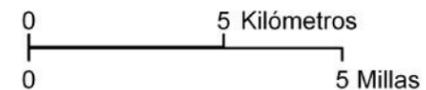
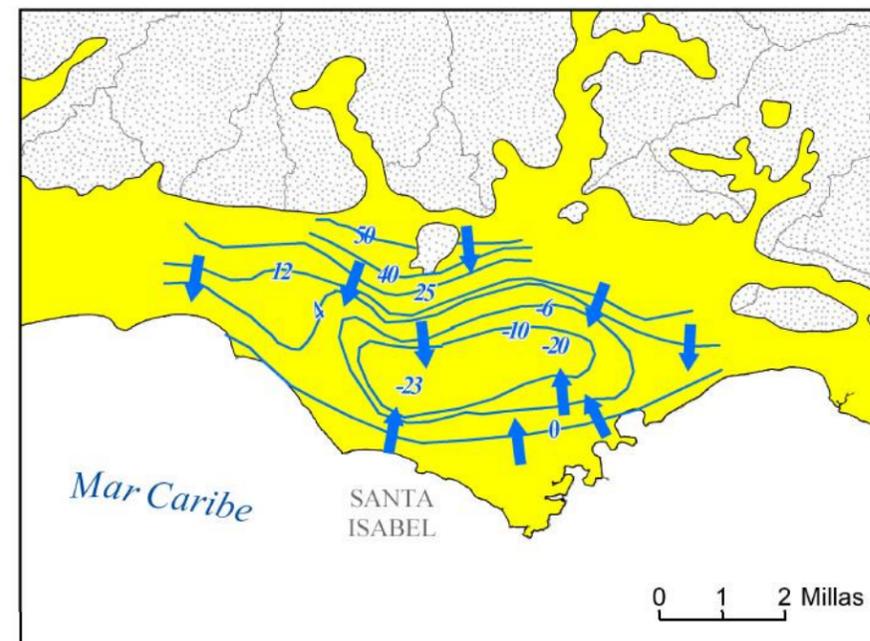
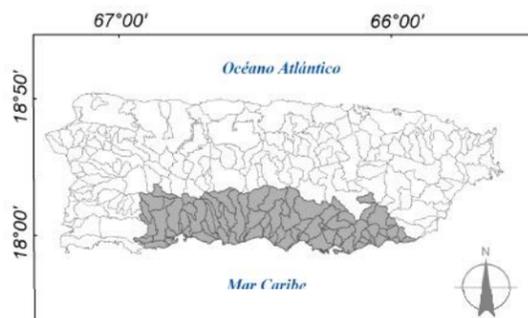


**LEYENDA**

-  Contorno manto freático -- Ilustra altura del acuífero no-confinado. Contorno es variable, en pies. El nivel de referencia es el nivel promedio del mar
-  Dirección del movimiento de agua subterránea
-  Provincia de la Costa Sur (acuíferos aluviales)
-  Límite cuenca hidrográfica



Fuente: USGS, 2003



Fuente: US Geological Survey, 1999.

Figura 6-1. Mapa potenciométrico de condiciones hidrológicas existentes durante 1997, Región Sur de Puerto Rico.

Más importante aún a la recarga de los acuíferos es el agua que se escapa de los canales de riego de la AEE debido a roturas y desbordes, la cual se infiltra a los acuíferos previo a llegar a las zonas agrícolas. En el Distrito de Riego del Sur, la AEE estima que en promedio el 10% del agua que fluye por los canales de riego se escapa y se infiltra a los acuíferos. En la zona de Salinas y Santa Isabel, esta fuente es mayor, posiblemente un 25% del agua que fluye por los canales. La recarga artificial de este acuífero es indispensable para que este mantenga un buen caudal y calidad de aguas. Aunque la reparación de los canales por la AEE aumentará la cantidad de agua disponible para riego agrícola y uso doméstico, tendrá un efecto negativo en disminuir la recarga a los acuíferos de la zona. Para atender este déficit adicional potencial, será necesario reducir las extracciones de los acuíferos, o en su defecto, aumentar artificialmente la recarga. Estas alternativas se evalúan en otras secciones de este informe.

Los acuíferos de la Región Sur también sufren de problemas de calidad de agua. Existen varias razones para el deterioro de la calidad del agua que de un modo u otro afecta en varios grados toda la región desde Patillas hasta Guánica.

