedio consume el 65% de la lluvia, representando 48 pulgadas en años normales y 40 pulgadas durante años de sequías severas. El balance de agua, 25 pulgadas anuales, se convierte en escorrentía, o se infiltra a los acuíferos en la cuenca.

La geología de la cuenca incluye principalmente rocas de origen volcánico en la Cordillera Central (69 mi²), una franja de rocas calizas en la parte central entre Cidra y Bayamón (11 mi²), y depósitos aluviales de orígenes ribereños y marinos en el valle costanero (10 mi²). Aunque los bosques y los pastos predominan (59%), la cuenca exhibe una de las tasas urbanizadas más altas en la Isla, (35% de los terrenos). Aparte de los pastos, las actividades agrícolas son menores (4% de la cuenca).



Figura 9-21. Cuenca hidrográfica del Río Bayamón.

El Embalse Cidra, construido en 1946, constituye la fuente principal de agua en la cuenca, además de transferir agua proveniente del Río Grande de La Plata hacia la cuenca del Río Guaynabo. La AAA extrae hasta 6 mgd de agua del Embalse Cidra para alimentar la Planta de Filtración de Cidra, la que sule dicho municipio y sectores de Aguas Buenas y Naranjito. Hasta 5 mgd de agua descargada del Embalse Carite es desviada cerca de Cayey a una quebrada sin nombre tributaria del Río Bayamón. Esta agua fluye a través del Embalse Cidra, siendo luego bombeada hacia una segunda quebrada tributaria del Río Guaynabo, donde se extrae para suplir la Planta de Los Filtros en Guaynabo. La capacidad del Embalse Cidra se ha reducido paulatinamente de 5,302 acres-pies iniciales a aproximadamente 4,580 acres-pies en el 2004, debido a la acumulación de sedimentos provenientes de la parte alta de la cuenca. La tasa de sedimentación del embalse se encuentra entre las más bajas en la Isla (0.25 por año de la capacidad inicial, equivalente a 1,989 toneladas por milla cuadrada por año (DRNA, 2004)). Esta baja tasa de sedimentación responde a la ubicación del embalse en la parte alta de la cuenca, donde existen más terrenos de bosques, y las pendientes relativamente más llanas de ese sector en comparación con otras cuencas de la Región Norte. La vida útil restante del embalse es de 370 años, y su rendimiento seguro actual es de 6.1 mgd, casi equivalente a las extracciones de la AAA. Esto implica que en períodos de sequía, extracciones en exceso de las actuales resultarán en mermas rápidas en el nivel de agua en el embalse.

La calidad del agua en la cuenca varía con la ubicación y la época del año, pero en general cumple con los requisitos locales y federales como fuente de agua potable. Datos del Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que un 35.9% de las millas que forma el Río Bayamón no cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Estudios del USGS y la JCA establecen que las descargas de pozos sépticos y actividades agrícolas son las fuentes principales de estos contaminantes en la cuenca (Ramos-Ginés, 1997). En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al Río Bayamón o sus tributarios. El Embalse Cidra está clasificado como eutrófico en el Estudio 305(b) de la JCA.

Las aguas subterráneas no son un recurso importante en la cuenca. En la parte alta de la cuenca las rocas volcánicas no forman acuíferos productivos, aunque fracturas en dichas rocas pueden resultar en pozos productivos. En el área de Cidra, depósitos aluviales y residuos volcánicos forma un acuífero interior donde zonalmente es posible extraer hasta 0.30 gpm de pozos profundos. En esta área, la extracción actual es de aproximadamente 0.46 mgd, principalmente en el área donde ubican los parques industriales al sur de la zona urbana. Las rocas calizas de la parte intermedia de la cuenca del Río Bayamón se encuentra la formación de Arenas del Mucarabones, donde la presencia de depósitos marinos y no-marinos, siliciclásticos de arenisca y piedra arcillosa, y conglomerados de roca limita la capacidad del acuífero de acumular y transmitir agua. Hacia el valle costanero, depósitos marinos sobre las rocas calizas conteniendo barros y cienos impermeables, además de humedales y zonas afectadas por intrusión salina, limitan la productividad del acuífero.

La Tabla 9-8 ilustra un resumen del balance hidrológico de la cuenca para condiciones de precipitación promedio. La producción promedio anual de escorrentía en la cuenca es de aproximadamente 116,490 acres-pies, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. Considerando el tamaño limitado del área de captación que alimenta el embalse, esta producción

es significativa. Esto se debe en gran parte a la zona de lluvias abundantes al sur de Cidra que es parte de la cuenca que alimenta el embalse. La AAA utiliza 6,700 acres-pies en el Embalse Cidra, mientras el balance fluye aguas abajo hasta descargar al Océano Atlántico cerca de Palo Seco. De forma similar, la Tabla 9-8 presenta los componentes de flujo en condiciones de estiaje para 90 y 150 días. En la condición de sequía extrema, la cuenca produce 22,800 acres-pies, lo que contrasta con las extracciones de la AAA en el Embalse de Cidra. En realidad, una parte sustancial de la escorrentía puede ocurrir en los meses de septiembre a noviembre, por lo que en los meses de estiaje, los niveles de agua en el embalse se reducen significativamente. Esto puede requerir que la AAA reduzca las extracciones del embalse, afectando el servicio.

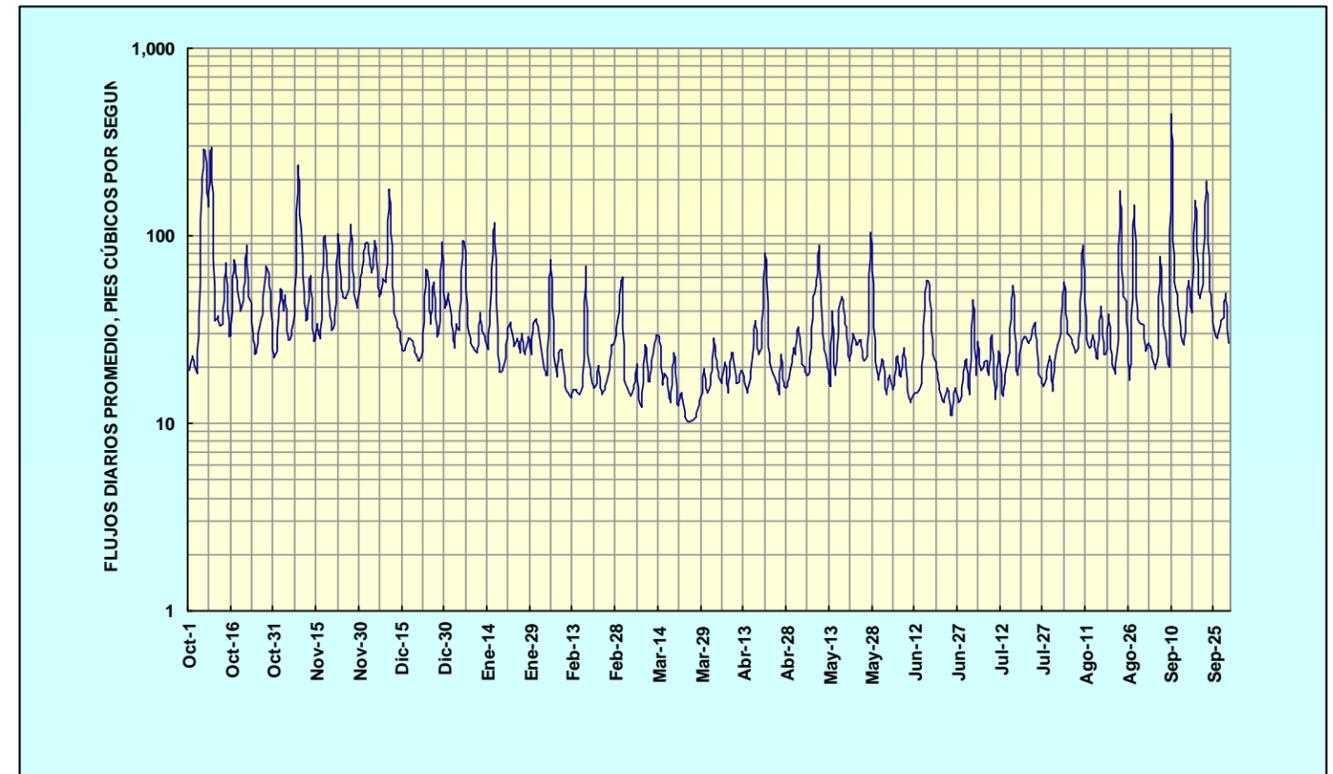


Figura 9-22 Flujos diarios promedio en el Río de Bayamón cerca Bayamón (50047850), 1964-2002.

Tabla 9-8. Balance hidrológico en la Cuenca del Río Bayamón.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	346,620
Evapotranspiración	227,770
Flujo	
" promedio anual	92,910
" estiaje (90 días)	22,800
" estiaje (150 días)	23,450
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	23,570
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	45,030
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	64,190
No contabilizado	27,520
Por ciento no contabilizado	8

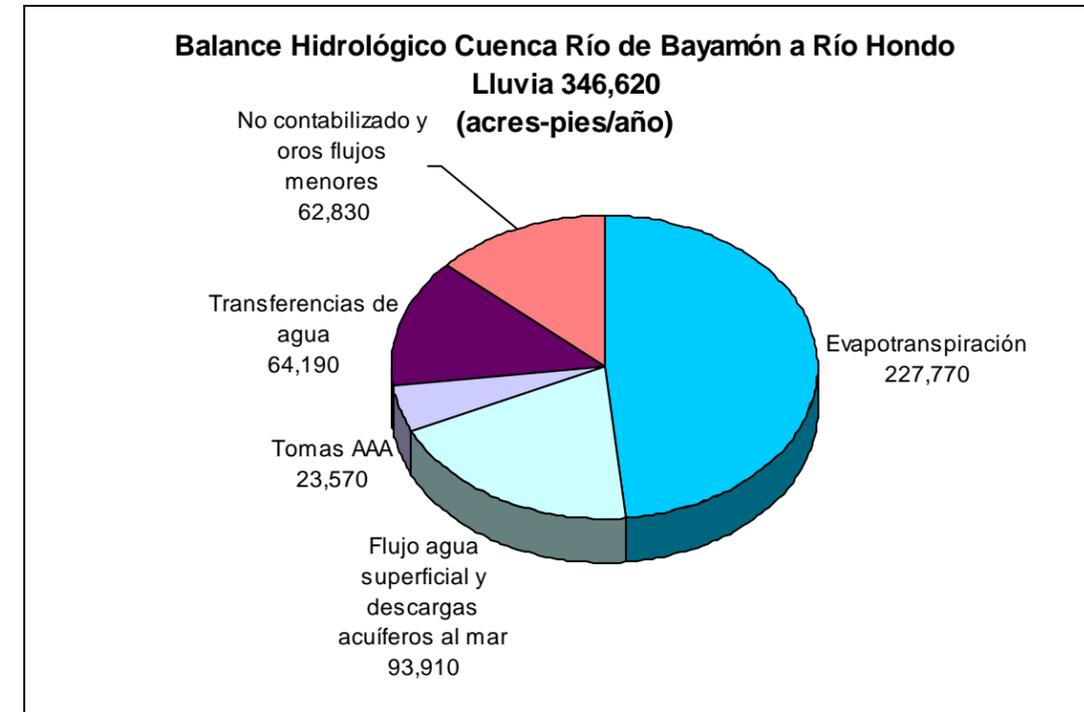


Figura 9-23. Balance hidrológico Cuenca del Río Bayamón. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.9 Cuenca del Río Piedras

La cuenca del Río Piedras incluye un área de captación de aproximadamente 26 mi² en la parte norte de la Zona Metropolitana de San Juan, incluyendo sectores en Guaynabo. El Río Piedras se origina en las laderas de las montañas que separan a Trujillo Alto de San Juan, formado por las quebradas Los Guanos y Las Curías, a elevaciones de hasta 640 pies. Esta última quebrada alimenta el Embalse Las Curías en la parte alta de la cuenca. Este embalse fue construido en 1946 para suplir agua potable a la Zona Metropolitana, formado por una presa de tierra y hormigón, con una capacidad inicial de 1,120 acres-pies. El embalse, ahora en desuso, está casi totalmente lleno de sedimentos. Aguas abajo del embalse, el río discurre hacia el norte hasta la vecindad del Jardín Botánico y la Estación Experimental en Río Piedras, alimentado por varias quebradas menores, incluyendo la Guaracanal. Una segunda represa en hormigón se levanta en el cauce, desde donde anteriormente hasta la década de 1960 se suplía agua a una pequeña planta de filtración operada por la AAA. Desde la Estación Experimental, el río fluye por una serie de canales en concreto hacia la zona de Hato Rey y la Bahía de San Juan. La Quebrada Margarita, que drena la parte oeste de la cuenca, es su tributario principal en la Zona Metropolitana. La mayor parte de la cuenca es urbana, excepto las zonas altas al sur de la Estación Experimental, donde la cubierta vegetal es abundante. La población de la cuenca en el 2004 era de 198,200 habitantes, principalmente en parte de la zona urbana de San Juan.

El clima de la cuenca es subtropical húmedo, similar a otras zonas en la Región Norte de la Isla. Anualmente se observan los patrones generales de sequía a principios de año, lluvias en mayo y junio, y un segundo período de sequía seguido de la temporada de lluvias desde agosto hasta diciembre. Los vientos del norte-noreste inducen frecuentes lluvias orográficas vespertinas en las laderas de las montañas hacia Trujillo Alto. La lluvia promedio anual en la parte montañosa de la cuenca es de 74 pulgadas, menor que el promedio que se observa hacia la zona central, que es de 79 pulgadas. El promedio disminuye a 65 pulgadas en el valle costanero hacia Hato Rey. Este fenómeno probablemente se debe a la combinación de los efectos orográficos y urbanos, resultando en un promedio anual de lluvia para toda la cuenca de 77 pulgadas, lo que disminuye a 53 pulgadas en época de estiaje. La evapotranspiración promedio es 48 pulgadas al año (62% de la lluvia), y de 42 pulgadas en años de sequías severas.

La geología es dominada por rocas de origen volcánico, que afloran en 60% del área superficial, principalmente en las zonas elevadas. Depósitos aluviales y marinos sedimentarios calizos y arenosos ocupan la parte baja de la cuenca. Afloraciones de las rocas calizas de la Región del Karso ocurren en forma de mogotes en varios puntos de la Zona Metropolitana. Una unidad confinante local (compuesta de aluvión, arena, ciénagas o mangle y relleno artificial), rocas de la Caliza de Aguada (Los Puertos) y arenas de la Formación Mucarabones descansan sobre el basamento rocoso. La presencia de barro y cienos en el aluvión y rocas calizas limita la porosidad de los depósitos sedimentarios, por lo que no existen acuíferos productivos en el valle. El uso principal de terrenos en la cuenca incluye áreas urbanas (77%) y zonas de bosques y pastos (21%). No existen actividades agrícolas sustanciales en la cuenca.

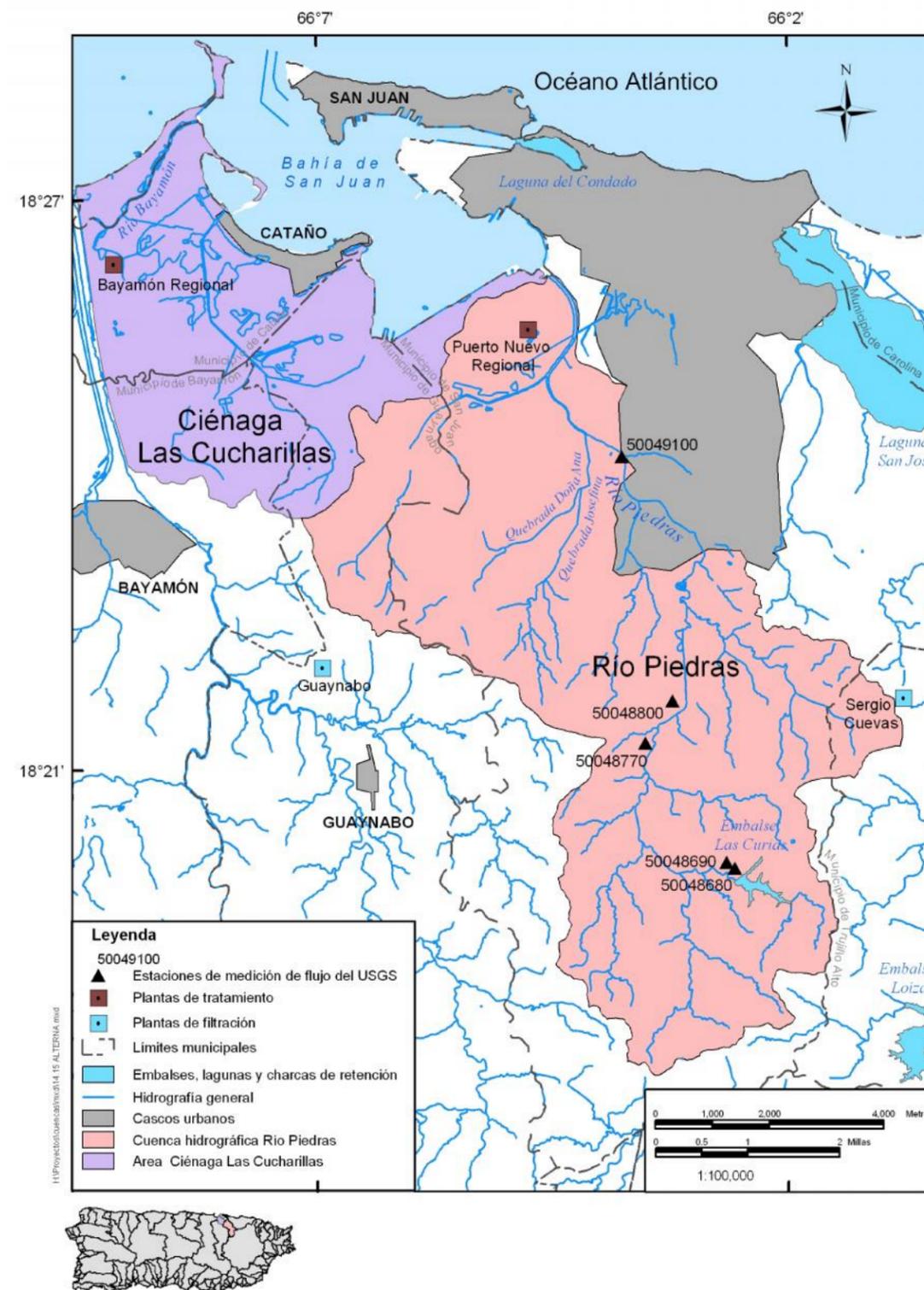


Figura 9-24. Cuenca hidrográfica del Río Piedras.

La producción promedio de escorrentía en la cuenca es de aproximadamente 61,920 acres-pies por año, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. No existen tomas de agua en el Río Piedras, y el total de la escorrentía descarga a la Bahía de San Juan. Durante lluvias intensas, las crecientes en el río inundan grandes extensiones urbanas en Hato Rey y Puerto Nuevo. El DRNA, con la asistencia del *USCOE*, lleva a cabo al presente un proyecto de control de inundaciones mediante la canalización del cauce del río aguas abajo de la Estación Experimental en Río Piedras. Tampoco ocurren descargas de plantas de tratamiento de aguas usadas o industriales directas al cauce. La AAA opera la planta de tratamiento de aguas usadas regional primaria de Puerto Nuevo en la vecindad de la desembocadura del río a la Bahía de San Juan, y el efluente de la misma (promedio de 56.6 mgd) se descarga al Océano Atlántico a través de un emisario submarino al oeste de la bahía.

La Tabla 9-9 ilustra un resumen del balance hidrológico en la cuenca para condiciones promedio y además presenta los componentes de flujo en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

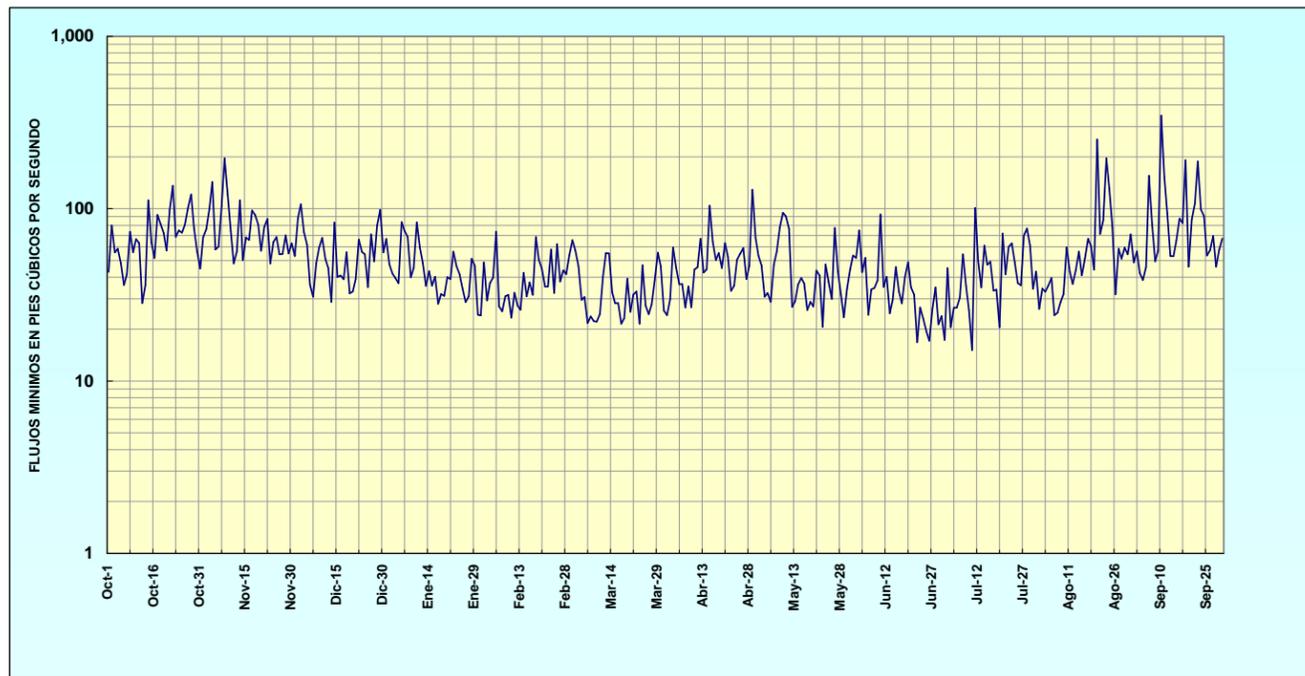


Figura 9-25. Flujos diarios promedios en el Río Piedras en Hato Rey (50049100), 1972 – 2002.

La calidad del agua en la cuenca del Río Piedras varía con la ubicación y época del año. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que un 46.8% de los segmentos del Río Piedras donde se tomaron muestras para análisis, no cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. No existen datos para el 53.2% de los segmentos del río y sus afluentes. Industrias de asfalto y concreto (3) descargan efluentes con permisos de la JCA o la *EPA* al río o sus tributarios. Datos del *USGS* y la JCA establecen que el río recibe descargas de aguas sanitarias provenientes de pozos sépticos y posiblemente de interconexiones ilegales. La escorrentía urbana que alimenta las quebradas y el río son una fuente sustancial de contaminantes al cauce, según determinado por la *EPA* en varios estudios sobre la calidad del agua en el Estuario de la Bahía de San Juan (*EPA*, 2000).

Tabla 9-9. Balance hidrológico en la Cuenca del Río Piedras.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	106,080
Evapotranspiración	66,960
Flujo	
" promedio anual	61,920
" estiaje (90 días)	6,590
" estiaje (150 días)	6,780
Extracción pozos	450
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	-
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	64,730
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	174,890
No contabilizado	88,410
Por ciento no contabilizado	83

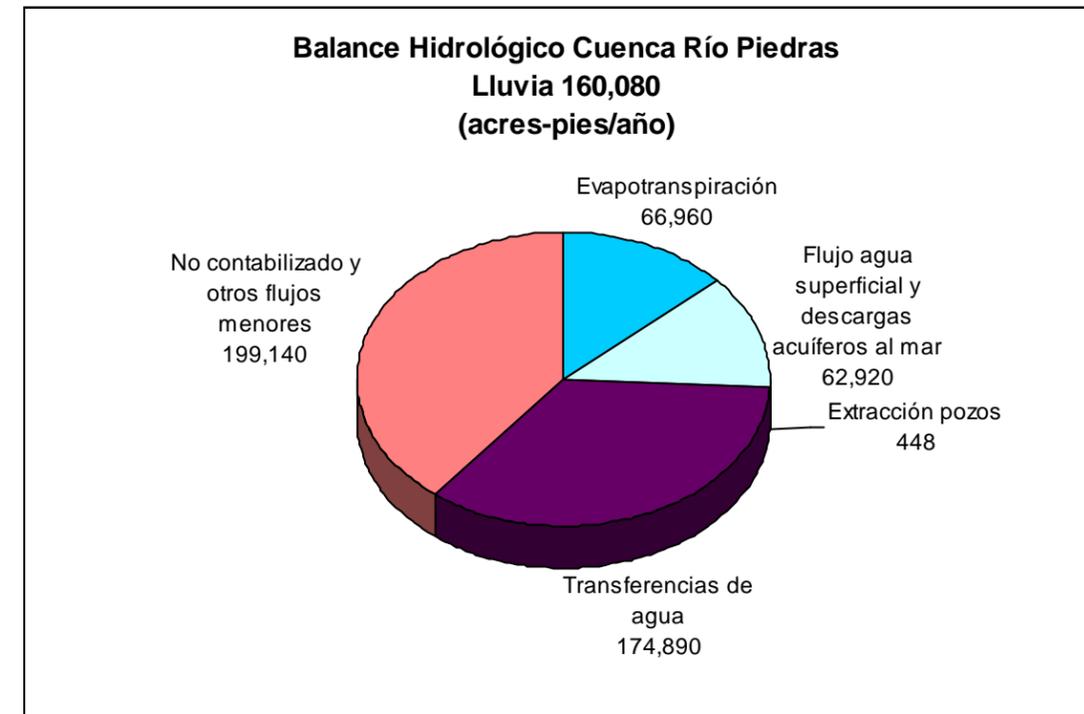


Figura 9-26. Balance hidrológico Cuenca del Río Piedras. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.10 Cuenca del Río Grande de Loíza

La cuenca del Río Grande de Loíza, en la Región Norte-Central de Puerto Rico, es la de mayor tamaño en la Isla, con un área de 289.9 mi². Su extensión territorial incluye sectores de los municipios de San Lorenzo, Juncos, Las Piedras, Gurabo, Caguas, Aguas Buenas, Trujillo Alto, Carolina y Loíza, con una población en el 2004 de 455,000 habitantes (Figura 1-15). Debido a su topografía e hidrología, la cuenca puede dividirse en dos ramales principales que drenan la mayor parte de su área de captación. Estos dos ramales incluyen las sub-cuencas del propio Río Grande de Loíza y la del Río Gurabo.

1. El cauce del Río Grande de Loíza se origina en las laderas de la Cordillera Central, en terrenos del Municipio de San Lorenzo a elevaciones de hasta 2,051 pies. El río discurre hacia el norte y la zona urbana de San Lorenzo, alimentado por varias quebradas y riachuelos. En la vecindad de San Lorenzo, en la parte más elevada de la cuenca, se le une el Río Cayaguás, uno de sus principales tributarios. Desde San Lorenzo, el cauce discurre hacia el noroeste hasta la zona urbana de Caguas, donde recibe el influjo de los ríos Turabo y Cagüitas. Inmediatamente aguas abajo de la confluencia con el Río Cagüitas, el río fluye al Embalse Loíza. En la represa que forma el embalse, una serie de compuertas descargan parte del agua por el cauce del río hacia Trujillo Alto y eventualmente Carolina, Canóvanas y el Océano Atlántico. Bombas eléctricas en la represa desvían hasta 100 mgd de agua del embalse hacia la Planta de Filtración Sergio Cuevas en Trujillo Alto, para suplir agua potable a la Zona Metropolitana de San Juan. Dos quebradas importantes, Grande y Morocudo, fluyen al cauce del río al sur de Trujillo Alto antes de este cruzar la Carretera PR-3 en Carolina hacia el valle aluvial del Río Grande de Loíza en Canóvanas. En esta zona recibe el influjo de los ríos Canovanillas y Canóvanas, descargando finalmente al Océano Atlántico al oeste del Municipio de Loíza. En este punto, el río ha discurrido 41.5 millas desde su nacimiento, siendo el quinto en longitud en la Isla.
2. El cauce del Río Gurabo se origina en las laderas sur de la Sierra de Luquillo en la zona de El Yunque, en los lindes de los municipios de Gurabo y Las Piedras, a elevaciones de hasta 3,278 pies. Las lluvias copiosas en la zona de El Yunque y varias quebradas alimentan su cauce, descendiendo hacia el suroeste hasta la vecindad de Juncos. Al norte de la zona urbana de Juncos, recibe el influjo del Río Valenciano, su principal tributario. Desde Juncos, el cauce discurre hacia Gurabo, hasta fluir en el ramal este del Embalse Loíza.

El clima de la cuenca incluye zonas clasificadas como subtropicales húmedas y muy húmedas, debido a su ubicación en los dos ramales principales donde la precipitación promedio anual excede la mayor parte de la Isla. En ambas subcuencas (Río Grande de Loíza y Río Gurabo) la lluvia varía anualmente en forma similar a otras zonas de la Región Norte-Central de la Isla. Las lluvias son abundantes desde agosto a diciembre, seguidas del período anual de sequía, que generalmente se extiende desde enero hasta abril. Los cambios regionales en temperaturas y vientos inducen lluvias frecuentes en mayo y junio, mermando en julio. Lluvias orográficas



Figura 9-27. Cuenca hidrográfica del Río Grande de Loíza.

vespertinas son frecuentes la mayor parte del año en las laderas de la cuenca en la Cordillera Central y en la Sierra de Luquillo.

La precipitación promedio anual en la cuenca es de 77 pulgadas, variando desde 57 a 108 pulgadas. La lluvia es copiosa en las zonas de mayor elevación de la cuenca. En el ramal del Río Gurabo, en las laderas sur de El Yunque, el promedio anual de lluvia es de 100 pulgadas, mientras que en el ramal del Río Grande de Loíza, en las laderas de la Cordillera Central al sur de San Lorenzo, el promedio anual es de 105 pulgadas. Esta zona en la Cordillera recibe directamente los efectos de los vientos alisios del noreste, mientras que el viento que llega a las laderas al sur de El Yunque ya perdió gran parte de su humedad en las cuencas de los ríos Mameyes, Sabana, Fajardo, Santiago y Blanco. En años de sequías la precipitación anual promedio a través de la cuenca puede disminuir a 54 pulgadas. La extensión significativa de las dos zonas geográficas que forman los ramales principales puede resultar en que una sección de la cuenca sufra una sequía mientras el otro ramal disfrute de lluvias más abundantes. La evapotranspiración consume un promedio de 47 pulgadas de la lluvia anual (61 %), y 42 pulgadas en años de sequías.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico que se extienden desde la zona montañosa hasta la vecindad de Carolina, así como depósitos sedimentarios aluviales y marinos. Afloramientos masivos de rocas intrusivas meteorizadas como parte del Batolito de San Lorenzo, principalmente granodiorita, ocupan una parte sustancial de la zona desde San Lorenzo hasta Juncos y Gurabo. Al sur de estos afloramientos los ríos depositaron aluvión sobre el basamento volcánico en lo que hoy es el Valle de Caguas. Residuos de lava y tufa volcánica ocupan la mayor parte de la superficie entre Caguas y Carolina, con depósitos aluviales a lo largo del cauce de los ríos y sus tributarios. Al sur de Carolina, depósitos de origen marino descansan sobre el material volcánico, incluyendo rocas calizas de la Formación San Sebastián, aluvión, barros, materia orgánica y arenas. Estas rocas y depósitos forman acuíferos localizados, particularmente en el valle aluvial de Caguas. En el área de la zona urbana de Caguas, los depósitos aluviales tienen un espesor promedio de 80 pies alcanzando hasta 127 pies, donde pozos profundos pueden producir hasta 300 gpm (Puig y Rodríguez, 1993). Los depósitos marinos sedimentarios al norte de Carolina y la Carretera #3 son generalmente de poca permeabilidad, lo que impide que almacenen o transmitan agua en cantidades sustanciales. Esta impermeabilidad relativa contribuye a que en estas zonas se formen los humedales costaneros que abundan cerca de la costa. Otra característica geomorfológica importante de la zona costanera de la cuenca es el tramo esencialmente recto del Río Grande de Loíza, desde Canóvanas hasta la desembocadura al mar. Aunque aparenta ser un canal artificial, Meyerhoff (1935) establece que es natural, inducido por procesos erosivos de poca energía. Las diferencias en elevaciones en el terreno entre Canóvanas y la desembocadura del río al mar son mínimas. Esto también conduce al avance tierra adentro a través del canal del río de agua salina. Durante mareas altas, la cuña de agua salada en el valle avanza tierra adentro hasta la vecindad de la Carretera #3. Parte de esta agua salina se infiltra desde el río a los depósitos marinos costaneros, lo que minimiza el potencial para el desarrollo de pozos en el valle costanero de la cuenca.

Estadísticamente la mayor parte de la cuenca está cubierta de bosques, arbustos y pastos (80%), aunque es una de las zonas de mayor desarrollo en Puerto Rico. Las zonas urbanas de San Lorenzo, Juncos, Gurabo, Caguas, Trujillo Alto, Carolina y Canóvanas, y cientos de desarrollos residenciales semi-urbanos en las zonas rurales de la cuenca, ocupan una parte sustancial de su área superficial (40.6 mi², o 14%). Las actividades agrícolas se concentran en las zonas de Las Piedras, Juncos y San Lorenzo, principalmente ganadería y frutos menores.

La escorrentía en la cuenca es significativa, con una producción promedio anual de 346,310 acres-pies. El Embalse Loíza, construido en 1952, suple hasta 100 mgd (112,099 acres-pies por año) a la PF de Trujillo Alto, desde donde el agua se potabiliza y se distribuye a la parte este de la Zona Metropolitana de San Juan. A través de la cuenca existen varios acueductos rurales y municipales operados por la AAA que extraen un promedio de 28.14 mgd de los ríos principales o sus tributarios, incluyendo en San Lorenzo (2.5 mgd, Río Cayaguas); Juncos (1.6 mgd, Río Gurabo); Gurabo (1.6 mgd, Río Gurabo); Ceiba Sur (1.5 mgd, Río Valenciano); Espino (0.85 mgd, tributario al Río Grande de Loíza); Jagual (0.3 mgd, Río Grande de Loíza); Caguas (6.25 mgd, Quebrada las Quebradillas, Río Cagüitas, Río Turabo y Río Grande de Loíza); Caguas Norte (5.7 mgd, Río Cagüitas); Aguas Buenas (0.7 mgd, Río Bairoa); San Antonio (1.1 mgd, embalse Loíza); Cubuy (1.0 mgd, Río Canóvanas) y Canóvanas (5.04 mgd, Río Canóvanas). Paralelamente, varias plantas de tratamiento de aguas usadas operadas por la AAA, descargan hasta 8.9 mgd de efluentes tratados y desinfectados a varios ríos en la cuenca, incluyendo en San Lorenzo (0.6 mgd, Río Grande de Loíza), Pueblito del Río (0.125 mgd, Río Gurabo); Juncos (0.69 mgd, Río Valenciano); Caguas Nueva (7 mgd, Río Bairoa); Aguas Buenas (0.3 mgd, Río Bairoa) y Las Carolinas (0.2 mgd, Río Cagüitas). El balance entre el agua generada en la cuenca menos las extracciones netas (extracciones para agua potable menos retornos sanitarios), establece que la descarga anual promedio de escorrentía hacia el Océano Atlántico es de aproximadamente 236,890 acres-pies.

Los recursos de agua subterráneos en la cuenca son moderados, concentrados principalmente en la zona de Caguas a Juncos, incluyendo a Gurabo, así como en el valle costanero al norte de Carolina y Canóvanas. El DRNA estimó que en el 2003, las extracciones de agua subterráneas en la zona eran de 3.9 mgd (4,363 acres-pies por año). En el 1988, la producción de agua subterránea en el valle aluvial de Caguas-Juncos en el interior de Puerto Rico promedio 3.0 mgd (Puig y Rodríguez, 1993). La producción de agua subterránea en la parte baja de la cuenca, en el valle aluvial costanero de Canóvanas-Carolina se estimó por el DRNA en 0.7 mgd, aunque es posible extraer cantidades mayores utilizando galerías cercanas al río. Utilizando esta tecnología, el Municipio de Carolina desarrolla al presente un acueducto municipal con una capacidad de hasta 2 mgd mediante el uso de una galería subterránea cercana al cauce del río que ayude a filtrar parcialmente el agua. Estas extracciones adicionales requerirían un monitoreo intenso para determinar si se induce la infiltración de agua salobre adicional al acuífero.

La calidad del agua en la cuenca Río Grande de Loíza varía desde excelente hasta pobre, pero es generalmente adecuada como fuente para producir agua potable (USGS, 2001). El USGS ha llevado a cabo varios estudios relacionados a la calidad del agua en la cuenca y sus tributarios, incluyendo un estudio reciente en el área de Caguas (USGS, 1996). Este estudio del USGS concluyó que aproximadamente el 75% de los tramos de los ríos analizados en la cuenca exhibían concentraciones de bacterias fecales consideradas aceptables para actividades

humanas, mientras que en el balance del 25% de los tramos analizados, la calidad bacteriana del agua no era aceptable. Por otro lado, la JCA, en el Estudio 305(b) del 2003, establece que no existen datos adecuados en la cuenca para determinar con precisión la calidad general del agua. En los tramos estudiados (28.8%) en el 23.8% las concentraciones de bacterias y nutrientes no cumplen con los estándares ambientales establecidos por la JCA, el 3% cumple con estos estándares y en el 2% de los tramos el agua alcanza algunos usos designados pero faltan datos para determinar su aptitud para otros usos. El por ciento restante carece de datos para tomar decisiones sobre la calidad del agua. Fuentes dispersas provenientes de pozos sépticos y actividades agrícolas son probablemente las fuentes principales de estos contaminantes en las aguas superficiales en la cuenca.

Las aguas subterráneas en el valle aluvial de Caguas y en sectores de Juncos y Gurabo son generalmente adecuadas como fuentes de agua potable. En la zona norte de Caguas, en el sector de Bairoa, varios pozos de la AAA han sido cerrados debido a contaminación con solventes químicos y concentraciones altas de nitratos.

El transporte de sedimentos en los ríos de la cuenca en concentraciones elevadas contribuye a que el Embalse Loíza sufra una de las tasas de sedimentación más altas en comparación con otros la Isla (USGS, 1997; DRNA, 2004). Las actividades agrícolas y desarrollos urbanos en la cuenca inducen la erosión de los suelos y el transporte de sedimentos hacia los ríos de la cuenca y el embalse. Hasta 1997, el embalse había perdido aproximadamente el 47% de su capacidad original debido a la acumulación de sedimentos transportados en la cuenca. El embalse fue dragado en 1998, removiéndose aproximadamente 5,000 acres-pies de sedimentos, aumentando su vida útil en aproximadamente 20 años. Sin embargo, datos preliminares del USGS establecen que durante las crecientes en los ríos de la cuenca ocasionados por el Huracán Hortense, la cantidad de sedimentos descargada al embalse fue significativa. El USGS realizó un estudio de la capacidad del Embalse Loíza para determinar los efectos del sedimento descargado durante Hortense. Los resultados de este estudio están resumidos en la tabla 6-10.

Tabla 9-10. Estudio comparativo de datos publicados por el USGS en el 1994, datos informados en estudios batimétricos durante 1999, y datos recientes, 2004, de estudios batimétricos desarrollados del estudio batimétrico de Febrero 2004.

[Km2, kilómetros cuadrados; Mm3, millón de metros cúbicos; m3, metros cúbicos; --- sin determinar]

	1994	1997-99	2004
Área superficial del embalse, en km ²	2.67	2.67	2.67
Capacidad, in Mm ³	14.19	19.35	17.53
Almacenamiento vivo, en Mm ³	14.15	17.80	17.28
Almacenamiento muerto, en Mm ³	0.04	1.55	0.25
Años desde su construcción	41	46 ¹	51
Sedimento acumulado, en Mm ³	12.61	---	1.82 ²
Pérdida en almacenamiento a largo plazo, en por ciento	47	---	9 ³
Pérdida de capacidad a largo plazo, m ³	303,000	---	---
Pérdida anual de capacidad a largo plazo, en por ciento	1.1	---	1.8 ⁴
Pérdida anual de capacidad entre estudios, en m ³	242,000	---	364,000
Volumen añadido como resultado del dragado, en Mm ³	---	5.782	---
Volumen del dragado perdido, en Mm ³	---	---	1.82
Por ciento del volumen del dragado perdido	---	---	31 ⁵
Por ciento anual de pérdida de volumen dragado desde 1997 hasta 2004	---	0	6.2

¹ En relación a la fecha final de dragado.

² Acumulado entre 1999 y 2004.

³ Representa el por ciento de pérdida en almacenamiento desde 1999 hasta 2004 de un total de 19.35 millones de metros cúbicos.

⁴ Representa el por ciento de pérdida anual en volumen después del dragado entre 1999 y 2004.

⁵ Representa el por ciento de pérdida del volumen total dragado o 5.782 millones de metros cúbicos.

Tabla 9-11. Balance hidrológico en la Cuenca del Río Grande de Loíza.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	1,192,210
Evapotranspiración	731,000
Flujo	
" promedio anual	236,890
" estiaje (90 días)	94,510
" estiaje (150 días)	107,110
Extracción pozos	4,360
Descarga de agua subterránea al mar	5,000
Tomas AAA	109,420 ^a
Descargas aguas usadas a ríos	15,330
Descargas aguas usadas al mar	30,810
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-75,900
No contabilizado	39,130
Por ciento no contabilizado	3

A incluye producción embalse Loíza

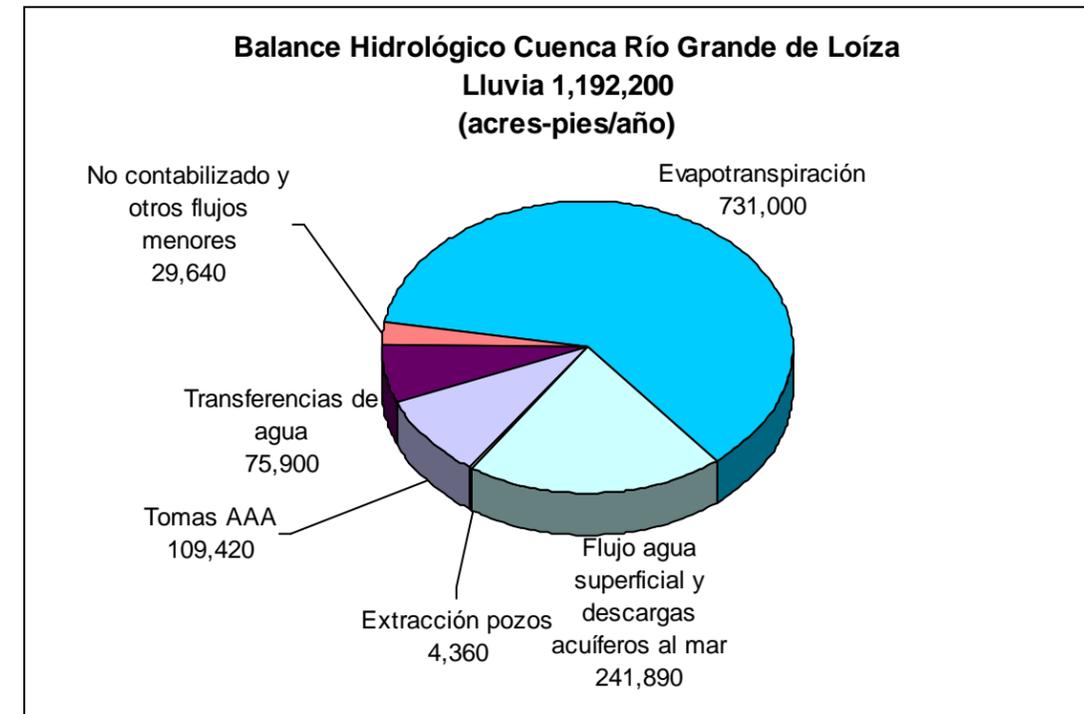


Figura 9-28. Balance hidrológico Cuenca del Río Grande de Loíza. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.11 Cuencas Hidrográficas de los Ríos Herrera y Espíritu Santo

9.11.1 Cuenca Río Herrera

La cuenca del Río Herrera incluye un área de 7.6 mi² en el municipio de Río Grande, en la Región Noreste de Puerto Rico (Figura 6-29). El Río Herrera se origina en las laderas norte de la Sierra de Luquillo en el linde municipal de Río Grande, a elevaciones de hasta 1,637 pies sobre el nivel del mar. En su origen en la parte más elevada de la Sierra, el río recibe el afluente de varias quebradas que se nutren de la lluvia copiosa de la zona, incluyendo a las quebradas Ángela, Cambalache y Calderón. Desde la sierra, el río desciende por las laderas de los montes hacia el valle costanero, donde abundan humedales drenados por una serie de canales artificiales. Estos canales alteran los patrones naturales de escorrentía de la parte baja de la cuenca y otras cuencas vecinas, incluyendo el Río Espíritu Santo. El cauce fluye al Océano Atlántico cerca de la zona de Medianía en las inmediaciones del Campo de Golf de Berwind inmediatamente agua abajo del puente sobre la Carretera Núm. 187. La cuenca es rural con varias comunidades dispersas primordialmente en su parte inferior, con una población de aproximadamente 11,270 habitantes en el 2004.

El clima en la cuenca del Río Herrera es subtropical húmedo, similar a la mayor parte de la Región Noreste de Puerto Rico. La precipitación es abundante, con promedios anuales que varían desde 83 pulgadas en el valle costanero hasta 124 pulgadas en la zona montañosa. El promedio anual de lluvia es de 77 pulgadas, aunque el mismo se reduce hasta 54 pulgadas en años de sequía. La evapotranspiración promedio es de 44 pulgadas anuales, lo que consume hasta el 57 % de la precipitación. Debido a la arboleda y pastos que cubren la mayor parte de la cuenca, la evapotranspiración es relativamente constante, disminuyendo levemente a un promedio de 41 pulgadas en años de sequía.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en la parte montañosa, que ocupan aproximadamente 6.2 mi² del área superficial. Depósitos aluviales y marinos predominan en el valle costanero, cubriendo un área de 1.3 mi². Los suelos principales en la cuenca incluyen asociaciones de las series Humatas y Múcara, que predominan en las laderas de la zona montañosa y el valle aluvial. La mayor parte de los terrenos en la cuenca están cubiertos de bosques y pastos (68%), seguido de zonas urbanizadas y cultivos de frutos menores.

La escorrentía en la cuenca y el Río Herrera es abundante debido a la precipitación copiosa que cae la mayor parte del año sobre la Sierra de Luquillo. El flujo promedio anual de escorrentía en el río cerca de la desembocadura al mar es de aproximadamente 24,240 acres-pies por año, aunque este valor puede reducirse a 3,960 acres-pies durante años de sequía. Los humedales en el valle aluvial descargan al cauce principal a través de los canales de drenaje, contribuyendo a mantener los flujos residuales relativamente elevados. Aproximadamente el 10% del flujo en los canales se derrama o filtra, alimentando el acuífero. Aguaceros intensos en la cuenca ocasionan inundaciones periódicas en el valle costanero que afecta zonas extensas cubiertas de pastos y humedales.

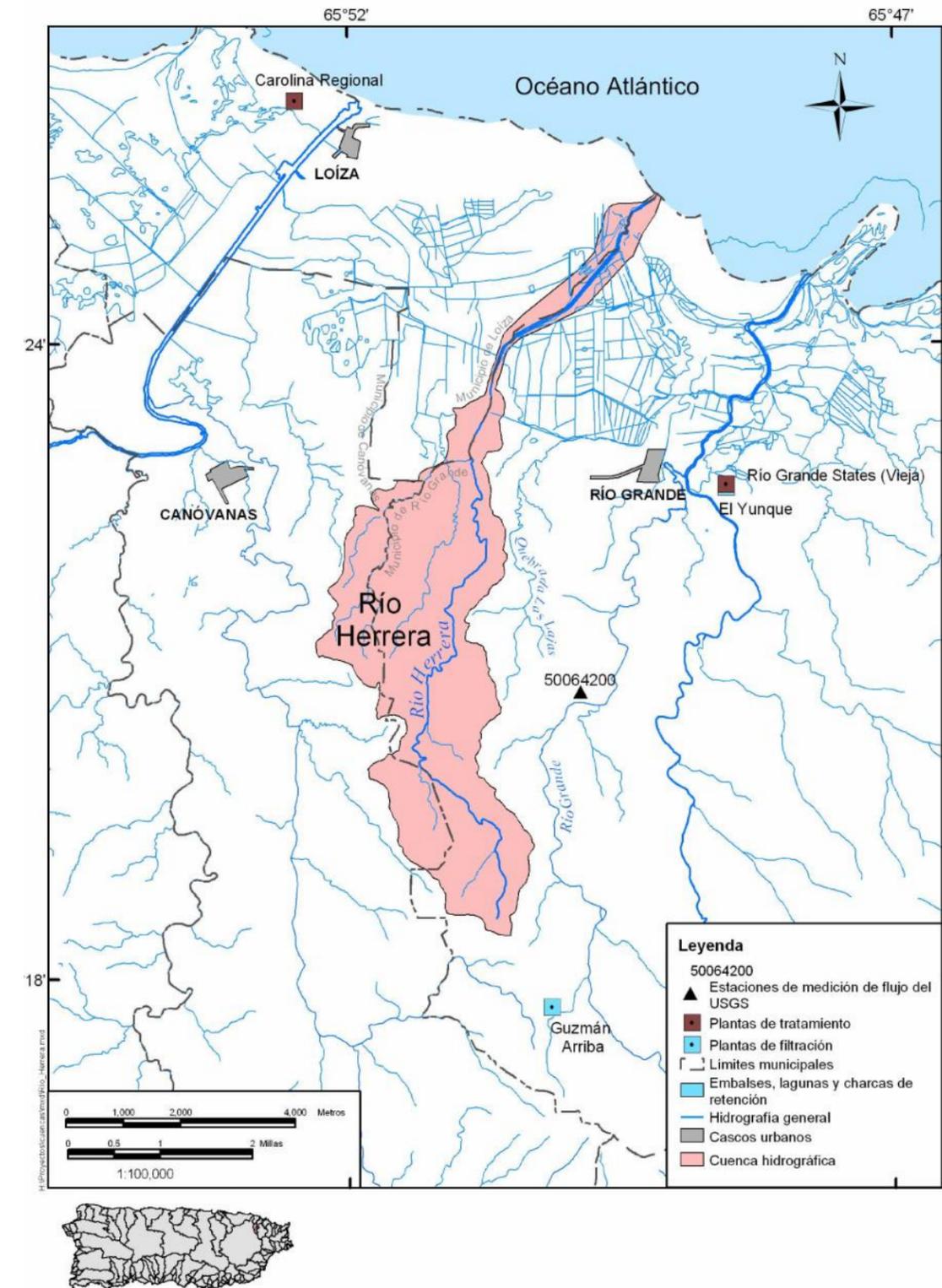


Figura 9-29. Cuenca Hidrográfica del Río Herrera.

En la cuenca no existen acuíferos importantes y los recursos de agua subterráneos son generalmente salobres. La baja elevación de los terrenos que forman el valle aluvial resulta en la penetración de una cuña de agua salada por el cauce del río y los canales hasta dos kilómetros aguas arriba de la desembocadura del río al mar. Los suelos arenosos en el valle costanero permiten el avance natural de la zona de interfase salina en los depósitos marinos y aluviales.

La calidad del agua en la cuenca es generalmente desconocida, pues no existen datos significativos recientes. Estudios parciales del *USGS* y la *JCA* reflejan concentraciones elevadas de bacterias de origen fecal en la mayor parte de los tramos del río en las zonas bajas de la cuenca. Estos contaminantes provienen de pozos sépticos y actividades agrícolas en la zona. El efecto de estos contaminantes es más intenso durante períodos de flujos mínimos, en la época de sequía. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la *JCA* o la *EPA* al Río Herrera o sus tributarios. Las aguas sanitarias de las comunidades rurales son generalmente descargadas en pozos sépticos o a sistemas laterales conectados a la Planta de Tratamiento Regional Primaria de Loíza.

Tabla 9-12. Balance Hidrológico Cuenca Río Herrera.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	31,090
Evapotranspiración	19,580
Flujo	
" promedio anual	24,240
" estiaje (90 días)	3,960
" estiaje (150 días)	4,570
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	-
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	5,020
No contabilizado	-6,710
Por ciento no contabilizado	-22

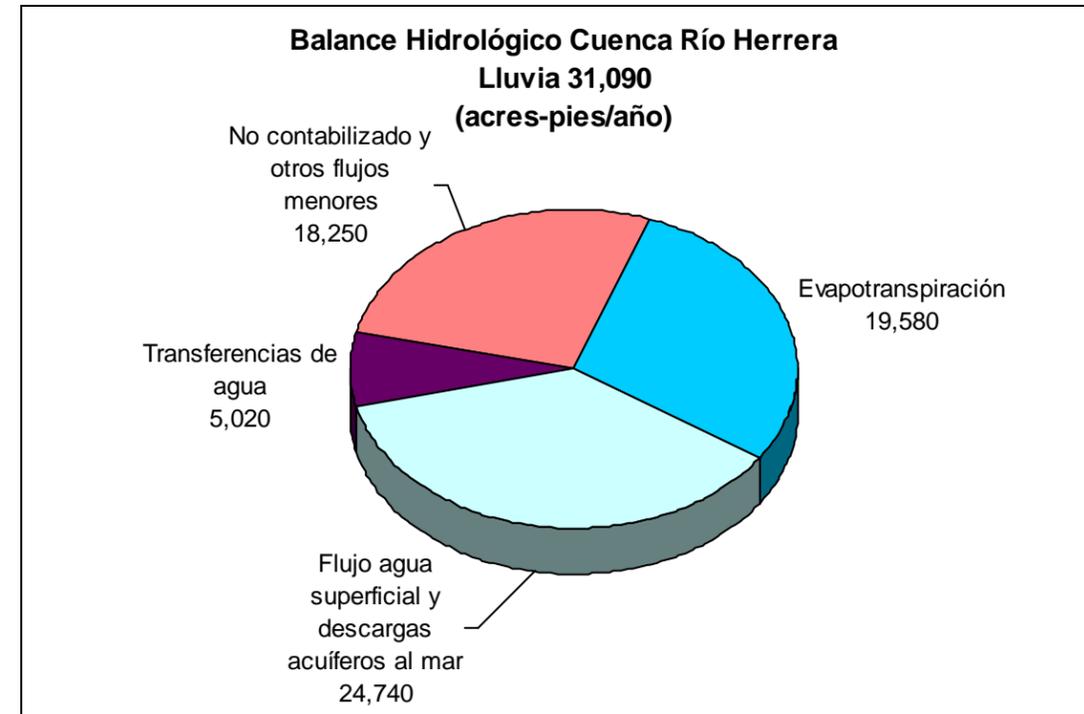


Figura 9-30. Balance hidrológico Cuenca del Río Herrera. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.11.2. Cuenca Río Espíritu Santo

La cuenca del Río Espíritu Santo incluye un área de 26.2 mi² contigua a la cuenca del Río Herrera en el municipio de Río Grande. El Río Espíritu Santo se origina en la Sierra de Luquillo a elevaciones de hasta 3,200 pies sobre el nivel del mar. En esta parte de la sierra la cuenca colinda con la zona del El Verde, donde la lluvia es copiosa, originando un gran número de quebradas y riachuelos que nutren el río. Las quebradas tributarias más importantes incluyen a Sonadora, Grande y Jiménez, en la parte este de la cuenca en el sector Guzmán Arriba. Estas quebradas forman el Río Grande, el tributario principal del Río Espíritu Santo. El Río Grande drena la mayor parte de la zona oeste de la cuenca hasta su confluencia con el cauce principal en las cercanías de la Carretera Núm. 3 cercano a la zona urbana de Río Grande. Desde este punto, el río fluye hacia el norte a través del valle costanero y una zona de humedales entrelazados por canales artificiales que drenan la zona hacia la costa, siendo el principal el Canal Castañón. La Quebrada Las Lajas es parte de la cuenca baja, drenando hacia el este hasta unirse al Río Espíritu Santo por medio de varios canales artificiales al norte de la zona urbana de Río Grande. El río desemboca al Océano Atlántico cerca de Punta Miquillo en el área entre Coco Beach y Bahía Beach, formando un estuario ribereño de gran importancia. La cuenca es primordialmente rural, excepto por la zona urbana del Municipio de Río Grande. La población de la cuenca en el 2004 se estimó en 11,050 habitantes.

El clima de la cuenca es similar al de la cuenca del Río Herrera, con lluvias abundantes la mayor parte del año en la Sierra de Luquillo y la zona de El Verde. En esta zona montañosa la lluvia promedio anual es de 142 pulgadas, reduciéndose a 72 pulgadas en el valle costanero. El promedio anual para la cuenca es de 95 pulgadas, que se reduce a 67 pulgadas en años de sequías severas. La evapotranspiración promedio en la cuenca se estima en 32 pulgadas, lo que es relativamente bajo en comparación con la lluvia, lo que no varía significativamente durante sequías debido a la abundancia de lluvia. En condiciones promedio anuales, la evapotranspiración representa un 34% de la precipitación.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en las zonas montañosas, que cubren aproximadamente 23.8 mi² del área superficial. Depósitos aluviales y marinos ocupan la mayor parte del valle costanero descansando sobre las rocas de origen volcánico. Los suelos principales en la cuenca incluyen asociaciones de las series Los Guineos y Humatas. Los bosques en la zona montañosa y los pastos en el valle costanero ocupan el 89% de la cuenca, seguido de zonas urbanizadas (6%). Excepto por los pastos, las actividades agrícolas son mínimas, principalmente cultivos artesanales de frutas y farináceos, que representan menos del 2% de los terrenos. Los humedales en el valle costanero ocupan el uno (1) % de la cuenca.

La escorrentía en la cuenca es relativamente abundante debido a la lluvia copiosa que nutre los ríos. El promedio anual de escorrentía es de 122,140 acres-pies por año. La AAA opera dos plantas de filtración que extraen un promedio anual de 1,930 acres pies de agua para abasto público. Estas plantas incluyen a El Yunque, con una capacidad de hasta 18 mgd, la cual supe agua a Río Grande, Canóvanas y Carolina. La otra planta es la de Guzmán Arriba, en la parte alta de la cuenca, con una capacidad de 0.75 mgd.

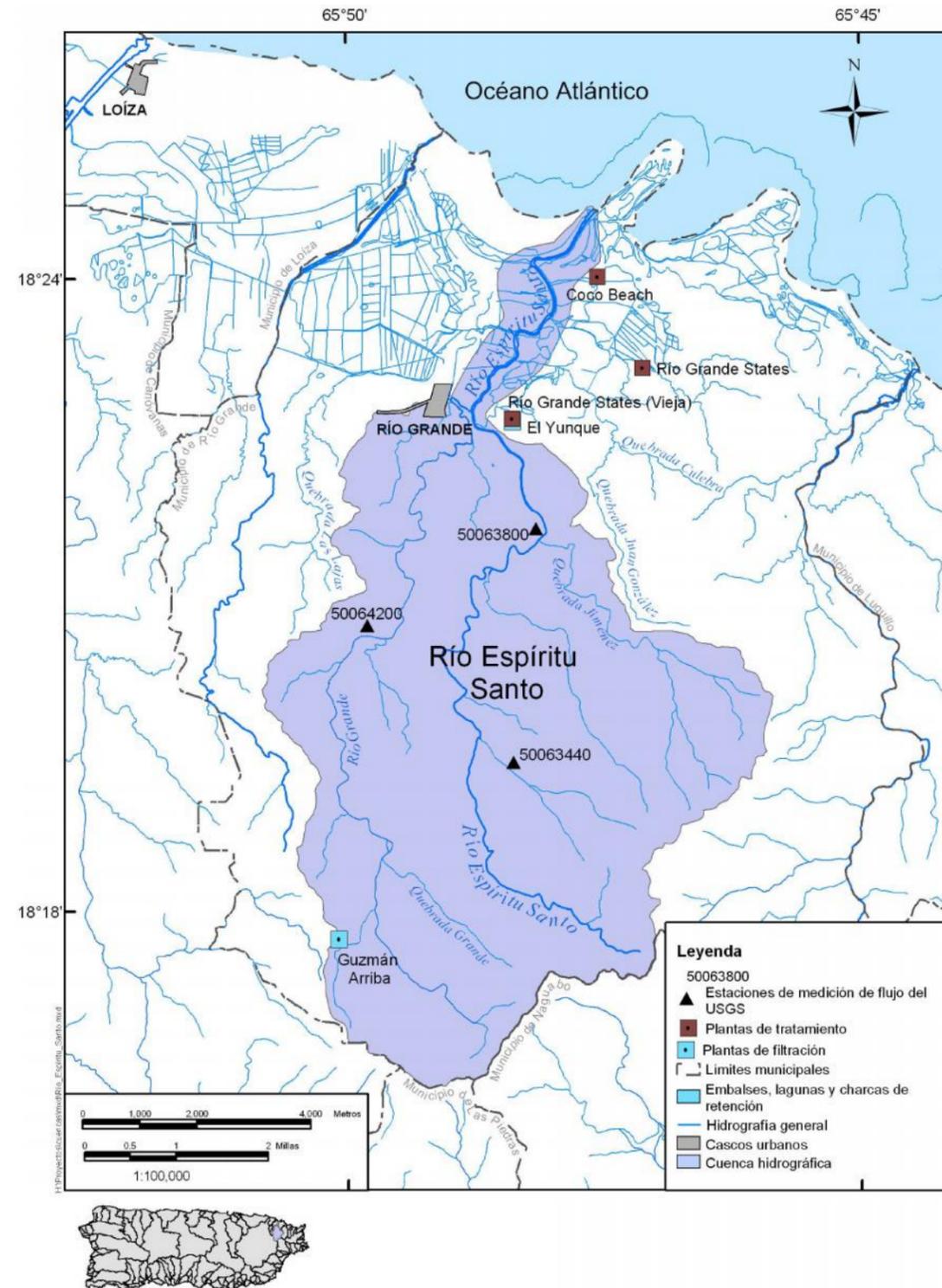


Figura 9-31. Cuenca Hidrográfica del Río Espíritu Santo.

Los recursos de agua subterránea en la cuenca son limitados, debido a la geología y la topografía del terreno. En la zona montañosa donde predominan las rocas de origen volcánico, su permeabilidad es baja, y excepto en fracturas, la capacidad de rendimiento de pozos no es significativa. Los depósitos aluviales y marinos costaneros contienen barro y otros materiales orgánicos que limitan su permeabilidad, además de tener espesores mínimos. La intrusión salina natural afecta el cauce del río el valle costanero. La cuña de agua salada penetra a través del Río Espíritu Santo hasta la vecindad de la Carretera Núm. 2 cerca de la zona urbana de Río Grande.

La calidad del agua en la cuenca del Río Espíritu Santo varía con la ubicación y época del año. En la mayor parte de la cuenca no existen datos suficientes para definir con precisión la calidad del agua en los ríos. Tampoco existen datos adecuados de transporte de sedimentos. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que en el 69% de los tramos de los ríos no existen datos suficientes sobre calidad del agua. En el 92% de los tramos estudiados las concentraciones de bacterias fecales y nutrientes exceden los estándares de la JCA para contacto. Pozos sépticos y actividades agrícolas son probablemente la fuente principal de estos contaminantes en las aguas superficiales. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al Río Espíritu Santo o sus tributarios.

La tabla 9-13. Ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio. De forma similar la tabla 9-14 presenta los componentes de flujo en condiciones de estiaje para 90 y 150 días. Tabla 9-13 Balance Hidrológico Cuenca Río Espíritu Santo

Tabla 9-14. Balance Hidrológico Cuenca Espíritu Santo.

Componentes Hidrológicos	(acres-pies/año)
Precipitación	133,050
Evapotranspiración	64,840
Flujo	
" promedio anual	122,140
" estiaje (90 días)	13,670
" estiaje (150 días)	15,750
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	1,500
Tomas AAA	12,100
Descarga aguas usadas a ríos	675
Descarga aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-8,070
No contabilizado	-72,410
Por ciento no contabilizado	-54

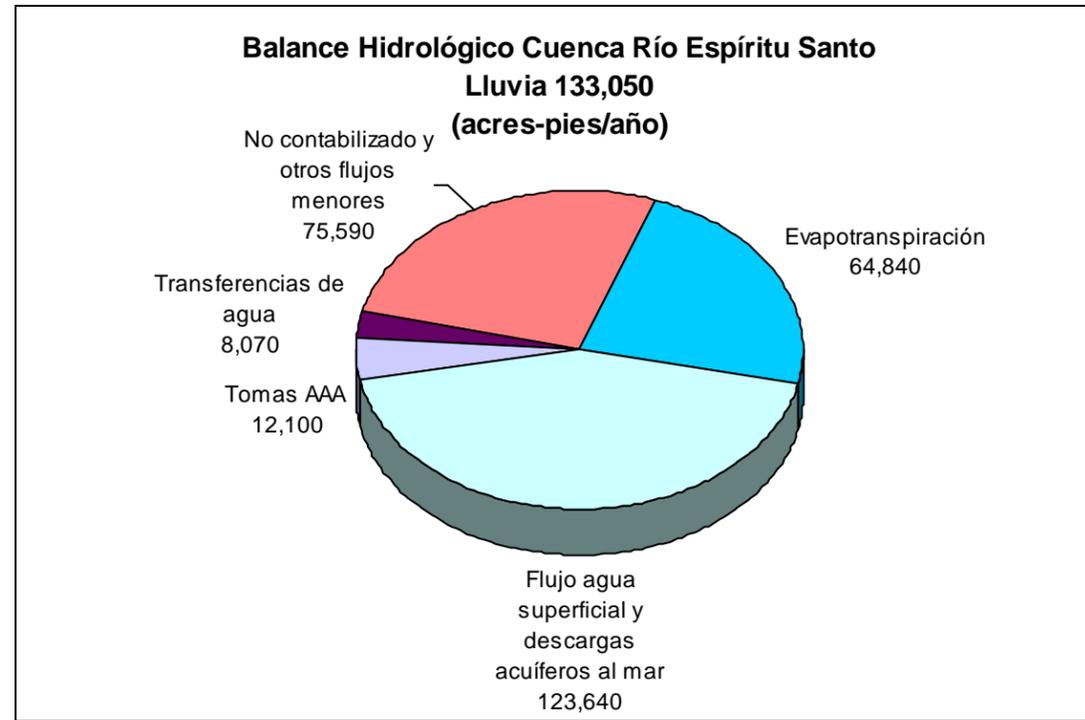


Figura 9-32. Balance Hidrológico Cuenca del Espíritu Santo. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.11.3 Cuenca del Río Mameyes

La cuenca del Río Mameyes incluye 15.6 mi² en la Región Noreste de Puerto Rico, en los municipios de Luquillo y Río Grande. El Río Mameyes se origina en el Bosque Nacional de Caribe, en las laderas de El Yunque en la Sierra de Luquillo a elevaciones de hasta 2,600 pies. El río es alimentado en la parte alta de la cuenca por un gran número de quebradas formadas por las lluvias abundantes en El Yunque y sus áreas circundantes. Estas quebradas incluyen a Juan Diego, La Máquina, Tabonuca, Anón y la quebrada que forma la Cascada Coca en el área de la reserva federal en El Yunque. El Río de la Mina es su tributario principal, confluyendo con el cauce principal aproximadamente a 8 millas de su origen. La cuenca es rural, excepto el poblado de Palmer, en la parte baja de ésta cerca de la Carretera #3 en Río Grande. La población en la cuenca en el 2004 era de aproximadamente 4,979 habitantes.

El clima en la cuenca es subtropical húmedo y muy húmedo con zonas de clima montano bajo muy húmedo y montano bajo lluvioso, típicos del área del Bosque Nacional del Caribe (El Yunque). La zona de El Yunque que drena al Río Mameyes es parte del bosque, donde la lluvia promedio anual es la más alta en Puerto Rico. En la cuenca, el promedio anual de lluvia es de 125 pulgadas, con máximos que alcanzan hasta 175 pulgadas por año en la parte elevada de El Yunque. Efectos orográficos sobre las laderas de El Yunque inducen aguaceros casi diarios en la cuenca. Temperaturas relativamente bajas en las laderas de la Sierra de Luquillo también inducen aguaceros nocturnos al condensarse la humedad transportada por los vientos alisios prevalecientes en zona. Aun así, se observan en la cuenca los patrones generales de cambios en la lluvia anual en la Isla. El período de sequía relativa usualmente se extiende hasta abril, incrementando la intensidad de la lluvia en mayo, con reducciones relativas desde junio a agosto, hasta comenzar el período lluvioso en septiembre hasta final de año. La lluvia disminuye hacia el valle costanero, reduciéndose a 111 pulgadas cerca de Palmer. En años de sequía la lluvia promedio anual en la cuenca se reduce a 88 pulgadas. La evapotranspiración promedio anual en la cuenca consume solamente el 31% de la lluvia (39 pulgadas), valor relativamente bajo en comparación con la mayor parte de las cuencas en la Isla. Esta tasa de evapotranspiración baja se debe principalmente a la lluvia abundante y la cubierta vegetal del bosque que limita la evaporación del suelo y los cuerpos de agua. Sin embargo, durante sequías severas, la evapotranspiración anual puede representar hasta el 57% de la lluvia (hasta 49 pulgadas).

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en las cimas y laderas de la Sierra de Luquillo. Cantidades menores de depósitos aluviales ocurren en el cauce de las quebradas y los ríos, ya que las tasas de erosión son sumamente bajas debido a la cubierta del bosque sobre los suelos y rocas de la cuenca. Al norte de Palmer, hacia el Océano Atlántico, depósitos de origen marino forman un valle estrecho. No existen acuíferos significativos en el valle, debido a que el espesor de los depósitos marinos y el aluvión es menor, rara vez excediendo 10-15 pies (USGS, 1998). Los bosques y los pastos representan el uso principal de los terrenos, cubriendo el 93% de la cuenca. Las zonas urbanas de Palmer y Río Mar ocupan el 5% de los terrenos. El Río Mameyes es considerado como un río prístino, y forma parte de la red nacional de *Wild and Scenic Rivers* designada por el Departamento del Interior Federal.



Figura 9-33. Cuenca Hidrográfica Río Mameyes.

La escorrentía en la cuenca es abundante en relación a su área de captación, debido a las frecuentes lluvias en la Sierra de Luquillo y el Bosque Nacional del Caribe. El promedio anual de escorrentía en el Río Mameyes es de aproximadamente 93,050 acres-pies, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. La AAA está autorizada a extraer hasta 5 mgd de agua del río para alimentar la Planta de Filtración de Palmer, aunque el promedio de lo que resulta en un flujo neto hacia el océano de 48,213 acres-pies. Hasta el 2003, la AAA descargaba al río el efluente tratado de la planta de aguas usadas de Palmer (2 mgd). Comenzando en el 2004, la descarga de la misma se utiliza para riego en los campos de golf de Río Mar.

Aunque los datos sobre calidad de agua en la cuenca del Río Mameyes son escasos, en general la misma es excelente. Hasta recientemente, el Río Mameyes fue considerado como el último río prístino en Puerto Rico (González-Cabán y Loomis, 1999), ya que la reserva federal en la zona de El Yunque impide los asentamientos residenciales o desarrollos urbanos. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 incluyó el 25% de los tramos del río, documentando que la calidad del agua cumple con los estándares establecidos. El agua que fluye desde El Yunque no recibe descargas de pozos sépticos, de zonas agrícolas u otras fuentes potenciales de contaminación.

En las inmediaciones del poblado de Palmer, desarrollos agrícolas, urbanos y comercios descargan efluentes al río que contribuyen a deteriorar la calidad del agua que fluye hacia el mar. Aguas abajo de Palmer, el canal del río está cubierto con algas verdes y plantas acuáticas representativas de condiciones eutróficas. Aun así, el agua es cristalina, excepto durante crecientes. La concentración de sedimentos suspendidos en el agua es también baja, debido a la cubierta vegetal sobre la mayor parte de la cuenca. La ausencia de desarrollos urbanos en la parte alta de la cuenca reduce el potencial para la erosión de los terrenos y el transporte de sedimentos al río. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios.

La Tabla 9-14 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y de flujo en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-15. Balance Hidrológico Cuenca Río Mameyes.

Componentes Hidrológicos	(acres-pies/año)
Precipitación	104,190
Evapotranspiración	32,400
Flujo	
" promedio anual	93,050
" estiaje (90 días)	8,140
" estiaje (150 días)	9,380
Extracción pozos	500
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	4,980
Descarga aguas usadas a ríos	540
Descarga aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	3,050
No contabilizado	-21,550
Por ciento no contabilizado	-21

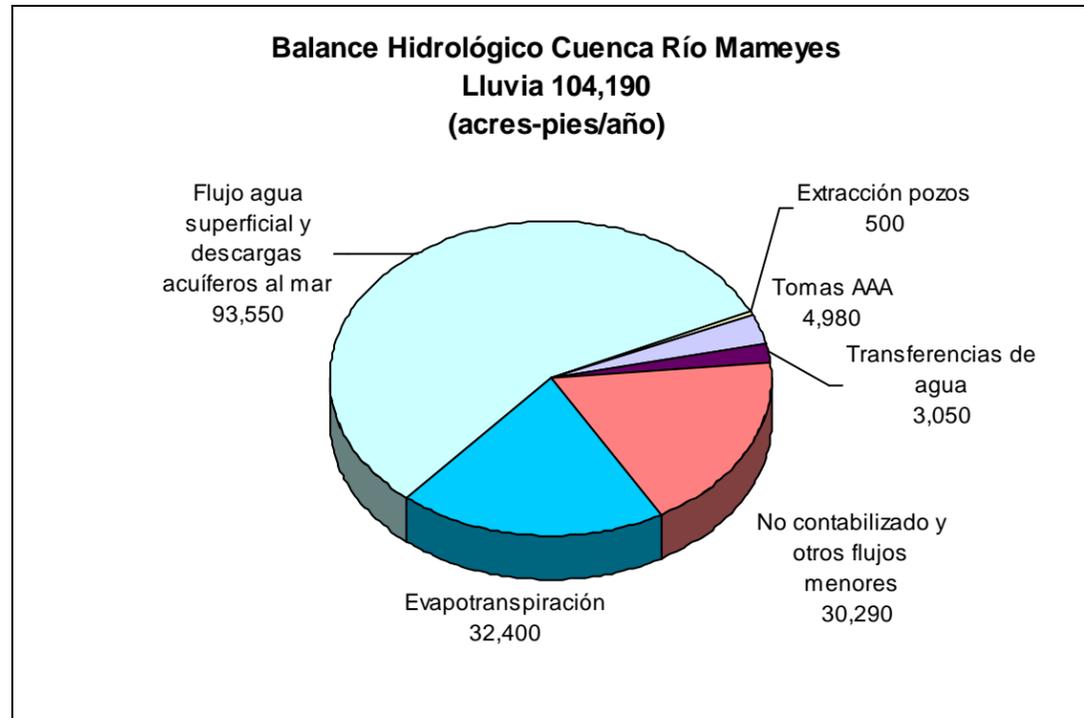


Figura 9-34. Balance hidrológico Cuenca del Río Mameyes. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.12 Cuencas de los Ríos Sabana, Pitahaya y Juan Martín

9.12.1. Cuenca Río Sabana

La cuenca del Río Sabana incluye un área de captación de 7.2 mi² en la Región Este de Puerto Rico, en el municipio de Luquillo. El Río Sabana se origina en las laderas orientales de la Sierra de Luquillo, en el municipio de Luquillo, a elevaciones de hasta 1,900 pies. Los ríos Camándulas y Cristal se le unen en la parte alta de la cuenca a corta distancia de su origen, discurrendo por las laderas este de El Yunque hacia el noreste en un curso esencialmente paralelo al del Río Mameyes en el oeste y el Río Pitahaya en el este. El río fluye a través del valle costanero alimentado por varias quebradas menores, descargando al Océano Atlántico al este de la zona urbana de Luquillo. La cuenca es primordialmente rural, con una población en el 2004 de 5,250 habitantes, incluyendo parte del centro urbano de Luquillo.

El clima de la cuenca es subtropical húmedo en el tercio costero de la cuenca, subtropical muy húmedo en su zona central y subtropical lluvioso en la parte alta. La lluvia varía en forma similar a los patrones del Río Mameyes, con lluvia abundante la mayor parte del año debido a su origen en la zona húmeda de la Sierra de Luquillo. En esta parte superior de la cuenca la lluvia promedio anual es de 124 pulgadas, disminuyendo a 103 pulgadas en la costa, con un promedio anual de 118 pulgadas. En periodos de estiaje, la precipitación puede disminuir a 83 pulgadas. La tasa de evapotranspiración promedio es de 40 pulgadas al año, aumentando a 49 pulgadas en época de estiaje debido al aumento en temperaturas y vientos. La evapotranspiración representa un 34% de la precipitación promedio de la cuenca.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en las zonas de mayor elevación en la Sierra de Luquillo (6.3 mi²). Depósitos sedimentarios de origen marino, incluyendo arenas, cienos, y materia orgánica descansan sobre las rocas volcánicas en el valle costanero, ocupando un área de 0.94 mi². La baja porosidad de las rocas volcánicas y los depósitos marinos costaneros impiden el almacenaje de cantidades significativas de agua en el subsuelo, por lo que no existen acuíferos productivos en la cuenca. El uso principal de terrenos en la cuenca son los bosques y los pastos en las laderas este de la Sierra de Luquillo (87%), seguido de desarrollos urbanos (10%). Las actividades agrícolas son mínimas, mayormente ganadería y cultivos de farináceas y frutas.

La escorrentía en la cuenca es relativamente abundante para su tamaño, debido a su ubicación en la zona de lluvias de El Yunque y la Sierra de Luquillo. Datos del USGS extrapolados de las estaciones de flujo en la cuenca indican que la descarga promedio anual neta del río al mar es de 36,840 acres-pies. Este estimado no incluye aproximadamente 2,240 acres-pies por año que la AAA extrae del cauce para alimentar la PF de Luquillo, ubicada aproximadamente a mitad del recorrido del río hacia el mar. La AAA también opera en la cuenca la planta de tratamiento de aguas usadas de Luquillo (Brisas del Mar), que descarga 0.86 mgd (958 acres-pies por año) de aguas tratadas desinfectadas al río cerca de su desembocadura al mar.

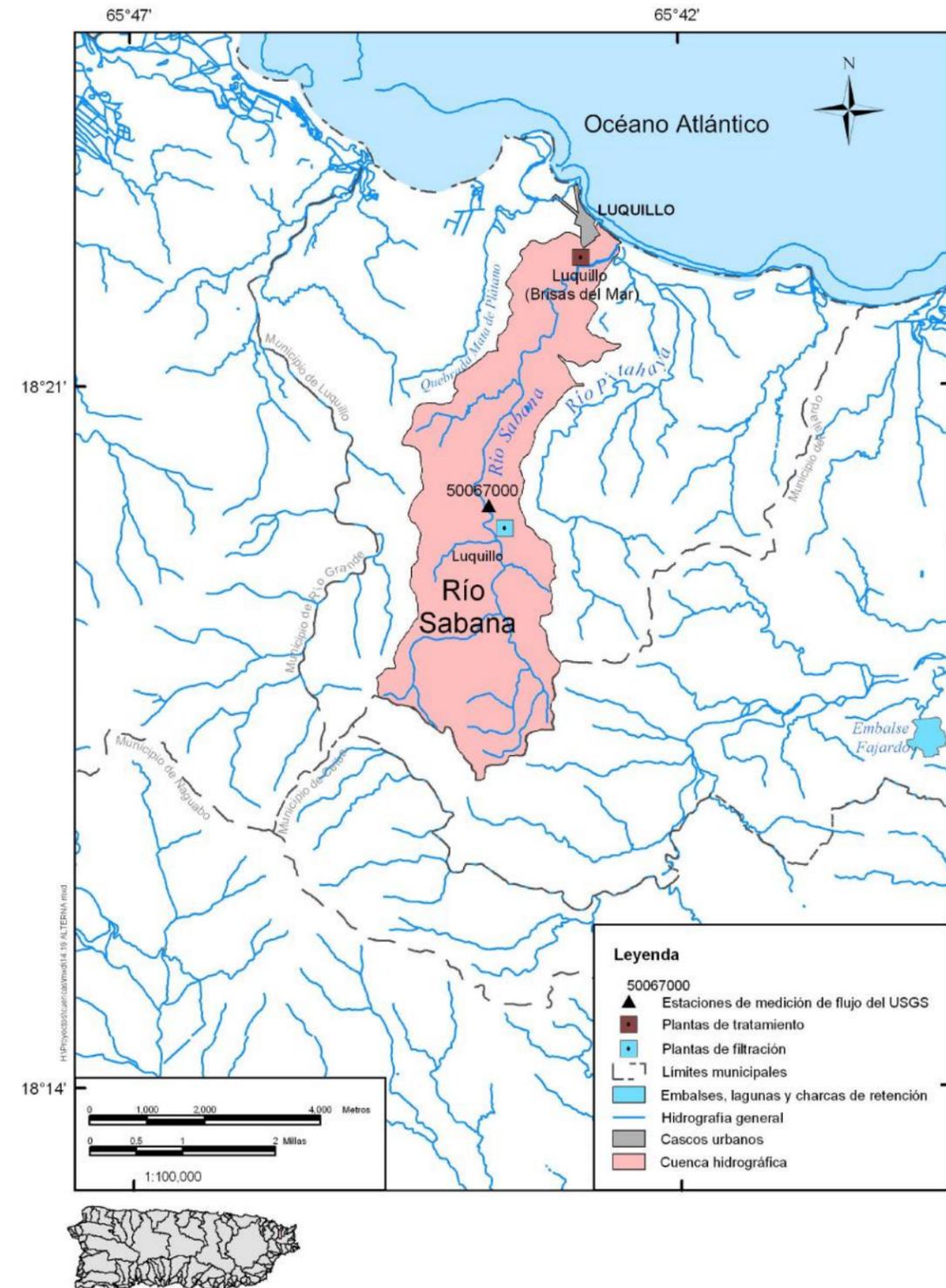


Figura 9-35. Cuenca Hidrográfica del Río Sabana.

La calidad del agua en la cuenca del Río Sabana es generalmente excelente, aunque los datos disponibles son escasos, incluyendo sobre sedimentos suspendidos. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que el 70% del área del río carece de suficientes datos para clasificarlo por su calidad. El 30% restante cumple con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Viviendas y comercios dispersos en la cuenca sin sistemas sanitarios comunales utilizan pozos sépticos, que debido a las rocas volcánicas esencialmente impermeables, contribuyen a descargas sanitarias hacia los cuerpos de agua superficiales, pero estos efectos no son evidentes de los análisis de calidad de agua disponibles. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios.

La Tabla 9-15 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-16. Balance Hidrológico Cuenca Río Sabana.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	45,300
Evapotranspiración	15,510
Flujo	
" promedio anual	36,840
" estiaje (90 días)	3,760
" estiaje (150 días)	4,330
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	4,980
Descargas aguas usadas a ríos	1,140
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-2,240
No contabilizado	-12,140
Por ciento no contabilizado	-27

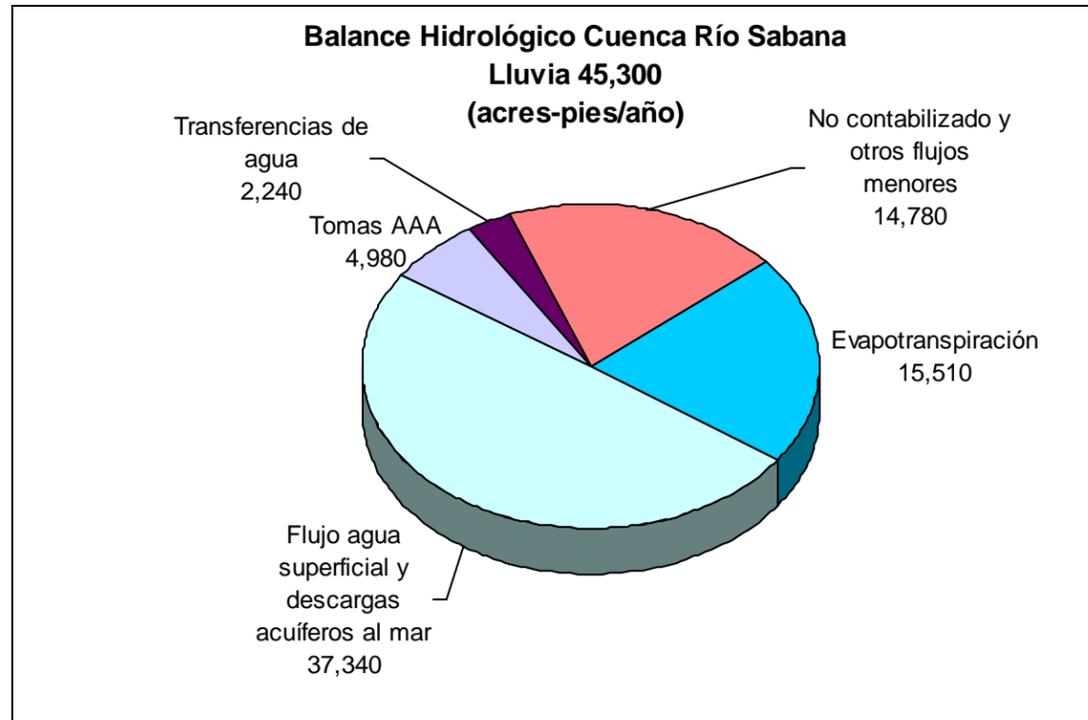


Figura 9-36. Balance hidrológico Cuenca del Río Sabana. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.12.2. Cuenca Río Pitahaya

La cuenca del Río Pitahaya, al este del Río Sabana, es una de varias cuencas menores en la Región Este de Puerto Rico, con un área de 6.7 mi² en el municipio de Luquillo. El río se origina en las laderas noreste de la Sierra de Luquillo, a elevaciones de hasta 1,325 pies, en el municipio de Luquillo. El río discurre alimentado por quebradas menores en la mayor parte de su cauce, fluyendo hacia el valle costanero hasta descargar al Océano Atlántico junto a la desembocadura del Río Sabana, al este de la zona urbana de Luquillo. La cuenca es esencialmente rural, con una población en el 2004 de 4,285 habitantes.

La lluvia en la cuenca es abundante, debido a su ubicación en las faldas de la Sierra de Luquillo y la zona húmeda de El Yunque. En la parte alta de la cuenca el promedio anual de lluvia es de 110 pulgadas, disminuyendo a 98 pulgadas en la costa. El promedio anual en la cuenca es de 100 pulgadas. Durante sequías, el promedio de lluvia disminuye a 70 pulgadas. El promedio de evapotranspiración en la cuenca es 46 pulgadas al año (46% de la lluvia), y de 47 pulgadas en épocas de estiaje.

La geología de la cuenca es similar a la de la Región Este, con rocas de origen volcánico en la parte alta (5 mi²) y depósitos de origen marino en el valle costanero (1.7 mi²). Las rocas volcánicas son generalmente impermeables, mientras que los depósitos marinos costaneros son de poco espesor y baja capacidad de almacenaje de agua, por lo que no forman acuíferos importantes. El uso principal de terrenos en la cuenca son los bosques y los pastos (84%), seguidos de desarrollos urbanos (11%). Las actividades agrícolas son mínimas, principalmente ganado y cultivos de farináceas y frutas en el valle costanero.

El río descarga hacia el Océano Atlántico esencialmente toda la escorrentía generada, ya que no existen tomas significativas de agua en el cauce. La producción promedio de escorrentía en la cuenca es de aproximadamente 28,350 acres-pies por año, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración.

La calidad del agua en la cuenca, incluyendo el transporte de sedimentos, no es conocida, según documentado en el Estudio 305 de la JCA para el año 2003. La densidad de los bosques y el carácter rural de la cuenca con una población limitada, sugieren que la calidad del agua debería ser comparable a la de los ríos Mameyes y Sabana, en sus cercanías y con características similares. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios.

La Tabla 9-16 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

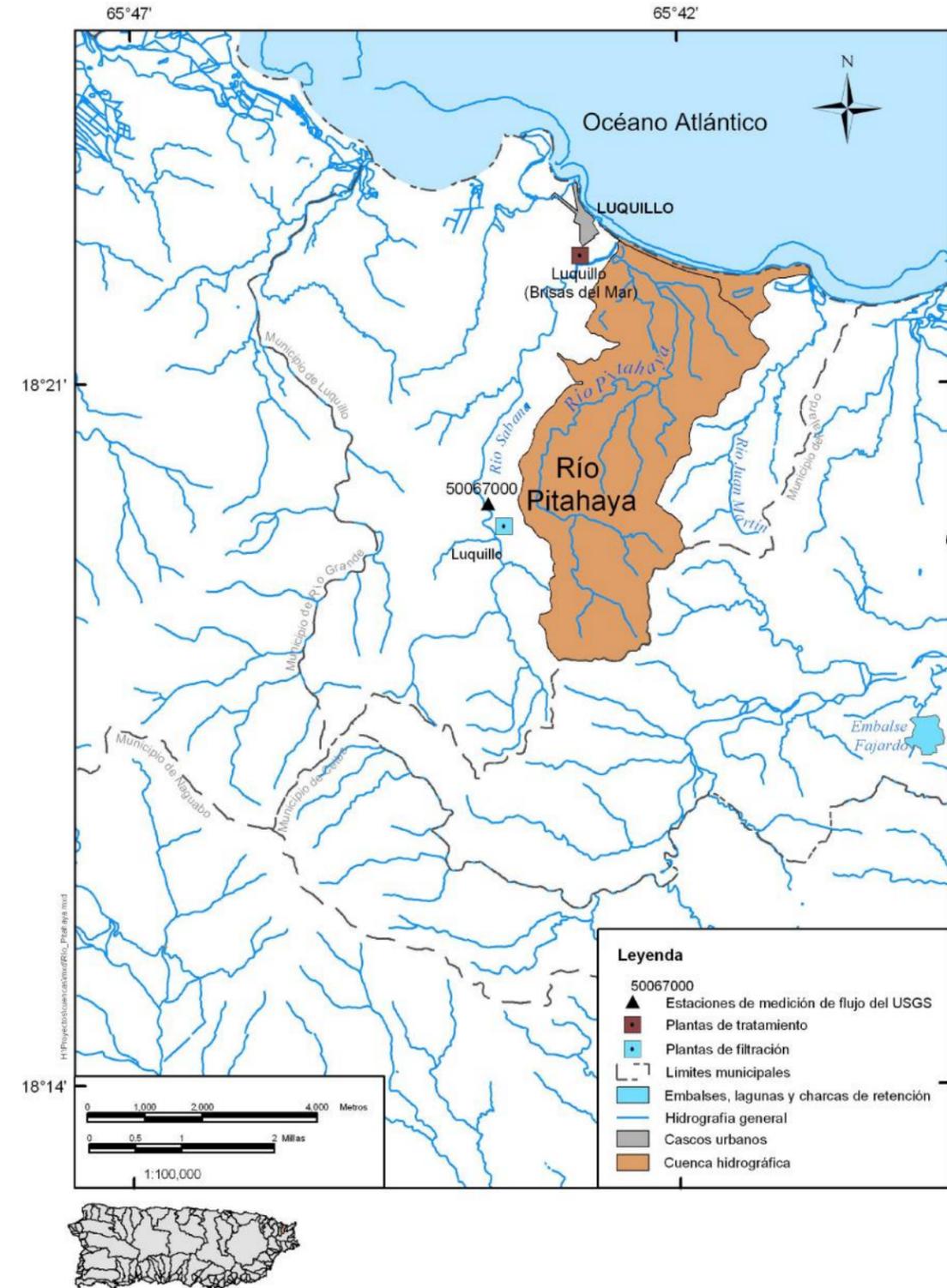


Figura 9-37. Cuenca Hidrográfica del Río Pitahaya.