Contaminación química severa: Las industrias que han operado y operan en la Región Sur han contribuido a contaminar los acuíferos de la zona. Existen focos de contaminación química severa en Guayama; en sectores de Salinas (nitratos de orígenes agrícolas o sanitarios); en Ponce (nitratos y manganeso); en Guayanilla y Yauco (compuestos petroquímicos).

Contaminación química menor: Estudios de la *Environmental Protection Agency* (Agencia de Protección Ambiental o EPA, por sus siglas en inglés), la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y el USGS han identificado pozos agrícolas y domésticos ahora cerrados donde la presencia de contaminantes químicos (mayormente solventes) impide el uso para consumo humano. Pozos afectados de este modo existen en Patillas, Arroyo, Guayama, Salinas, Coamo, Juana Díaz, Ponce y Guánica.

Intrusión salina: La intrusión salina es el problema más significativo en términos de áreas afectadas en la Región Sur. Existen dos razones para la salinización de la zona de los acuíferos que se utilizan para agua potable o riego en la región:

El bombeo excesivo de agua en las zonas de Guayama, Salinas, Santa Isabel, Coamo y Ponce ha resultado en reducciones de hasta 40 pies en el nivel freático (relativo a su condición original previo al desarrollo agrícola intenso de la zona). Bajo la capa de agua fresca en los acuíferos del sur existen depósitos de agua salobre de origen marítimo. Normalmente, si el bombeo no es excesivo, esa agua salobre no se moviliza, y no afecta los pozos. Cuando el nivel freático desciende significativamente, el bombeo continuo hace que el pozo aspire el agua salobre, afectando la calidad del agua.

En algunas instancias en la Región Sur, el bombeo excesivo hace que la cuña de agua salada pueda moverse tierra adentro, afectando en forma general sectores del acuífero. Pozos en zonas

donde la cuña de agua salada avanza tierra adentro producen agua salobre no apta para riego o consumo.

Para entender mejor la condición actual de los acuíferos de la Región Sur detallamos a continuación un balance hidrológico de cada sector documentado con datos del USGS y estimados de flujo de los componentes hidrológicos para el año 2000. Para estos propósitos se ha dividido el acuífero de la Provincia de la Costa Sur en las siguientes regiones de los acuíferos aluviales: Patillas a Salinas-Santa Isabel; Coamo; Juana Díaz a Ponce; Tallaboa, Yauco (excluye área de Guayanilla) y Guánica.

### 6.1.3 Balance de Agua en Cada Acuífero Aluvial de la Región Sur

Los datos de uso de agua de los estudios del USGS establecen que en el 2002 se utilizaban aproximadamente 163 mgd de aguas superficiales y subterráneas en los municipios que comprenden la Región Sur. Este total incluyó 113 mgd de fuentes superficiales (canales, ríos y embalses) y 50 mgd de los acuíferos.

La extracción de los 50 mgd de agua subterránea incluyó aproximadamente 25 mgd para usos domésticos (AAA), 23 mgd para usos agrícolas y dos (2) mgd para usos industriales.

Se estima que el uso de agua superficial proveniente de canales y embalses en la región es de aproximadamente 110 mgd. Esto incluye 45 mgd para usos domésticos (AAA) y 65 mgd para usos agrícolas (datos de la AEE, 2002-2003).

El balance hidrológico para cada acuífero o región en la costa sur incluye estimados de recarga neta, es decir recarga natural y artificial; infiltración mediante pérdidas y ganancias de agua en los segmentos de ríos, quebradas y embalses; evapotranspiración, de esta afectar el volumen de agua en los acuíferos; extracción de agua subterránea para diversos usos; y flujo hacia el mar. Es importante indicar que cada uno de los sistemas aluviales ilustrados a continuación posee particularidades que hacen que el análisis hidrológico sea diferente. Por ejemplo: existen áreas geográficas con extensión urbana significativa, en Ponce; abanicos aluviales extremadamente pequeños, en Guánica y Tallaboa; áreas con cambios drásticos en usos de terrenos, en Santa Isabel y Salinas; y áreas con condiciones hidrológicas similares pero aplicaciones y uso de agua diferentes, en Guayama, Arroyo y Patillas.