Tabla 9-17. Balance hidrológico Cuenca Pitahaya.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	35,790
Evapotranspiración	16,550
Flujo	
" promedio anual	28,350
" estiaje (90 días)	3,500
" estiaje (150 días)	4,030
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	-
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	1,790
No contabilizado	-6,320
Por ciento no contabilizado	-18

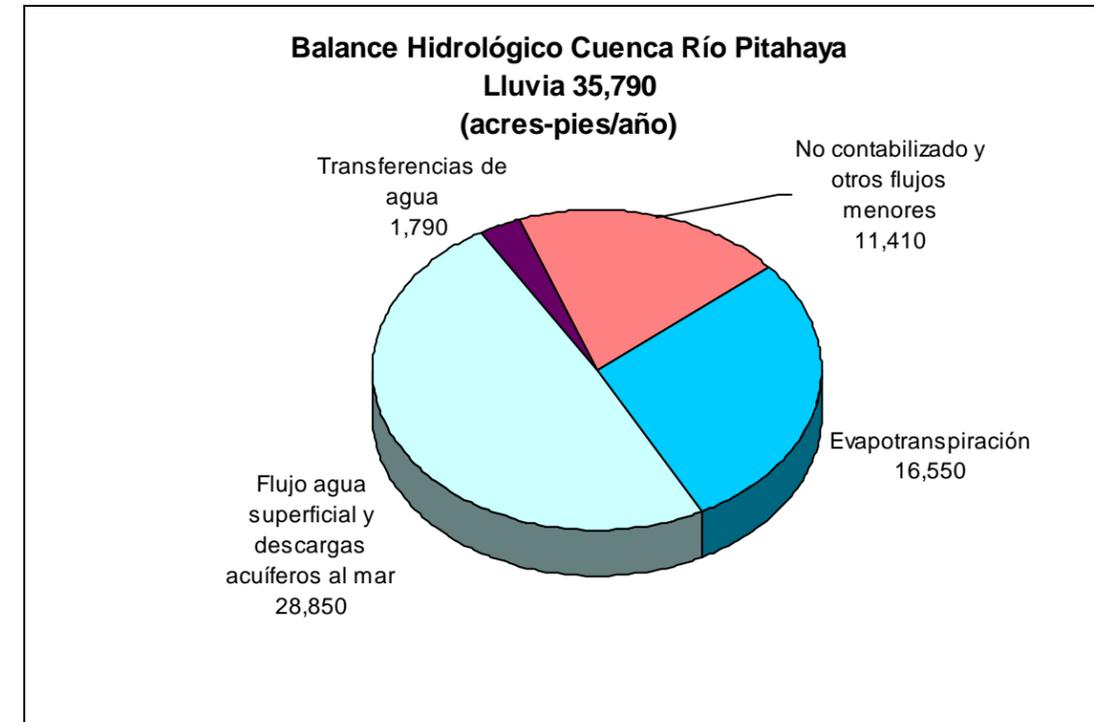


Figura 9-38. Balance hidrológico Cuenca del Río Pitahaya. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.12.3. Cuenca Río Juan Martín

Al este del Río Pitahaya discurre el Río Juan Martín, que drena una cuenca de tamaño menor, con un área de captación de 2.9 mi². El Río Juan Martín se origina en las laderas al este de la Sierra de Luquillo, a elevaciones de hasta 843 pies sobre el nivel del mar. Alimentado por varias quebradas menores, el río fluye hacia el noreste hasta descargar al Océano Atlántico al este de Luquillo. La cuenca es rural, con una población en el 2004 de 875 habitantes en asentamientos dispersos sin cascos urbanos.

El clima de la cuenca es similar a la de las zonas adyacentes que se nutren de la lluvia abundante en la Sierra de Luquillo y sus laderas. El clima es de tipo subtropical húmedo y subtropical muy húmedo hacia el tercio sur de la cuenca. La lluvia promedio anual es de aproximadamente 89 pulgadas, con una variación de 106 pulgadas en la parte oeste a 90 pulgadas en el valle costanero. En periodos de estiaje la precipitación puede disminuir a 62 pulgadas. La evapotranspiración promedio anual en la cuenca se estima en 49 pulgadas (55% de la lluvia), y de 45 pulgadas en épocas de estiaje.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en las laderas y depósitos sedimentarios marinos en el valle costanero. Estas rocas son esencialmente impermeables, sin capacidad de almacenar cantidades significativas de agua. Los depósitos marinos en el valle son de poco espesor y baja porosidad, por lo que no existen pozos de importancia en la cuenca inferior. Los bosques y los pastos ocupan el 92% de los suelos, con un mínimo de actividades agrícolas y residencias dispersas.

Los datos disponibles de escorrentía del Río Juan Martín, afluente principal en la cuenca no son suficientes para determinar con precisión las estadísticas de flujo promedio al mar. Utilizando correlaciones con cuencas adyacentes, el DRNA estima que el río descarga un promedio de 9,790 acres-pies por año al mar. No existen tomas significativas de agua en el río ni descargas sanitarias al cauce.

La calidad del agua en la cuenca, incluyendo la concentración de sedimentos, es generalmente desconocida, de acuerdo al Estudio 305 de la JCA para el año 2003. Debido a su condición rural y baja densidad poblacional, es probable que la calidad del agua cumpla con los estándares ambientales locales. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios.

La Tabla 9-17 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

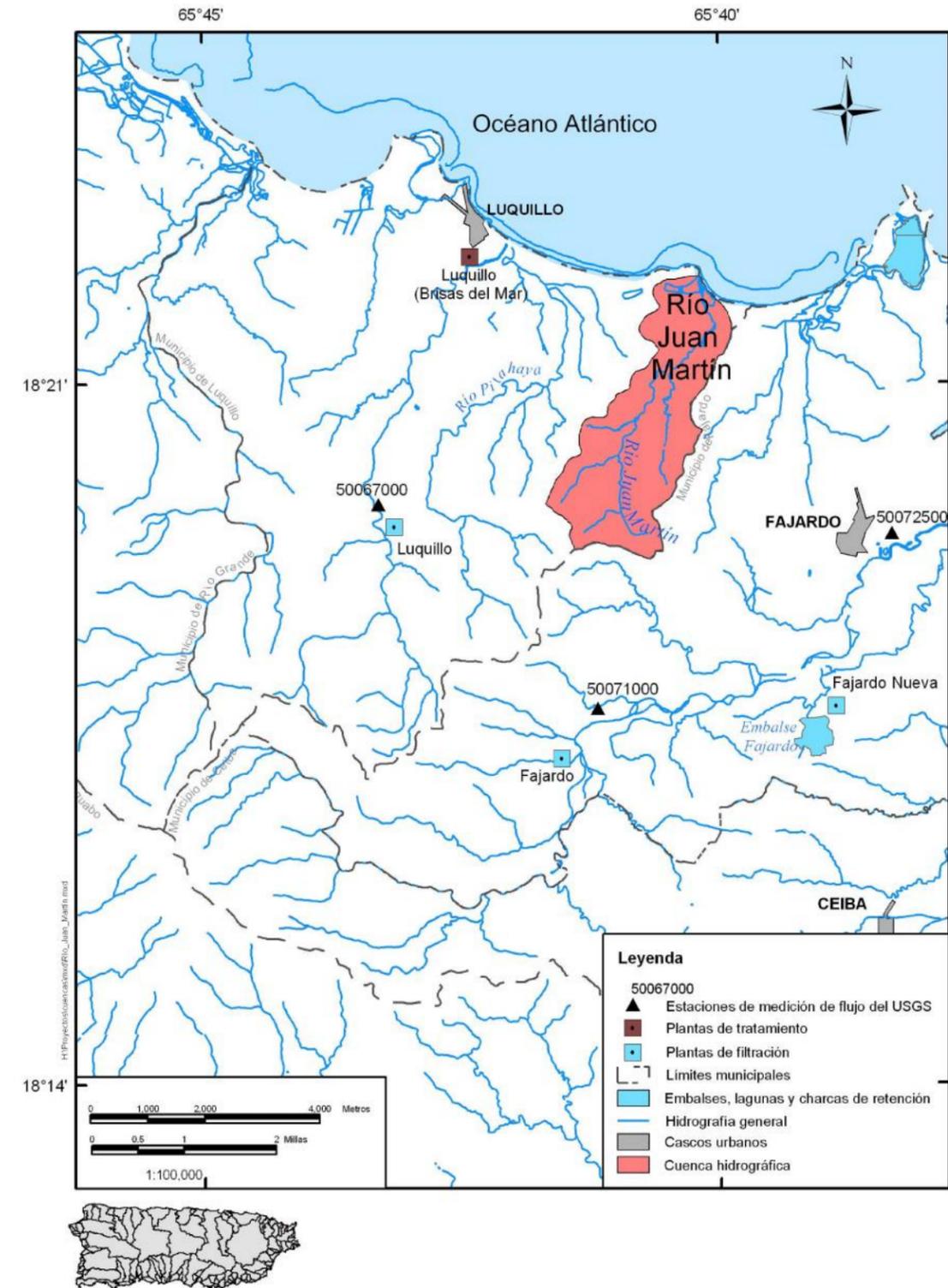


Figura 9-39. Cuenca Hidrográfica Río Juan Martín.

Tabla 9-18. Balance hidrológico Cuenca Juan Martín.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	13,760
Evapotranspiración	7,600
Flujo	
" promedio anual	9,790
" estiaje (90 días)	1,520
" estiaje (150 días)	1,750
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	100
Tomas AAA	-
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-3,150
Por ciento no contabilizado	-22

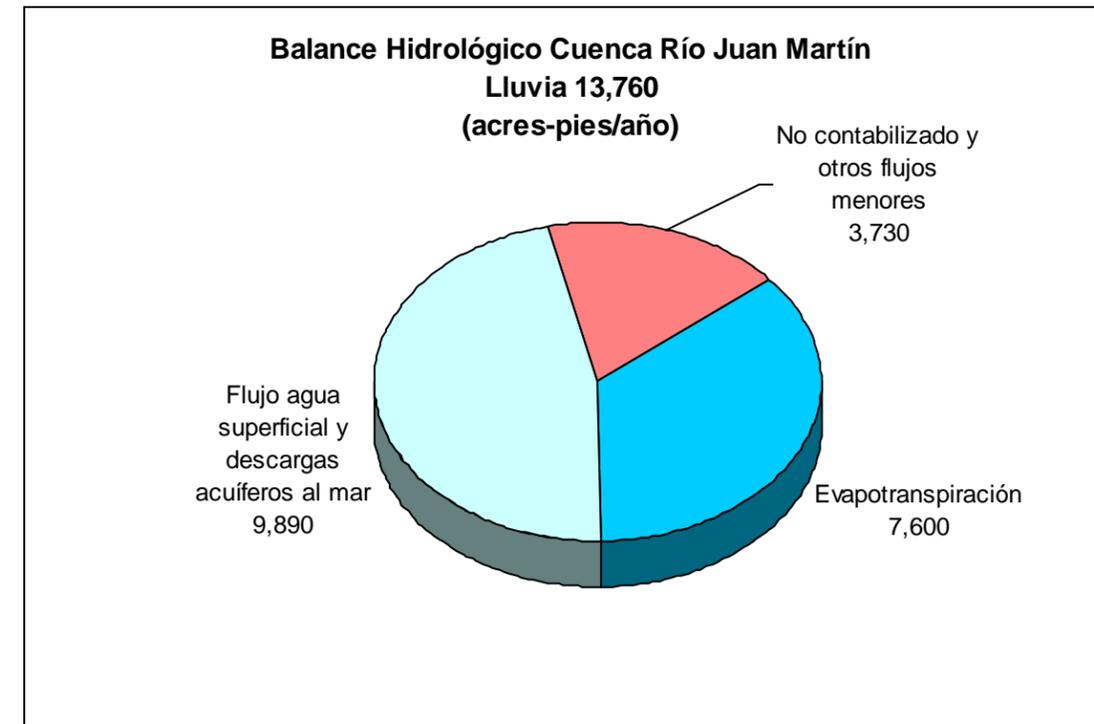


Figura 9-40. Balance hidrológico Cuenca del Río Juan Martín. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.13 Cuenca del Río Fajardo

La cuenca hidrográfica del Río Fajardo es la de mayor tamaño y producción de agua en la Región Este de Puerto Rico. La cuenca ubica en los municipios de Fajardo, Ceiba y Naguabo, con un área de captación de 26.2 mi² que incluye parte del Bosque Nacional del Caribe en la Sierra de Luquillo y El Yunque. El Río Fajardo desciende hacia el este desde una elevación de 2,765 pies sobre el nivel del mar en las cimas que forman El Yunque, fluyendo hacia el Paseo de Vieques. La parte alta de la cuenca está cubierta por los densos bosques conservados en la reserva forestal federal de El Yunque y tierras colindantes. La densidad de los bosques disminuye fuera de la reserva forestal, debido a desarrollos urbanos dispersos y zonas dedicadas a pastos y cultivos. El río es alimentado por numerosas quebradas que contribuyen a un flujo abundante todo el año, incluyendo Sonadora, Juan Diego, Rincón, Aguas Buenas, Florencio y Redonda. La población de la cuenca, estimada en 21,858 habitantes en el 2004, incluye la zona urbana de Fajardo y áreas rurales de este municipio así como de Ceiba y Naguabo.

El clima de la cuenca incluye las seis zonas de vida natural existentes en Puerto Rico. La mayor parte de la cuenca está clasificada en dos zonas climáticas: subtropical húmeda y subtropical muy húmeda. Sin embargo, hacia el oeste predominan áreas clasificadas como subtropical lluvioso, montano bajo lluvioso y montano bajo muy húmedo. En la parte este de la cuenca ha sido identificada un área menor dentro de la clasificación de clima subtropical seco. En general, el clima es dominado por la precipitación abundante en la Sierra de Luquillo y el Bosque Húmedo de El Yunque. En esta zona de la cuenca, vientos húmedos del este que ascienden las laderas de la Sierra de Luquillo inducen aguaceros casi diarios en las cimas. Este efecto positivo en la precipitación sobre las laderas de la Sierra de Luquillo causa una “sombra” de lluvia en la costa, lo que se evidencia en una lluvia promedio significativamente menor en la costa que en las partes altas de la cuenca. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 97 pulgadas, variando desde 145 pulgadas en El Yunque hasta 61 pulgadas en la costa. Los patrones de lluvia son similares al resto de la Isla, con períodos alternados de sequías y lluvias a través del año. Sin embargo, las fluctuaciones en el año son menos pronunciadas que en otras regiones debido al efecto orográfico antes descrito. Durante períodos de sequías extremas, la lluvia anual promedio disminuye hasta 68 pulgadas. La evapotranspiración de los bosques y de las zonas agrícolas consume cerca de la mitad de la lluvia promedio sobre la cuenca, aproximadamente 44 pulgadas. El balance de 53 pulgadas discurre hacia la costa por el Río Fajardo y sus tributarios.

La geología de la cuenca es dominada por las rocas de origen volcánico de la Sierra de Luquillo. En esta zona, rocas de alta densidad y baja porosidad descansan bajo el subsuelo, cuyo espesor es mínimo. La lluvia discurre esencialmente en la superficie, con infiltración mínima, manifestándose en las abundantes quebradas y riachuelos que drena el área. Hacia la parte baja de la cuenca en el valle, el canal del río se ensancha sobre las rocas expuestas, acarreando aluvión y residuos del material volcánico. El valle aluvial se expande al descender el río hacia la vecindad del aeropuerto de Fajardo, aunque los depósitos no son profundos. Hacia la costa predominan depósitos de origen marino mezclados con aluvión descansando sobre las rocas volcánicas.

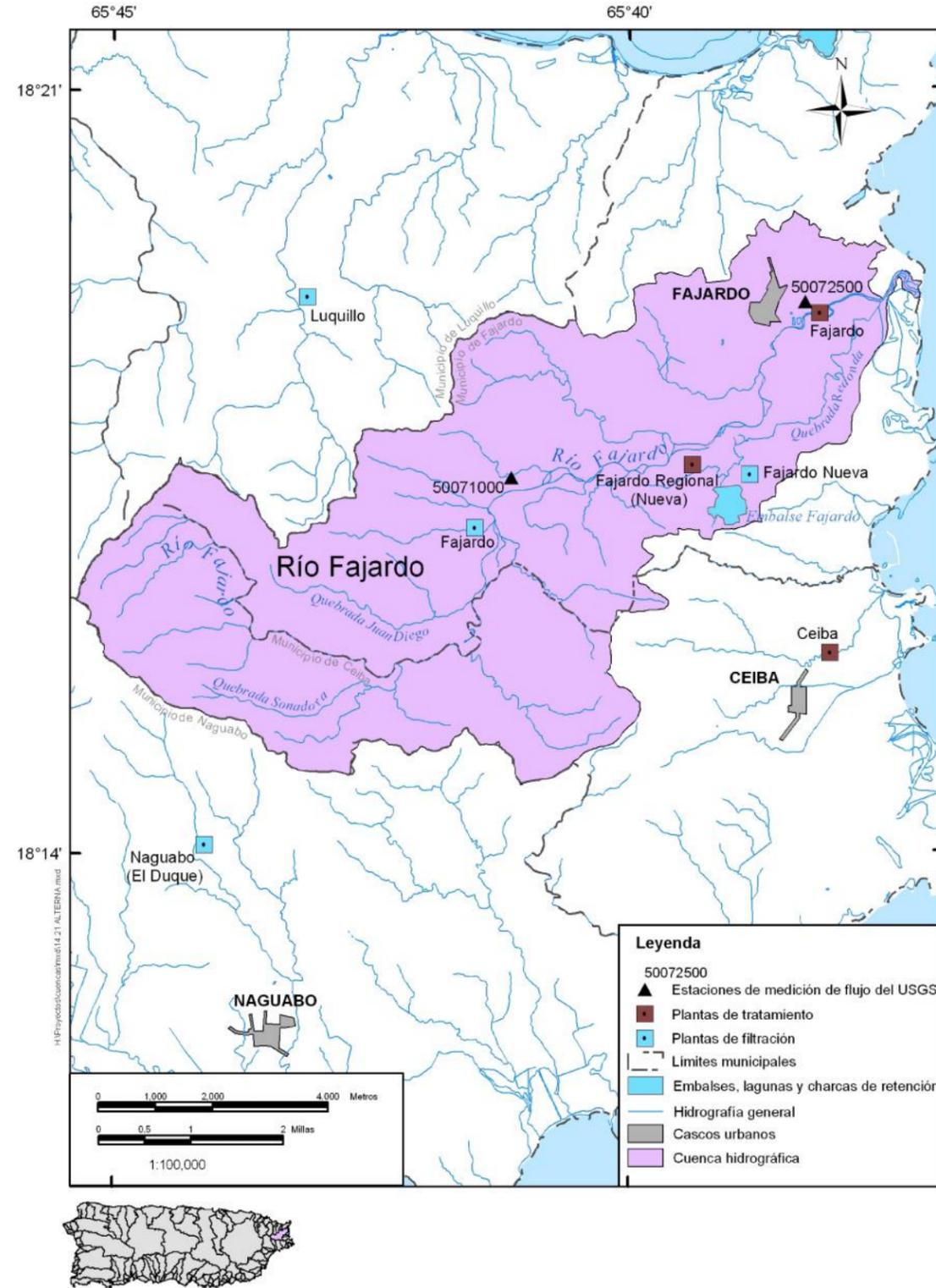


Figura 9-41. Cuenca Hidrográfica del Río Fajardo.

Los suelos son muy variados, aunque predominan mezclas de las series Guayabota, Los Guineos, Humatas y Toa, de poca profundidad y fertilidad moderada. Los bosques y los pastos cubren el 74% de los suelos, seguidos de las zonas agrícolas (15%) y áreas urbanas (10%).

El Río Fajardo es la fuente principal de agua en los municipios de la Región, supliendo esencialmente toda el agua potable producida por la AAA en la zona. La cuenca genera un promedio anual neto de aproximadamente 75,900 acres-pies. Este flujo volumétrico resulta en un rendimiento de 2,897 acres-pies/año/mi². Este rendimiento excede el rendimiento por milla cuadrada de la mayor parte de las cuencas en la Isla, debido a la alta precipitación en la zona de El Yunque. La AAA extrae 7.2 mgd (8,070 acres-pies por año) de agua del río en tres puntos para alimentar las plantas de filtración que suplen agua potable a Fajardo, Ceiba y sectores de Luquillo. No existen otras tomas significativas en el río o sus tributarios, por lo que el balance de la esorrentía (75,900 acres-pies por año) descarga a la Sonda de Vieques al este de la Bahía de Fajardo. Este balance se alterará una vez comience a operar el nuevo acueducto regional y la nueva planta de tratamiento de aguas usadas regional que desarrolla la AFI, como se describe más adelante. El uso de agua para la agricultura está limitado a pequeñas cantidades en el valle aluvial, para cultivo de plantas ornamentales y gramas.

Las aguas subterráneas no constituyen una fuente de agua significativa en la Región Este o en la cuenca del Río Fajardo. En la parte alta de la cuenca los acuíferos no son productivos, debido a la baja permeabilidad de las rocas volcánicas que los forman. Es posible obtener rendimientos altos de pozos que interceptan fracturas en las rocas volcánicas. En el valle costanero, en la vecindad de la Carretera PR-53 y la zona urbana de Fajardo, el espesor de los depósitos aluviales raras veces excede 150 pies. Esto limita la capacidad de almacenaje de agua del acuífero aluvial, resultando en que pozos en la zona produzcan máximos de 30-40 gpm.

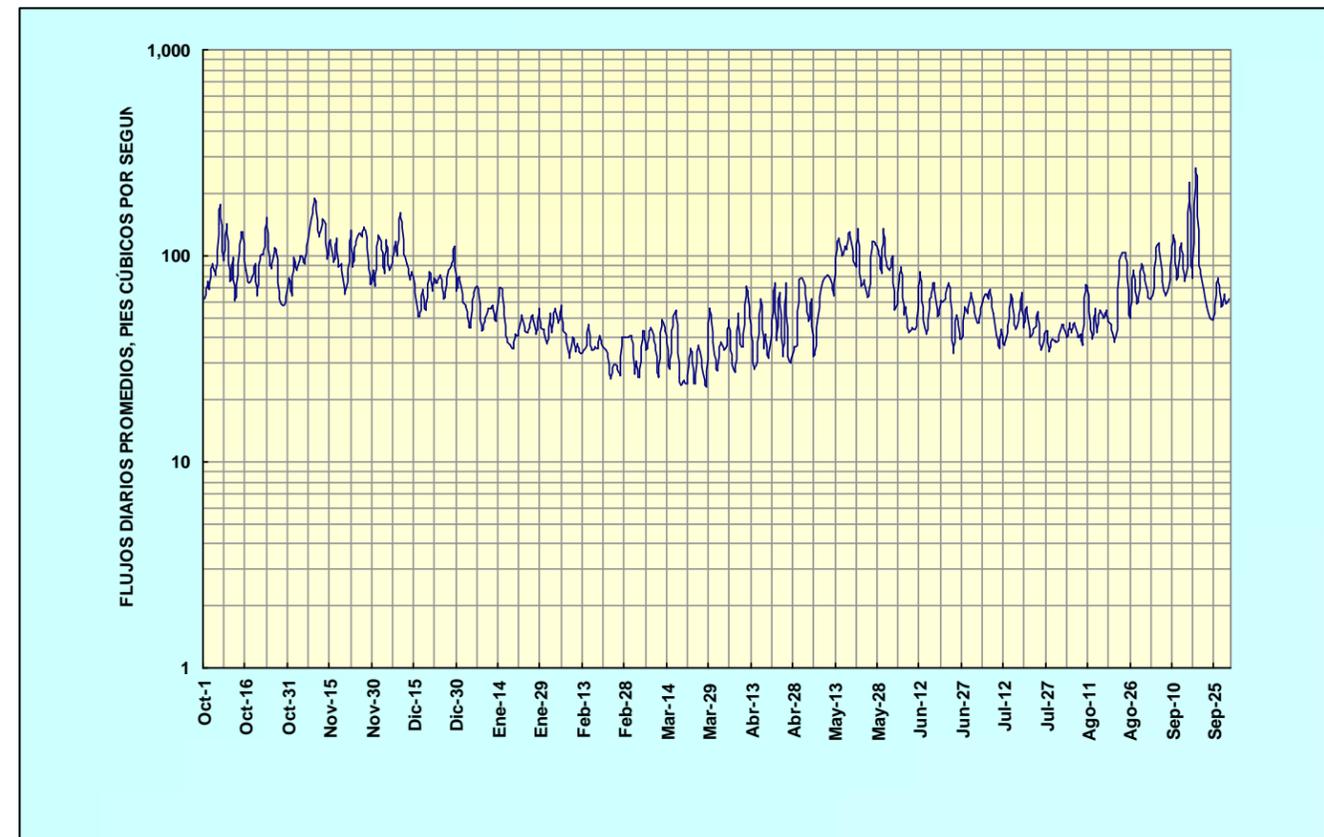


Figura 9-42. Flujos diarios promedio en el Río Fajardo cerca de Fajardo (50071000), 1961-2002.

La AAA, con la asistencia de la AFI, desarrolla en la cuenca el Embalse de Fajardo como parte del Acueducto Regional del Este. Este embalse, con una capacidad de 4,500 acres-pies, está ubicado fuera del cauce del Río Fajardo, en una depresión natural del terreno cerca de la Carretera PR-53 y el aeropuerto, cerrada mediante una represa en tierra y piedra. Adyacente al embalse, la AFI construye una planta de filtración con capacidad inicial de 12 mgd, expansible a 18 mgd. El embalse recibirá agua por gravedad desde una toma en el Río Fajardo varios kilómetros aguas arriba de la represa. La combinación de la toma por gravedad y la ubicación fuera del cauce del río minimizan la sedimentación del embalse, estimándose su vida útil en exceso de 600 años. Una vez completado en el 2004, el embalse alimentará la nueva planta de filtración, la que servirá los municipios de Fajardo, Ceiba, Luquillo y sectores de Río Grande. Cercano al nuevo embalse y planta de filtración, la AFI también desarrolla el Alcantarillado Regional de Fajardo, incluyendo una planta de tratamiento de aguas usadas a nivel terciario, con una capacidad inicial de 6 mgd, expansible a 12 mgd. El efluente de esta planta terciaria podría utilizarse para aumentar el rendimiento seguro del embalse a 18 mgd.

La calidad del agua en la cuenca del Río Fajardo varía con la ubicación y época del año, pero es en general excelente. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 concluyó que los tramos del río donde se dispone de datos adecuados para caracterizar la calidad del agua (50% de los tramos del río), la misma cumplían con las normas ambientales de la agencia. La mayor parte de la cuenca yace en zonas no desarrolladas de la Sierra de Luquillo. Datos históricos obtenidos por el

USGS en la parte alta de la cuenca confirman estas conclusiones. Aun así, los análisis recientes e históricos establecen la presencia de bacterias de origen fecales y nutrientes en concentraciones que generalmente exceden los estándares ambientales. Esto se debe a descargas dispersas en la cuenca de pozos sépticos domésticos y actividades agrícolas. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes al río o sus tributarios que pudieran ser fuentes de contaminantes. No existen datos adecuados para determinar las tasas de transporte de sedimentos en la cuenca, pero generalmente en cuencas cubiertas principalmente de bosques, las tasas de sedimentación son relativamente bajas.

La Tabla 9-18 ilustra un resumen de los componentes del ciclo hidrológico en la cuenca del Río Fajardo para condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-19. Balance hidrológico Cuenca Río Fajardo.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	135,280
Evapotranspiración	61,790
Flujo	
" promedio anual	75,900
" estiaje (90 días)	13,670
" estiaje (150 días)	15,750
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	9,180
Descargas aguas usadas a ríos	2,710
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	1,570
No contabilizado	-3,210
Por ciento no contabilizado	-2

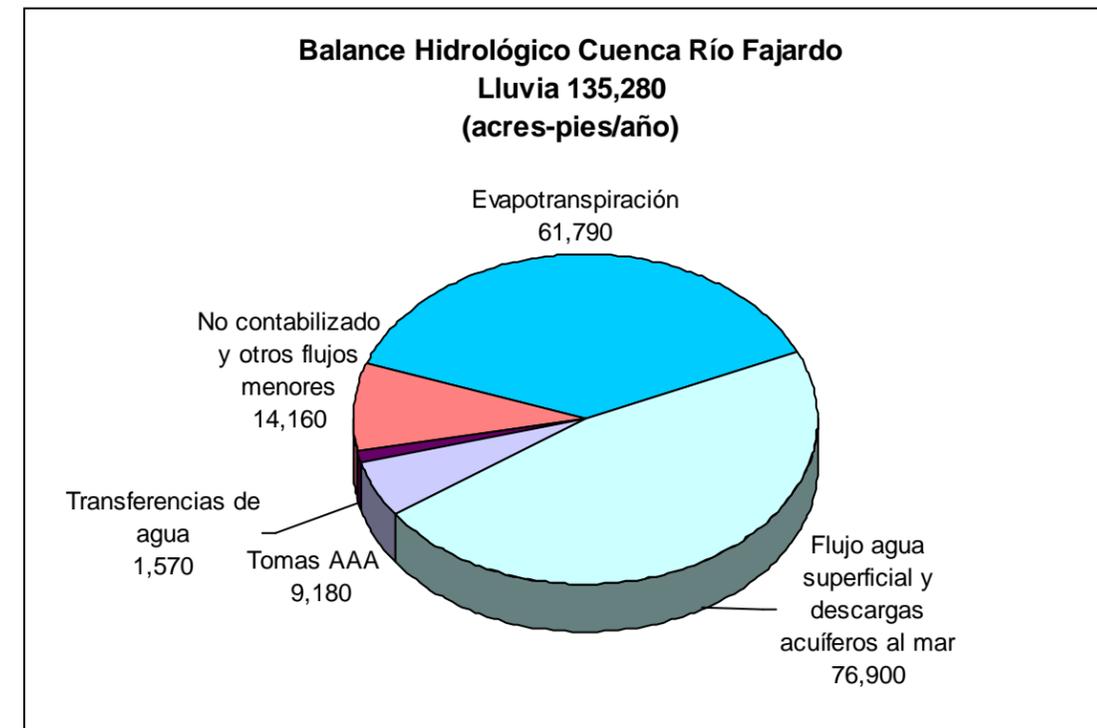


Figura 9-43. Balance Hidrológico Cuenca del Río Fajardo. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.14 Cuenca del Río Blanco

La cuenca del Río Blanco incluye 27.7 mi² en las laderas sur de la Sierra de Luquillo en el Municipio de Naguabo. Esta cuenca drena el área sureste del Bosque Nacional del Caribe (El Yunque), e incluye a los Ríos Sabana, Icacos, Cubuy y Prieto. El Río Sabana se origina a elevaciones de hasta 3,024 pies descendiendo por las laderas sureste de El Yunque, uniéndose al Río Icacos, desde donde fluye como el Río Blanco. Los ríos Cubuy y Prieto fluyen al Río Icacos aguas arriba de la confluencia con el Río Sabana. Otros tributarios del Río Blanco son las quebradas Sonadora, Peña Pobre, Maizales, Vaca y Los Muertos. En la parte alta de la cuenca el río discurre hacia el sur hasta la planta hidroeléctrica de Río Blanco operada por la AEE, donde parte del flujo se desvía hacia la Base Naval de Roosevelt Roads en Ceiba. El río continúa su curso hacia el valle costanero de Naguabo y la toma de agua de la AAA que alimenta la Planta de Filtración de Naguabo, fluyendo luego hasta su desembocadura al Pasaje de Vieques. La mayor parte del terreno de la cuenca es rural, cubierta primordialmente de bosques en la parte alta y pastos en el valle. La población de la cuenca en el 2004 era de 13,160 habitantes.

El clima en la cuenca del Río Blanco es subtropical húmedo en el sur, subtropical muy húmedo en la parte central, y montano bajo muy húmedo en la franja norte, con lluvias abundantes la mayor parte del año debido al drenaje de parte del Bosque Nacional del Caribe. La lluvia en la cuenca ocurre de acuerdo a los patrones generales de variaciones anuales en la Región Norte, incluyendo el período de estiaje a principios de año y la época de lluvias abundantes desde septiembre a diciembre. No obstante, el efecto orográfico de la Sierra de Luquillo en la parte norte de la cuenca ocasiona aguaceros frecuentes a lo largo de todo el año. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 99 pulgadas, variando desde 160 pulgadas en la zona de El Yunque a 82 pulgadas en la costa. En años de baja precipitación el promedio anual disminuye a 69 pulgadas. La evapotranspiración promedio anual en la cuenca es de 44 pulgadas y de 47 pulgadas en sequías. En condiciones promedio anuales, la evapotranspiración consume el 44% de la precipitación en la cuenca. El balance de 55 pulgadas discurre hacia la costa por el Río Blanco y sus tributarios.

La geología de la cuenca está dominada por rocas de origen volcánico en la Sierra de Luquillo y las laderas por donde fluyen los ríos que la drenan. Esta zona incluye 19 mi² de la cuenca, mientras que el balance de 9 mi² incluye depósitos aluviales y marinos en el valle costanero.

Los suelos en la cuenca incluyen principalmente mezclas de la serie Utuado, de profundidad alta y fertilidad moderada. Otras series de suelos predominantes son la *Rough Stony*, la Guayabota y la Pandura, todas ellas en la zona interior de la cuenca. Las series Coloso y Mabí se destacan en la zona cercana a la desembocadura del río. Los bosques y los pastos cubren el 84% del terreno, seguido de desarrollos urbanos (6%) y zonas agrícolas (4%).

El Río Blanco es de gran importancia como fuente principal de agua potable a los municipios de Naguabo, Vieques, Culebra, sectores de Humacao y Las Piedras, y a la antigua base naval de Roosevelt Roads en Ceiba. En la parte alta de la cuenca opera el Sistema Hidroeléctrico del Río

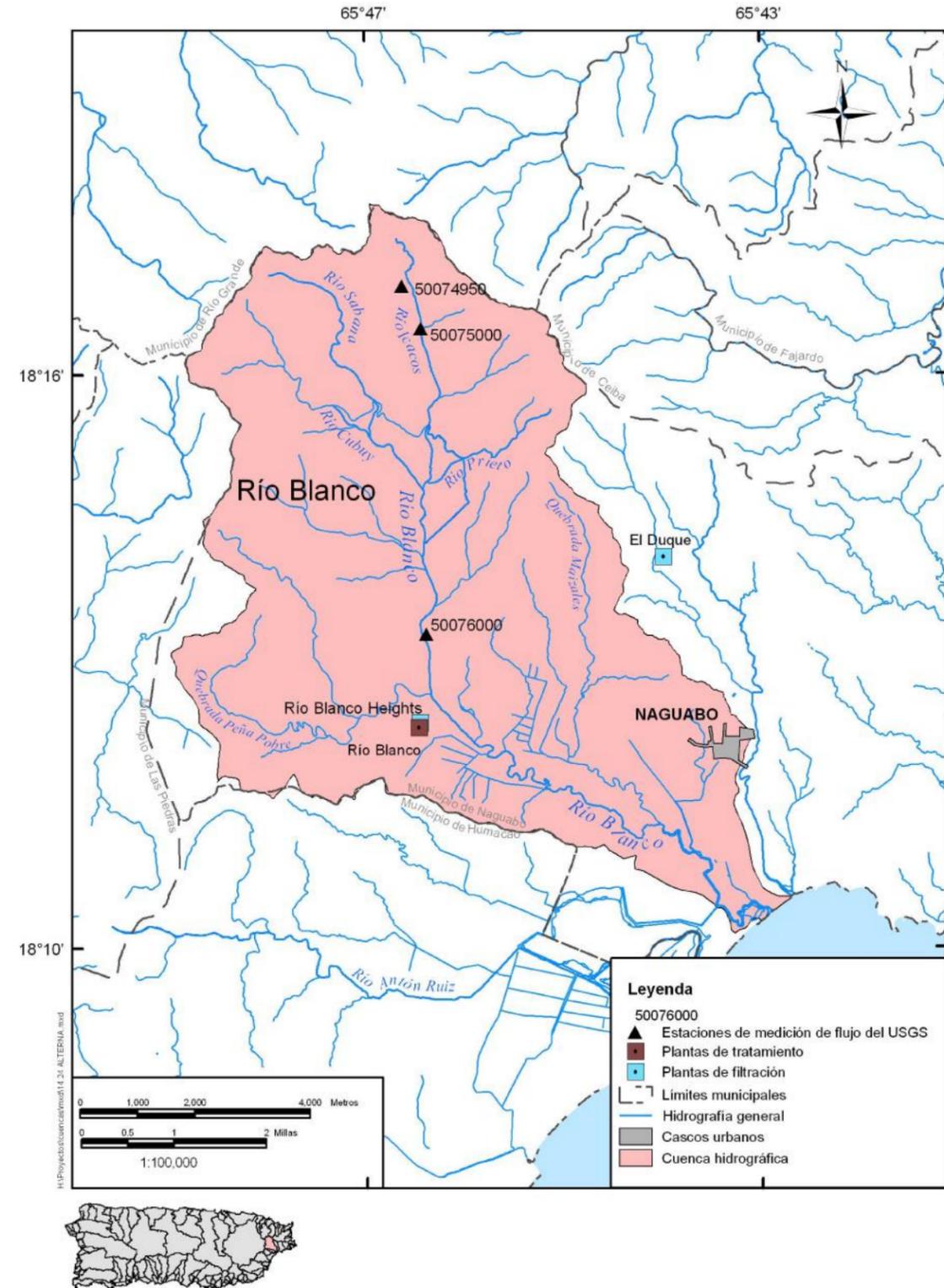


Figura 9-44. Cuenca Hidrográfica del Río Blanco y áreas cercanas.

Blanco, construido por la antigua Autoridad de Recursos de Agua (*PR Water Resources Authority, PRWRA*) en 1928 y operado por la AEE. El sistema incluía inicialmente cinco estructuras en los ríos Cubuy, Sabana, Icacos, Prieto y la Quebrada de las Buruquenas. Actualmente el sistema consta solamente de las estructuras en el Río Icacos con una capacidad instalada de 3.13 MW y una generación actual promedio de 2.50 MW. Aguas abajo de las facilidades de la AEE, parte del flujo en el Río Blanco (1 mgd) es desviado hacia la Roosevelt Roads, para alimentar la PF de esa instalación. Dicha PF redujo sus operaciones parcialmente al cerrarse la base en el 2004, aunque la AAA planifica operarla y continuar produciendo hasta 4 mgd para suplir abastos adicionales a Naguabo y Ceiba. En el valle aluvial cerca de la Carretera #3, la AAA extrae un promedio de 12 mgd del flujo residual del Río Blanco para alimentar la planta de filtración de Naguabo. Desde esta PF, el agua potable fluye hacia Naguabo, sectores de Las Piedras y Humacao. Una tubería expresa submarina transporta aproximadamente un (1) mgd de agua potable desde la planta hasta Vieques. Una segunda tubería submarina transfiere 0.20 mgd desde Vieques hasta la isla de Culebra. La cantidad de agua extraída en la toma de Naguabo varía desde 3 mgd durante sequías extremas hasta 15 mgd durante periodos de escorrentía abundante. Las extracciones de agua del Río Blanco totalizan un promedio de 14,600 acres-pies por año. La escorrentía neta promedio de la cuenca antes de las extracciones indicadas es de aproximadamente 96,880 acres-pies por año. El balance de casi 82,280 acres-pies/año fluye hacia la costa y el mar.

La AAA, con la asistencia de la AFI, planifica capturar parte de la escorrentía del Río Blanco que ahora fluye hacia la Sonda de Vieques mediante un embalse fuera del cauce alimentado por gravedad. Este embalse tendrá una capacidad inicial de 3,810 acres-pies y un rendimiento seguro de hasta 18.0 mgd. Una tubería de 3.2 Km de longitud transportaría el agua del embalse hasta la planta de filtración de Naguabo, la cual está en proceso de expansión de su capacidad actual de 12 mgd a 18 mgd. La vida útil de este embalse, que se comenzaría a construir en el 2005, será de cientos de años gracias a su ubicación fuera del cauce del Río Blanco. El embalse ayudará a estabilizar el abasto de agua a la región, así como a Vieques y Culebra, particularmente durante periodos de sequías.

Las aguas subterráneas no constituyen una fuente de agua importante en la cuenca. Los acuíferos aluviales tienen espesores limitados y la permeabilidad es relativamente baja, aunque en algunos sectores hacia Las Piedras el rendimiento de los pozos puede alcanzar hasta 200 gpm. Actualmente, no se extrae agua subterránea para usos industriales, domésticos ni agrícolas en esta cuenca. La presencia de minerales conteniendo hierro y manganeso en los suelos y rocas del valle limita el uso de agua subterránea en cantidades mayores.

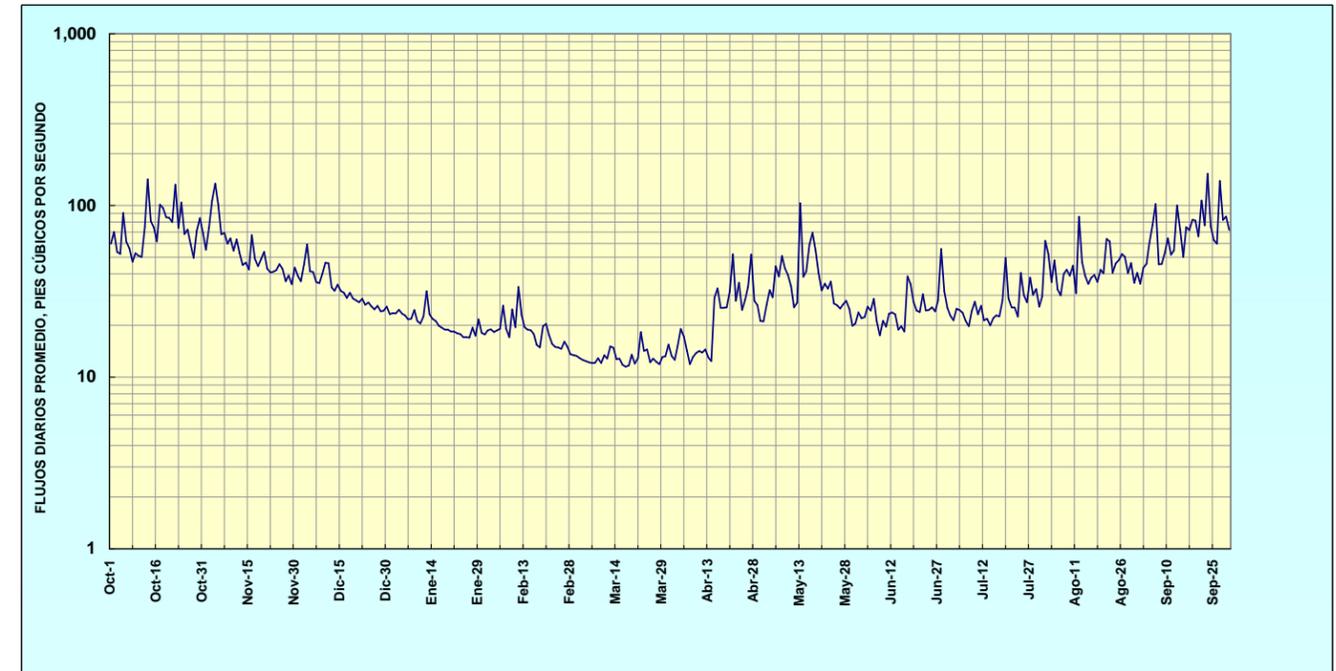


Figura 9-45. Flujos diarios promedio en el Río Blanco cerca de Adjuntas (50141000), 1946-1985.

La calidad del agua en la cuenca del Río Blanco varía a lo largo de su cauce y de acuerdo a la época del año, pero en general es excelente debido a su origen en el Bosque Nacional del Caribe. Aunque el Estudio 305 de la JCA para el año 2003 no dispuso de suficientes datos para una aseveración categórica de la calidad de las aguas en la cuenca y sus ríos, datos históricos del *USGS* documentan que el agua es generalmente de buena calidad. En el valle aluvial abundan residencias equipadas con pozos sépticos y granjas ganaderas, que constituyen fuentes potenciales de contaminación a las aguas subterráneas. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes al río o sus tributarios que pudieran ser fuentes de contaminantes. No existen datos adecuados para determinar las tasas de transporte de sedimentos en la cuenca, pero generalmente en cuencas cubiertas principalmente de bosques, las tasas de sedimentación son relativamente bajas.

Tabla 9-20. Balance hidrológico Cuenca Río Blanco.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	146,300
Evapotranspiración	64,650
Flujo	
" promedio anual	82,280
" estiaje (90 días)	14,450
" estiaje (150 días)	16,660
Extracción pozos	300
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	12,120
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-1,120
No contabilizado	-10,370
Por ciento no contabilizado	-7

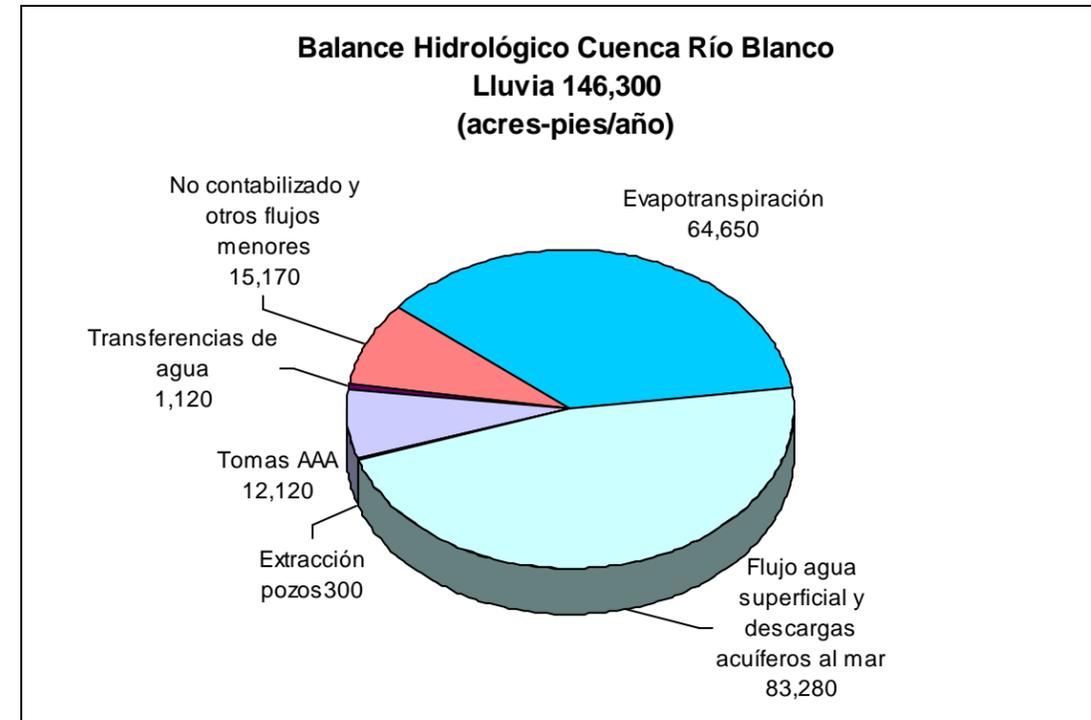


Figura 9-46. Balance Hidrológico Cuenca del Río Blanco. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.15 Cuenca del Río Humacao

La cuenca del Río Humacao incluye un área de 24.8 mi² en la Región Este de Puerto Rico, en los municipios de Humacao y Las Piedras. El Río Humacao se origina en las laderas sur de la Sierra de Luquillo, en una zona de lluvias intensas a elevaciones de hasta 1,210 pies. El río es alimentado por varios afluentes en la parte elevada de la cuenca, incluyendo las quebradas Obispo, Mariana y Cataño, descendiendo hacia el este-sureste y la zona urbana de Humacao a través de zonas de bosques y pastos. Desde Humacao, el río fluye a través del valle aluvial hasta desembocar en el Pasaje de Vieques. La población de la cuenca en el 2004, incluyendo la zona urbana de Humacao, era de 43,170 habitantes.

El clima en la cuenca del Río Humacao es subtropical húmedo y muy húmedo, con variaciones anuales en la lluvia similares al resto de las cuencas en la Región Este, incluyendo el período de estiaje a principios de año y la época de lluvias abundantes desde septiembre a diciembre. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 89 pulgadas, variando desde 99 pulgadas en la parte alta de la cuenca hasta 89 pulgadas en la costa. A pesar de que el río discurre de oeste a este, en esta cuenca se observa el fenómeno de que en la parte sur de la cuenca la lluvia promedio es mayor que en la parte norte debido a su mayor elevación (93 pulgadas versus 73 pulgadas, respectivamente). La parte más elevada de la cuenca se halla hacia el suroeste de la misma, propiciando lluvias máximas hacia esta zona. En años de sequías la precipitación promedio anual en la cuenca puede disminuir hasta 62 pulgadas. La evapotranspiración consume el 55 % de la precipitación anual (49 pulgadas), lo que se reduce a 45 pulgadas en años de estiaje. Lluvias extremas en la zona montañosa pueden inducir crecientes de gran magnitud en el río que inunda una gran parte del valle costanero. En 1960, lluvias de hasta 25 pulgadas en 24 horas en la cuenca resultaron en inundaciones en el valle que causaron la muerte a 110 personas (Barnes and Bogart, 1961).

La geología superficial de la cuenca es dominada por rocas de origen volcánico en la zona montañosa y depósitos sedimentarios aluviales y marinos en el valle hacia la costa. Los suelos principales son mayormente mezclas de series Pandura, predominantes en la mitad oeste de la cuenca, de profundidad y fertilidad moderadas. Las series Humacao, Maunabo y Sabana se identifican en la mitad oriental de la cuenca. Los usos principales de los terrenos incluyen los bosques y los pastos (65% de la cuenca), seguido de zonas agrícolas y urbanas. La ciudad de Humacao es el centro urbano principal.

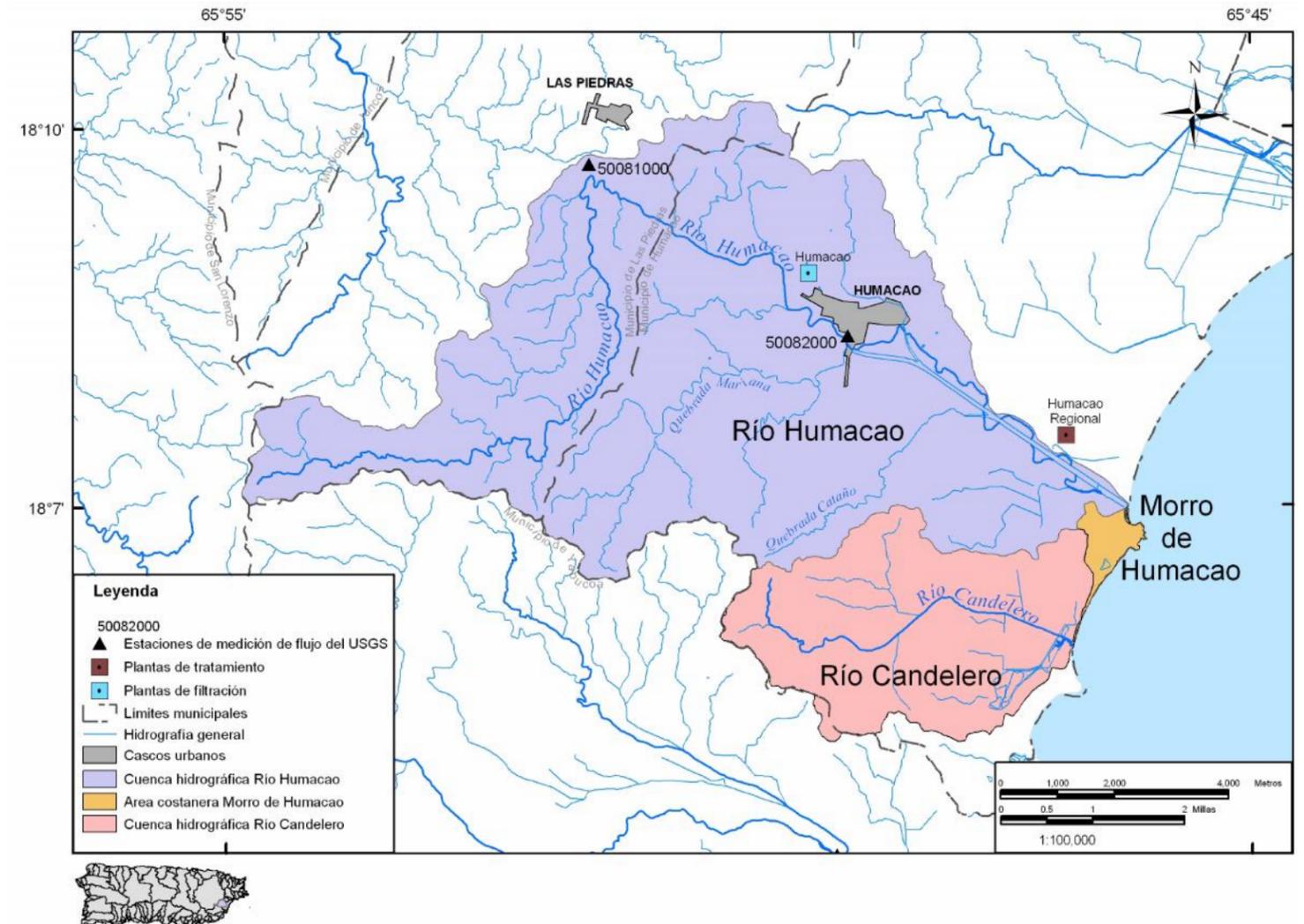


Figura 9-47. Cuenca Hidrográfica del Río Humacao.

El Río Humacao es la fuente principal de agua potable en los municipios de Humacao y sectores Las Piedras y Yabucoa. La cuenca genera un promedio anual de escorrentía neto de 63,280 acres-pies. La AAA extrae un promedio de 7,850 acres-pies por año del río para alimentar la planta de filtración de Humacao, ubicada aguas arriba de la zona urbana. Esta planta también recibe 3 mgd (3,363 acres-pies por año) desde el Río Guayanés en Yabucoa, produciendo hasta 7 mgd de agua potable.

Los recursos de agua subterráneos en la cuenca son una fuente moderada de agua para usos públicos e industriales. En el 1985, la AAA extrajo aproximadamente 0.13 mgd mediante pozos profundos en la vecindad de la zona urbana de Humacao. En el 2002, la AAA no produjo agua subterránea para abasto público y las industrias en la zona promediaron 0.12 mgd de pozos profundos en la vecindad de la zona urbana. El uso de agua subterránea para propósitos comerciales fue de 0.03 mgd en el 2002. Los depósitos aluviales y marinos en el valle hacia la costa forman un abanico que en zonas alcanza hasta 160 pies de espesor, con pozos que rinden hasta 100 gpm (Graves, 1989). La presencia de minerales conteniendo hierro y manganeso limita la utilización de las aguas subterráneas aún en las zonas de rendimiento moderado.

a que estas fuentes dispersas sean la fuente principal de contaminantes. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes al río o sus tributarios que pudieran ser fuentes de contaminantes. Las aguas sanitarias generadas en la zona urbana de Humacao y en desarrollos urbanos en la zona rural conectados a colectores laterales, son descargadas a la Planta Regional de Tratamiento de aguas usadas operada por la AAA. Esta planta provee tratamiento secundario avanzado a un promedio diario de 5.6 mgd de aguas sanitarias generadas en la cuenca, descargando mediante un emisario submarino al mar. No existen datos adecuados para determinar las tasas de transporte de sedimentos en la cuenca, pero generalmente en cuencas cubiertas principalmente de bosques, las tasas de sedimentación son relativamente bajas.

La Tabla 9-20 ilustra un resumen de los componentes del ciclo hidrológico en la cuenca del Río Humacao para condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

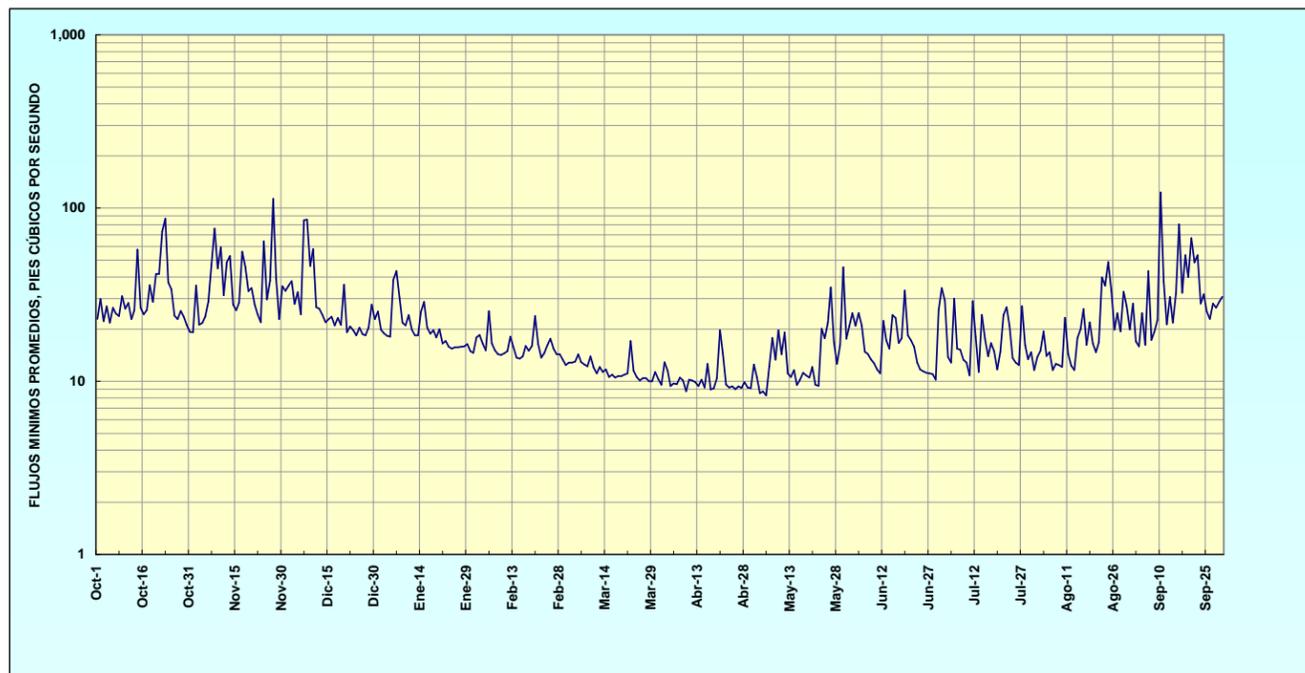


Figura 9-48. Flujos diarios promedios en el Río Humacao en Las Piedras (50081000), 1974 – 2002.

La calidad del agua en la cuenca del Río Humacao aparenta estar afectada adversamente por descargas sanitarias y agrícolas. Datos de la calidad del agua en el río provenientes del Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establecen que el 46.6% de los segmentos del río estudiados no cumplen con los estándares ambientales de la agencia para concentraciones de bacterias de origen fecal y nutrientes. La ubicación en la zona rural de la mayor parte de la cuenca contribuye

Tabla 9-21. Balance hidrológico Cuenca Río Humacao.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	117,370
Evapotranspiración	64,700
Flujo	
" promedio anual	63,280
" estiaje (90 días)	12,940
" estiaje (150 días)	14,910
Extracción pozos	5,600
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	3,900
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	5,740
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-21,750
Por ciento no contabilizado	-19

^a – emisario submarino, transferencia de agua fuera de la cuenca.

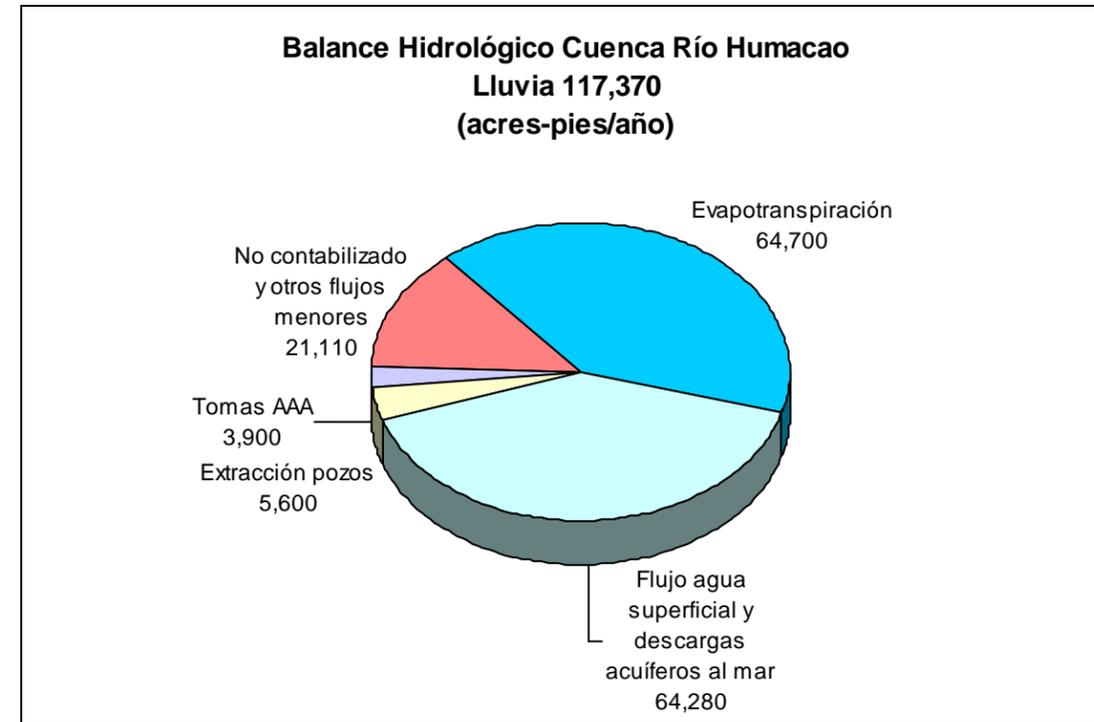


Figura 9-49. Balance hidrológico Cuenca del Río Humacao. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.16 Cuenca del Río Guayanés

La cuenca del Río Guayanés incluye un área de captación de 39.2 mi² en la Región Sureste de Puerto Rico, en el municipio de Yabucoa. El Río Guayanés desciende de elevaciones de hasta 1,633 pies por las laderas sureste de la Cordillera Central hacia un valle aluvial estrecho en la planicie costanera, desembocando en la Bahía de Yabucoa. Cuatro tributarios importantes contribuyen a aumentar el flujo del río en su paso hacia la costa, incluyendo los ríos Prieto, Arenas, Limones e Ingenio, así como las Quebradas Alejandro, Guayabo, Cortadera y Aguacate. La antigua Central Azucarera Roig yace abandonada aguas abajo de la confluencia del cauce principal con el Río Limones en la entrada del valle aluvial. Aguas abajo de la Central Roig, el Caño Santiago drena parte de los terrenos anegadizos del valle aluvial, descargando también a la bahía al este del Río Guayanés. La Bahía de Yabucoa incluye un puerto artificial, excavado en la década de 1960, con una longitud de 2,000 pies tierra adentro en el valle aluvial al oeste de la desembocadura del Río Guayanés. Este puerto permite el anclaje de barcos tanqueros que sirven la refinería de petróleo que ubica cerca de la desembocadura del Río Guayanés en la bahía. La cuenca es primordialmente rural, excepto por la zona urbana de Yabucoa, ubicada al oeste de la desembocadura del Río Guayanés. Cultivos de vegetales y frutas abundan en las laderas, mientras que pastos y ganado predominan hacia el valle. Los cultivos de caña de azúcar desaparecieron en la última década. La población de la cuenca en el 2004 era de aproximadamente 23,940 habitantes.

El clima en la cuenca del Río Guayanés es primordialmente subtropical húmedo. La parte oeste de la cuenca incluye sectores de clima subtropical muy húmedo, con variaciones anuales en la lluvia similares al resto de las cuencas en la Región Este. Estas variaciones incluyen el período de estiaje a principios de año y la época de lluvias abundantes en mayo y desde septiembre a diciembre. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 91 pulgadas, variando desde 87 pulgadas en las laderas de la Cordillera Central a 78 pulgadas en la costa. En la parte alta de la cuenca en la Cordillera Central en el sector denominado Colonia Laura, la lluvia promedio anual excede 100 pulgadas. Los efectos orográficos del viento en las laderas de la cordillera son evidentes en aguaceros y tronadas vespertinas frecuentes en la época de lluvia. Esta zona es también uno de los puntos en la Isla donde por donde más frecuentemente penetran los huracanes y tormentas tropicales. La zona ha sido devastada por varios de estos fenómenos en este siglo. En años de estiaje la precipitación promedio anual puede disminuir a 64 pulgadas. La evapotranspiración promedio anual consume aproximadamente el 54% de la lluvia sobre la cuenca (49 pulgadas en años normales y 46 pulgadas en años de sequías severas). El DRNA estima que aproximadamente 9 pulgadas (4,075 acres-pies por año) de lluvia se infiltran al acuífero, resultando en un balance neto de escorrentía de 113,020 acres-pies.

La geología de la cuenca es dominada por rocas de origen volcánico en la Cordillera Central y depósitos sedimentarios no consolidados en los cauces de los ríos y el valle costanero. Las rocas en la zona volcánica incluyen elementos del Batolito de San Lorenzo, con preponderancia de granodiorita y rocas areniscas meteorizadas similares, cubriendo aproximadamente 29 mi². La desintegración con el tiempo de estas rocas resulta en la abundancia de arena en los suelos y en el cauce de los ríos y quebradas al oeste de la cuenca. Los depósitos sedimentarios no

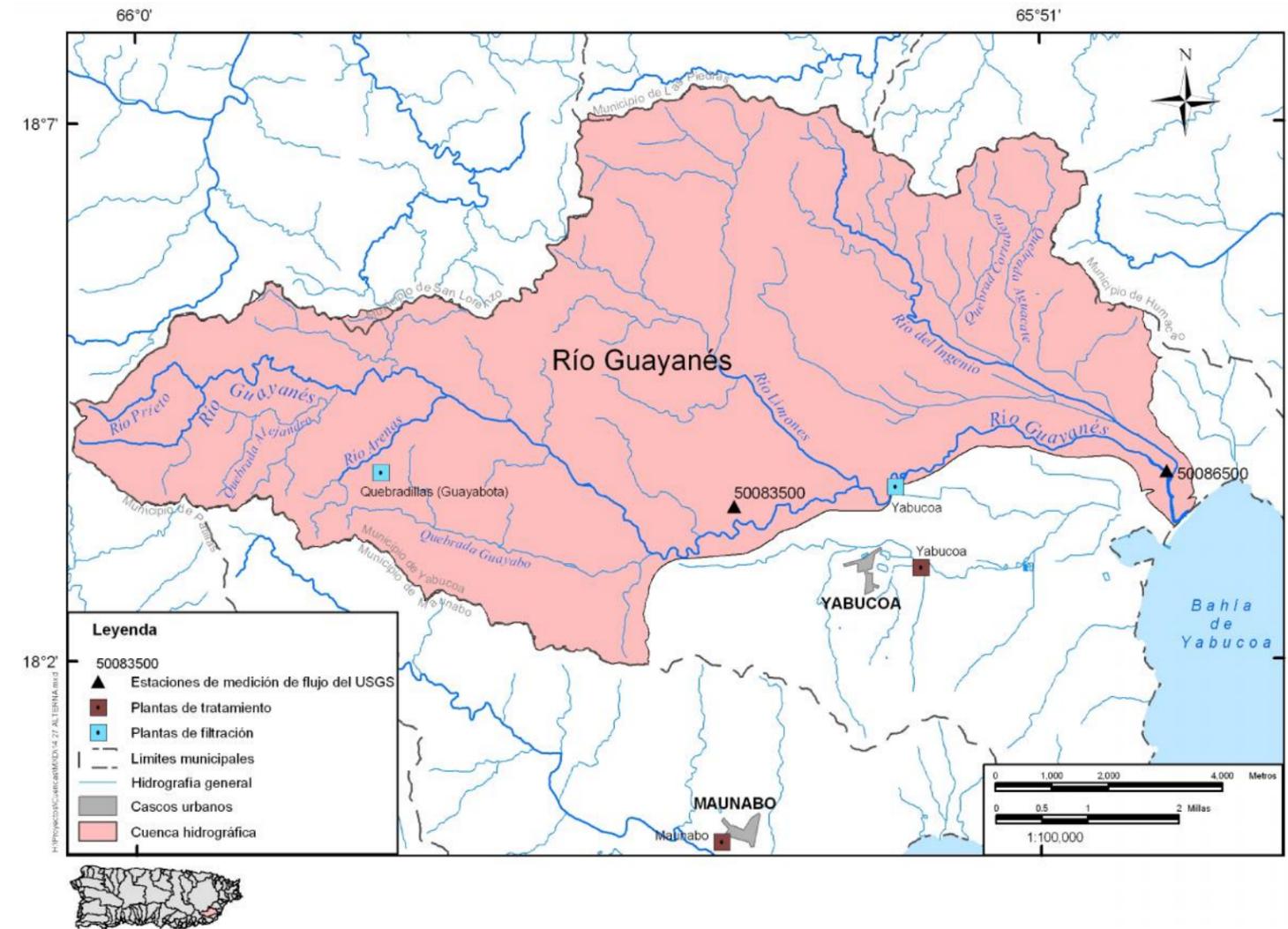


Figura 9-50. Cuenca Hidrográfica del Río Guayanés.

consolidados incluyen aluvión y arena transportados por el Río Guayanés y sus tributarios, formando el valle aluvial, con un área de aproximadamente 9.8 mi².

Los suelos principales incluyen primordialmente mezclas de las series Pandura, de profundidad moderada y fertilidad limitada. Los bosques y los pastos cubren el 72% del terreno, seguidos de zona agrícola (21%) y zonas urbanas (6%).

El Río Guayanés provee la mayor parte del agua que se utiliza en el Municipio de Yabucoa, así como abastos adicionales a la zona de Humacao. La AAA opera una toma en el Río Guayanés que alimenta la PF de Yabucoa, extrayendo un promedio de 0.5 mgd (560 acres-pies por año). Extracciones adicionales menores (0.08 mgd, Quebradillas-Guayabota) ocurren en varias plantas en otras partes de la cuenca. En la Central Roig, la AAA opera una toma que bombea hasta 3 mgd (3,363 acres-pies) a la PF de Humacao, para suplementar los abastos de agua potable en dicho municipio. Las extracciones de agua por parte la AAA de fuentes superficiales son de aproximadamente 4,013 acres-pies por año, incluyendo el agua transferida a Humacao. El balance de la escorrentía, 113,110 acres-pies, fluye hacia el Mar Caribe. Anteriormente en 1978, el USCOE y SVFG evaluaron el potencial de capturar parte de esta escorrentía mediante la construcción de un embalse en el cauce del Río Guayanés en la vecindad de la Colonia Laura. Este embalse tendría una capacidad aproximada de 20,700 acres-pies, con un rendimiento seguro de 13.7 mgd (Santiago Vázquez, 1983). Análisis recientes por GMA establecieron la viabilidad técnica y económica de este embalse (AFI, 2002).

Las aguas subterráneas en la cuenca suplementan los abastos de agua superficiales, con extracciones promedios anuales de 2.36 mgd. La AAA opera pozos profundos en el valle aluvial que suplen varias comunidades, extrayendo un promedio de 2.57 mgd (2,880 acres-pies por año). La empresa Shell, operadores de la refinería en el Puerto de Yabucoa (hasta finales del 2001 conocida como SunOil Industries), se estima extrae un promedio de un (1) mgd (1,120 acres-pies por año) de agua de pozos en el valle aluvial costanero para los procesos de la facilidad. Aunque los estudios del USGS establecen que el valle tiene el potencial de producir hasta 5 mgd de agua subterránea, su uso está limitado a ciertas áreas debido a la presencia de hierro y manganeso en concentraciones que exceden los estándares locales y federales para agua potable. Existe el potencial de tratar esta agua y aumentar el uso de aguas subterráneas en el valle aluvial.

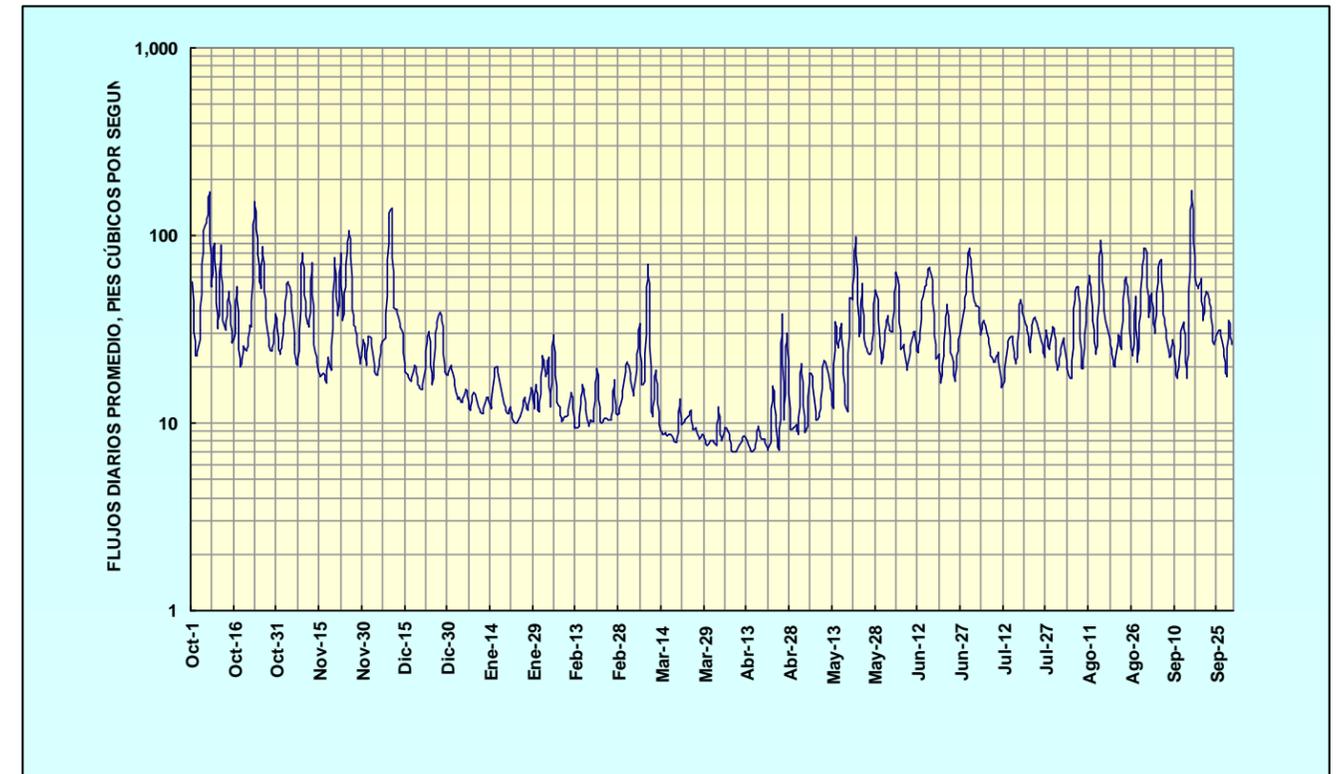


Figura 9-51. Flujos diarios promedio en el Río Guayanés cerca de Colonia Laura (50082800), 1969-1982.

La calidad del agua superficial en la cuenca del Río Guayanés varía con la ubicación y época del año, pero es en general excelente. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que, aunque los datos de calidad de agua son limitados, solamente el 20.7% de los cauces de los ríos no cumplen con los estándares ambientales establecidos para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Estudios del USGS y la JCA establecen que pozos sépticos y actividades agrícolas en la zona son las fuentes principales de estos contaminantes en las aguas superficiales. La dispersión de la mayor parte de la población en la zona rural de la cuenca contribuye a que estas fuentes dispersas suplan la mayor parte de los contaminantes en las aguas superficiales. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes al río o sus tributarios que pudieran ser fuentes de contaminantes. Aunque no existen datos adecuados para determinar las tasas de transporte de sedimentos en la cuenca, la presencia de rocas areniscas y la acumulación de bancos de arena en el cauce de los ríos sugieren tasas potencialmente altas.

La tabla 9-21 ilustra un resumen de los componentes del ciclo hidrológico en la cuenca del Río Guayanés para condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-22. Balance hidrológico Cuenca Río Guayanés.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	191,110
Evapotranspiración	102,000
Flujo	
" promedio anual	113,110
" estiaje (90 días)	20,450
" estiaje (150 días)	23,570
Extracción pozos	4,000
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	2,650
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	936
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-24,740
Por ciento no contabilizado	-13

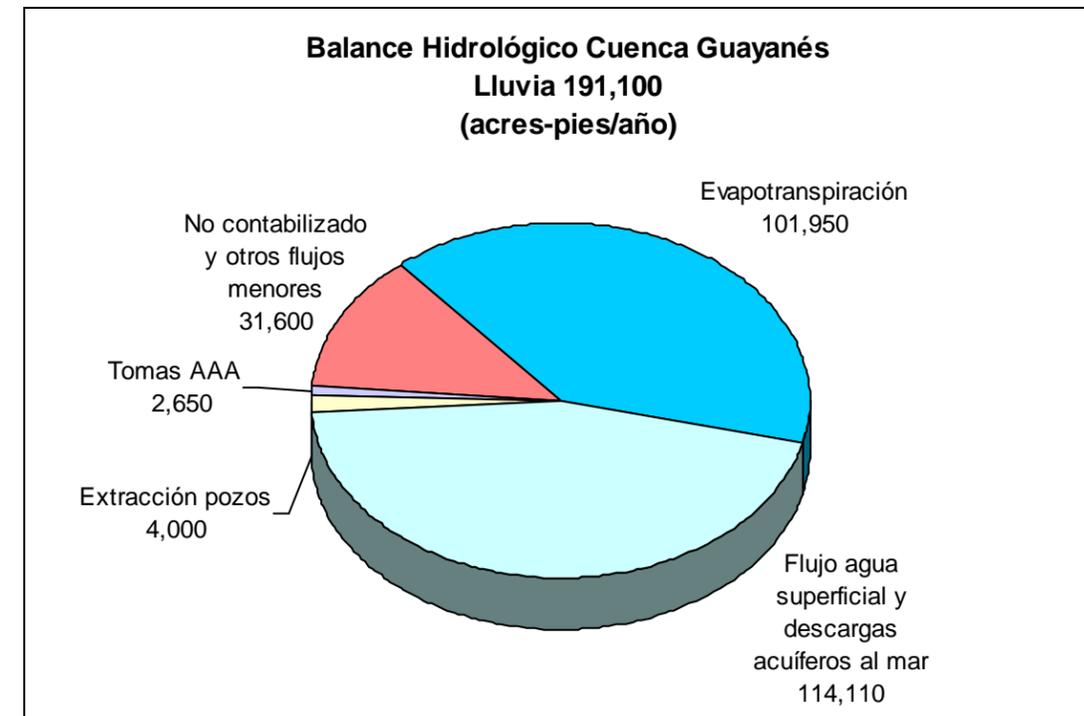


Figura 9-52. Balance hidrológico Cuenca del Río Guayanés. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.17 Cuenca del Río Grande Patillas

La cuenca del Río Grande de Patillas está ubicada en la Región Sureste de Puerto Rico, en el municipio de Patillas y sectores de Arroyo (Figura 1-23). El área de captación de la cuenca en su desembocadura al Mar Caribe es de 29.1 mi², incluyendo parte de las laderas sureste del Bosque Estatal de Carite y el valle aluvial formado por el río. Esta zona se caracteriza por cerros que alcanzan hasta 2,988 pies de elevación con laderas empinadas y bosques densos. El Río Grande de Patillas fluye desde las cimas del Bosque de Carite hacia el sudeste, desde el Barrio Muñoz Rivera de Patillas, hasta los barrios Jagual y Marín, donde las pendientes del terreno se reducen y el valle aluvial del río se ensancha. En esta área ubica el Embalse Patillas, que provee agua a la región para consumo doméstico y riego agrícola, como parte del Distrito de Riego de la Costa Sur, construido y operado por la AEE. Las quebradas de los Barros y de los Colones fluyen desde el este directamente al embalse, contribuyendo escorrentía adicional a la del Río Grande de Patillas. Desde el embalse el agua fluye hacia Guayama y Salinas a través del Canal de Patillas, o es descargada aguas abajo de la represa por el canal natural del río hacia la costa y el Mar Caribe. En 1985 la AEE construyó una unidad generatriz hidroeléctrica (Luis G. Salchis) en el canal aguas abajo del embalse. Sin embargo, la unidad nunca ha sido activada ya que el volumen de agua disponible en el canal no es suficiente para operar eficientemente. La población de la cuenca en el 2004, mayormente rural, era de aproximadamente 7,240 habitantes.

El clima de la cuenca del Río Grande de Patillas es primordialmente subtropical húmedo y subtropical muy húmedo, con lluvias intensas y abundantes en el Bosque de Carite la mayor parte del año. La lluvia varía en la cuenca en forma similar al patrón del resto de Puerto Rico, con un período de sequía relativa de enero a abril, lluvias abundantes en mayo, un segundo período de menor lluvia desde junio hasta agosto, y la época de lluvias intensas hasta diciembre. El promedio anual de lluvia en la cuenca es de 81 pulgadas, variando desde 105 pulgadas en la zona del Bosque de Carite hasta 56 pulgadas en la costa. En años de sequías severas, el promedio anual de lluvia en la cuenca puede reducirse a 57 pulgadas. La evapotranspiración consume el 60% de la lluvia sobre la cuenca, aproximadamente 48 pulgadas anuales (43 en años de sequía). El balance entre la lluvia y evapotranspiración promedios, 33 pulgadas, se transforma en escorrentía o se infiltra al subsuelo.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en la zona montañosa, así como depósitos sedimentarios y aluviales en las partes bajas y el valle costanero. Sobre estas rocas descansan suelos variados principalmente de las series Guineos y Pandura, compuestos de barros, arcillas, limos y residuos volcánicos meteorizados. El 91% de los suelos están cubiertos de bosques o pastos, mientras que las actividades agrícolas, principalmente el cultivo de vegetales y frutas, usan el 4% del terreno.

El Embalse Patillas, construido por la AEE en el 1914, es el recurso hidrológico más importante de la cuenca, proveyendo un promedio de 13.2 mgd (14,796 acres-pies por año) de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales a la zona costanera de la Región Sureste. El embalse tiene una capacidad actual de 10,620 acres-pies (DRNA, 2004) y un rendimiento seguro de

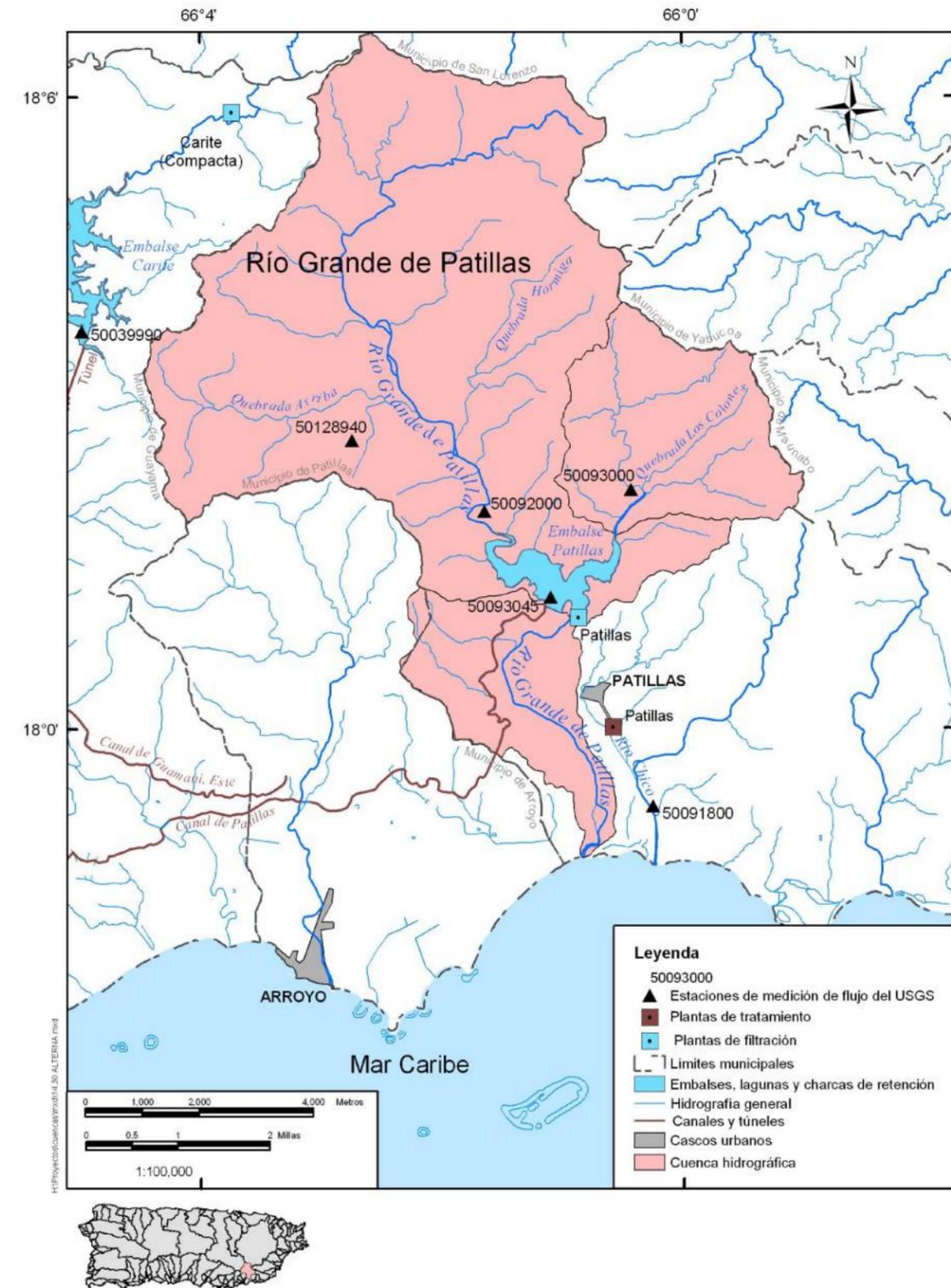


Figura 9-53 Cuenca Hidrográfica del Río Grande de Patillas

aproximadamente 23 mgd (AFI, 2002). El Canal de Patillas discurre desde la represa que forma el embalse hacia el este y la zona de Guayama y Salinas, con una longitud total de aproximadamente 25 millas. La AEE descarga un promedio de 10.6 mgd (11,880 acres-pies) de agua al canal para producción de agua potable en Guayama y riego agrícola. El canal supe agua al Embalse Melanía, desde donde la AAA extrae un promedio de 6.3 mgd para suplir la PF de la AAA de Guayama, la cual supe agua potable a los municipios de Arroyo, Guayama y sectores de Salinas. Esta planta también recibe agua del Embalse de Carite a través del Canal de Guamaní como parte del Sistema de Riego del Sureste. El balance del agua descargada por el Canal de Patillas (4.3 mgd) se usa para riego agrícola, o se vierte o infiltra al subsuelo en las secciones en tierra del canal. La AAA también opera la PF de Patillas en la vecindad del embalse, extrayendo un promedio adicional de 2.6 mgd de agua mediante una toma cerca de la represa.

La calidad del agua en la cuenca y el Embalse Patillas es generalmente excelente, ya que en la zona no existen fuentes significativas de contaminación y la alta densidad de los bosques. Aunque el informe 305 (b) de la JCA establece que no existen datos suficientes para definir la calidad de las aguas superficiales en la cuenca, en la misma no existen fuentes potenciales significativas de contaminación. Datos del USGS establecen que los principales contaminantes en los tramos del río o quebradas incluyen bacterias de origen fecal, nutrientes y sedimentos suspendidos. La tasa de transporte de sedimentos en el río es relativamente alta, acumulándose en el Embalse Patillas. El embalse ha perdido aproximadamente el 25.8% de su capacidad inicial debido a los sedimentos arrastrados por el río de la parte alta de la cuenca. La vida útil restante del embalse se estima en 124 años (DRNA, 1994).

Los recursos de agua subterráneos de la cuenca son moderados, y se concentran en el valle aluvial aguas abajo del Embalse Patillas. En esta zona, depósitos aluviales y de regolito (residuos de rocas volcánicas) con espesores de hasta 200 pies, acumulan cantidades moderadas de agua que suplen hasta 1,000 gpm a pozos profundos. En el 2002 la producción de agua del acuífero en el valle costanero de la cuenca era de aproximadamente 0.6 mgd. La calidad del agua subterránea es generalmente excelente en pozos cercanos al embalse, degradándose por la intrusión salina a medida que los pozos se aproximan a la costa. Las rocas de origen volcánico en la parte superior de la cuenca no forman acuíferos productivos, aunque es posible obtener cantidades moderadas de agua en fracturas.

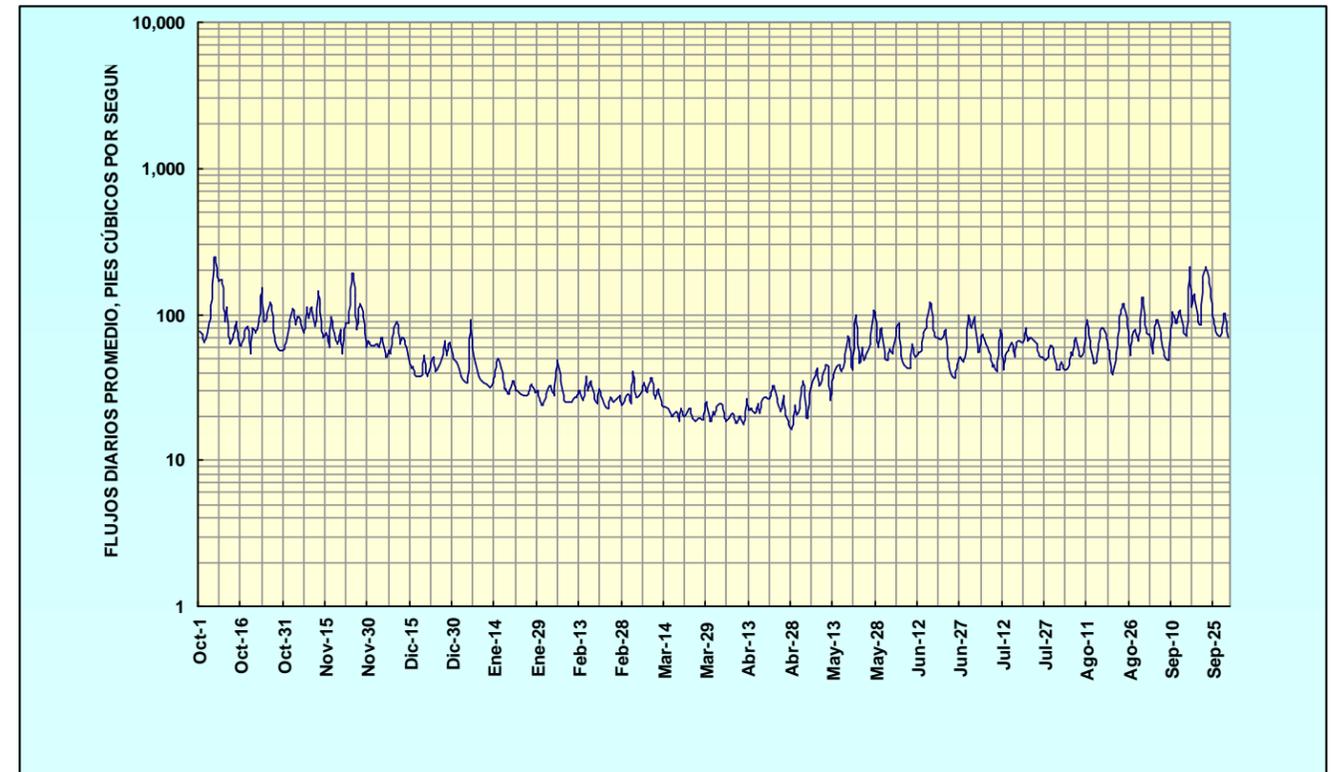


Figura 9-54. Flujos diarios promedio en el Río Grande de Patillas cerca de Patillas (50092000), 1966-2002.