A continuación se detallan aquellos flujos hidrológicos documentados por estudios llevados a cabo principalmente por el USGS durante los últimos 35 años. La metodología y forma de análisis no se discuten a modo de simplificación al público general. Los componentes hidrológicos varían de acuerdo a las condiciones en cada acuífero y el objetivo de las investigaciones y estudios que contienen esta información y fueron utilizadas como referencia.

Tabla 6-1. Balance hidrológico en los acuíferos de la Provincia del Sur de Puerto Rico, 2000. [espacio(s) sombreado(s) indican que el componente hidrológico no fue estimado en estudio previo]

	A C U I F E R O ( S )				
	Patillas a Salinas	Santa Isabel a Coamo	Juana Díaz a Ponce	Peñuelas a Guayanilla	Yauco
Componente hidrológico	estimado de flujo en millones de galones por día				
Recarga a los acuíferos	19.1 <sup>e</sup>	11.2 <sup>e</sup>	12 <sup>e</sup>	10 <sup>e</sup>	4.5 <sup>e</sup>
Ganancia-Pérdida descarga de ríos	5.7	5.5 <sup>e</sup>		3.6 <sup>e</sup>	3.1 <sup>e</sup>
Agua superficial aplicada a las fincas	11.7 <sup>a</sup>	13.43 <sup>a</sup>			
Evapotranspiración	4.5 <sup>e</sup>	1.3 <sup>e</sup>	2.5 <sup>e</sup>	10.8	2.0 <sup>e</sup>
Extracción para riego por inundación		10.5 <sup>e</sup>		0 <sup>e</sup>	
Extracción para riego por goteo		2.2 <sup>e</sup>	2.7 <sup>u</sup>	1.3 <sup>u</sup>	
Extracción uso agrícola					1.0 <sup>e</sup>
Extracción para abasto público		7.8	5.2 <sup>u</sup>	0.2 <sup>e</sup>	3.5 <sup>e</sup>
Extracción uso industrial				18.7	
Extracción neta agua subterránea	25 <sup>e</sup>	20.5 <sup>e</sup>			
Flujo de agua subterránea al mar	4.7 <sup>e</sup>	3	4.1 <sup>e</sup>	1.2 <sup>e</sup>	0.08

<sup>a</sup> valor se obtuvo mediante comunicación escrita de la AEE

<sup>e</sup> valor estimado

<sup>u</sup> US Geological Survey, 2003

### 6.6.3.1 Acuífero de Salinas a Patillas

El acuífero aluvial de Patillas a Salinas (Figura 6.18) se extiende desde el Río Grande de Patillas hasta el Río Nigua en Salinas, con un área de aproximadamente 67 mi<sup>2</sup>. Las condiciones hidrológicas se basan en datos de 1972, 1976, 1986 y estimados para el año 2000. Los estimados más recientes de flujo en este acuífero aluvial datan de estudios realizados por McClymonds y Díaz (1972), Bennett (1976), y Quiñones-Aponte (1997). Los componentes del ciclo hidrológico para este sistema de acuíferos se resumen en la Tabla 6-9.

La recarga total al acuífero de Salinas a Patillas se deriva del agua de lluvia, la escorrentía y percolación de los ríos y quebradas y la aplicación de riego agrícola que representa aproximadamente el 30 % de la cantidad neta aplicada. El balance hidrológico en el año 2000 muestra una recarga a los acuíferos de 19.1 mgd por concepto de agua de lluvia. Este acuífero también recibe 5.7 mgd de recarga de agua de ríos, quebradas y canales de riego y 11 mgd que se infiltran de la aplicación de riego agrícola incluyendo también la infiltración de: pozos sépticos y de escorrentía no-pluvial.

La descarga total del acuífero consiste de la evapotranspiración, la extracción del agua subterránea y la descarga al mar. La evapotranspiración es equivalente a 4.5 mgd. Las extracciones de agua subterránea fueron en total 25 mgd durante el año 2000 y la descarga al mar se estimó en 4.7 mgd. En el año 2000 este acuífero se encontraba en una condición de equilibrio por lo que el componente hidrológico que se derivaba del almacenamiento en el acuífero era mínimo o casi ninguno. En esta zona los datos hidrológicos del acuífero sugieren que existe un pequeño excedente de agua de aproximadamente 2.4 mgd. Este excedente de agua es recargado por una fuente artificial de agua en el área de Guayama, el Embalse Melanía, el cual infiltra hacia el acuífero entre 2 y 3 mgd lo cual es significativo y comparable con el estimado de extracciones adicionales. Aunque en el Sector El Coquí, al norte del poblado de Aguirre, los datos del USGS reflejan una depresión en los niveles freáticos, en las zonas al oeste y norte de la zona urbana de Salinas los niveles freáticos permanecen estables. Esto último es indicativo que en esta zona existe el potencial de extraer cantidades menores de agua subterránea.