Tabla 9-23. Balance Hidrológico Cuenca Río Grande de Patillas.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	125,840
Evapotranspiración	73,750
Flujo	
" promedio anual	63,170
" estiaje (90 días)	25,780
" estiaje (150 días)	25,780
Extracción pozos	673
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	14,920
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	515
Entregado a fincas	1,880
Transferencias de agua	-14,780
No contabilizado	-43,150
Por ciento no contabilizado	-34

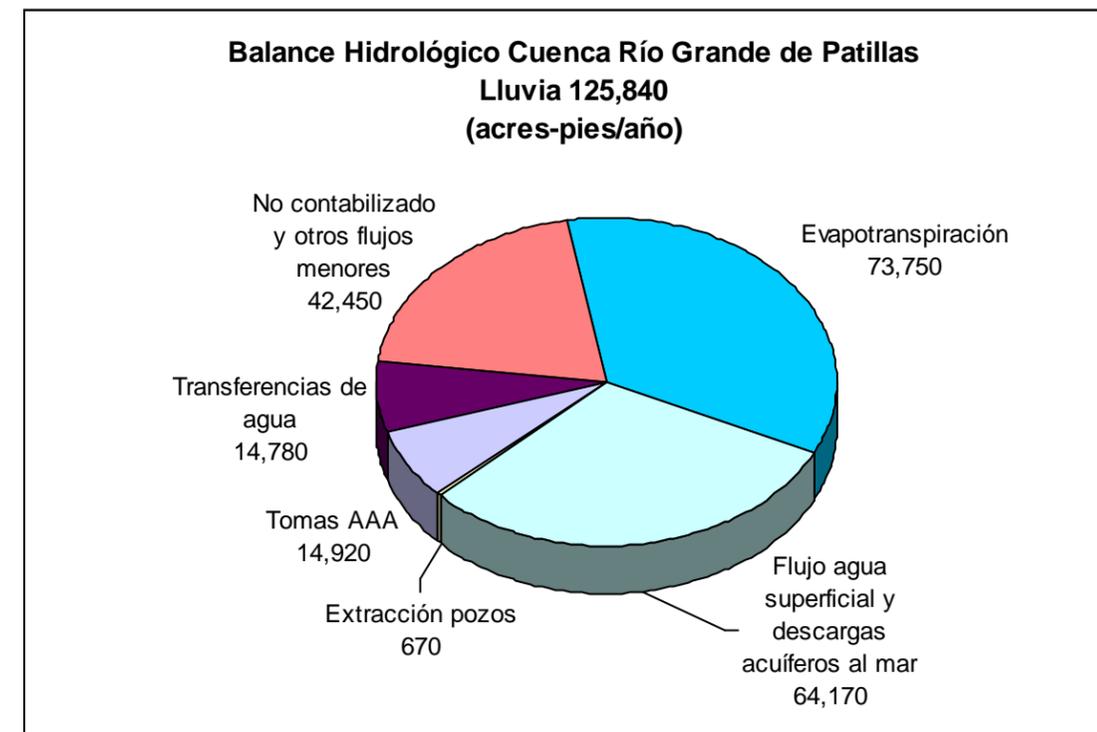


Figura 9-55. Balance hidrológico Cuenca del Río Grande de Patillas. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.18 Cuenca del Río Nigua

La cuenca del Río Nigua incluye 52.8 mi² en los municipios de Aibonito, Cayey, Guayama y Salinas, en la Región Sur de Puerto Rico. El río se forma de varios tributarios en las laderas sur de la Cordillera Central, en la zona montañosa de Aibonito, Cayey y Guayama, a elevaciones de hasta 2,820 pies. En esta zona el Río Jácome desciende desde Aibonito y Cayey hacia el sur, hasta desembocar en el Río Majada, en la parte este de la cuenca. Hacia el oeste, el Río Lapa, alimentado por varias quebradas, fluye hacia el Campamento Santiago hasta desembocar en el Río Majada cerca del Albergue Olímpico en Salinas. Ambos afluentes forman entonces el Río Nigua, el que fluye a través del valle aluvial hacia la zona urbana de Salinas hasta desembocar al Mar Caribe al oeste del pueblo. La cuenca es esencialmente rural, con una población en el 2004 de 11,828 habitantes.

El clima de la cuenca del Río Nigua es generalmente subtropical seco, similar a la Región Sur de la Isla. Una cuarta parte de su extensión territorial, hacia el interior de la cuenca, es de clima subtropical húmedo. La lluvia es escasa durante casi la mitad del año, debido a su ubicación en las laderas sur de la Cordillera Central. El período de sequía se extiende a menudo desde enero hasta agosto, lo que resulta en que la hierba y arbustos se tornen color marrón claro, y el flujo en los ríos en el valle aluvial costanero desaparezca debido a la evaporación e infiltración. La lluvia aumenta en septiembre, cuando las temperaturas descienden y los vientos en el Caribe cambian de dirección promoviendo aguaceros más abundantes en las laderas del sur de la Cordillera Central. Aunque la lluvia promedio anual en la parte elevada de la cuenca, hacia Aibonito y Cayey, es de 78 pulgadas, ésta disminuye a 34 pulgadas en la costa cerca de Salinas. El promedio anual de precipitación en toda la cuenca es de 50 pulgadas, lo que se reduce a 35 pulgadas durante años de sequías severas. Debido a las temperaturas elevadas en la zona, la evapotranspiración puede alcanzar hasta 39 pulgadas en años de lluvia promedio (78% de la lluvia), y 35 pulgadas en años de estiaje. Esta tasa de evapotranspiración es representativa de la Región Sur.

La cuenca yace principalmente en formaciones de origen volcánico, las que están expuestas en el 87% de su superficie desde las cúspides en la Cordillera Central hasta la vecindad del Albergue Olímpico. Depósitos sedimentarios aluviales y marinos descansan sobre las rocas volcánicas en el valle costanero, formando el Acuífero de Salinas. Los depósitos aluviales tienen espesores de hasta 250 pies cerca de la costa, almacenando grandes cantidades de agua que se infiltra desde los ríos en las laderas de la Cordillera y en la parte baja de la cuenca. La mayor parte de la cuenca está cubierta de pastos y arbustos, principalmente en las laderas de la Cordillera. Hacia el valle aluvial, zonas dedicadas a cultivos de vegetales, farináceas y pastos ocupan la mayor parte de los terrenos.

La escorrentía en la cuenca es relativamente reducida, debido a la precipitación limitada y las altas tasas de evapotranspiración e infiltración. Aguas abajo de la confluencia de los Ríos Majada y Lapa, al sur del Albergue Olímpico, el flujo en el río se infiltra al acuífero en su totalidad debido a la alta permeabilidad del material aluvial en el valle. Datos obtenidos por el USGS en el



Figura 9-56 Cuenca Hidrográfica del Río Nigua

Río Nigua indican que la producción promedio neta de escorrentía en la cuenca es de aproximadamente 15,740 acres-pies por año, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. La extracción de agua de los ríos es mínima, con una sola planta de filtración operada por la AAA en el Barrio Culebras Alto de Cayey, con una producción de 0.12 mgd. Existe un canal para desviar agua para usos agrícolas en el Río Majada, pero el mismo está en desuso. En la cuenca no existen embalses ni descargan plantas de tratamiento de aguas usadas. Las aguas usadas generadas en la zona urbana de Salinas son descargadas a la planta regional de Santa Isabel. Periódicamente, lluvias intensas en las laderas sur de la Cordillera Central inducidas por frentes de frío, vaguadas o tormentas, resultan en inundaciones severas en el valle costanero que afectan la zona urbana de Salinas y zonas agrícolas. El valle sufrió inundaciones severas en 1960, 1970, 1985, 1996 y 1998, resultando en daños sustanciales a las viviendas e infraestructura de Salinas. El DRNA, en cooperación con el USCOE, propone un proyecto para canalizar la parte inferior del canal del Río Nigua, con el propósito de minimizar los daños resultantes de estas inundaciones periódicas.

El Acuífero de Salinas ocupa parte de la zona baja de la cuenca, aunque se extiende hacia el este hasta los lindes con la Quebrada de Aguas Verdes cerca de Aguirre y hacia el oeste hasta el Río Salinas. El acuífero es formado por depósitos aluviales que descansan sobre rocas volcánicas fragmentadas en forma de regolito, o del basamento rocoso sólido. La recarga al acuífero proviene de dos fuentes principales, incluyendo la escorrentía en la cuenca y los canales de Patillas y Juana Díaz. Parte de la escorrentía en las quebradas y ríos se infiltra al acuífero en las laderas de la cordillera y los canales de los cauces. Los sistemas de riego formados por los canales de Patillas y Juana Díaz contribuyen a la recarga directamente por aplicaciones en fincas e indirectamente por filtraciones. Los depósitos aluviales que forman el acuífero tienen espesores de hasta 300 pies al sur de la Carretera PR-52 en Salinas, formando un abanico deltaico aluvial. Estudios del USGS revelan que el acuífero es altamente productivo, con pozos agrícolas que rinden hasta 1,500 gpm. En el 2002, las extracciones de agua subterránea para usos domésticos y agrícolas en el valle fueron de 11 mgd, equivalente a 12,330 acres-pies. El DRNA estima que el Acuífero de Salinas almacena aproximadamente 20,000 acres-pies de agua, descargando al mar aproximadamente 6,000 acres-pies por año. El acuífero sufre de extracciones excesivas que minan los recursos de agua, resultando en mermas progresivas en los niveles freáticos, lo que promueve la intrusión salina cerca de la costa.

La calidad del agua superficial en la cuenca del Río Nigua en Salinas es generalmente desconocida, ya que no existen datos recientes. La naturaleza rural de la cuenca, con pozos sépticos y actividades agrícolas dispersas, incluyendo granjas avícolas, resulta en la descarga directa e indirecta a las quebradas y ríos de aguas contaminadas con nutrientes y desperdicios de origen fecal. Las aguas subterráneas son generalmente de calidad excelente, aunque en la vecindad de Salinas se han detectado concentraciones relativamente altas de nutrientes en varios pozos (USGS, 2003). Hacia la costa, la intrusión salina natural e inducida por la explotación excesiva del acuífero, resulta en concentraciones altas de minerales de origen marino en el agua de pozos.

El transporte de sedimentos en la cuenca es también desconocido. Estimados basados en la sedimentación del Embalse de Coamo, en la cuenca del Río Coamo al oeste de la zona, sugieren que la razón de generación de sedimentos de 0.76 acres-pies por año por milla cuadrada no son

posibles. En la zona al sur del Albergue Olímpico se extraen gravas y arenas del Río Nigua que son transportados de la parte alta de la cuenca, lo que es indicador de tasas de erosión más altas en la zona de rocas de origen volcánico en las montañas hacia la cordillera. La razón de sedimentación del Embalse Patillas se estima en 3.54 acres-pies por milla cuadrada (ó 89.2 acres pies por año en un área de captación de 25.2 mi²). Siendo la cuenca del Río Patillas una cuenca similar a la cuenca del Río Nigua en Salinas, la tasa de sedimentación debe fluctuar entre 2 y 3 acres pies por año por mi².

La Tabla 9-23 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-24. Balance hidrológico Cuenca Río Nigua (Salinas).

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	140,050
Evapotranspiración	110,380
Flujo	
" promedio anual	15,740
" estiaje (90 días)	-
" estiaje (150 días)	168
Extracción pozos	12,330
Descarga de agua subterránea al mar	6,000
Tomas AAA	135
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	2,910
Transferencias de agua	1,910
No contabilizado	904
Por ciento no contabilizado	1

^a – incluye transferencia del canal de Patillas y de aguas usadas a la planta Regional de Guayama.

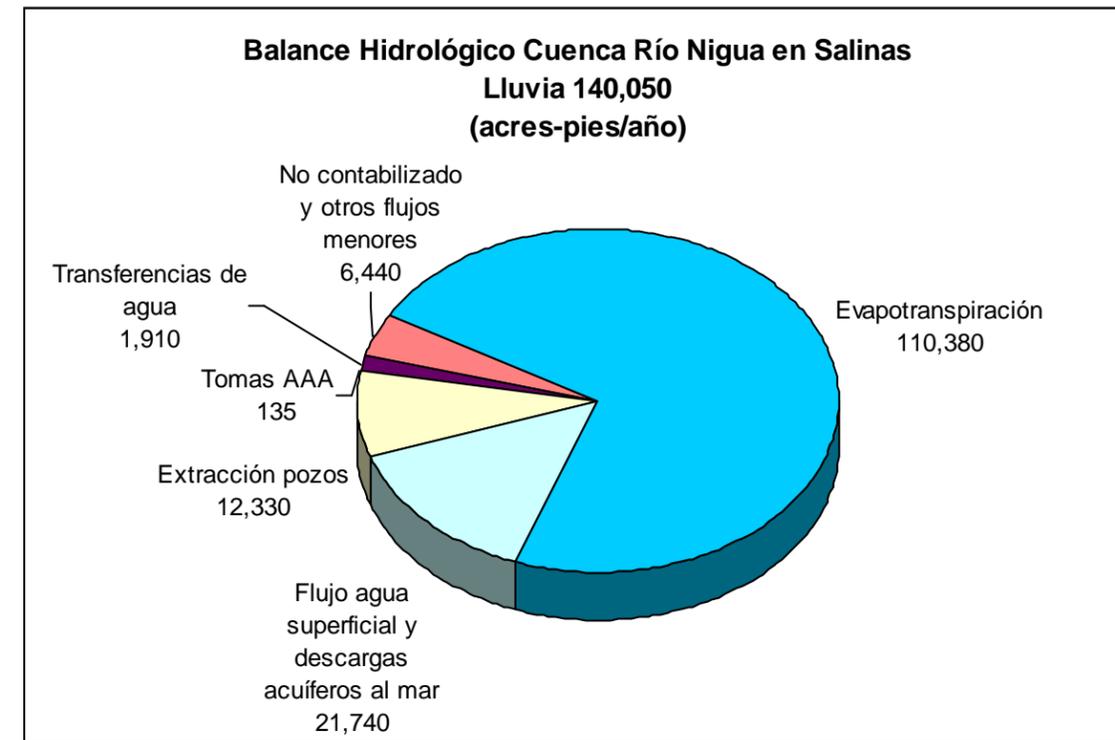


Figura 9-57. Balance Hidrológico Cuenca del Río Nigua. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.19 Cuenca del Río Coamo

La cuenca del Río Coamo incluye un área de aproximadamente 85 mi² en la Región Sur de Puerto Rico, en los municipios de Aibonito, Coamo y Santa Isabel (Figura 1-25). La cuenca es primordialmente rural, con la mayor parte de los terrenos cubiertos por pastos y bosques. El Río Coamo nace en los lindes de Aibonito, descendiendo desde elevaciones de hasta 2,290 pies hacia Coamo por las laderas sur de la Cordillera Central. Sus principales tributarios en la parte alta de la cuenca son el Río de la Mina, Río del Pasto y el Río Cuyón. Luego de cruzar por la zona urbana de Coamo, el río fluye hacia el valle aluvial costanero y la zona urbana de Santa Isabel. Al sur de la zona urbana de Coamo, los manantiales termales de la zona contribuyen un promedio de 50,000 gpd al flujo del río, que finalmente descarga al Embalse Coamo. El embalse, construido por la AEE en 1914, con una capacidad original de 2,830 acres-pies, provee agua al Canal de Juana Díaz como parte del Sistema de Riego de Juana Díaz. Desbordes y filtraciones en las compuertas del embalse fluyen aguas abajo de la represa hacia el valle aluvial hasta desembocar en el Mar Caribe en un punto adyacente a la zona urbana de Santa Isabel. La población de la cuenca, incluyendo los centros urbanos de Coamo y Santa Isabel, es de aproximadamente 51,820 habitantes.

El clima en la cuenca incluye una franja en el límite norte de la cuenca cerca de Aibonito representativo de la clasificación subtropical húmeda, mientras que el área restante es subtropical seca, particularmente el valle aluvial costanero. La lluvia varía en forma similar a los patrones del resto de Puerto Rico, aunque con frecuencia en el valle costanero el período de sequía se extiende desde enero hasta septiembre. La precipitación promedio anual es de 41 pulgadas, variando desde 65 en la parte alta de la cuenca a 31 pulgadas en el valle costanero. Sin embargo, durante vaguadas o huracanes, en la cuenca se han registrado lluvias de hasta 20 pulgadas en 24 horas (USGS, 1985), resultando en escorrentías extremas e inundaciones en el valle costanero. En periodos de estiaje la precipitación anual puede disminuir a 28 pulgadas. La evapotranspiración en la cuenca consume el 85% de la lluvia anual (35 pulgadas), lo que puede reducirse a 27 pulgadas durante sequías. Temperaturas más altas en la Región Sur y vientos generalmente más secos que en la Región Norte contribuyen a que la evapotranspiración en la zona sea proporcionalmente más alta.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en la Cordillera Central y las laderas sur, y los depósitos aluviales no-consolidados en el valle costanero descansando sobre el basamento rocoso. Las rocas de origen volcánico son de baja permeabilidad, por lo que no forman acuíferos de importancia en esta zona de la cuenca. En contraste, los depósitos aluviales en el valle costanero exhiben altas capacidades de almacenaje y transmisión de agua, formando el Acuífero de Santa Isabel-Coamo. Este acuífero ocupa un área superficial de 19.3 mi² (abanico aluvial del área de Coamo), con espesores seccionales de hasta 3,000 pies (USGS, 1971). Las áreas de recarga del acuífero están localizadas en la zona de transición entre las rocas volcánicas y el aluvión, así como en el cauce de los ríos y quebradas. El USGS estima una infiltración promedio de 6.7 pulgadas anuales al acuífero (Kunianshy y otros, 2003). Pozos con capacidad de extracción hasta 2,000 gpm de forma



Figura 9-58. Cuenca hidrográfica del Río Coamo.

instantánea pueden ser operados en la zona noroeste del pueblo de Santa Isabel. Las extracciones instantáneas de agua subterránea en la cuenca en el 2002 fueron de aproximadamente 22.9 mgd, incluyendo 7.8 mgd para consumo y 15.1 mgd para riego agrícola. Estas, sin embargo, se reducen a 12.6 mgd cuando se corrige por el uso de agua agrícola anualmente. Extracciones excesivas de agua del acuífero han provocado mermas de hasta 30 pies en los niveles freáticos al norte de Santa Isabel, induciendo intrusión salina vertical en esta zona. Análisis recientes del DRNA y el USGS indican que será necesario reducir estas extracciones y posiblemente desarrollar programas para recargar el acuífero artificialmente. Los suelos principales en la cuenca incluyen las series Callabo en la zona montañosa, mientras que en la zona costanera predominan las series Fraternidad y Jacaguas.

La escorrentía en la cuenca es relativamente abundante en comparación con otras áreas de la Región Sur. El flujo promedio anual de escorrentía en el Río Coamo en Coamo es de 18,840 acres-pies por año, reduciéndose a 2,800 acres-pies durante años de sequía. El flujo aumenta en proporción al área de captación hasta las inmediaciones del Embalse Coamo, además de la aportación de los manantiales termales. El embalse, con una capacidad inicial de solamente 2,830 acres-pies, fue construido en 1914 como parte del sistema de riego de la zona. Su capacidad en el 2003 era el 4% de la inicial, debido a la acumulación de sedimentos. La AEE remueve al presente los sedimentos en el embalse, lo que permitirá extraer hasta 3 mgd de agua para suplir la zona de Santa Isabel. Aguas abajo del embalse, el flujo residual en el cauce del Río Coamo contribuye a recargar el acuífero, por lo que la escorrentía se reduce, particularmente durante períodos de sequías. El Canal de Florida discurre hacia el oeste desde las inmediaciones del Embalse Coamo transportando agua para riego agrícola en el valle de Santa Isabel. El valle aluvial también recibe agua del Canal de Juana Díaz, que se origina en el Embalse Guayabal, en la cuenca del Río Jacaguas cerca de Villalba. Este canal suple un promedio de 13.4 mgd (15,050 acres-pies por año) a la zona de Santa Isabel para riego agrícola (AEE, 2004). Aproximadamente el 10% del flujo en los canales se derrama o filtra, alimentando el acuífero.

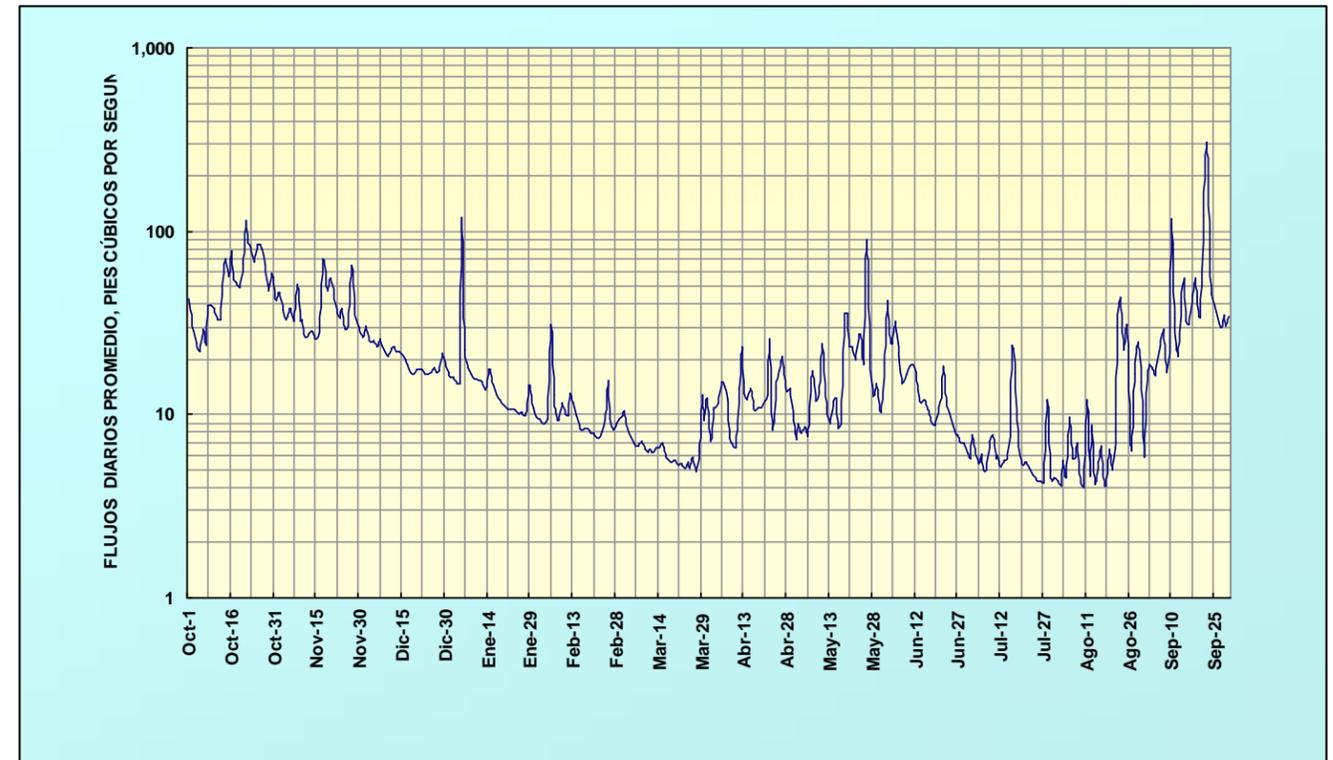


Figura 9-59. Flujos diarios promedio en el Río de Coamo en carretera #14 en Coamo (50106100), 1987-2002.

La calidad del agua en la cuenca del Río Coamo varía de pobre a excelente a lo largo del cauce dependiendo de la ubicación y la época del año. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que un 24% de los tramos estudiados en el cauce del río no cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Estos contaminantes provienen de pozos sépticos y actividades agrícolas en la zona. El efecto de estos contaminantes es más intenso durante períodos de flujos mínimos, en la época de sequía. Durante crecientes, el agua en el Río Coamo aparenta contener un alto contenido de sedimentos, como resultado de la erosión en la parte alta de la cuenca, según reflejado por la sedimentación del Embalse Coamo. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al Río Coamo o sus tributarios. Las aguas sanitarias de la zona urbana de Coamo son descargadas en la planta regional de tratamiento de la AAA en Santa Isabel.

La Tabla 9-24 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-25. Balance hidrológico Cuenca Río Coamo.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	181,710
Evapotranspiración	155,050
Flujo	
" promedio anual	18,840
" estiaje (90 días)	2,800
" estiaje (150 días)	3,800
Extracción pozos	14,120
Descarga de agua subterránea al mar	8,000
Tomas AAA	1,460
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	1,910
Entregado a fincas	12,194
Transferencias de agua	12,194 ^a
No contabilizado	-6,740
Por ciento no contabilizado	-4

^a incluye transferencia del canal de Juana Díaz.

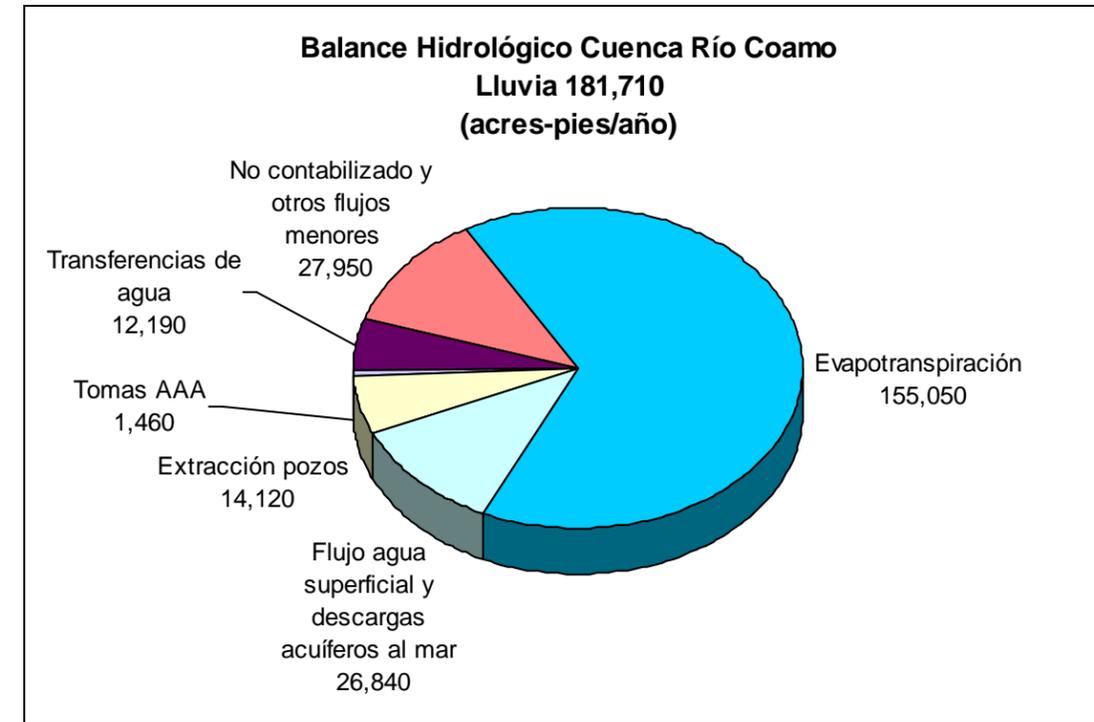


Figura 9-60. Balance Hidrológico Cuenca del Río Coamo. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.20 Cuenca del Río Jacaguas

La cuenca del Río Jacaguas, en la Región Sur-Central de Puerto Rico, incluye varias obras hidráulicas de gran importancia para los abastos de agua de dicha región. La cuenca tiene un área de 59.9 mi² en los municipios de Villalba, Coamo y Juana Díaz (Figura 9-21), siendo los ríos Jacaguas y Toa Vaca sus principales afluentes. El Río Jacaguas se origina de varias quebradas sin nombre a elevaciones de hasta 3,287 pies en la parte oeste de la cuenca en la zona montañosa de Villalba. En esta zona, el flujo del río es aumentado por transferencias de agua procedentes del Sistema de Toro Negro, en las laderas del norte de la Isla. El río desciende hacia el centro urbano de Villalba, hasta desembocar en el Embalse de Guayabal aproximadamente 3 millas al sur de este municipio. La parte este de la cuenca es drenada por el Río Toa Vaca, fluyendo desde la zona montañosa del Barrio Caonillas Arriba hasta desembocar en el Embalse Toa Vaca, el de mayor capacidad en Puerto Rico. La represa que forma el Embalse de Toa Vaca está ubicada inmediatamente aguas arriba del Embalse Guayabal, descargando al mismo. El agua fluye desde el Embalse de Guayabal hacia la parte baja de la cuenca principalmente a través del Canal de Juana Díaz. Este canal fluye hacia el sur hasta Juana Díaz y luego hacia el este hacia Salinas, proveyendo agua para riego y abasto público a parte de estos municipios así como a sectores de Coamo y Santa Isabel. El agua que se filtra a través de las compuertas de Guayabal, o durante desbordes ocasionados por lluvias extremas, fluye por el Río Jacaguas aguas abajo de la represa hacia Juana Díaz y el valle costanero. El río desemboca al Mar Caribe en la vecindad de la zona urbana de Santa Isabel. La cuenca es principalmente rural, excepto por los centros urbanos de Villalba y Juana Díaz, con una población en el 2004 de 53,590 habitantes.

El clima de la cuenca varía geográficamente entre la zona montañosa y el valle costanero, así como a través del año y debido a frecuentes sequías. Aproximadamente la mitad norte de la cuenca es de clima subtropical húmedo, mientras que la mitad sur es de clima subtropical seco. Una pequeña zona en el límite norte de la cuenca está clasificada como subtropical muy húmedo. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 58 pulgadas, variando desde 100 pulgadas en la zona montañosa de Villalba, hasta 29 pulgadas en el valle costanero cerca de Santa Isabel. A través del año, la lluvia varía con los patrones climáticos de la Región Sur, sequías en el valle costanero que frecuentemente se extienden desde enero hasta agosto, luego de lo cual comienza el período de lluvia hasta finales del año. En la parte montañosa al norte de Villalba, los patrones de lluvia son más representativos de la Cordillera Central, con efectos orográficos y lluvias intensas durante mayo y junio luego del período tradicional de sequía a principio de año. En periodos de estiaje la precipitación puede disminuir a 41 pulgadas. La evapotranspiración anual es de 43 pulgadas, debido a las altas temperaturas y vientos en la Región Sur, consumiendo el 74% de la lluvia. La evapotranspiración puede reducirse a 35 pulgadas durante sequías severas.

La geología de la cuenca es dominada por rocas de origen volcánico que se extienden sobre la mayor parte de la zona montañosa hasta las inmediaciones del valle al sur de Juana Díaz. Depósitos aluviales y marinos ocurren en las inmediaciones de los ríos y en el valle costanero, predominando rocas sedimentarias marinas del Período Terciario que forman la caliza de Ponce. Hacia la costa, depósitos aluviales y marinos con espesores de hasta 300 pies descansan sobre las rocas calizas y el basamento rocoso de origen volcánico.

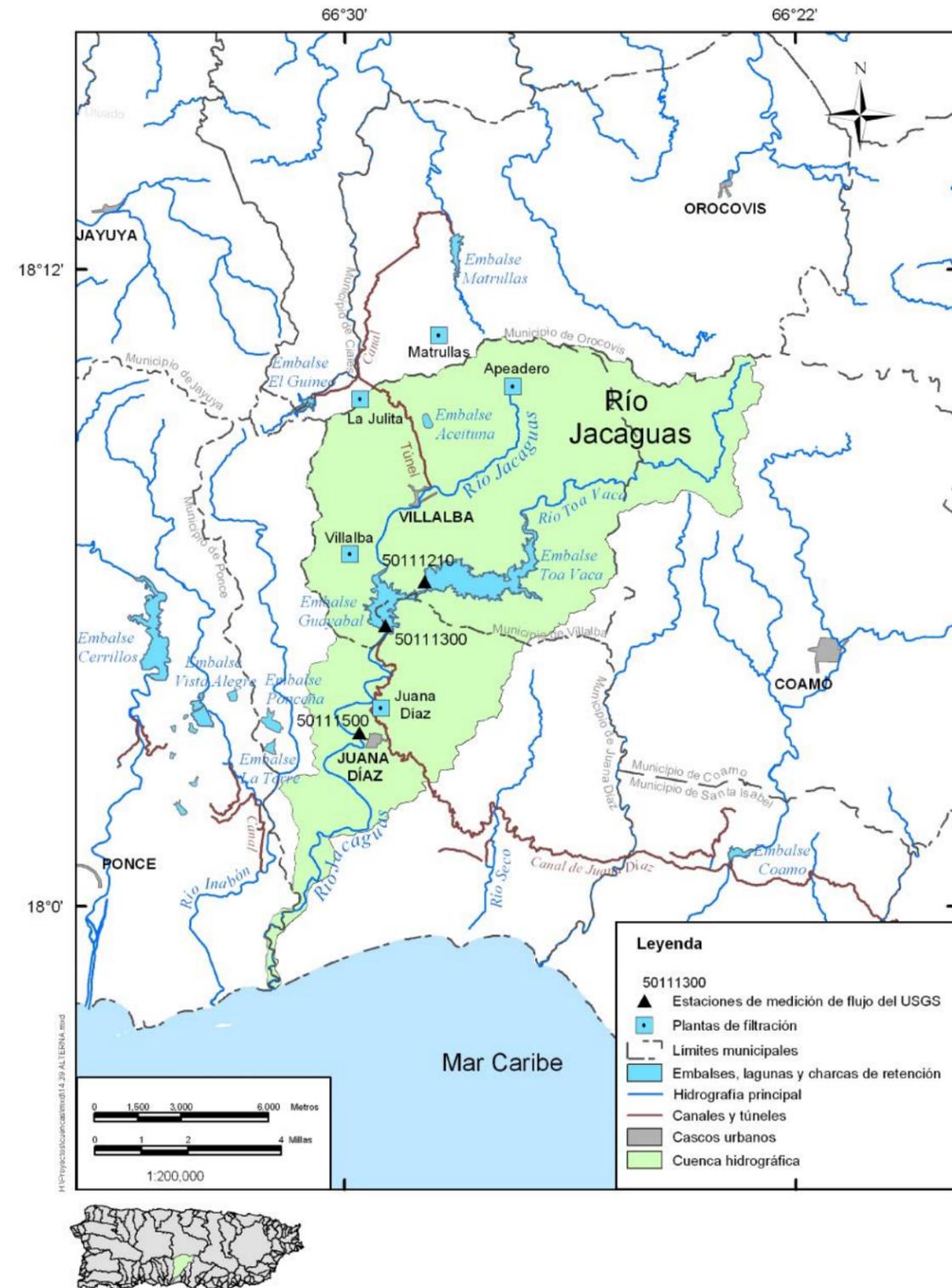


Figura 9-61. Cuenca Hidrográfica del Río Jacaguas.

Los suelos sobre las rocas volcánicas en la parte alta de la cuenca son principalmente de las series Quebrada, de fertilidad moderada. Hacia el valle, predominan suelos orgánicos de gran fertilidad y alta capacidad de transmisión de agua. Las series Aguilita, Callabo y San Antón cubren la zona media y baja de la cuenca. Los bosques y los pastos predominan en la cuenca, representando el 77% del drenaje, mientras que los usos agrícolas representan el 14% de las cuerdas en uso. Zonas urbanas y no clasificadas representan el balance de los terrenos en la cuenca.

La cuenca del Río Jacaguas suple la mayor parte del agua que se utiliza para consumo doméstico en varios municipios de la Región Sur-Central, así como abastos para riego agrícola en los valles costaneros de la zona. Los Embalses de Toa Vaca y Guayabal son los recursos de agua más importantes de la Región, supliendo plantas de filtración de la AAA que proveen agua potable a sectores de Ponce, Juana Díaz, Santa Isabel y Coamo. El Embalse Toa Vaca, construido en 1972 con una capacidad inicial de 55,900 acres-pies, drena una cuenca con un área de captación de solamente 21.9 mi². El rendimiento seguro del embalse es de 14 mgd, debido principalmente a su gran capacidad, ya que la escorrentía es limitada por el tamaño reducido de la cuenca. La capacidad extraordinaria de Toa Vaca incluye almacenamiento para agua que proveería de un embalse en las laderas del norte de la Isla, en la cuenca del Río Bauta cerca de Orocovis. El agua de este embalse fluiría hacia Toa Vaca mediante un túnel a través de la Cordillera Central. Este embalse no se construyó, por lo que Toa Vaca no recibe suficiente caudal para mantenerse lleno, excepto durante lluvias extremas causadas por huracanes o vaguadas. Anteriormente, el embalse suplía las plantas de filtración en la zona urbana de Ponce, con extracciones de agua de hasta 26 mgd. Este volumen de extracción no es sustentable, y durante sequías el nivel de agua en el embalse se reduce drásticamente, como ocurrió en el 1994 (AFI, 2002). Desde el Embalse Toa Vaca se descarga agua hacia el Embalse Guayabal, alimentado por el Río Jacaguas y construido en 1913 como parte del Distrito de Riego de Juan Díaz. Originalmente el área de captación de Guayabal era de 43.2 mi², incluyendo el Río Toa Vaca. La construcción del Embalse de Toa Vaca redujo el área efectiva de drenaje de Guayabal a 21 mi². La capacidad inicial de Guayabal era de 9,580 acres-pies, con un rendimiento seguro de 19.7 mgd. La acumulación de sedimentos en el embalse ha reducido su capacidad actual a 4,500 acres-pies (DRNA, 2004). Guayabal descarga un promedio anual de 22,600 acres-pies por el Canal de Juana Díaz, además de desbordes y filtraciones en la represa. En el año Octubre 2001 a Septiembre 2002, el Canal de Juana Díaz entregó 15,050 acres-pies a un total de 35-50 agricultores en el Distrito de Riego de Juana Díaz. De estas entregas, 7,510 acres pies por año se utilizaron en prácticas agrícolas. En ese año, Guayabal suplió 2,263 acres-pies a la AAA para producción de agua potable.

Los recursos de agua subterráneos en la cuenca son relativamente abundantes, particularmente en el valle aluvial al sur de la zona urbana de Juana Díaz. Los depósitos aluviales que forman el acuífero en la zona alcanzan profundidades de hasta 500 pies en la zona de Juana Díaz, con pozos que rinden hasta 400 gpm. La AAA extrae el presente aproximadamente 3.41 mgd (3,820 acres pies por año) de agua subterránea del acuífero aluvial, mientras que pozos agrícolas extraen hasta 1.72 mgd (1,930 acres pies por año) para riego.

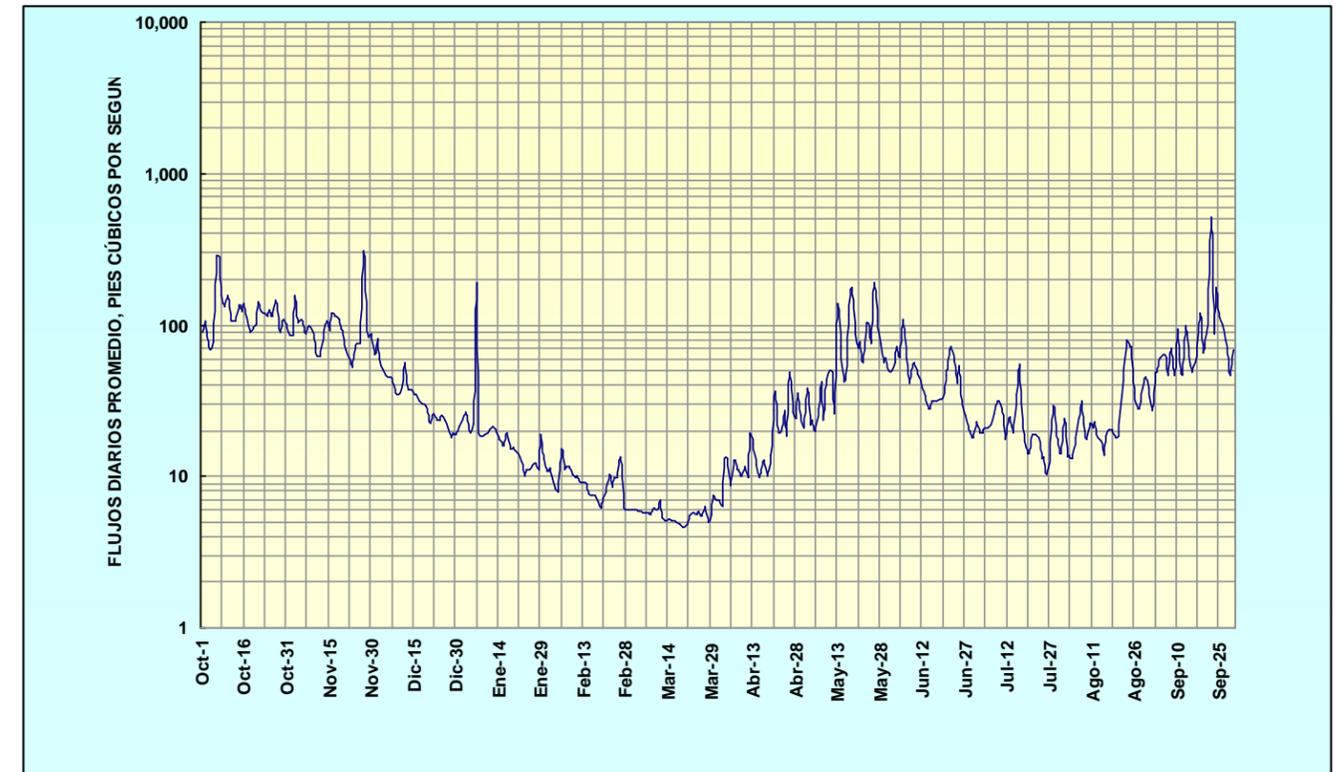


Figura 9-62. Flujos diarios promedio en el Río Jacaguas en Juana Díaz (50111500), 1984-2002.

La calidad del agua en la cuenca del Río Jacaguas es generalmente desconocida, aunque en la zona no existen fuentes significativas de contaminantes. Datos parciales de calidad de agua de la cuenca obtenidos como parte del Estudio 305 de la JCA para el año 2003, establecen que en los tramos de los ríos donde se tomaron muestras (4% de la cuenca), la calidad del agua cumple con los estándares ambientales para bacterias de y nutrientes en aguas superficiales, pero la mayoría del área (un 96%) carece de datos de calidad de agua. Estos contaminantes provienen de pozos sépticos domésticos y actividades agrícolas en la zona. En la cuenca no operan plantas de tratamiento de aguas usadas de la AAA.

El transporte de sedimentos en la cuenca es relativamente alto, según datos de las tasas de sedimentación de los embalses de Guayabal y Toa Vaca. Estudios del USGS establecen que Guayabal y Toa Vaca sufren tasas de sedimentación anuales del 0.52 y 0.23% de sus capacidades originales, respectivamente. Guayabal en particular ha perdido más de la mitad de su capacidad original, y es meritorio evaluar su posible dragado en el futuro intermedio. La deforestación en las cuencas que alimentan los embalses contribuye a desestabilizar los suelos y a promover la erosión y transporte de sedimentos hacia los ríos y embalses.

El balance de agua de la cuenca establece que la escorrentía neta (luego de la evapotranspiración) es de 46,706 acres-pies por año. Las extracciones por parte de la AAA para agua potable y la AEE para riego totalizan 17,676 acres-pies por año. El balance de agua, 39,310 acres-pies por año, discurre por el Río Jacaguas hacia el mar.

La Tabla 9-25 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-26. Balance Hidrológico Cuenca Río Jacaguas.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	186,070
Evapotranspiración	136,360
Flujo	
" promedio anual	39,310
" estiaje (90 días)	-
" estiaje (150 días)	-
Extracción pozos	5,750
Descarga de agua subterránea al mar	2,000
Tomas AAA	2,260
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	1,360
Transferencias de agua	-15,050
No contabilizado	-10,840
Por ciento no contabilizado	-6

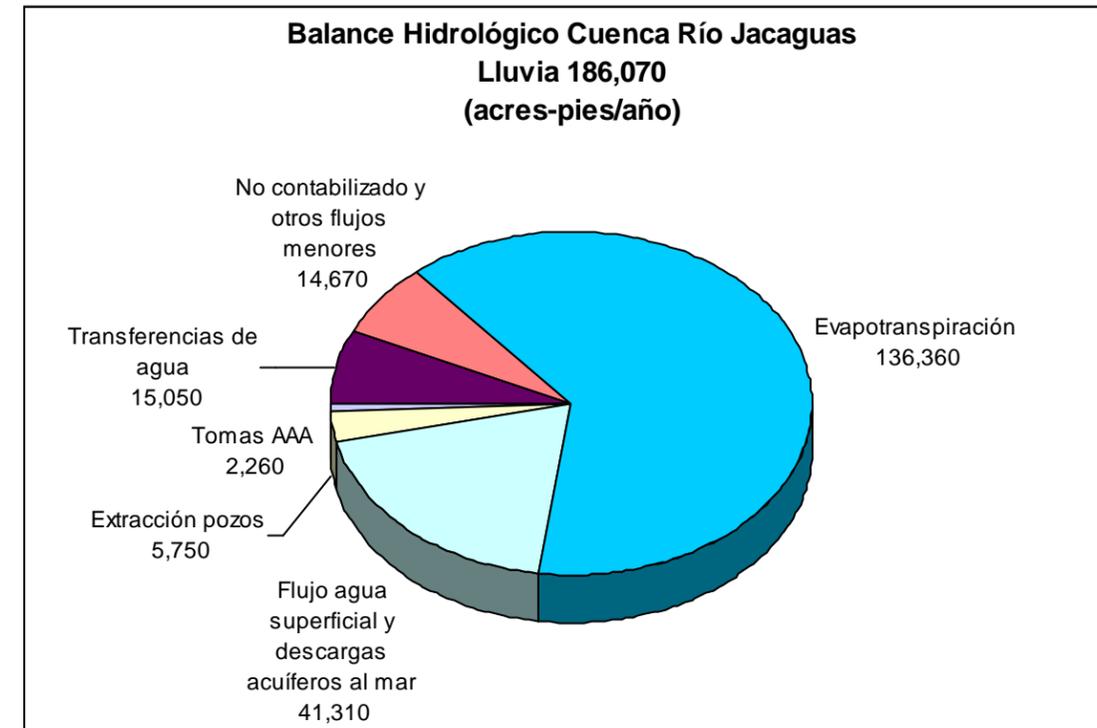


Figura 9-63. Balance Hidrológico Cuenca del Río Jacaguas. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.21 Cuenca del Río Inabón

La cuenca del Río Inabón incluye un área de 38.1 mi² en la región sur de Puerto Rico, en los municipios de Juana Díaz y Ponce. El Río Inabón se origina en las laderas sur de la Cordillera Central en el municipio de Ponce, a elevaciones de hasta 3,120 pies. El río discurre hacia el sur a través del barrio Anón de Ponce hasta su confluencia con el Río Anón. Su tributario principal, el Río Guayo, también se origina en la cordillera, discurrendo en un curso paralelo al cauce principal hasta la confluencia de ambos ríos al sur de la cuenca, definiendo con su cauce la frontera entre el Barrio Sabana Llana de Juana Díaz y Coto Laurel en Ponce. Varios embalses menores y numerosas charcas de retención ubican en la cuenca en fincas privadas cerca de Ponce y Juana Díaz dedicadas al ganado y cultivos de vegetales. Los embalses incluyen el Ponceña, Número II, Número V y Bronce, mientras que las charcas de retención incluyen a Vista Alegre, La Torre, Número I, Número III, Número IV, Moliné y Guiles. El río cruza al este de Ponce a través del valle aluvial hasta desembocar al Mar Caribe en el Barrio Capitanejo de Ponce.

El clima de la cuenca es similar a otras áreas en las laderas de la Región Sur de la Isla, con zonas de lluvias abundantes en la Cordillera Central y mínimas en el valle costanero. Durante el año, la lluvia varía en forma similar a los patrones de la Región Sur de Puerto Rico, con el período de sequía desde enero hasta mayo, que frecuentemente se extiende hasta agosto. Los meses de mayor lluvia son agosto a octubre, disminuyendo hacia el final del año. Aproximadamente la mitad norte de la cuenca la ocupa la zona de vida natural de Bosque Húmedo Subtropical, mientras que la mitad sur manifiesta el clima de la zona de Bosque Seco Subtropical. Una pequeña área hacia el norte es de clima muy húmedo subtropical. En la parte elevada de la cuenca en la Cordillera Central, la lluvia promedio anual es de aproximadamente 126 pulgadas, disminuyendo a solamente 31 pulgadas en la costa. Lluvias orográficas en las laderas norte de la cordillera se extienden hacia parte de las laderas sur, resultando en el alto promedio anual en la zona elevada de la cuenca. El promedio anual de lluvia en toda la cuenca es de 59 pulgadas, que se reduce a 41 pulgadas en años de estiaje. La evapotranspiración promedio consume el 71 % de la lluvia promedio (42 pulgadas). Se estima que durante época de sequía la evapotranspiración consume el 85% de la precipitación (35 de 41 pulgadas). En el valle costanero la evapotranspiración es mucho mayor, con el potencial de exceder la lluvia promedio.

La geología de la cuenca incluye rocas de origen volcánico en la zona de la Cordillera Central y sus laderas sur, rocas calizas sedimentarias de las Formaciones Juana Díaz y Ponce en el valle central, y depósitos sedimentarios no-consolidados formados en aluvión y residuos marinos en el cauce del río y el valle costanero. Las rocas de origen volcánico son esencialmente impermeables, minimizando la infiltración, por lo que no ocurren acuíferos importantes en esta área. La presencia de un alto contenido de barro en las rocas calizas de las Formaciones Juana Díaz y Ponce también limita su porosidad efectiva y el almacenamiento de agua. En contraste, el material aluvial no-consolidado en el valle costanero es altamente poroso, formando parte de un acuífero productivo que se extiende desde Ponce hasta Juana Díaz. En esta zona, los depósitos aluviales tienen profundidades de hasta 450 pies, incluyendo una zona saturada de 200 pies de espesor. La AAA extrae aproximadamente 1.8 mgd de agua para consumo en esta parte del valle, que también supe 2-4 mgd para usos agrícolas. Los suelos principales en la cuenca son

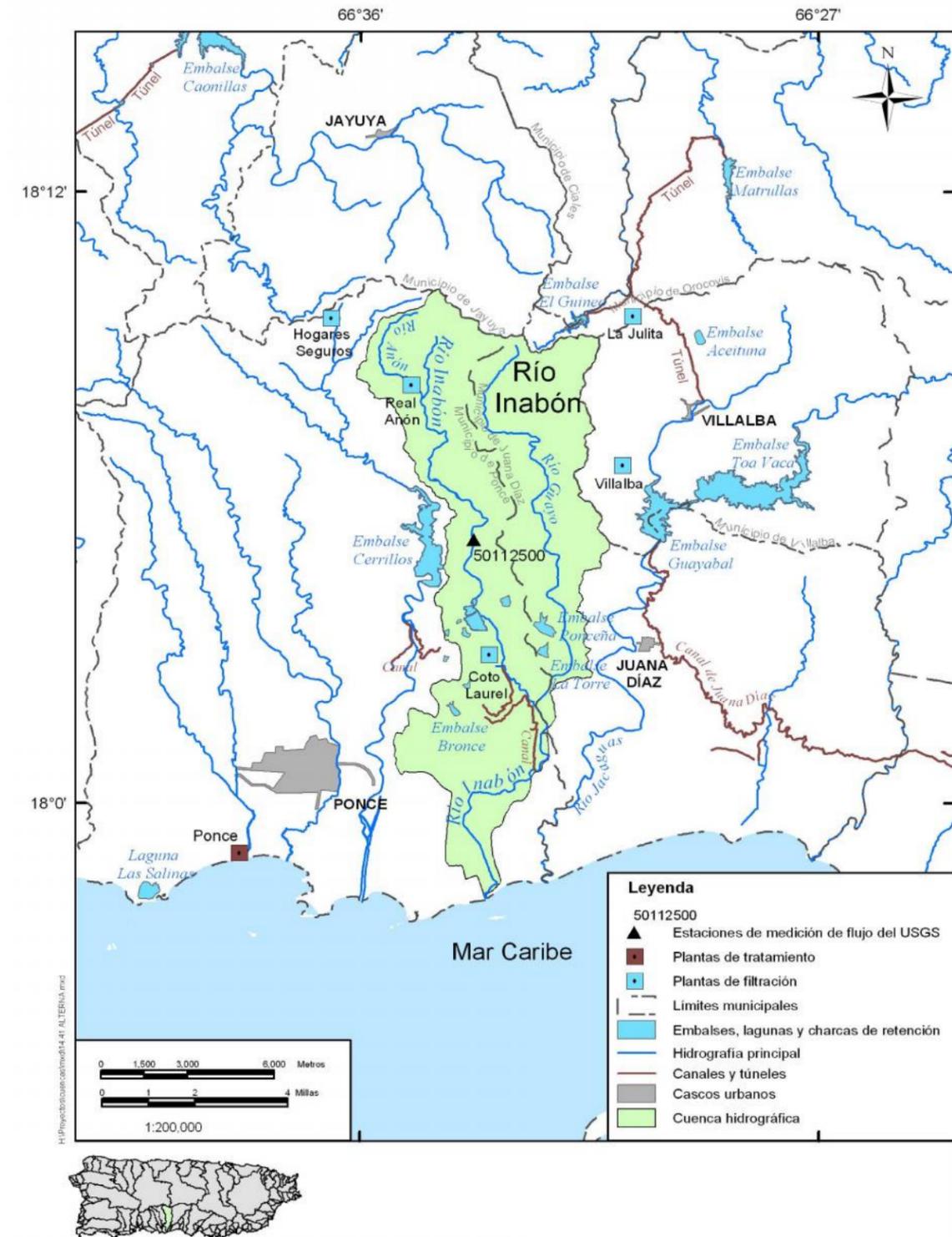


Figura 9-64. Cuenca Hidrográfica del Río Inabón.

las series Múcara, Caguabo y Callabo. El uso principal de terrenos en la cuenca incluye bosques y pastos (52%), se agricultura (38%), y un 7% dedicado a zonas urbanas.

La producción promedio de escorrentía en la cuenca es relativamente menor, con un promedio anual de 42,060 acres-pies, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. La AAA extrae 1.1 mgd del Río Anón para alimentar la PF de Anón, así como 0.7 mgd del Río Inabón para la PF de Coto Laurel. Las aguas usadas generadas en la cuenca se descargan por medio de pozos sépticos o a la Planta Regional de Ponce, la que a su vez descarga directamente a la Bahía de Ponce. La descarga promedio anual neta de escorrentía a la Bahía de Ponce es de 40,060 acres-pies.

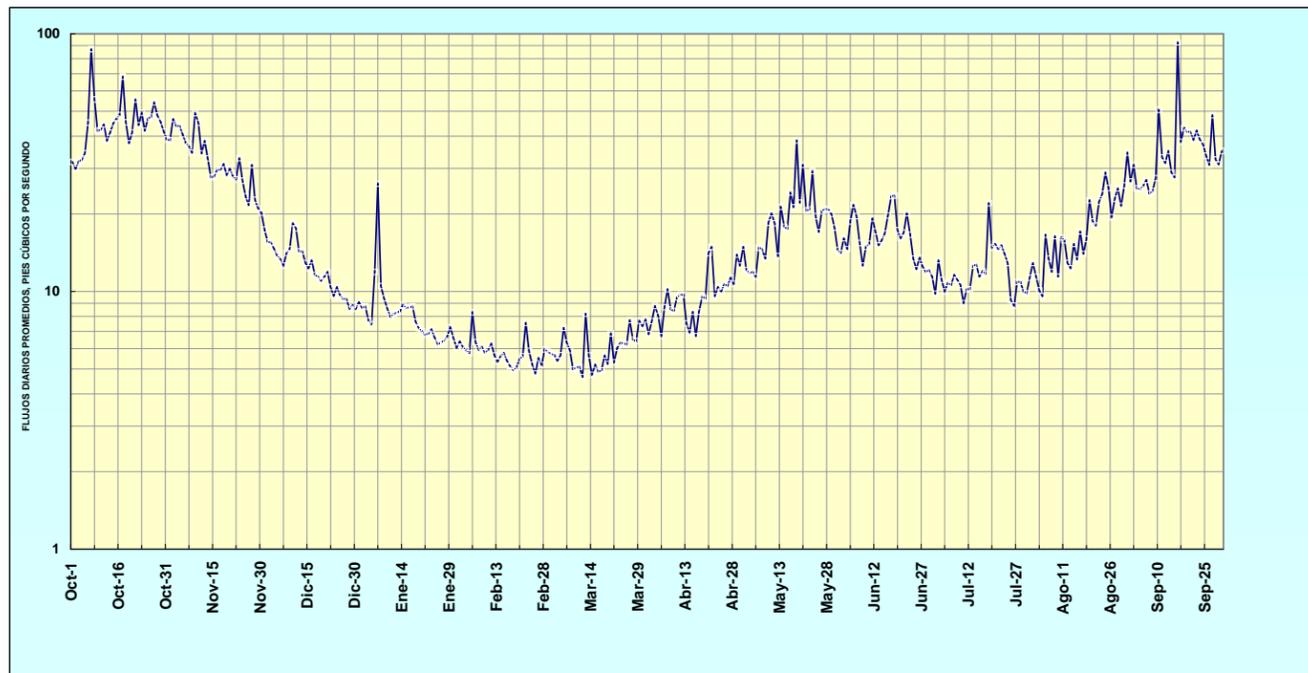


Figura 9-65. Flujos diarios promedios en el Río Inabón en Real Abajo (50112500), 1964 – 2002.

La calidad del agua en la cuenca del Río Inabón es esencialmente desconocida, ya que no existen datos recientes. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que no existen datos de calidad de agua en el 98% de los tramos de los ríos de la cuenca. Sin embargo en los tramos donde existen datos (2 %), estos cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Tampoco hay disponibles datos sobre el transporte de sedimentos en los ríos. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al Río Inabón o sus tributarios.

La tabla 9-26 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio. De forma similar la tabla 9-26 presenta los componentes de flujo en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-27. Balance Hidrológico Cuenca Río Inabón.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	119,110
Evapotranspiración	84,500
Flujo	
" promedio anual	40,060
" estiaje (90 días)	ND
" estiaje (150 días)	ND
Extracción pozos	1,100
Descarga de agua subterránea al mar	200
Tomas AAA	2,000
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	3,363
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-10,420
Por ciento no contabilizado	-9

ND – no determinado

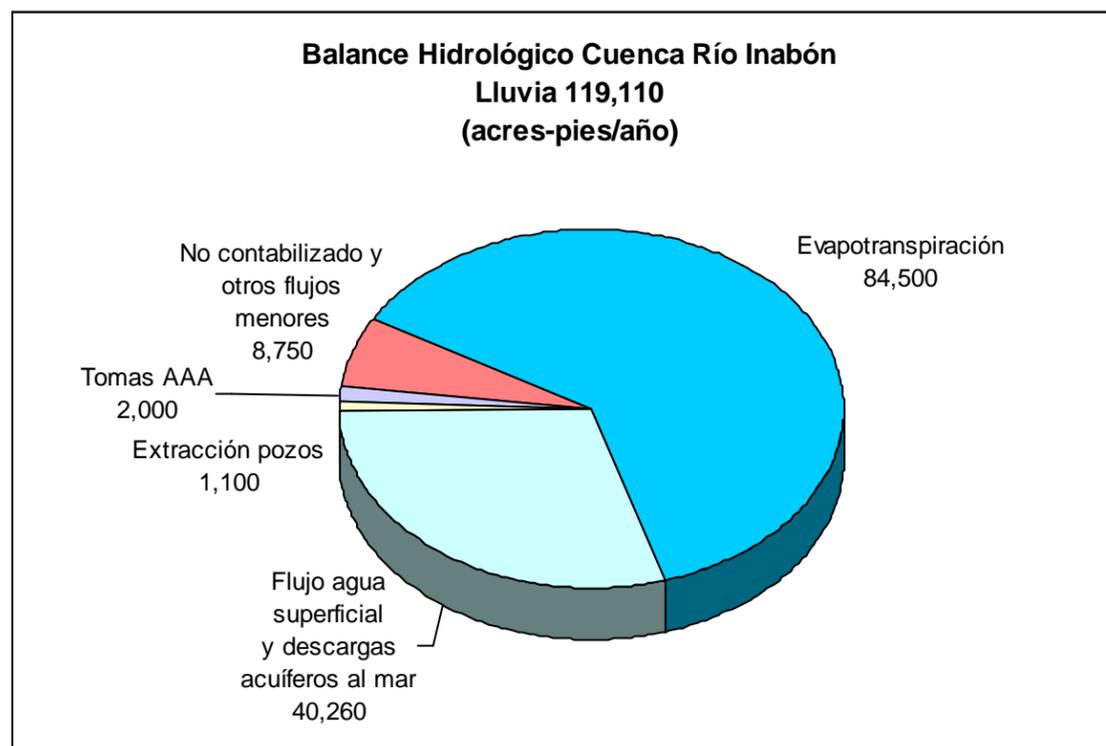


Figura 9-66. Balance Hidrológico Cuenca del Río Inabón. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.22 Cuenca de los Ríos Bucaná y Portugués

9.22.1 Cuenca del Ríos Bucaná

La cuenca del Río Bucaná incluye un área de aproximadamente 28.5 mi² en la Región Sur de Puerto Rico, en los municipios de Adjuntas y Ponce. El río se origina de varias quebradas en las cimas de la Cordillera Central en terrenos de Ponce a elevaciones de hasta 4,200 pies, discurriendo por las laderas sur de hacia Ponce en un curso paralelo a las cuencas adyacentes de los ríos Inabón y Portugués. Los tributarios principales en la parte alta de la cuenca son los ríos Blanco y Prieto, la Quebrada Jaimiel y el Río Cerrillos en el ramal este en el barrio Anón, y el Río San Patricio en el barrio San Patricio en el ramal oeste. El Río San Patricio desemboca en el Río Cerrillos aguas arriba del Embalse Cerrillos, construido para control de inundaciones, proveer abastos de agua potable y recreación a la ciudad de Ponce y la Región Sur-Central. Desde el embalse el Río Cerrillos fluye hacia la zona urbana de Ponce, donde adquiere el nombre de Río Bucaná. Aguas abajo de la zona urbana de Ponce, el río fue canalizado hasta su desembocadura al Mar Caribe en la zona de Vayas al oeste del Río Inabón. La población de la cuenca en el 2004 era de aproximadamente 23,520 habitantes, incluyendo parte de la zona urbana de Ponce.

El clima de la cuenca del Río Bucaná es similar a la de los ríos Inabón y Portugués, generalmente seco la mayor parte del año. La mitad norte de la cuenca, excepto la parte más alta, es de clima subtropical húmedo mientras que la mitad costanera es de clima subtropical seco. El origen de la cuenca (hacia el norte) es de clima subtropical muy húmedo. En las zonas elevadas de la cuenca en la Cordillera Central, el promedio anual de lluvia es de aproximadamente 125 pulgadas, mientras que en la costa la lluvia promedio se reduce a 34 pulgadas anuales, resultando en un promedio anual en la cuenca de 62 pulgadas. Durante años de sequía el promedio puede disminuir a 44 pulgadas. La evapotranspiración consume aproximadamente 44 pulgadas de la lluvia anual, con variaciones mínimas entre años de estiaje y lluvia (37 pulgadas en época de estiaje).

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico (23.4 mi²), rocas calizas sedimentarias (3 mi²), y depósitos sedimentarios aluviales y marinos (2 mi²). Las rocas de origen volcánico prevalecen en la parte alta de la cuenca, formando el basamento rocoso sobre el cual descansan las rocas calizas de la Formación de Ponce depositadas hacia la parte baja de la cuenca en la zona urbana de Ponce. Los depósitos aluviales y marinos se encuentran en la parte baja de la cuenca hacia la costa, descansando a su vez sobre las rocas calizas, formando el acuífero aluvial costanero. Los suelos principales en la cuenca incluyen asociaciones de las series Caguabo y Múcara. El uso principal de terrenos en la cuenca son los bosques y pastos (55%), seguido de zonas agrícolas (36%) y zonas urbanas (8%).

La producción de escorrentía en la cuenca del Río Bucaná es relativamente menor debido al tamaño relativamente pequeño de su área de captación. La producción promedio neta de escorrentía es de aproximadamente 54,830 acres-pies por año, tomando en cuenta la evapotranspiración e infiltración. En años de lluvia abundante la escorrentía puede alcanzar

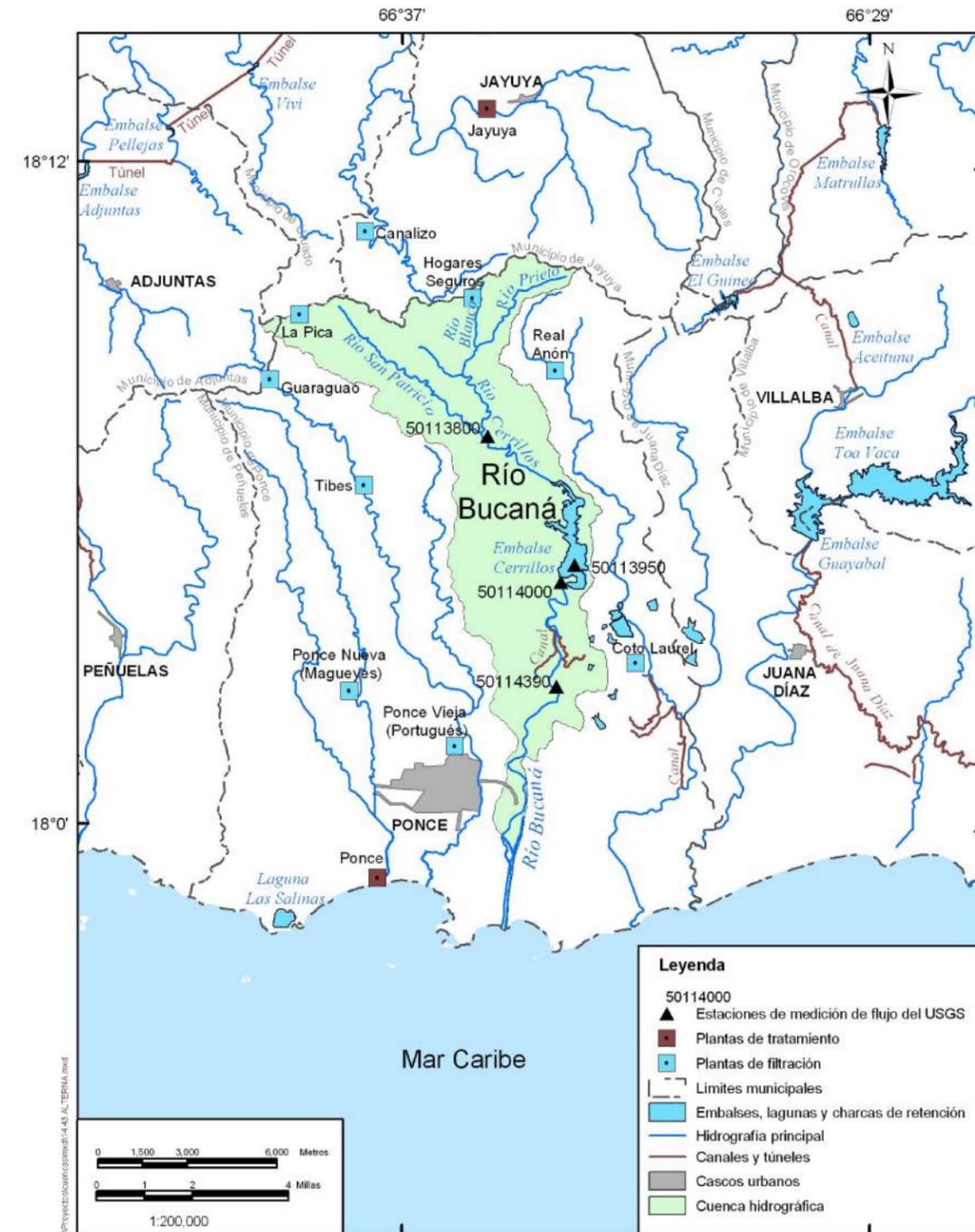


Figura 9-67. Cuenca Hidrográfica del Río Bucaná.

hasta 81,870 acres-pies. La mayor parte de esta escorrentía se almacena en el Embalse Cerrillos. En la parte alta de la cuenca se extraen cantidades menores de agua para abastecer las plantas de filtración de la AAA en los sectores Hogares Seguros (0.06 mgd) y La Pica (0.12 mgd).

El Embalse Cerrillos es la fuente principal de agua en la cuenca. El embalse fue construido entre 1975 y 1991 como parte del Proyecto de Propósitos Múltiples Bucaná-Portugués desarrollado por el DRNA con la asistencia del USCOE. Este proyecto incluye 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 Cerrillos. Además, incluye la construcción de la represa y Embalse Portugués, la cual se encuentra en etapa final de diseño y subasta. El Proyecto de Propósitos Múltiples fue diseñado con el propósito principal de controlar inundaciones en la ciudad de Ponce. El Embalse Cerrillos también supe agua para abasto público a la AAA (hasta 25 mgd) y provee zonas para la recreación de la comunidad. El Embalse Cerrillos es el segundo en tamaño en Puerto Rico (luego de Toa Vaca), con una capacidad inicial de 47,900 acres-pies. Esto incluye 17,100 acres-pies para control de inundaciones, 25,000 acres-pies para abasto público, y 5,800 acres-pies para almacenaje de sedimentos. La vida útil del embalse se estima en 958 años en base a una tasa de sedimentación de 49.4 acres-pies por año (DRNA, 2004). Su rendimiento seguro se estima en 22 mgd, aunque esto incluye el flujo residual de 4 mgd requerido para mantener la calidad del agua y vida acuática aguas abajo de la represa. El Embalse Cerrillos alimenta la planta de filtración denominada Ponce Nueva en la zona urbana de Ponce, supliendo hasta 25 mgd a la misma (excediendo en tiempos de lluvia el rendimiento seguro del embalse).

La calidad del agua en la cuenca del Río Bucaná es generalmente desconocida. Los datos del Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establecen que en el 98.7% de los tramos del Río Bucaná o sus tributarios no existen datos adecuados para definir la calidad del agua. Datos históricos de calidad de agua obtenidos por el USGS y la JCA establecen que las aguas superficiales sufren de contaminación con bacterias de origen fecal y con nutrientes (nitrógeno y fósforo). La mayor parte de las residencias en la zona rural de la cuenca, y en parte de la zona urbana, descargan las aguas usadas domésticas a pozos sépticos que eventualmente drenan hacia los ríos y quebradas. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios. Las aguas usadas de la zona urbana de Ponce descargan a la Planta Regional de Ponce (primaria), que descarga a la Bahía de Ponce.

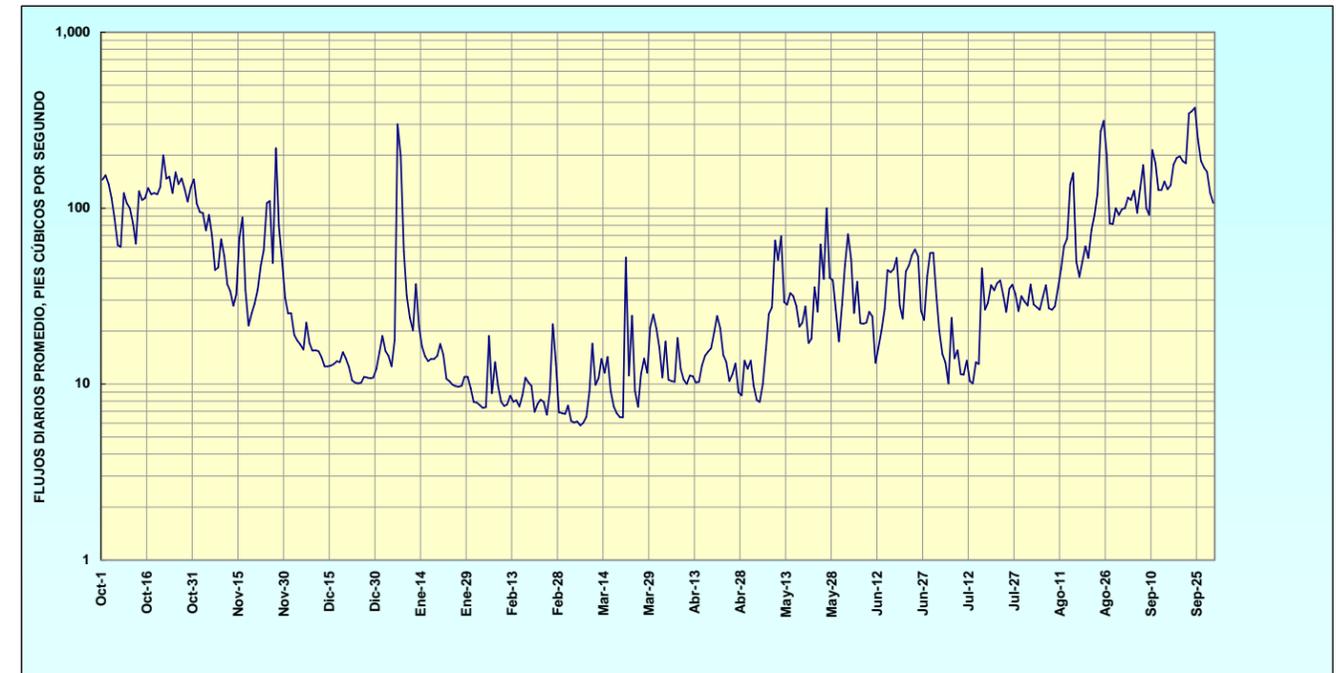


Figura 9-68. Flujos diarios promedio en el Río Bucaná en Puente de Carretera #14 cerca de Ponce (50114390), 1987 – 2002.

El transporte de sedimentos en la cuenca es relativamente bajo, según reflejado de la tasa de sedimentación del Embalse Cerrillos. La relativa abundancia de bosques y pastos en la cuenca son el factor principal que contribuye a tasas relativamente bajas de erosión y transporte de sedimentos en la cuenca.

La tabla 9-27 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio. De forma similar, presenta los componentes de flujo en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-28. Balance Hidrológico combinado Cuencas Río Bucaná.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	160,940
Evapotranspiración	113,670
Flujo	
" promedio anual	54,830
" estiaje (90 días)	ND
" estiaje (150 días)	ND
Extracción pozos	13,100
Descarga de agua subterránea al mar	300
Tomas AAA	15,160
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	15,980
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-49,390
Por ciento no contabilizado	-31

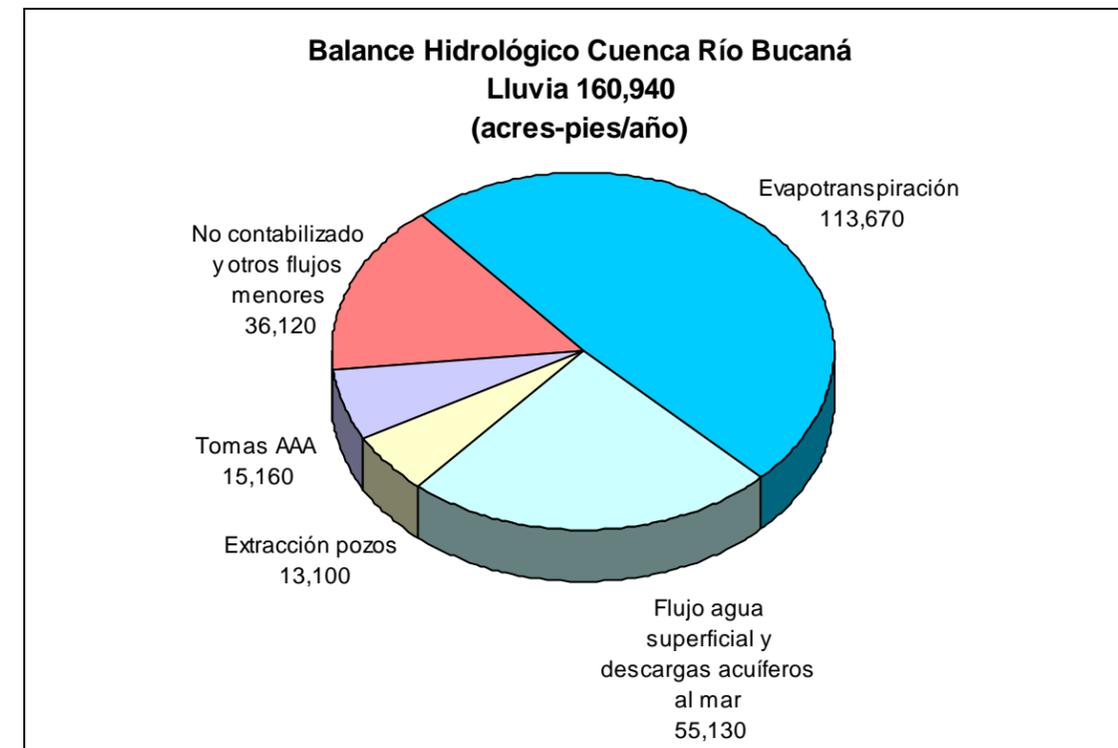


Figura 9-69. Balance Hidrológico Cuenca del Río Bucaná. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.22.2 Cuenca del Río Portugués

La cuenca del Río Portugués incluye 20.3 mi² en los municipios de Adjuntas y Ponce (Figura 1-27). La cuenca es primordialmente rural, con la mayor parte de los terrenos cubiertos por pastos y bosques (43%). El Río Portugués se origina de varias quebradas sin nombre al suroeste de Adjuntas, descendiendo desde elevaciones de hasta 3,074 pies hacia Ponce por las laderas sur de la Cordillera Central. Sus principales tributarios son el Río Corcho, en la parte alta de la cuenca, y el Río Chiquito, que se une al Río Portugués ya transcurrido una gran parte de la extensión total de la cuenca. Aguas abajo de esta última confluencia, el río discurre a través de parte de la zona urbana de Ponce, fluyendo hacia el valle aluvial costanero a través del canal de control de inundaciones que conecta el cauce con la desembocadura del Río Bucaná a la Bahía de Ponce. Este canal, construido en 1976, descarga aproximadamente 31,890 acres-pies por año de escorrentía a la bahía procedentes del Río Portugués. En la cuenca no existen embalses ni tomas de agua significativas. El USCOE y el DRNA, como parte del Proyecto Cerrillos-Portugués, planifican al momento la construcción en el cauce del río del Embalse Portugués, aproximadamente a 8.3 millas de su desembocadura. El Embalse Portugués tendrá una capacidad inicial de 12,160 acres-pies, diseñada primordialmente para el control de inundaciones y actividades recreativas. Durante la segunda fase del proyecto, la capacidad del embalse se aumentaría a 22,626 acres-pies, con el propósito de proveer hasta 12.4 mgd de agua a las plantas de filtración de la AAA en la zona de Ponce (USCOE, 1997). La población de la cuenca, incluyendo parte del centro urbano de Ponce, era de aproximadamente 39,070 habitantes en el 2004.

El clima en la cuenca incluye varias zonas dependiendo de la elevación del terreno. En la parte alta de la cuenca cerca de Adjuntas en la Cordillera Central el clima es subtropical muy húmedo, mientras que hacia el sur y valle aluvial costanero el clima incluye parte de las regiones subtropical húmedo y subtropical seco. La lluvia varía en forma similar a los patrones del resto de Puerto Rico, aunque con frecuencia el período de sequía se extiende desde enero hasta septiembre, particularmente en el valle costanero. En la parte alta de la cuenca, la lluvia es más intensa y frecuente. La precipitación promedio anual en la cuenca es de 61 pulgadas, variando desde 85 en las partes elevadas de la Cordillera Central en Adjuntas, a solamente 29 pulgadas en el valle costanero. Sin embargo, durante vaguadas o huracanes, en la cuenca se han registrado lluvias de hasta 20 pulgadas en 24 horas (USGS, 1985), resultando en escorrentías extremas e inundaciones en el valle costanero. En periodos de estiaje la precipitación anual puede disminuir a 43 pulgadas. La evapotranspiración en la cuenca consume el 71 % de la lluvia anual (43 pulgadas), lo que puede reducirse a 36 pulgadas durante sequías. Temperaturas más altas en la Región Sur y vientos generalmente más secos que en la Región Norte contribuyen a que la evapotranspiración en la zona sea proporcionalmente más alta.

Rocas de origen volcánico predominan en la parte superior de la cuenca, extendiéndose desde las laderas de la Cordillera Central hasta la parte norte de la zona urbana de Ponce. Depósitos marinos calizos de la Caliza de Ponce descansan sobre las rocas volcánicas hacia el sur, hasta la vecindad de la Carretera PR-2. Capas de aluvión en el valle costanero descansan sobre las rocas calizas y el basamento rocoso volcánico de la Región Sur. Las rocas de origen volcánico son de baja permeabilidad, por lo que no forman acuíferos de importancia en esta zona de la



Figura 9-70. Cuenca Hidrográfica del Río Portugués.

cuenca. Las rocas de la Caliza de Ponce contienen cantidades relativamente altas de barros y cienos, lo que limita su porosidad efectiva, por lo que no forman un acuífero de importancia en la zona. En contraste, los depósitos aluviales en el valle costanero exhiben porosidades de hasta un 15%, y altas capacidades de almacenaje y transmisión de agua, formando parte del Acuífero Aluvial de Juana Díaz-Ponce. Este acuífero ocupa un área superficial de 58 mi², con espesores seccionales de hasta 200 pies (USGS, 2002). Las áreas de recarga del acuífero están localizadas en la zona de transición entre las rocas volcánicas y el aluvión, así como en el cauce de los ríos y quebradas. El USGS estima una infiltración promedio de 4.8 pulgadas anuales al acuífero aluvial. Rendimientos de hasta 1,000 gpm son posibles en pozos en la vecindad de la Central Mercedita y hacia el valle al sur de la Universidad Católica. Las extracciones de agua subterránea en la cuenca en el 2002 fueron de aproximadamente 10.65 mgd, incluyendo 8.55 mgd para consumo y 2.1 mgd para riego agrícola (DRNA, 2004).

La escorrentía en la cuenca es relativamente abundante en comparación con otras áreas de la Región Sur. El flujo promedio anual de escorrentía en el Río Portugués en Ponce es de 19,200 acres-pies por año, reduciéndose a 73 acres-pies durante años de sequía. El flujo aumenta en proporción al área de captación. La AAA opera tres plantas de filtración en El Río Portugués que producen 4.82 mgd de agua potable, incluyendo la PF Guaraguao, en la parte elevada de la cuenca, que produce 0.25 mgd, la PF Tibes, en el Barrio Tibes al norte de Ponce, que produce 0.05 mgd; y la PF Ponce Vieja en la zona urbana de Ponce, que produce 4.52 mgd.

La calidad del agua en la cuenca del Río Portugués varía desde pobre a excelente a lo largo del cauce, dependiendo de la ubicación y la época del año. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que un 22% de los tramos estudiados en el cauce del río no cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Estos contaminantes probablemente provienen de pozos sépticos y actividades agrícolas en la zona. El efecto de estos contaminantes es más intenso durante períodos de flujos mínimos, en la época de sequía. En la mayor parte de los tramos del río no existen datos suficientes para determinar la calidad del agua. Durante crecientes, la descarga de sedimentos en el Río Portugués es elevada, según demostrado por su acumulación en la Bahía de Ponce. Esto se debe principalmente a la erosión en la parte alta de la cuenca, causada por actividades agrícolas y de construcción. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al Río Portugués o sus tributarios. Las aguas sanitarias de la zona urbana de Ponce son descargadas a la planta regional de tratamiento primaria de la AAA en Ponce. Esta planta descarga un promedio de 14.5 mgd mediante un emisario submarino en las afueras de la Bahía de Ponce.

Tabla 9-29. Balance Hidrológico Cuenca Río Portugués.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	66,020
Evapotranspiración	46,820
Flujo	
" promedio anual	19,200
" estiaje (90 días)	73
" estiaje (150 días)	73
Extracción pozos	11,940
Descarga de agua subterránea al mar	600
Tomas AAA	10,400
Descargas aguas usadas a ríos	-
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-21,480
Por ciento no contabilizado	-33

ND – no determinado

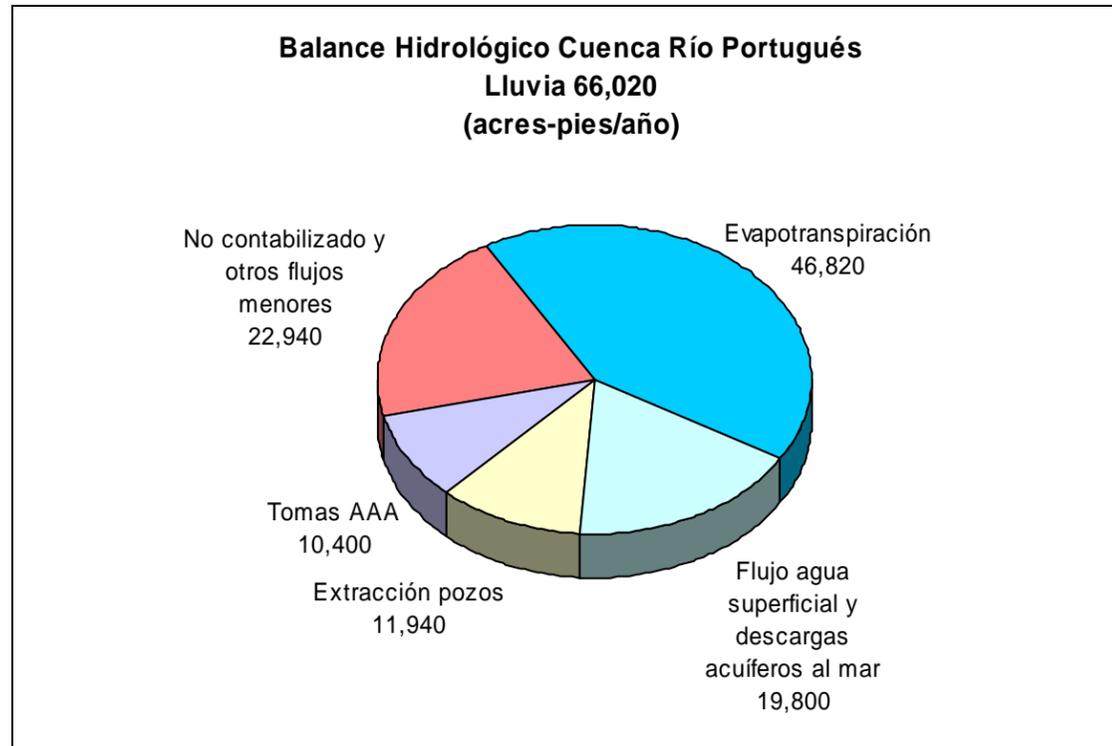


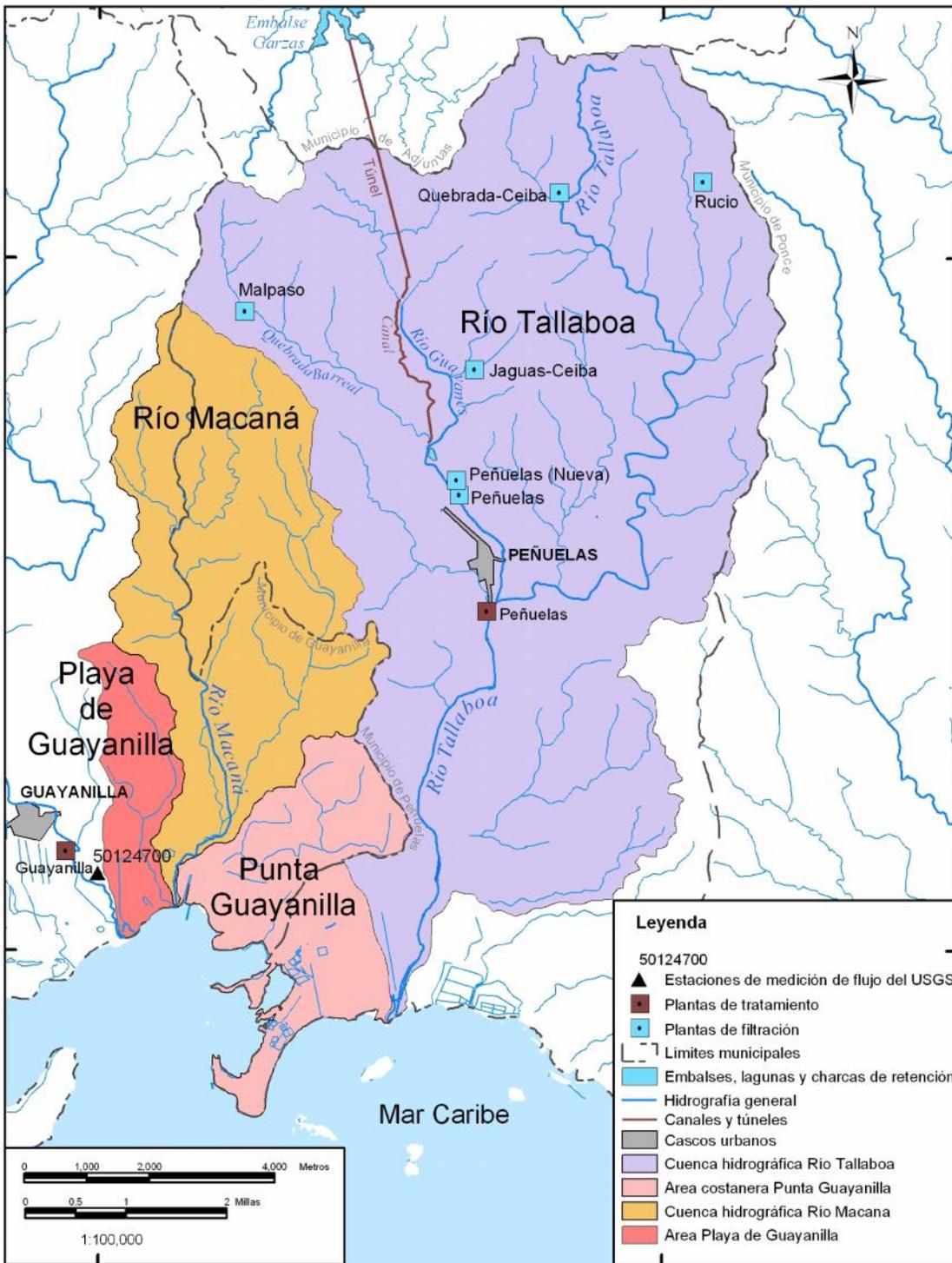
Figura 9-71. Balance Hidrológico Cuenca del Río Portugués. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

66°46'

66°41'

6°

0°



Leyenda

- 50124700
- ▲ Estaciones de medición de flujo del USGS
- Plantas de tratamiento
- Plantas de filtración
- - - Límites municipales
- Embalses, lagunas y charcas de retención
- Hidrografía general
- Canales y túneles
- Cascos urbanos
- Cuenca hidrográfica Río Tallaboa
- Area costanera Punta Guayanilla
- Cuenca hidrográfica Río Macana
- Area Playa de Guayanilla

H:\Proyectos\cuenca\cuenca14_47_ALTERNAS.mxd

rográfica del Río Tallaboa.

ganado ocupan el 16% de los terrenos, siendo el balance zonas urbanizadas y los cuerpos de agua. Abundante en la parte alta de la cuenca resulta en una esorrentía relativamente abundante en la cuenca. La producción neta de esorrentía, incluyendo las contribuciones del Sistema de Garzas, es de aproximadamente 56,100 acres-pies anuales. El Sistema de Garzas contribuye un promedio de 13,391 acres-pies (tasa de renovación por capacidad de embalse). La AAA opera tres (3) tomas de agua en la cuenca que alimentan tres (3) plantas de filtración, siendo la de mayor capacidad la de Peñuelas *Filter*, que extrae un promedio de 2 mgd (2,242 acres-pies anuales) del Río Tallaboa cerca de la zona urbana. Otras PF activas en la cuenca incluyen las de Malpaso y Peñuelas Nueva.