### 6.6.3.2 Acuífero de Santa Isabel-Coamo

Este acuífero se extiende desde el Río Descalabrado en Coamo hasta el Río Jueyes en Santa Isabel (Figura 6-21), con un área de aproximadamente 50 mi<sup>2</sup>. Los datos hidrológicos disponibles incluyen información desde 1930 (pre-desarrollo), 1966-1968, 1987 y estimadas para el año 2000. Los estimados más recientes de flujo en este acuífero aluvial se basan en los estudios realizados por Ramos (1994). Este estudio revela que en el 2000 existía un déficit anual de aproximadamente 30 mgd en este acuífero, resultado de un descenso promedio acumulado en los niveles de agua en el acuífero de 13 pies durante el periodo desde 1987 y 2000 (13 años). El balance hidrológico para este acuífero se resume en la Tabla 6-9.

La recarga total al acuífero de Santa Isabel a Coamo se deriva del agua de lluvia, la escorrentía y percolación de los ríos y quebradas y la aplicación de riego agrícola que representa aproximadamente el 30 % de la cantidad neta aplicada. El balance hidrológico en el año 2000 muestra una recarga a los acuíferos de 11.2 mgd por concepto de agua de lluvia. Este acuífero también recibe 5.5 mgd de recarga de agua de ríos, quebradas y canales de riego y 9.5 mgd que se infiltran de la aplicación de riego agrícola incluyendo: la infiltración de pozos sépticos y de escorrentía no-pluvial.

La descarga del acuífero consiste de la evapotranspiración, la extracción del agua subterránea y la descarga al mar. La evapotranspiración es equivalente a 1.3 mgd. Las extracciones de agua subterránea fueron en total 20.5 mgd durante el año 2000 y la descarga al mar se estimó en 3.0

mgd. En el año 2000 este acuífero se encontraba en una condición de desequilibrio por lo que el componente hidrológico que se derivaba del almacenamiento en el acuífero causó una depresión de cerca de 20 pies en los niveles freáticos entre el año 1996 y el 2000. En esta zona los datos hidrológicos del acuífero sugieren una sobre-explotación del acuífero que se estima en 6.0 mgd. Aunque este acuífero ha sido sobre-explotado aún más con una extracción neta de 25 mgd en 1986, o una sobre-explotación de 11 mgd. Estos escenarios de extracciones excesivas deben de considerarse con mucha precaución debido al deterioro en la calidad del agua subterránea en este mismo periodo (entre 1986 y 2004).

#### **6.6.3.3 Acuífero de Juana Díaz a Ponce**

El acuífero aluvial en la zona de Juana Díaz a Ponce (Figura 6-21) incluye un área de aproximadamente 58 mi<sup>2</sup>. Los datos hidrológicos disponibles en este acuífero no son recientes, y reflejan las condiciones durante 1964-1965 y estimadas para el año 2000. Los estimados de flujo en se basan en los estudios realizados por McClymonds (1972) y Giusti (1968) en Ponce y Juana Díaz, respectivamente. En esta área existen al presente aproximadamente 178 pozos activos. El balance hidrológico para este acuífero se resume en la Tabla 6-9.

La recarga total al acuífero de Juana Díaz a Ponce se deriva del agua de lluvia, la escorrentía y percolación de los ríos y quebradas y la aplicación de riego agrícola que representa aproximadamente el 30 % de la cantidad neta aplicada. El balance hidrológico en el año 2000 muestra una recarga a los acuíferos de 12 mgd por concepto de agua de lluvia. Este acuífero también recibe 1.6 mgd que se infiltran de la aplicación de riego agrícola incluyendo: la infiltración de pozos sépticos y de escorrentía no-pluvial.

La descarga del acuífero consiste de la evapotranspiración, la extracción del agua subterránea y la descarga al mar. La evapotranspiración es equivalente a 2.5 mgd. Las extracciones de agua subterránea fueron en 7.9 mgd durante el año 2000 y la descarga al mar se estimó en 4.1 mgd. En el año 2000 este acuífero se encontraba en una condición de equilibrio aunque extracciones adicionales son consideradas poco probables debido al aumento en la concentración de sólidos disueltos en el agua subterránea. En esta zona los datos hidrológicos del acuífero sugieren una explotación marginal del acuífero. Similarmente, estos escenarios de extracciones deben de considerarse con mucha precaución debido al deterioro en la calidad del agua subterránea en los últimos 20 años y a la eliminación casi total de los sistemas de riego por inundación.

#### **6.6.3.4 Acuífero de Peñuelas a Guayanilla**

El Acuífero de Peñuelas a Guayanilla (Figura 6-21) incluye el acuífero aluvial de Tallaboa con un área de 6.33 mi<sup>2</sup> y el acuífero de Guayanilla con 11.4 mi<sup>2</sup>. Datos de las condiciones hidrológicas de Guayanilla fueron documentados por Crooks y otros (1968). Estos incluyen las cuencas del Río Yauco en Yauco y del Río Guayanilla. Las condiciones hidrológicas del acuífero aluvial de Tallaboa se basan en datos de 1959-1960 y estimados del DRNA para el año 2000. Los

estimados más recientes de flujo de este acuífero aluvial datan de estudios realizados por Grossman (1972). El balance hidrológico para el acuífero de Tallaboa se resume en la Tabla 6-9. La recarga total al acuífero de Peñuelas a Guayanilla se deriva del agua de lluvia, la escorrentía y percolación de los ríos y quebradas y la aplicación de riego agrícola que representa aproximadamente el 30 % de la cantidad neta aplicada. El balance hidrológico en el año 2000 muestra una recarga a los acuíferos de 10 mgd por concepto de agua de lluvia. Este acuífero también recibe 3.6 mgd de recarga de agua de ríos y quebradas.

La descarga del acuífero de Peñuelas a Guayanilla consiste de la evapotranspiración, la extracción del agua subterránea y la descarga al mar. La evapotranspiración es equivalente a 10.8 mgd. Las extracciones de agua subterránea fueron en 20.2 mgd durante el año 2000 y la descarga al mar se estimó en 1.2 mgd. En esta zona los datos hidrológicos del acuífero indican la sobre-explotación del recurso. Similarmente, estos escenarios de extracciones excesivas deben de considerarse con mucha precaución debido al deterioro en la calidad del agua subterránea en los últimos 20 años en un ambiente de poca o ninguna fuente de recarga.

#### **6.6.3.5 Acuífero de Yauco**

El acuífero aluvial de Yauco (Figura 6-21) incluye un área de aproximadamente 7.0 mi<sup>2</sup>. Esto no incluye el área de la cuenca del Río Guayanilla, que representa 5.77 mi<sup>2</sup> adicionales. Las condiciones hidrológicas se basan en datos del 1986 y estimadas para el año 2000. Los estimados más recientes de flujo del acuífero aluvial de Yauco provienen de los estudios realizados por Quiñones-Aponte (1986). El balance hidrológico para este acuífero se resume en la Tabla 6-9. En este acuífero existe un balance aparente entre las extracciones y la recarga.

La recarga total al acuífero de Yauco se deriva del agua de lluvia, la escorrentía y percolación de los ríos y quebradas y la aplicación de riego agrícola que representa aproximadamente el 20 % de la cantidad neta aplicada. El balance hidrológico en el año 2000 muestra una recarga a los acuíferos de 4.5 mgd por concepto de agua de lluvia. Este acuífero también recibe 3.1 mgd de recarga de agua de ríos y quebradas.

La descarga del acuífero de Yauco consiste de la evapotranspiración, la extracción del agua subterránea y la descarga al mar. La evapotranspiración es equivalente a 2.0 mgd. Las extracciones de agua subterránea fueron en 4.5 mgd durante el año 2000 y la descarga al mar se estimó en 0.08 mgd. En esta zona los datos hidrológicos del acuífero indican condiciones de equilibrio aunque en general la productividad del acuífero depende en gran medida del Río Yauco y la lluvia en la parte alta de la cuenca hidrográfica.