La calidad del agua en la cuenca del Río Tallaboa es generalmente desconocida, debido a la ausencia de datos recientes. Tampoco existen datos del transporte de sedimentos. Debido a su ruralía, abundan los pozos sépticos domésticos que descargan aguas sanitarias a las quebradas y ríos. Datos del *USGS* establecen la presencia de concentraciones elevadas de bacterias de origen fecal en el Río Tallaboa. En la cuenca no operan industrias que descarguen al río o sus tributarios efluentes con permisos de la JCA o la EPA. Residuos petroquímicos emanan del complejo *CORCO-Carbide* hacia el segmento costanero del Río Tallaboa durante lluvias intensas, descargando a la Bahía de Tallaboa.

La Tabla 6-27 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-30. Balance Hidrológico Cuenca Río Tallaboa.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	112,560
Evapotranspiración	71,930
Flujo	
" promedio anual	42,700
" estiaje (90 días)	ND
" estiaje (150 días)	ND
Extracción pozos	3,400
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	1,510
Descargas aguas usadas a ríos	701
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	594 ^a
No contabilizado	-4,550
Por ciento no contabilizado	-4
^a transferencia de 0.53 mgd estación hidroeléctrica Garzas 2.	
ND - no determinado	

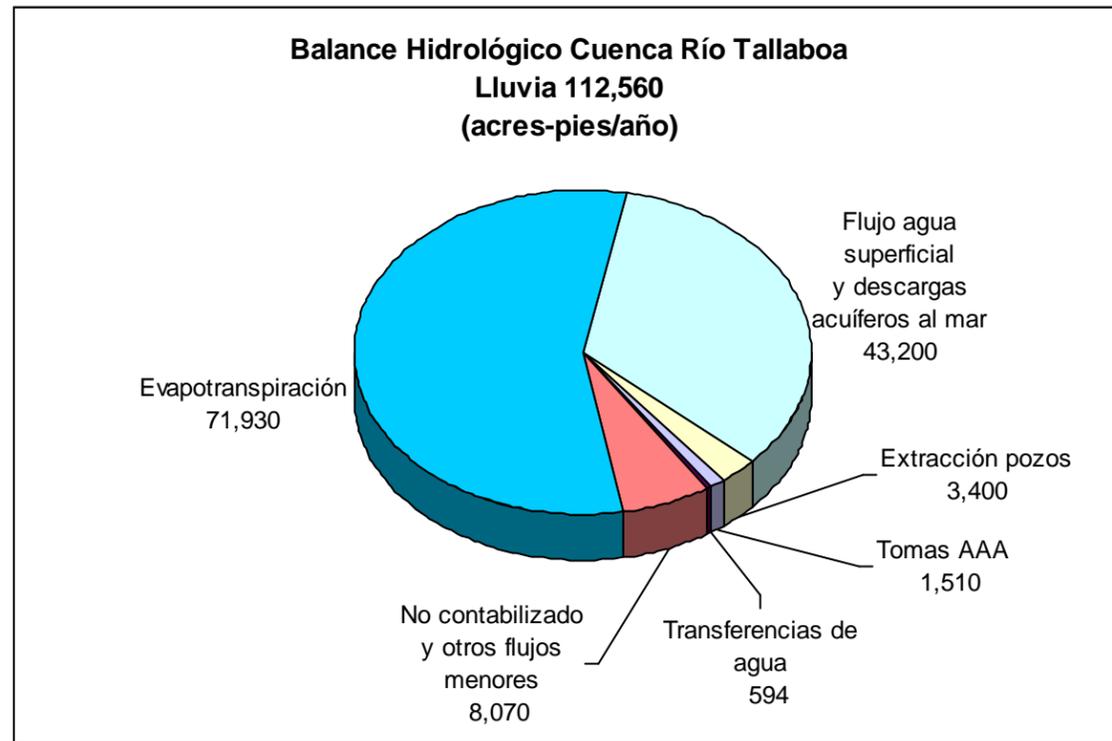


Figura 9-73. Balance Hidrológico Cuenca del Río Tallaboa. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.24 Cuenca del Río Guayanilla

La cuenca del Río Guayanilla incluye 25.1 mi² en la región suroeste de Puerto Rico, en los municipios de Guayanilla y Yauco. El río se origina en la parte sur del Monte Guilarte en sectores entre ambos municipios, a elevaciones de hasta 2,955 pies en la divisoria entre las vertientes norte y sur de la Cordillera Central. En esta zona de lluvias copiosas, varias quebradas menores alimentan el cauce, fluyendo hacia el sur en un curso paralelo a los ríos Yauco y Macaná, en cuencas adyacentes. En el Barrio Jagua Pasto, la AAA opera una planta de filtración que extrae 0.3 mgd de agua del río. Varias quebradas contribuyen a aumentar el flujo del río aguas abajo de la toma de la AAA, incluyendo la Guamá, Grande de Sierra Baja y sus afluentes Rodadero y Limón, Motete y Consejo. El río fluye a través de la zona urbana de Guayanilla hacia la costa, recibiendo la descarga de la planta de tratamiento de aguas usadas de la AAA (0.38 mgd), fluyendo luego a la parte oeste de la Bahía de Guayanilla.

El clima de la cuenca incluye la zona subtropical muy húmeda en las laderas de la Cordillera Central y la zona subtropical húmeda en la parte central de la cuenca. La cuenca manifiesta la zona subtropical seca en el valle aluvial hacia la Bahía de Guayanilla. La lluvia sobre la cuenca varía anualmente con los patrones de la Región Sur, con sequías la primera mitad del año y aguaceros más abundantes luego de agosto. En la parte alta de la cuenca en la Cordillera Central, la lluvia promedio anual es de 79 pulgadas, reduciéndose a 38 pulgadas en el valle aluvial cerca de Guayanilla, con un promedio de 73 pulgadas. Durante años de sequías el promedio se reduce a 51 pulgadas. Las temperaturas más elevadas de la Región Sur contribuyen a tasas altas de evapotranspiración en la cuenca, consumiendo hasta el 74 % de la lluvia anual (46 pulgadas). En sequías la evapotranspiración promedio anual se reduce a 40 pulgadas.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico en las vertientes sur y depósitos sedimentarios marinos y aluviales en los valles que forma el río. Los depósitos volcánicos (28.3 mi²) consisten mayormente de andesita y tufas masivas piroclásticas, con capas entrelazadas de cenizas, *shale*, calizas y mármol. Los depósitos sedimentarios (3.0 mi²) consisten de rocas calizas de la Formación Ponce al norte de Guayanilla y hacia la costa, sobre impuestos por mezclas de arena, aluvi3n y materia orgánica hacia el valle aluvial.

El uso de terrenos en la cuenca es principalmente bosques y pastos (76 %), agricultura (16 %) y zonas urbanas (6%). En el 2004, la población de la cuenca era de aproximadamente 16,600 habitantes, incluyendo la zona urbana de Guayanilla.

La producción neta de escorrentía en la cuenca del Río Guayanilla es menor, con un promedio anual de 50,540 acres-pies por año. No existen embalses ni lagunas en la cuenca. La única extracción de agua significativa del río es la PF de la AAA en Jaguas Pasto, que produce un promedio anual de 336 acres-pies (0.30 mgd). La AAA descarga al cauce del río un promedio de 0.36 mgd (404 acres-pies) de aguas tratadas provenientes de la planta secundaria de Guayanilla.

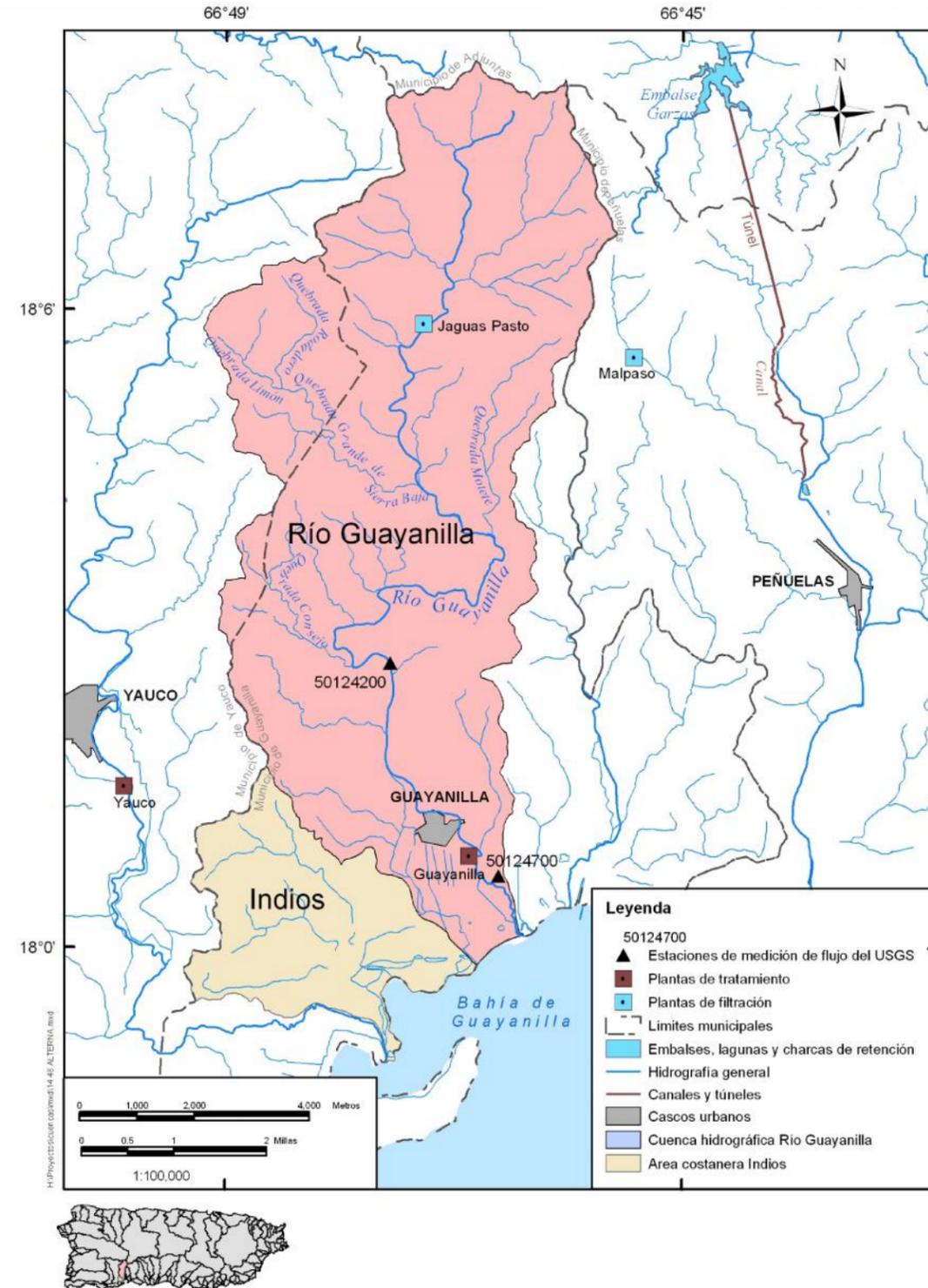


Figura 9-74. Cuenca Hidrográfica del Río Guayanilla.

Las aguas subterráneas en la cuenca son relativamente abundantes, aunque su calidad ha sido afectada por contaminación química e intrusión salina. Los depósitos sedimentarios marinos y aluviales forman un acuífero en el valle inferior de la cuenca que se extiende desde la vecindad de la Carretera PR-1 hasta la desembocadura del cauce al mar. El acuífero exhibe espesores que varían desde 50 a 200 pies, y porosidades relativamente altas, de entre 44 a 50 pies por día (Crooks y otros, 1968). Pozos en el valle costanero tienen rendimientos de hasta 700 gpm. En el 2002, las extracciones de agua subterránea en la cuenca para usos domésticos, agrícolas e industriales, fueron de 1.76 mgd (1,970 acres-pies anuales).

La Tabla 6-28 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-31. Balance Hidrológico Cuenca Río Guayanilla.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	97,180
Evapotranspiración	61,000
Flujo	
" promedio anual	50,540
" estiaje (90 días)	ND
" estiaje (150 días)	ND
Extracción pozos	200
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	5,330
Descargas aguas usadas a ríos	400
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-18,520
Por ciento no contabilizado	-19

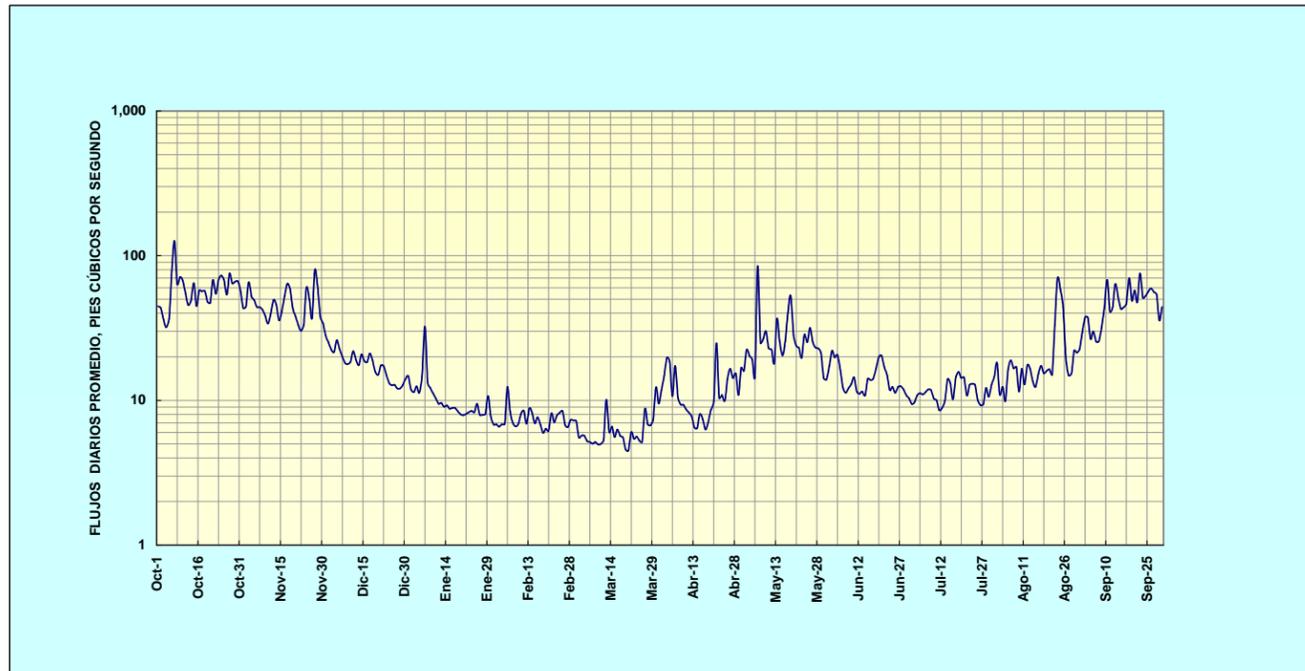


Figura 9-75. Flujos diarios promedios en el Río Guayanilla cerca Guayanilla (50124200), 1981 – 2002.

La calidad del agua en la cuenca del Río Guayanilla es generalmente desconocida, incluyendo el transporte de sedimentos. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que no existen datos para el 78% de los tramos del río. En el balance de los tramos, los datos establecen que el agua no cumple con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. Datos históricos del USGS y la JCA establecen que pozos sépticos y actividades agrícolas en la cuenca son la fuente posible de estos contaminantes en las aguas superficiales. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios.

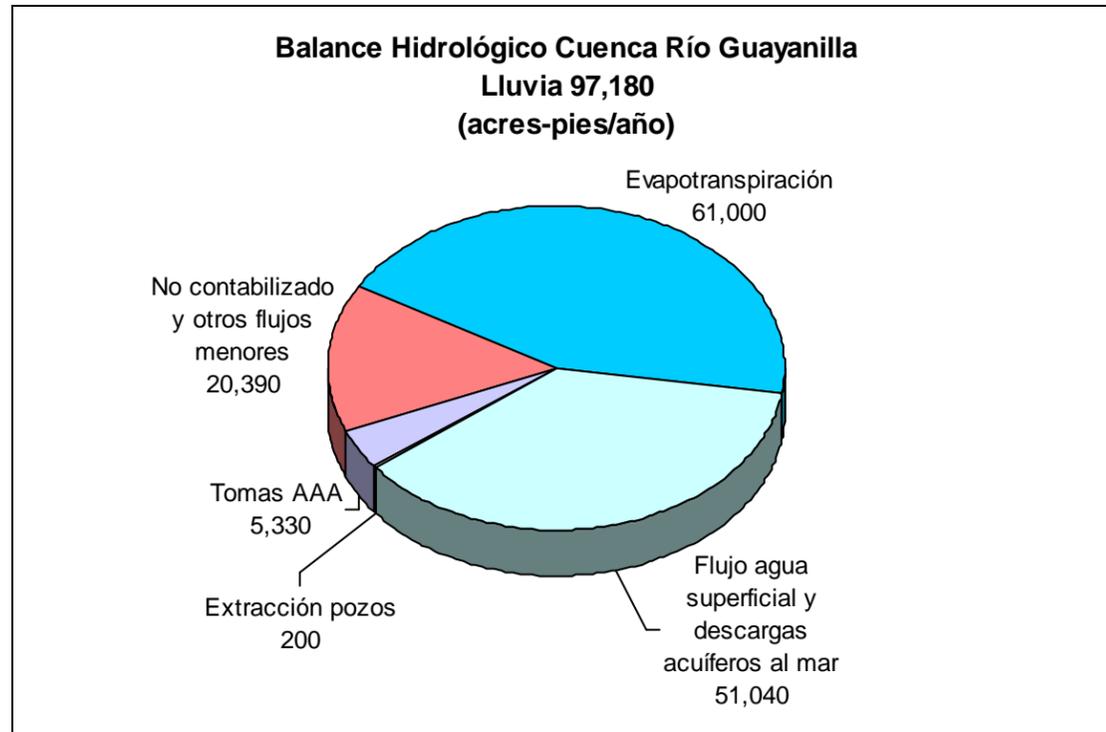


Figura 9-76. Balance Hidrológico Cuenca del Río Guayanilla. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

9.25 Cuencas Río Yauco, Río Loco y el Valle de Lajas

Las cuencas del Río Yauco, Río Loco y el Valle de Lajas, en la Región Suroeste de Puerto Rico, forman parte del Distrito de Riego del Valle de Lajas (DRVL), operado por la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). Las cuencas de los dos ríos ocupan áreas respectivas de aproximadamente 46.1 mi² (Río Yauco) y de 24.7 mi² (Río Loco) en las laderas sur de la Cordillera Central. El Valle de Lajas ocupa un área de aproximadamente 83.5 mi² al oeste del Río Loco hasta la zona de Cabo Rojo y la Bahía de Boquerón. Los ríos descienden a través de valles estrechos hacia la costa, descargando el Río Yauco en el extremo oeste de la Bahía de Guayanilla, mientras que el Río Loco fluye a la Bahía de Guánica. La población en la cuenca del Río Yauco es de 29,790, incluyendo la zona urbana de Yauco. En la cuenca del Río Loco la población es de 27,680, incluyendo la zona urbana de Guánica, mientras que los municipios que comprenden el Valle de Lajas tienen una población de 41,910.

El DRVL es el sistema de riego más importante en la Isla, ya que en adición al agua para usos agrícolas, es la fuente principal de agua potable a los habitantes de los municipios de Guánica, Sabana Grande, San Germán, Lajas y sectores de Cabo Rojo. Aunque en su condición natural las cuencas del Río Yauco, el Río Loco y el Valle de Lajas eran sistemas hidrológicos independientes, el desarrollo del sistema de riego los ha integrado en una sola unidad funcional. El Plan evalúa los recursos hidrológicos de esta zona en forma integrada, debido a las transferencias de agua que ocurren entre estas cuencas y el Valle de Lajas, así como de dos embalses en la cuenca del Río Grande de Manatí, en las laderas norte de la Isla.

El clima en la Región y las cuencas que la drenan varía desde zonas de lluvias abundantes en la Cordillera Central hasta condiciones semidesérticas en el valle costanero del Río Loco y el Valle de Lajas. Una franja en el límite norte de la cuenca del Río Yauco es de clima subtropical muy húmedo. Aproximadamente la mitad norte de las cuencas del Río Loco y el Río Yauco exhiben un clima subtropical húmedo. Las zonas costaneras de ambas cuencas y el Valle de Lajas exhiben un clima subtropical seco. La lluvia promedio anual en la región varía desde 86 pulgadas en la zona montañosa de las cuencas, 34 pulgadas en el Valle de Lajas cerca de la costa. En forma similar a otras regiones en la Isla, la lluvia varía a través del año, con períodos de lluvia intensa en mayo y desde septiembre a diciembre. Sin embargo, en los valles costaneros desde Yauco hasta Lajas, la variación es menor que en la zona montañosa. En estos valles frecuentemente ocurren períodos de sequías intensas, extendiéndose desde enero hasta agosto. La cuenca del Valle de Lajas es la zona de menor precipitación en Puerto Rico, con un promedio anual de solamente 45 pulgadas. Paralelamente, las altas temperaturas y los vientos secos que predominan en la zona inducen tasas de evapotranspiración (ET) altas. La ET promedio anual en la Región varía desde 42 pulgadas en las montañas hasta 30 pulgadas en los valles costaneros, para un promedio de 37 pulgadas anuales. La infiltración de escorrentía a los acuíferos es mínima en la zona montañosa, debido a la baja porosidad de las rocas volcánicas. En los valles de los Ríos Yauco y Loco, la infiltración es de hasta 6 pulgadas por año, contribuyendo a que en zonas limitadas los pozos produzcan hasta 700 gpm (Crooks y otros, 1968).

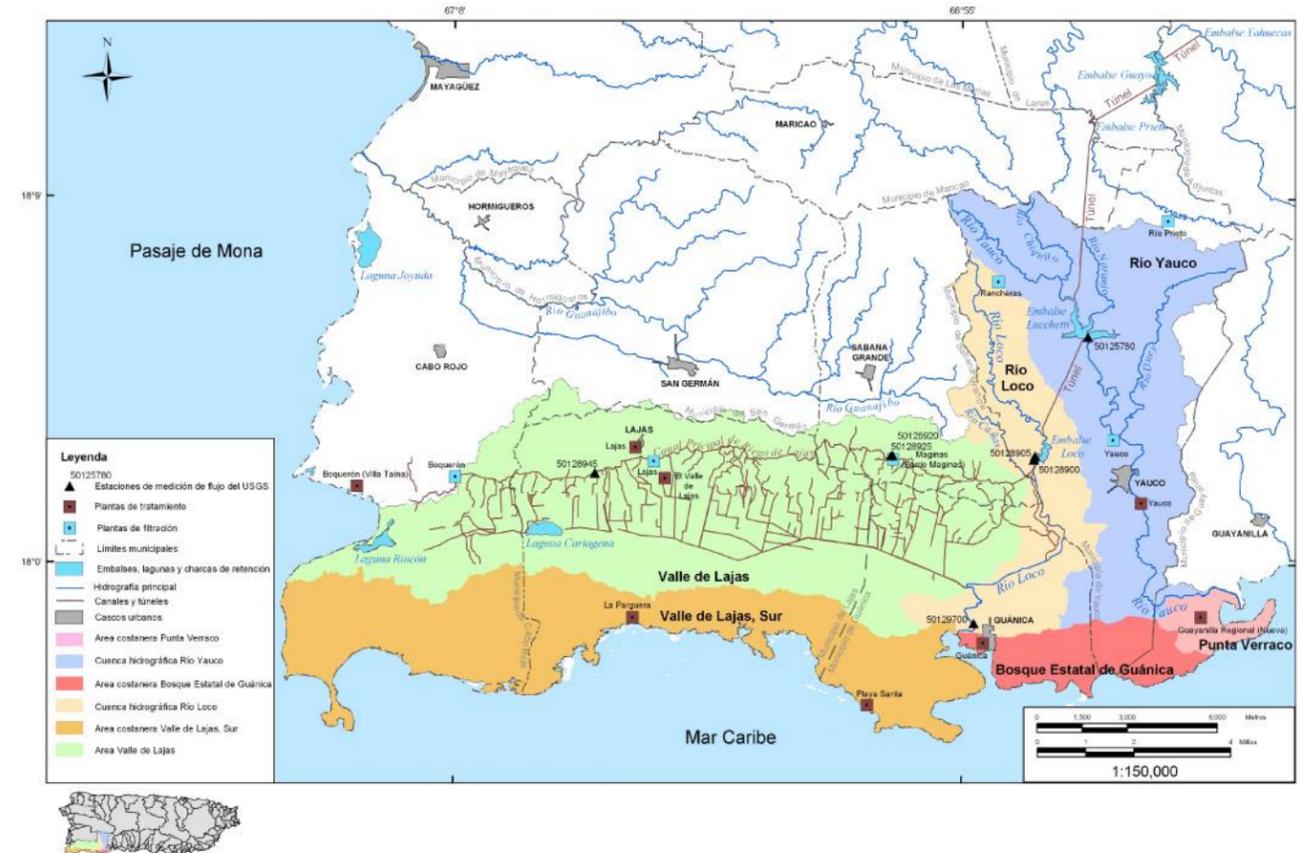


Figura 9-77. Cuencas Hidrográficas del Río Yauco, el Río Loco y el Valle de Lajas.

Las rocas en la zona montañosa son primordialmente de origen volcánico, con depósitos aluviales en los valles de los ríos. En el Valle de Lajas, predominan depósitos aluviales y marinos que descansan sobre el basamento rocoso y capas de rocas calizas no-uniformes. Las partes altas de las cuencas del Río Yauco y el Río Loco, en la Cordillera Central, se caracterizan por bosques y montes con pendientes escarpadas. Los terrenos son principalmente agrícolas, con cultivos de café, vegetales y frutas, predominando las series de suelos Caguabo y Descalabrado en la cuenca del Río Yauco, Serpentina, y San Antón en la cuenca del Río Loco. Estos suelos están formados mayormente de barros y arcillas, por lo que son de poca capacidad hidráulica y fertilidad moderada.

El Río Yauco se origina en las cúspides de la Cordillera Central en Yauco, a elevaciones de hasta 3,100 pies, fluyendo hacia el sur hasta el Embalse Lucchetti en la parte superior de la cuenca. Este embalse, construido en 1952, es formado por una presa de hormigón de 571 pies de longitud, con una capacidad inicial de 16,500 acres-pies. Su capacidad actual debido a la sedimentación es de aproximadamente 9,060 acres-pies, equivalente al 55% de su capacidad original. El Río Duey es el tributario principal del Río Yauco, drenando la parte este de la cuenca. Varias quebradas aguas abajo del embalse y la confluencia con el Río Duey alimentan el flujo en la parte inferior de la cuenca hasta su desembocadura en la Bahía de Guayanilla.

El Río Loco discurre hacia el sur en un curso casi paralelo con el Río Yauco. La Quebrada Grande es el tributario principal del Río Loco, fluyendo al cauce principal desde el este. El Embalse Loco, un embalse de tamaño menor (capacidad inicial de 1,950 acres-pies) construido en 1951, yace aguas abajo de la confluencia de ambos efluentes, formado por una represa en hormigón de 600 pies de longitud. Su capacidad actual es de solamente 604 acres-pies, equivalente al 31% de su capacidad original. El Embalse Loco recibe las descargas del Embalse Lucchetti luego de generarse electricidad en la Planta Yauco #2. El agua descargada del embalse alimenta el Canal Principal de Riego del Valle de Lajas, que se origina aproximadamente 150 metros aguas abajo de la represa, mediante un sifón desde el embalse. Aguas abajo del inicio del Canal de Lajas, el Río Cañas fluye desde el oeste al cauce del Río Loco. El Canal Principal de Desagüe del Valle de Lajas retorna al cauce del Río Loco al norte de la zona urbana de Guánica, luego de lo cual el río desemboca en la Bahía de Guánica.

El Valle de Lajas es una de las cuencas costaneras de mayor tamaño en la Isla, con un área superficial de aproximadamente 83.5 mi². El valle se extiende aproximadamente 18 millas de este a oeste, desde la vecindad de Guánica hasta Boquerón, y hasta 3 millas de sur a norte desde la Sierra de Bermeja hasta la vecindad de la zona urbana de Lajas. La topografía del valle es plana, con elevaciones máximas de 80 pies snm, mientras que los suelos superficiales, principalmente sedimentarios, se caracterizan por su baja permeabilidad, lo que ha propiciado la acumulación de sales debido al riego agrícola intenso. Anterior a su desarrollo agrícola, el valle incluía varios cuerpos de agua superficiales, incluyendo las Lagunas Cartagena y Guánica, y la Ciénaga Anegado, alimentadas por descargas de agua subterránea y escorrentía difusa. El valle incluye el centro urbano de Lajas y la comunidad de Boquerón, con una población de 41,910 habitantes.

El DRVL entrelaza las cuencas de los Ríos Yauco, Loco y el Valle de Lajas con los embalses de Yahuecas y Guayo, en las laderas norte de la cuenca del Río Grande de Manatí. Estos dos

embalses tienen capacidades actuales de 70 y 13,100 acres-pies respectivamente. La cuenca neta del Embalse Lucchetti, en la parte superior del Río Yauco, no genera suficiente caudal para la capacidad del embalse. El agua acumulada en los embalses Yahuecas y Guayo es transferida hacia el Embalse Lucchetti mediante un sistema de túneles, aumentando el área efectiva de captación del Sistema del Suroeste a aproximadamente 79.7 mi². Esto permite el uso más efectivo de las turbinas hidroeléctricas que opera la AEE aguas arriba de Lucchetti, desde donde el agua fluye hasta una segunda unidad generatriz en la entrada del Embalse Loco. Además, esta transferencia de agua de Yahuecas y Guayo provee suficiente agua para transferir al Canal de Lajas y satisfacer las demandas de riego en la zona, particularmente durante períodos de sequía. Desde el Embalse Loco, el agua es descargada por el Canal de Lajas hacia el Valle de Lajas, o al cauce natural del Río Loco fluyendo hacia el Mar Caribe (Figura 9-76). El agua descargada al Canal de Lajas fluye hacia el oeste, alimentando aproximadamente 332 tomas agrícolas, así como cuatro (en la fig. 9-76 aparecen solo 3) plantas de filtración operadas por la AAA que sirven agua potable a los residentes de Sabana Grande, Guánica, Lajas, San Germán y sectores de Cabo Rojo.

Los recursos de agua de la Región son abundantes, aunque paradójicamente la zona sufre escasez de agua frecuentemente, y existen conflictos en las prioridades para el uso del agua disponible. La lluvia y escorrentía generada en las cuencas, incluyendo las transferencias de Yahuecas y Guayo, resultan en una producción anual promedio de 187,300 acres-pies, la cual se reduce a 131,100 acres-pies en años de sequía. Los embalses de Guayo, Yahuecas, Lucchetti y Loco tienen una capacidad de almacenaje combinada de aproximadamente 22,830 acres-pies. Esta capacidad limitada de almacenaje requiere que la AEE desborde periódicamente cantidades de agua sustanciales desde el Embalse Loco al Río Loco, la cual fluye eventualmente al Mar Caribe. Desde el Embalse Loco se descargaron aproximadamente 30,930 acres-pies de agua hacia el Canal de Lajas durante el 2003, para suplir las tomas agrícolas y las plantas de filtración de la AAA. Anualmente la AEE suple un promedio de 17,100 acres-pies para riego y 10,330 acres-pies para la AAA. El balance de estos flujos establece que durante el 2003 la AEE descargó al Río Loco el 83% del agua generada en las cuencas (156,370 acres-pies), la cual fluyó hacia el mar.

Excepto en los valles aluviales del Río Yauco y el Río Loco, los acuíferos de la Región no son una fuente importante de agua. En los depósitos aluviales del valle de Yauco, se extraen aproximadamente 5.5 mgd (6,165 acres-pies por año) de agua subterránea, principalmente para riego agrícola y consumo doméstico. Igualmente, en el valle aluvial del Río Loco, en el Municipio de Guánica, se extraen aproximadamente 5.2 mgd (5,830 acres-pies por año) de aguas subterráneas para usos similares. Los acuíferos en la parte superior de las cuencas no son productivos, o son de tamaño menor. En el Valle de Lajas, los acuíferos de la zona son más productivos, aunque contienen principalmente aguas salobres o salinas, lo que limita su uso. Las extracciones de agua para usos agrícolas y domésticos en el Valle de Lajas en el 2002 fueron de aproximadamente 0.95 mgd (1,065 acres-pies).

La calidad del agua en la región varía desde excelente en la parte superior de las cuencas hasta pobre en el Valle de Lajas. Sin embargo, los datos disponibles son limitados para evaluar en forma categórica la calidad del agua en tramos de los ríos, los embalses o el Valle de Lajas. La presencia de bosques en la parte alta de las cuencas minimiza la erosión y el transporte de

sedimentos. Aunque los embalses en las cuencas han perdido una parte sustancial de su capacidad original, las tasas de sedimentación en las cuencas de los Ríos Yauco y Loco son relativamente bajas. El Embalse de Lucchetti, el principal de la Región, exhibe una tasa de sedimentación de solamente 143 acres-pies por año, con una vida útil estimada en 62 años. Las demandas de agua en la Región pueden satisfacerse con los recursos de agua disponibles en el DRVL y de fuentes adicionales en la zona. Sin embargo, esto requerirá modificar significativamente las reglas de operaciones que utiliza la AEE para los embalses y las unidades hidroeléctricas. La demanda de agua aumentará sustancialmente con la creación de la Reserva Agrícola del Valle de Lajas, que propone desarrollar hasta 14,000 acres en cultivos.

Tabla 9-32. Balance Hidrológico Cuencas Río Yauco, Loco, Valle de Lajas.

Componentes Hidrológicos	(acres-pies/año)
Precipitación	405,820
Evapotranspiración	317,390
Flujo	
" promedio anual	46,500
" estiaje (90 días)	-
" estiaje (150 días)	-
Extracción pozos	19,500
Descarga de agua subterránea al mar	2,000
Tomas AAA	17,700
Descarga aguas usadas a ríos	3,610
Descarga aguas usadas al mar	620
Entregado a fincas	17,090
Transferencias de agua	-
No contabilizado	-11,340
Por ciento no contabilizado	-3

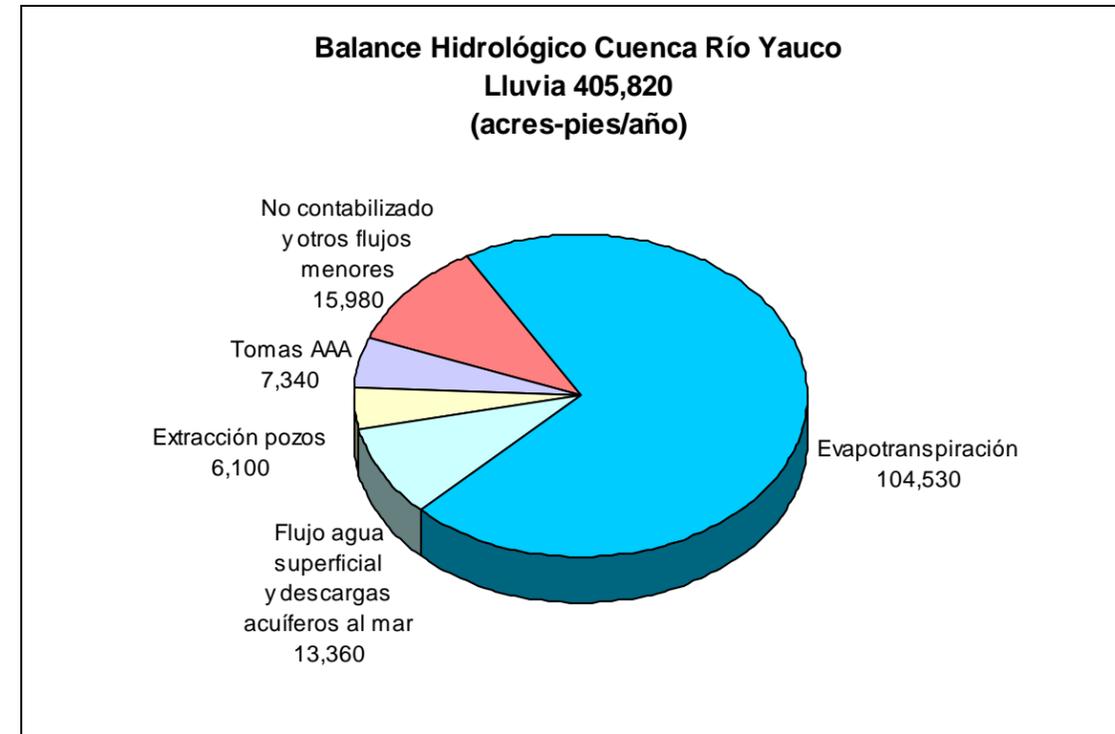


Figura 9-78. Balance Hidrológico Cuenca del Río Yauco, Loco, Valle de Lajas.

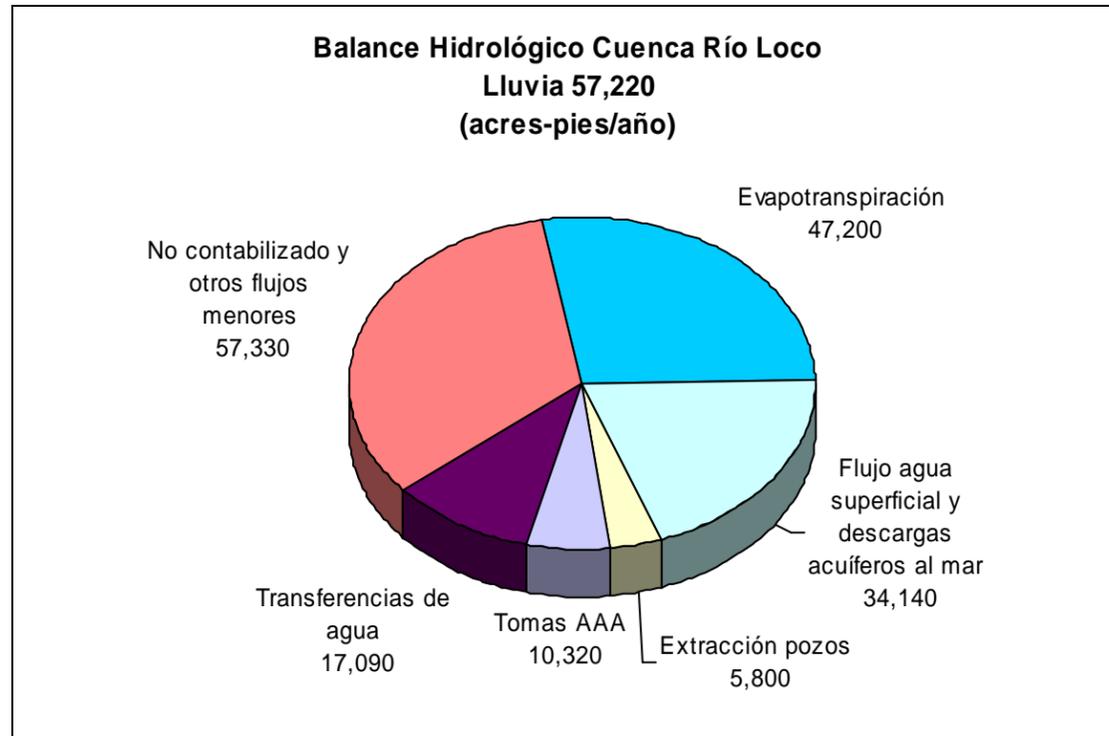


Figura 9-79. Balance Hidrológico Cuenca del Río Loco. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.

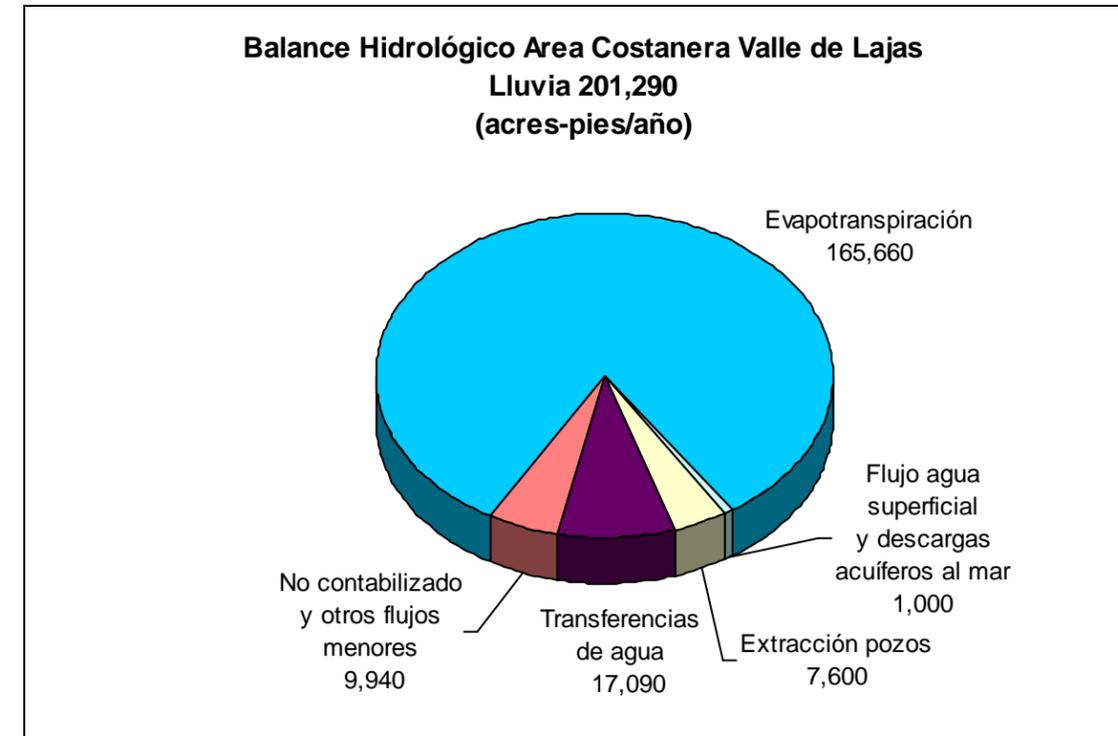


Figura 9-80. Balance Hidrológico Cuenca Área Costanera del Valle de Lajas.

9.26 Cuenca del Río Guanajibo

La cuenca hidrográfica Río Guanajibo incluye un área de aproximadamente 127 mi² en la Región Suroeste de Puerto Rico, en sectores de los municipios de Cabo Rojo, Hormigueros, Las Marías, Mayagüez, Maricao, Sabana Grande y San Germán. El Río Guanajibo, el principal efluente en la cuenca, se origina en el área del Monte del Estado en la zona de los Bosques de Maricao y Susúa, a elevaciones de hasta 2,470 pies. En esta zona de la Cordillera Central donde la lluvia es copiosa, se originan numerosas quebradas y ríos, fluyendo hacia los valles en el sur hasta formar el cauce del Río Guanajibo. Los tributarios principales incluyen los ríos Grande, Coco, Grande de Esteros, Flores, Cruces, Cupeyes, Caín, Hoconuco, Nueve Pasos, Duey, Maricao y Prieto. Estos tributarios son a su vez alimentados por varias quebradas de caudal abundante, incluyendo las quebradas Honda, Matadero, Casanga, Maresúa y Trina. Los ríos indicados convergen en el Río Guanajibo al norte de Sabana Grande, fluyendo hacia el oeste hasta la vecindad de San Germán y Hormigueros, donde se le une su tributario principal, el Río Rosario. Este importante río, que se origina en la zona montañosa de Maricao, drena un área de bosques densos y precipitación abundante en la parte norte de la cuenca del Río Guanajibo. Desde la confluencia con el Río Rosario, el Río Guanajibo fluye a través del valle costanero hacia Hormigueros hasta desembocar en el Pasaje de Mona al sur de Mayagüez. La cuenca incluye los centros urbanos de Cabo Rojo, Hormigueros, San Germán, Maricao y Sabana Grande. La población de la cuenca en el 2004 era de aproximadamente 106,715 habitantes.

El clima de la cuenca incluye zonas subtropicales, tropicales y secas. La lluvia varía desde abundante en las zonas de los Bosques de Maricao y Susúa, a mínima en el valle costanero cercano a San Germán y Hormigueros. La lluvia observa los patrones de variación anual típicos del resto de la Isla, con el período de sequía de enero a abril, lluvias en mayo seguidas de un segundo período de sequía en el verano, y la época lluviosa que comienza generalmente en agosto o septiembre. En la zona norte de la cuenca, en el ramal formado por la sub-cuenca del Río Rosario, la lluvia es abundante debido a los efectos orográficos. En este sector, la lluvia promedio anual es de aproximadamente 108 pulgadas. En comparación, en el extremo sureste en el valle de Lajas en la colindancia con la cuenca del Río Loco, el promedio es de 43 pulgadas anuales. En la costa hacia Cabo Rojo y Hormigueros, la lluvia promedio es de 67 pulgadas anuales. Esta amplia gama de precipitación resulta en un promedio anual en la cuenca de 72 pulgadas, que en periodos de estiaje puede reducirse a 51 pulgadas. El promedio de evapotranspiración en la cuenca es de 46 pulgadas al año, con 40 pulgadas en épocas de estiaje. En condiciones promedio anuales, la evapotranspiración representa un 64% de la precipitación de la cuenca.

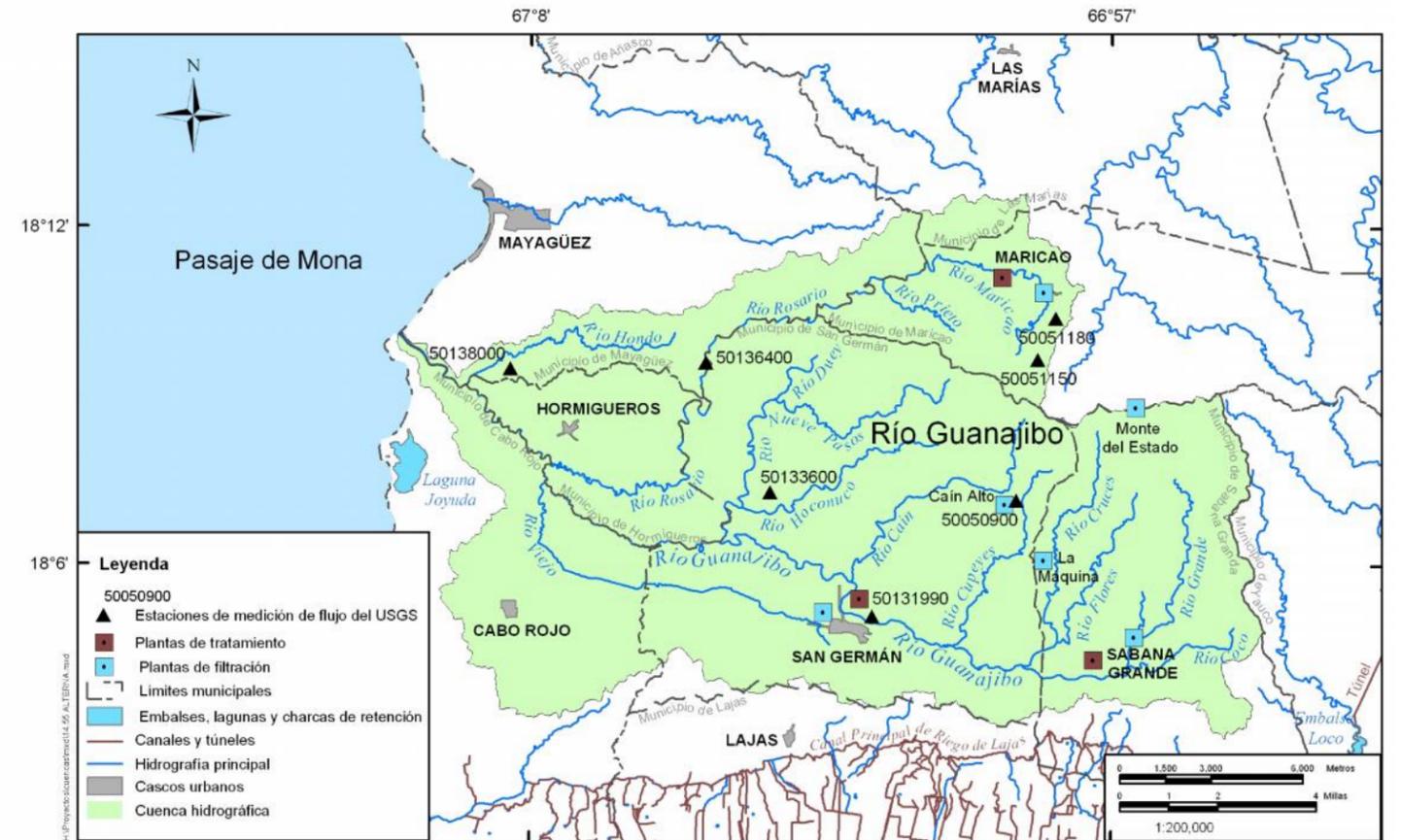


Figura 9-81. Cuenca Hidrográfica del Río Guanajibo.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico, incluyendo tufa, andesitas, cenizas volcánicas y *shales*, mezcladas con capas de rocas calizas. Depósitos aluviales y marinos descansan sobre las rocas volcánicas en el valle del Río Guanajibo hacia la costa. Este valle, junto con el del Río Grande de Añasco, son los más extensos de la Región Oeste de Puerto Rico. Residuos de rocas calizas del Período Pleistoceno ocurren en la parte alta de la cuenca, sobre-impuestos sobre las rocas volcánicas. En el valle del Río Guanajibo, los depósitos aluviales consisten de arena, grava y barro que en algunos lugares tienen hasta 100 pies de espesor. Los suelos a través de la cuenca son principalmente series Serpentina, Caguabo y Múcara, de fertilidad alta y moderada. Los bosques y los pastos son los usos principales de los terrenos en la cuenca (52%), particularmente en la zona del Monte del Estado y los bosques estatales de Susúa y Maricao. Hacia el valle desde Sabana Grande, San Germán y Hormigueros, predominan pastos no mejorados y zonas agrícolas (38%).

Los recursos de agua superficiales en la cuenca del Río Guanajibo son relativamente abundantes, tomando en consideración que parte de la cuenca yace en una de las zonas de menor lluvia en Puerto Rico. La escorrentía promedio anual generada en la cuenca se estima en 142,880 acres-pies. No existen embalses en la cuenca, aunque agua proveniente de los embalses Lucchetti y Loco, en la cuenca del Río Loco, es transferida hacia los municipios en la Región Suroeste (Sabana Grande, Guánica, San Germán y Lajas) mediante el Canal de Lajas. Varias plantas de filtración operadas por la AAA extraen aproximadamente 2.0 mgd (2,240 acres-pies por año) de agua del Río Guanajibo o sus tributarios, incluyendo las plantas de Maricao, Monte del Estado, La Máquina, San Germán Urbana Sabana Grande Nueva y Vieja y Caín Alto (Hormigueros). El DRVL, a través del Canal de Lajas, provee agua a las plantas de filtración de Maginas y Urbana en Sabana Grande, que producen un promedio de 3.68 mgd de agua potable (4,130 acres pies por año). La AAA también opera en la cuenca las plantas de tratamiento de aguas usadas de Maricao Sabana Grande y San Germán, que descargan un promedio de 2.76 mgd (3,100 acres pies por año) de aguas tratadas a nivel secundario al Río Guanajibo.

La cuenca también cuenta con recursos de agua subterráneos moderados, principalmente en el acuífero aluvial en el valle de la zona central de Guanajibo en Hormigueros (USGS, WRI-8250, 1985). En esta zona el agua se encuentra en depósitos aluviales formados principalmente por gravas y arenas, así como rocas calizas de porosidad moderada que yacen bajo el aluvión o entrelazadas con los residuos volcánicos. Las zonas de mayor producción y potencial ubican en la parte suroeste de la cuenca, entre Guanajibo y Cabo Rojo. La AAA opera en la zona 7 pozos que extraen un promedio de 3.4 mgd (Dieppa y Quiñones-Márquez, 1985). El USGS estima que en el 2002 el uso total de agua subterránea en la zona de San Germán y Hormigueros (Guanajibo) fue 0 mgd. Sin embargo, es posible obtener rendimientos de hasta 200 gpm en pozos en la zona montañosa de la cuenca que interceptan fracturas en las rocas de origen volcánico.



Figura 9-82. Flujos diarios promedios en el Río Guanajibo cerca de Hormigueros (50138000), 1973 – 2002.

El balance entre la producción neta de agua superficial en la cuenca y las extracciones y descargas sanitarias a los ríos llevadas a cabo por la AAA, resultan en un flujo promedio anual del Río Guanajibo al Pasaje de Mona de 136,860 acres-pies. Las aguas subterráneas no son un factor importante en la descarga hacia la zona costanera, según demostrado en los estudios anteriores del USGS (USGS, 1985). Esta relativa abundancia de escorrentía hacia el mar representa un potencial de aprovechamiento adicional de las aguas en la cuenca. La AAA evalúa al momento el potencial de desviar hacia el Valle de Lajas y la nueva Reserva Agrícola de la zona, parte de la escorrentía que descarga el Río Guanajibo al mar.

La calidad del agua en la cuenca del Río Guanajibo no puede ser determinada de los datos existentes, aunque la información disponible sugiere condiciones marginales en la zona aguas abajo de San Germán. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que, en los tramos del río estudiados, el 31.2% no cumple con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales. No existen datos adecuados para evaluar el 56.7% de los tramos de los ríos en la cuenca, lo que impide determinar con precisión la condición general de la calidad de las aguas. Datos históricos obtenidos por el USGS y la JCA establecen que descargas de pozos sépticos y actividades agrícolas en la zona resultan en concentraciones de bacterias fecales en los ríos que exceden los estándares ambientales de la JCA. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios. No existen datos sobre el transporte de sedimentos en la cuenca, excepto información miscelánea en el Río Rosario cerca del Poblado del Rosario, donde anteriormente se propuso la construcción de un embalse (SVFG, 1980).

La calidad de las aguas subterráneas en la zona de Guanajibo en Hormigueros es generalmente adecuada para todos los usos, incluyendo como fuente de agua potable. Los estudios del *USGS* determinaron concentraciones relativamente altas de nitratos y sulfatos en el agua subterránea de la zona de Guanajibo, provenientes posiblemente de descargas sanitarias de pozos sépticos y de actividades agrícolas. Hacia la costa, el acuífero sufre de intrusión salina debido a extracciones excesivas de agua en pozos de la AAA y agrícolas.

La Tabla 9-32 muestra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-33. Balance hidrológico Cuenca Río Guanajibo.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	491,260
Evapotranspiración	314,530
Flujo	
" promedio anual	136,860
" estiaje (90 días)	-
" estiaje (150 días)	-
Extracción pozos	3,600
Descarga de agua subterránea al mar	1,000
Tomas AAA	6,020
Descargas aguas usadas a ríos	2,500
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	37,790
Por ciento no contabilizado	8

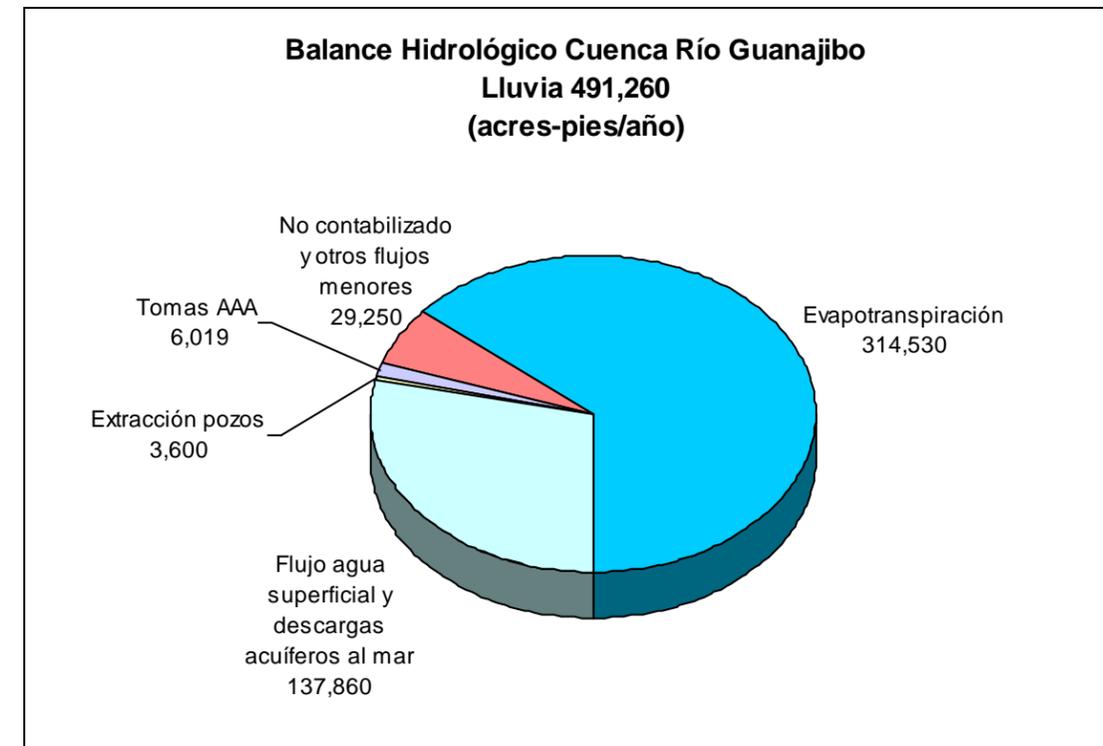


Figura 9-83. Balance Hidrológico Cuenca del Río Guanajibo.

9.27 Cuenca del Río Grande Añasco

La cuenca del Río Grande de Añasco ocupa un área de 181 mi² en las regiones Central y Oeste de Puerto Rico, incluyendo sectores de los municipios de Lares, Adjuntas, Yauco, Las Marías, Maricao, San Sebastián, Añasco y Mayagüez. Es la quinta cuenca en tamaño en la Isla, siendo el Río Grande de Añasco el segundo cauce en longitud. El río se origina de varias quebradas en la Cordillera Central entre Lares y Yauco a elevaciones de hasta 3,900 pies, formando el Río Prieto. En esta zona de la cordillera, donde llueve esencialmente todo el año, la escorrentía abundante forma varios ríos importantes, incluyendo a Toro, Guilarte, Yahuecas, Guayo, Limana, Blanco, y Guaba. El flujo combinado de estos tributarios y el Río Prieto forman el cauce principal del Río Grande de Añasco. Tres embalses ubicados en zonas entre Lares, Maricao y Adjuntas (Embalses Guayo, Yahuecas y Prieto) capturan parte de la escorrentía de estos tributarios, desviándola mediante túneles hacia el Embalse Lucchetti en la Región Suroeste. Esta agua fluye hacia el Distrito de Riego del Valle de Lajas, operado por la AEE, que genera electricidad y supe agua al Valle de Lajas y varios municipios de la Región, incluyendo a Guánica, Lajas, Sabana Grande y San Germán. Luego de las desviaciones en los embalses indicados, el Río Grande de Añasco desciende desde el Barrio Espino de Lares hacia el oeste al sur de San Sebastián, recibiendo el flujo de varios tributarios adicionales que drenan zonas de Las Marías y el Bosque de Maricao. Estos tributarios incluyen los ríos Casei, Arenas, Mayagüecillo, Cañas, Humata y Dagüey. El tramo final del río fluye al sur de la zona urbana de Añasco hacia el valle aluvial, descargando al Mar Caribe cerca de la antigua Central Igualdad. La población en la cuenca es primordialmente rural, con aproximadamente 50,000 habitantes en el 2004, incluyendo los centros urbanos de Añasco y Las Marías.

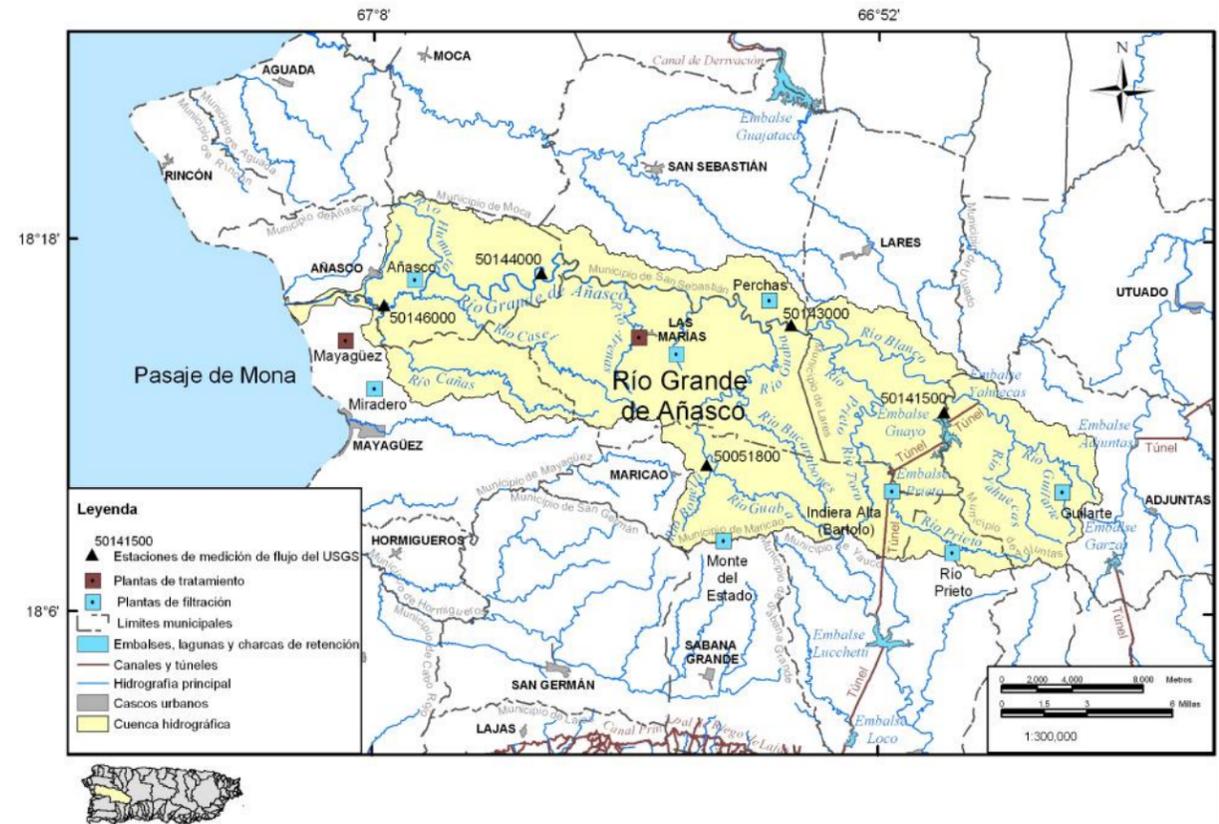


Figura 9-84. Cuenca Hidrográfica del Río Grande de Añasco.

El clima de la mayoría del área de la cuenca es subtropical muy húmedo aunque se han identificado pequeñas zonas donde el clima es montano bajo muy húmedo, con una franja hacia el oeste de clima subtropical húmedo. La lluvia es abundante casi todo el año en la zona de la Cordillera Central con lluvias orográficas en las laderas de las vertientes norte y sur. El patrón típico de reducciones significativas en la lluvia al principio de año que ocurre en la mayor parte de la Isla es menos pronunciado que en otras cuencas, mientras que la época de lluvias intensas desde agosto hasta diciembre es más acentuada. La lluvia promedio anual en la cuenca es de 86 pulgadas, variando desde 108 pulgadas en la zona de la cordillera hasta 66 pulgadas en el valle costanero. Durante años de sequías, el promedio anual de lluvia puede disminuir a 60 pulgadas. Lluvias intensas inducidas por huracanes y vaguadas producen inundaciones severas en el valle aluvial del río al oeste de Añasco, como ocurrió en el 1985 (USGS, 2002). La tasa de evapotranspiración es relativamente alta, debido al alto por ciento de bosques que cubre la cuenca. La evapotranspiración consume un promedio anual de 48 pulgadas de la lluvia (56%), con una reducción mínima a 44 pulgadas en épocas de estiaje.

La geología de la cuenca incluye primordialmente rocas de origen volcánico sedimentarias e intrusivas, principalmente en la zona montañosa. Depósitos aluviales ribereños ocurren en los valles de los tributarios y el costanero, mientras que cerca de la costa ocurren depósitos pantanosos de origen marino.

Los suelos en la parte montañosa de la cuenca incluyen principalmente las series Consumo y Humatas, donde predominan los bosques y los pastos (30% del área). La agricultura es intensa, incluyendo cultivos de café, vegetales y frutas, que combinadas con la actividad ganadera, utilizan aproximadamente el 67% de los terrenos. En el valle costanero anteriormente predominaban plantaciones de caña de azúcar, pero actualmente estos terrenos lo ocupan pastos, farináceas y desarrollos urbanos y comerciales.

La producción promedio anual de esorrentía en la cuenca es de aproximadamente 331,290 acres-pies. La AAA opera siete (7) plantas de filtración que se abastecen de quebradas o ríos en la cuenca, con una extracción promedio anual de 3.1 mgd (3,767 acres-pies por año). Estas incluyen las PF Indiera Alta (Bartolo, 0.4 mgd); Río Prieto (Maricao, 0.44 mgd); Perchas (San Sebastián, 0.251 mgd); Las Marías Urbana (1.37 mgd); Añasco (Añasco, 0.4 mgd) y Guilarte (Adjuntas, 0.2 mgd). La nueva Planta de Filtración Lares Espino en construcción extraerá 3.0 mgd (3,360 acres-pies por año) comenzando en el 2005. La AAA también opera en la cuenca la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Las Marías, con un efluente a nivel secundario de 0.1 mgd descargado al Río Arenas. Los embalses de Yahuecas, Prieto y Guayo, tienen una capacidad de almacenaje combinada de aproximadamente 14,250 acres-pies, correspondiendo a Guayo la mayor parte del almacenaje (13,070 acres-pies en el 2004). Los embalses transfieren un promedio anual de 18,365 acres-pies hacia la Región Suroeste y el Valle de Lajas. El balance de agua en la cuenca, estimado en 311,490 acres-pies por año, descarga al Pasaje de Mona cerca de Añasco.

Las aguas subterráneas en la cuenca ocurren en cantidades moderadas primordialmente en el valle aluvial cerca de la costa. El aluvión y residuos marinos forman un acuífero local de espesor y capacidad limitada. Las extracciones de agua subterránea se estiman en aproximadamente 1.0 mgd, principalmente para actividades agrícolas y aumentar los abastos de agua potable por la AAA. No existe potencial de desarrollar cantidades significativas de aguas subterráneas en la cuenca.

La calidad del agua en la cuenca del Río Grande de Añasco varía con la ubicación y época del año, aunque los datos disponibles son mínimos. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que no existen datos adecuados sobre calidad de agua para el 83% de los tramos de los ríos en la cuenca. De acuerdo a este estudio, el 14.7% de los tramos del río investigados no cumplen con los estándares ambientales para bacterias y nutrientes en aguas superficiales establecidos por la JCA. El Instituto de Recursos de Aguas del RUM ha llevado a cabo por varios años un estudio detallado de la calidad del agua en la cuenca, corroborando parcialmente los resultados de la JCA. Datos históricos del USGS y la JCA establecen que descargas de pozos sépticos y actividades agrícolas en la zona contribuyen bacterias y nutrientes a los cuerpos de agua en la cuenca. En la cuenca no operan industrias que descarguen al río o sus tributarios efluentes con permisos de la JCA o la EPA.

El transporte de sedimentos en la cuenca es relativamente alto, según se concluye de las tasas de sedimentación en los embalses existentes. Los embalses Prieto y Yahuecas exhiben las tasas de sedimentación más altas en la Isla, con pérdidas anuales del 1.68 y 1.96% de su capacidad inicial. El Embalse Yahuecas ha perdido el 95% de su capacidad original de 1,427 acres-pies, mientras que el Embalse Prieto ha perdido el 83% de su capacidad inicial de 621

acres-pies. La descarga de sedimentos a la Bahía de Mayagüez del Río Grande de Añasco fue estimada en 2,331 toneladas por milla cuadrada-año de la cuenca (AFI, 1998, como parte de los estudios para la expansión de la Planta de Tratamiento de Aguas Usadas de Mayagüez en el Barrio El Maní). Durante crecientes moderadas, el plumacho de sedimentos del río penetra varias millas en la Bahía de Mayagüez. Varias empresas extraen arena y grava del cauce del río aguas arriba de la zona urbana de Añasco, contribuyendo a que el material pueda ser transportado por la esorrentía.

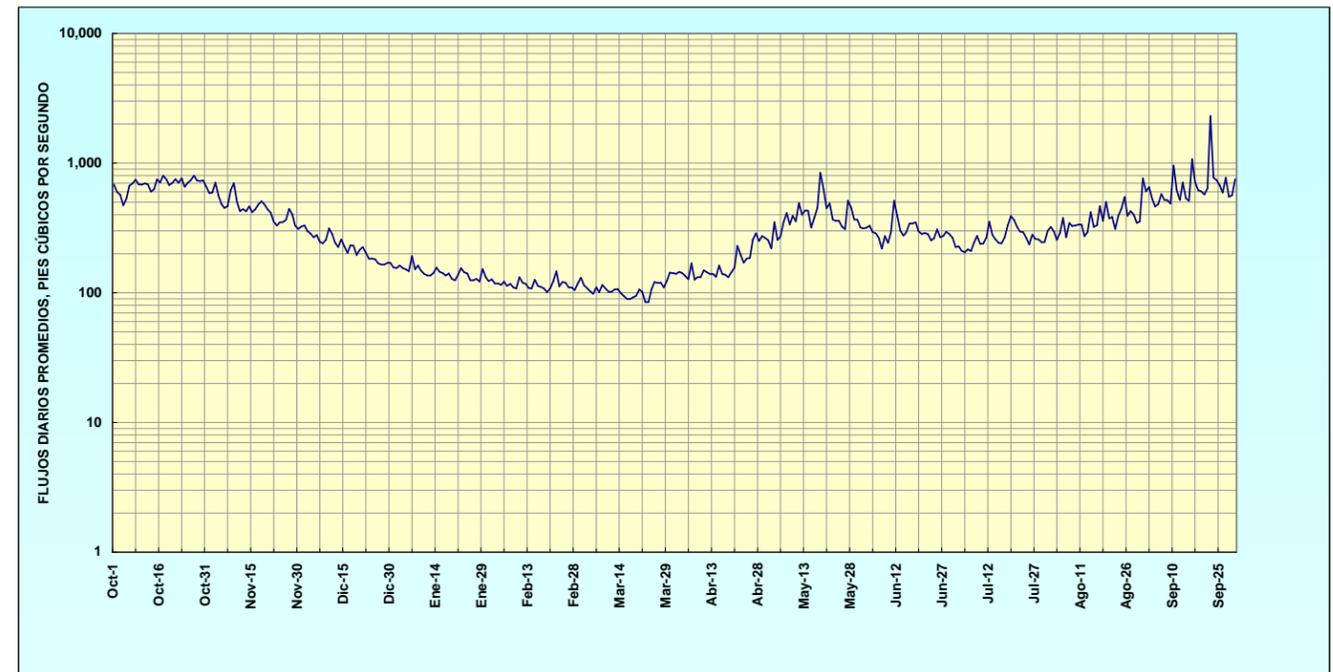


Figura 9-85. Flujos diarios promedios en el Río Grande de Añasco cerca de San Sebastián (50144000), 1963 – 2002.

La abundancia relativa de agua en la cuenca del Río Grande de Añasco representa una fuente potencial para satisfacer las necesidades futuras de agua en la Región Suroeste. La AAA y la AFI evalúan la viabilidad de construir una represa en la cuenca del Río Casei, tributario del Río Grande de Añasco. Dicho embalse, propuesto fuera del cauce de dichos ríos, tendría una capacidad potencial de 6,950 acres-pies, con un rendimiento seguro de hasta 58 mgd.

La Tabla 9-33 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-34. Balance hidrológico Cuenca del Río Grande de Añasco.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	828,340
Evapotranspiración	465,640
Flujo	
" promedio anual	311,490
" estiaje (90 días)	127,050
" estiaje (150 días)	157,180
Extracción pozos	-
Descarga de agua subterránea al mar	5,000
Tomas AAA	19,810
Descargas aguas usadas a ríos	90
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	-
No contabilizado	42,000
Por ciento no contabilizado	5

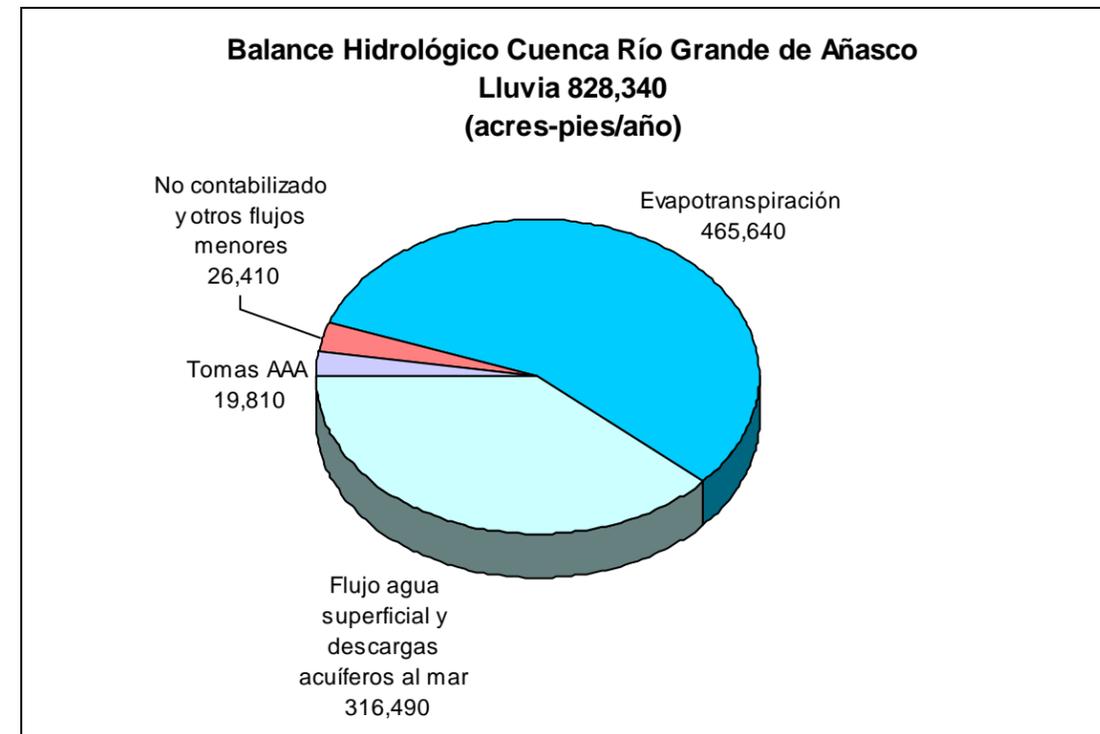


Figura 9-86. Balance Hidrológico Cuenca del Río Grande de Añasco.

9.28 Cuenca del Río Culebrinas

La cuenca hidrográfica Río Culebrinas incluye un área de captación de aproximadamente 103 mi² en la Regiones Central y Oeste de Puerto Rico. Este río se origina en la zona montañosa de Lares, a una altura aproximada de 1,580 pies sobre el nivel del mar, cerca de la zona urbana de este municipio. Desde Lares el río fluye hacia el oeste, descendiendo hasta la vecindad de la zona urbana de San Sebastián, discurriendo luego hacia Moca hasta el valle aluvial cerca de la Central Coloso, descargando al Pasaje de Mona cerca de Aguada. Sus tributarios de importancia incluyen los ríos Juncal, Guatemala y Sonador, aguas arriba de San Sebastián, y Cañas, cerca de Aguada, así como las quebradas Grande, Salada, de las Damas, Yagruma, Las Marías, Viejo, Los Morones y el Salto. La cuenca incluye los centros urbanos de San Sebastián, Moca, Aguada y sectores de Lares, con una población en el 2004 de 98,723 habitantes.

El clima de la cuenca es subtropical húmedo a muy húmedo, con un promedio anual de lluvia de 88 pulgadas. La lluvia varía en forma similar a otras zonas de las regiones norte y oeste de Puerto Rico, con el período relativamente seco a principios de año, lluvias intensas en mayo y junio, y un segundo período seco en julio y agosto seguido de lluvias frecuentes e intensas desde septiembre a diciembre. Colinas escarpadas formadas por las rocas calizas al norte del Río Culebrinas y las montañas en la zona de Lares, inducen lluvias orográficas vespertinas en esta parte de la cuenca. La lluvia anual varía desde 100 pulgadas en la Cordillera Central cerca de Lares hasta 72 pulgadas en el valle aluvial cerca de la Central Coloso en Aguada. En periodos de estiaje la precipitación anual puede disminuir a 62 pulgadas. El promedio de evapotranspiración en la cuenca es de 49 pulgadas al año (55% de la precipitación), y de 45 pulgadas en años de sequías.

La geología superficial de la cuenca incluye rocas de origen volcánico y depósitos sedimentarios calizos y marinos. Las rocas de origen volcánico ocurren en la zona de la cordillera y al sur del cauce del Río Culebrinas. Rocas calizas de las Formaciones San Sebastián y volcanoclásticas predominan hacia la parte norte de la cuenca, mientras que depósitos aluviales terrígenos y marinos ocurren hacia el valle aluvial y la costa. El Río Culebrinas discurre paralelo al contacto entre las rocas calizas y las de origen volcánico. En esta zona se distingue la “cuesta de San Sebastián”, una escabrosidad geológica entre las Formaciones San Sebastián y Lares en la Región del Karso. Esta quebradura forma acantilados de gran elevación, con cúspides de hasta 984 pies sobre la base, desde donde descienden quebradas y torrentes a gran velocidad hacia el cauce el río y sus tributarios.

Los suelos principales en la cuenca incluyen las series de Colinas, Voladora y Consumo de bajo valor agrícola en las zonas calizas, pero de gran fertilidad en los valles formados por el Río Culebrinas y sus tributarios. El uso principal de los terrenos en la cuenca agrícola (61 % del área), mayormente dedicada al cultivo de frutas y pastos. Los bosques y los pastos no mejorados representan el 24% del área, mientras que las zonas urbanas ocupan el 8% de los terrenos.

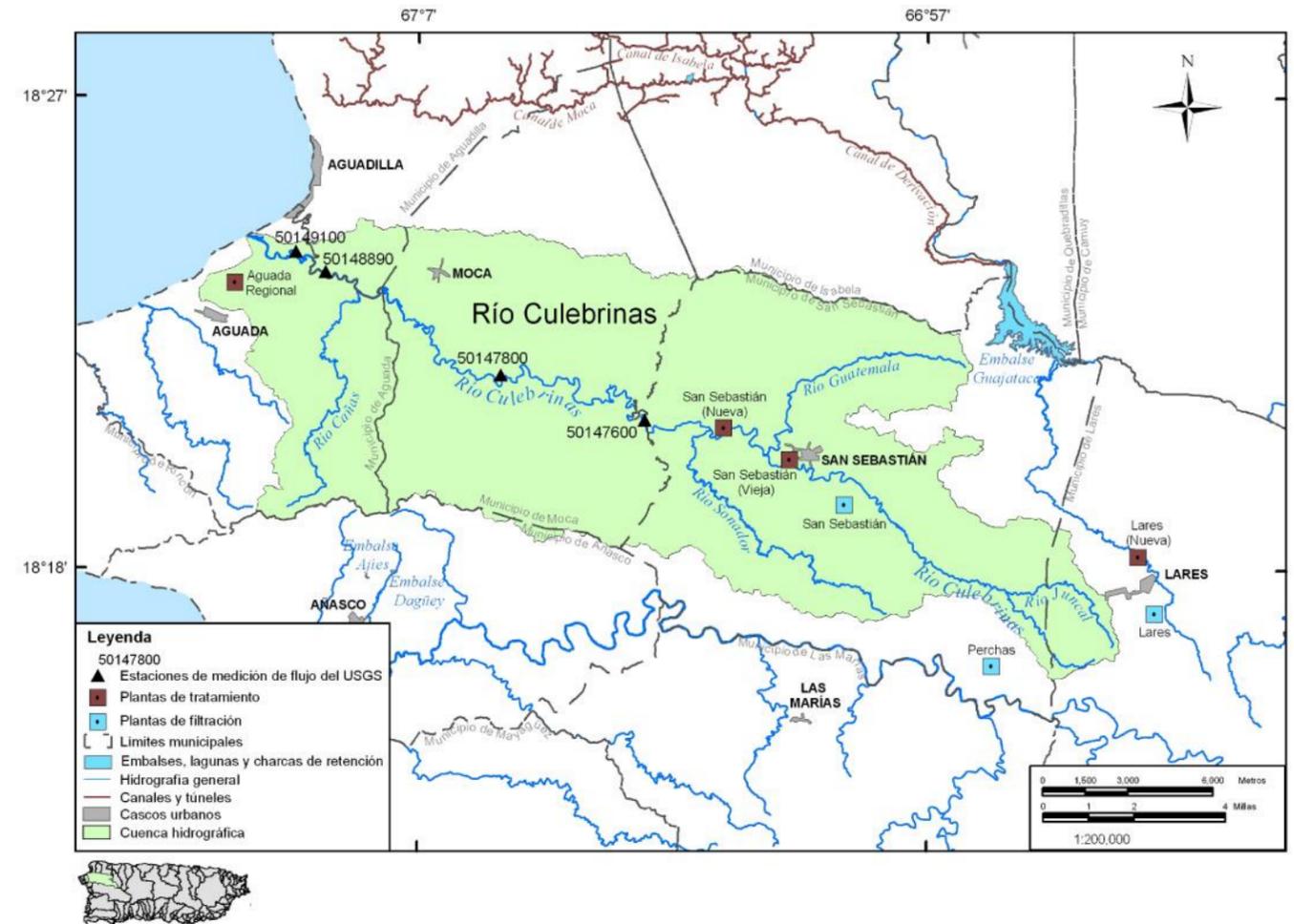


Figura 9-87. Cuenca Hidrográfica Río Culebrinas, Puerto Rico.

La escorrentía en la cuenca es abundante, con un promedio anual neto de aproximadamente 291,010 acres-pies. La abundancia de lluvia en la cuenca resulta en flujos sostenidos en los ríos y quebradas la mayor parte del año. La extracción de agua en la cuenca es mínima, con cuatro tomas operadas por la AAA en San Sebastián y Aguada. La PF de San Sebastián extrae un promedio de 3.5 mgd para suplir la zona urbana y varios barrios del Municipio, mientras que una toma cerca de Aguada extrae hasta 10 mgd para suplir la PF de Aguadilla. Dos tomas menores en barrios de San Sebastián extraen 1.1 mgd adicionales, para un total de extracciones anuales de 16,370 acres-pies. La AAA construye una nueva PF cerca de Moca con capacidad de hasta 5 mgd, que se alimentará de la toma existente en el Río Culebrinas cerca de Aguada. Una vez la nueva PF de Moca comience operaciones en el 2005, la extracción para la PF de Aguadilla se reducirá a un máximo de 5 mgd, resultando en que no ocurrirá un aumento neto en el uso de agua del río.

El agua subterránea no es un recurso significativo en la cuenca en comparación con las aguas superficiales, debido principalmente a la geología de la zona. Las formaciones calizas en la parte norte tienen porosidades relativamente bajas y su espesor resulta en transmisividades que producen rendimientos marginales a pozos. En la zona de San Sebastián y Moca es posible obtener rendimientos de hasta 200 gpm en pozos que intercepten fracturas en las rocas volcánicas, pero en general el rendimiento raras veces excede 30 gpm. En el valle aluvial y la zona costanera cerca de Aguada es posible obtener rendimientos de hasta 50 gpm. Hacia la costa, capas de barro confinan parcialmente los depósitos marinos, resultando en niveles potenciométricos que permiten que los pozos fluyan sobre el nivel de tierra. Las extracciones de agua subterránea en la cuenca se estiman en 7,365 acres-pies por año.

La calidad del agua en la cuenca del Río Culebrinas varía con la ubicación y época del año, aunque los datos disponibles son limitados. El Estudio 305 de la JCA para el año 2003 establece que en la mayoría de los tramos de los ríos en la cuenca (un 72%) se carece de datos de calidad de agua. Los contaminantes principales en los ríos de la cuenca incluyen bacterias de origen fecal y nutrientes, provenientes principalmente de pozos sépticos domésticos y actividades agrícolas. En la cuenca no operan industrias que descarguen efluentes con permisos de la JCA o la EPA al río o sus tributarios.

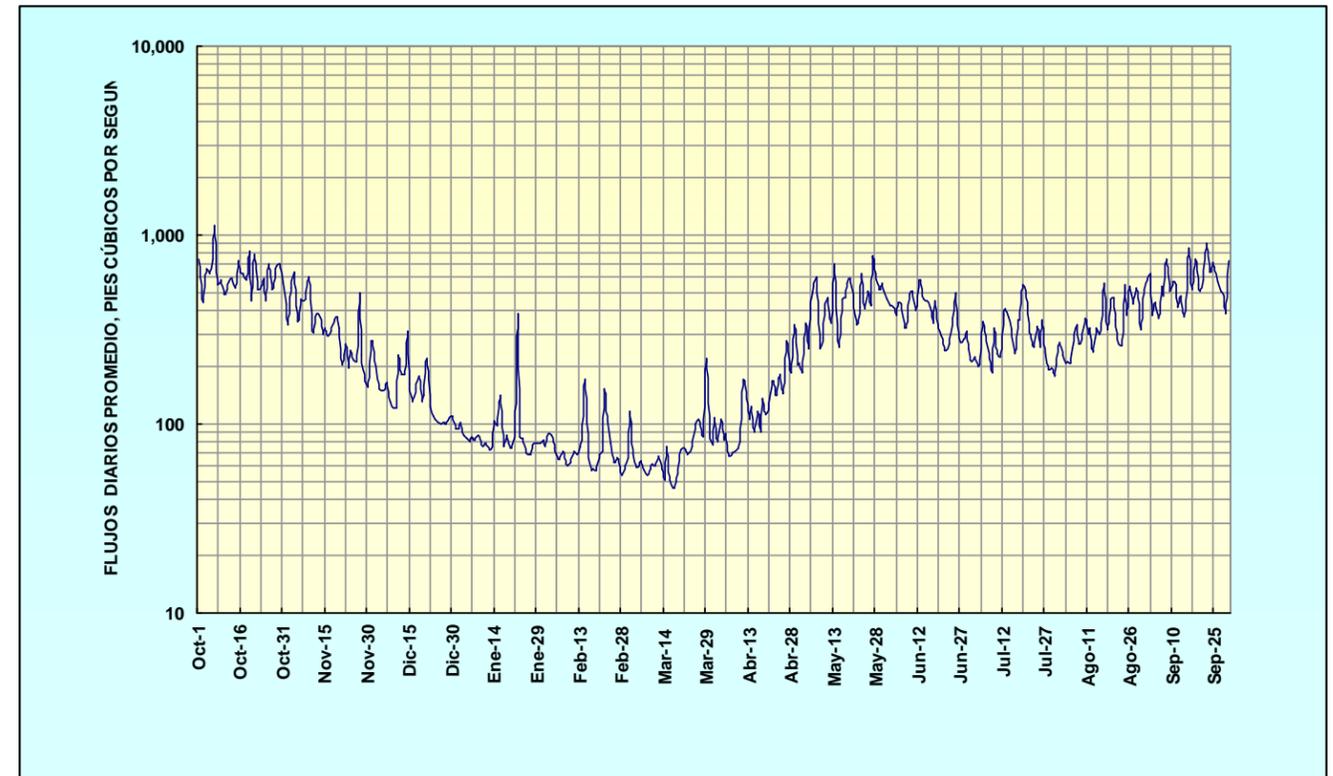


Figura 9-88. Flujos diarios promedio en el Río Culebrinas carretera #404 cerca de Moca (50147800), 1967-2002.

El transporte de sedimentos en la cuenca es significativo, debido a la naturaleza de los suelos y las actividades agrícolas en la zona montañosa y los valles al sur de la zona. Datos de transporte de sedimentos obtenidos por el USGS en el Río Culebrinas cerca de Aguada indican descargas de sedimentos de hasta 369,000 toneladas por año (USGS, 2002). En la toma operada por la AAA en dicho río cerca de Aguada, la turbiedad durante crecientes moderadas alcanza hasta 1,000 unidades, lo que requiere tratamiento especial para potabilizar el agua. Esto a pesar de que la mayor parte de la cuenca en la zona montañosa de Lares y San Sebastián está cubierta por bosques densos. Sin embargo, en los valles al sur del cauce del Río Culebrinas, las actividades agrícolas exponen al clima los suelos, promoviendo su erosión y el transporte de grandes cantidades de sedimentos a los ríos.

La Tabla 9-34 ilustra un resumen de los componentes de flujo hidrológicos en condiciones promedio y en condiciones de estiaje para 90 y 150 días.

Tabla 9-35. Balance hidrológico Cuenca del Río Culebrinas.

Componente hidrológico	(acres-pies/año)
Precipitación	484,550
Evapotranspiración	269,060
Flujo	
" promedio anual	291,010
" estiaje (90 días)	72,590
" estiaje (150 días)	89,800
Extracción pozos	7,370
Descarga de agua subterránea al mar	500
Tomas AAA	5,590
Descargas aguas usadas a ríos	955
Descargas aguas usadas al mar	-
Entregado a fincas	-
Transferencias de agua	19,060
No contabilizado	-57,080
Por ciento no contabilizado	-12

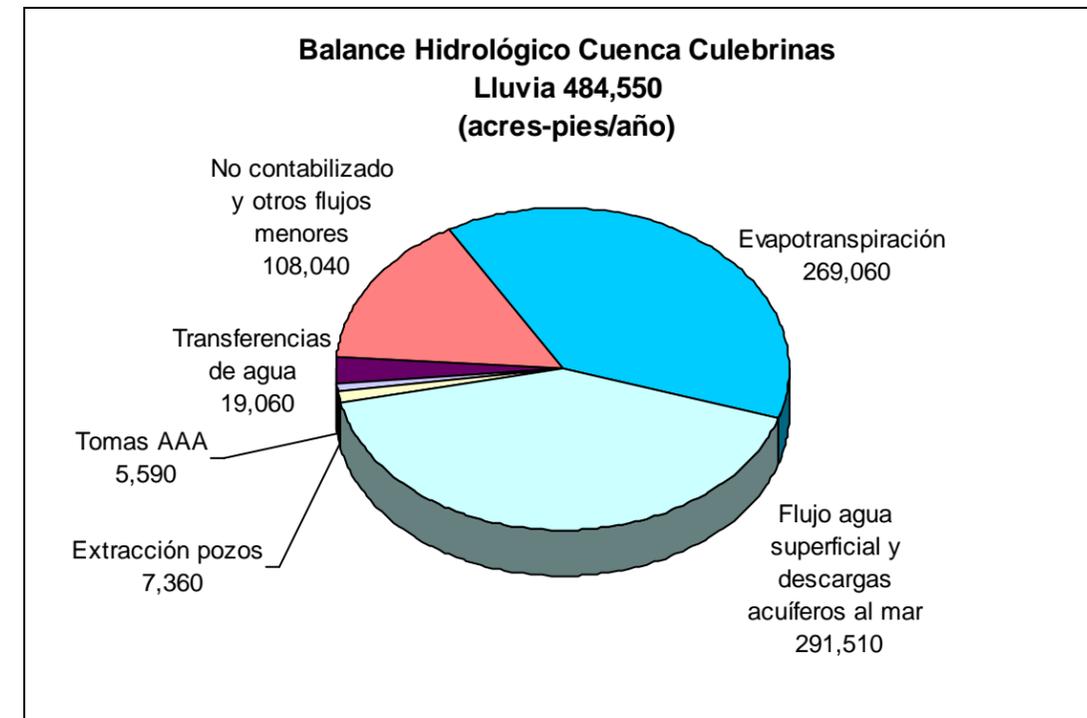


Figura 9-89. Balance Hidrológico Cuenca del Río Culebrinas. El balance de otros flujos menores incluye: entregado a fincas, aguas usadas y descarga y recarga de agua subterránea.