#### **6.6.3.6 Acuífero de Guánica**

Los estimados más recientes de flujo en el Acuífero de Guánica (Figura 6-21) se basan en los estudios realizados por McClymonds (1963). El acuífero posee un área de 6.69 mi<sup>2</sup>. El análisis volumétrico es similar al análisis de Yauco y Guayanilla con la excepción de que el Río Loco esta controlado por los Embalses de Luchetti y Loco. Los embalses de Yahuecas y Guayo, en las

laderas norte, contribuyen agua a Luchetti mediante un sistema de túneles. El sistema abastece el Distrito de Riego del Valle de Lajas a través del Canal de Lajas, así como las plantas de la AAA en Sabana Grande, Lajas y Guánica.

El acuífero de Guánica se abastece principalmente de los desbordes del Embalse Loco e infiltración de los canales del Distrito de Riego del Valle de Lajas. Entre 1930 y 1970 el acuífero de Guánica producía entre 5 y 15 mgd de pozos que bordeaban el río, la laguna Guánica y sectores donde se aplicaban grandes cantidades de agua para riego por inundación. Actualmente, la siembra de caña de azúcar no existe por lo que el agua subterránea se utiliza mayormente para abasto público. La productividad de los pozos se ha reducido sustancialmente. Esto se debe a la reducción en la aplicación de riego y cambios en los métodos de aplicación de agua superficial a las cosechas. Las condiciones hidrogeológicas del acuífero de Guánica son similares a las del acuífero de Yauco. Las extracciones de agua subterránea aunque reducidas se estiman en 5.2 mgd.

### 6.6.3.7 Valle de Lajas

El Valle de Lajas, en la Región Suroeste de Puerto Rico, posee acuíferos relativamente extensos pero de productividad menor y aguas mineralizadas debido al clima, la geología y las prácticas de cultivos anteriores. El valle ocupa un área de 84.5 mi<sup>2</sup> desde Guánica hacia el oeste hasta la zona de Hormigueros-Cabo Rojo, aunque la extensión de la planicie central donde se encuentra el acuífero principal es de aproximadamente 35 mi<sup>2</sup> (Figura 6-24). La topografía del valle es relativamente llana, con una elevación máxima de 45 pies, reduciéndose a la elevación del mar en las zonas este y oeste. La precipitación promedio anual en el valle es de 45 pulgadas, con un potencial de evapotranspiración de 37.8 pulgadas anuales. En el valle no nacen ríos o quebradas perennes debido a la lluvia escasa y la alta evapotranspiración. No obstante, hay dos lagunas importantes: Cartagena y Guánica. La Laguna Cartagena se nutre de agua subterránea mineralizada proveniente de la zona oeste del valle y de contribuciones del Canal de Lajas. La Laguna de Guánica también se nutre de agua subterránea mineralizada proveniente de la zona este del valle, de escorrentías y de inundaciones del Río Loco. La laguna está seca la mayor parte del tiempo debido a que es drenada por un canal, construido en 1955, que la conecta con el Cañón de Los Negros desembocando hacia la Bahía de Guánica. Excepto por las importaciones de agua a través del Canal de Lajas, el único otro recurso de agua en este valle, aunque escaso, es el agua subterránea.

El Valle de Lajas contiene dos acuíferos principales: el acuífero aluvial no-confinado y el acuífero aluvial confinado. Además de estos acuíferos, existen rocas calizas debajo del aluvión que pudieran contener agua en cantidades moderadas (Graves, 1991). La geología superficial del valle consiste principalmente de depósitos no consolidados de arcilla y cieno entrelazados con capas de material sedimentario grueso arrastrado por ríos y quebradas efímeras. Estos sedimentos descansan sobre una plataforma volcánica con pequeños bloques de calizas de edad indeterminada en la parte sur y suroeste del valle. Las formaciones ígneas y volcánicas que rodean el Valle de Lajas poseen una permeabilidad baja. Pozos construidos a lo largo del perímetro del valle usualmente interceptan la parte meteorizada de las rocas con rendimientos de

alrededor de 15 gpm (Renken y otros, 2002). Formaciones calizas cretácicas-terciarias distribuidas en forma irregular se exponen en las lomas al norte del valle, presumiblemente extendiéndose hacia el sur, donde pudieran estar cubiertas por los depósitos arcillosos y aluviales en el valle (Anderson, 1977). El espesor de las rocas calizas en la parte central del valle alcanza hasta 50 pies. El espesor de los depósitos aluviales alcanza un máximo de 300 pies.

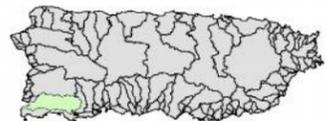
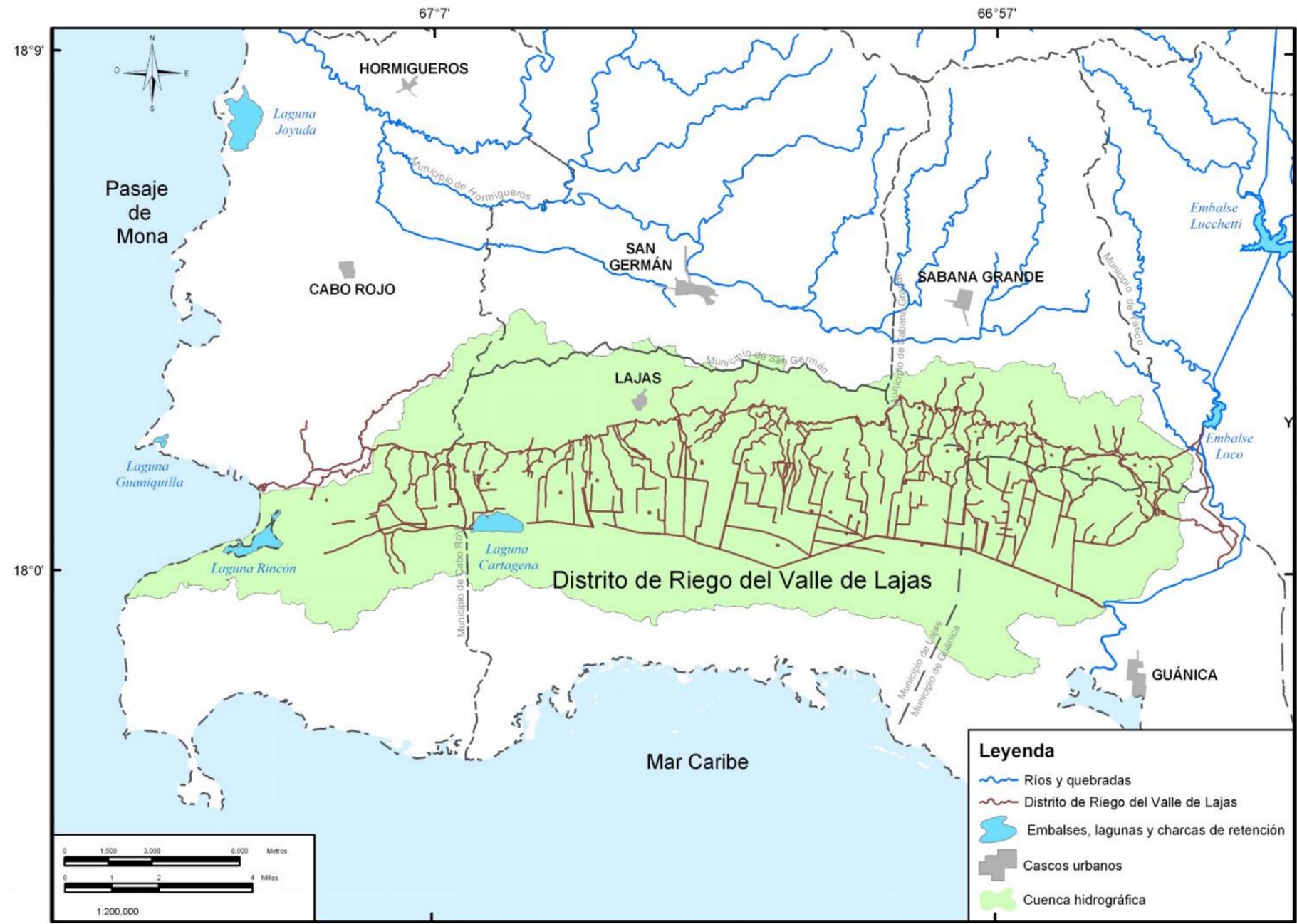


Figura 6-2. Extensión del Acuífero aluvial del Valle de Lajas, Puerto Rico

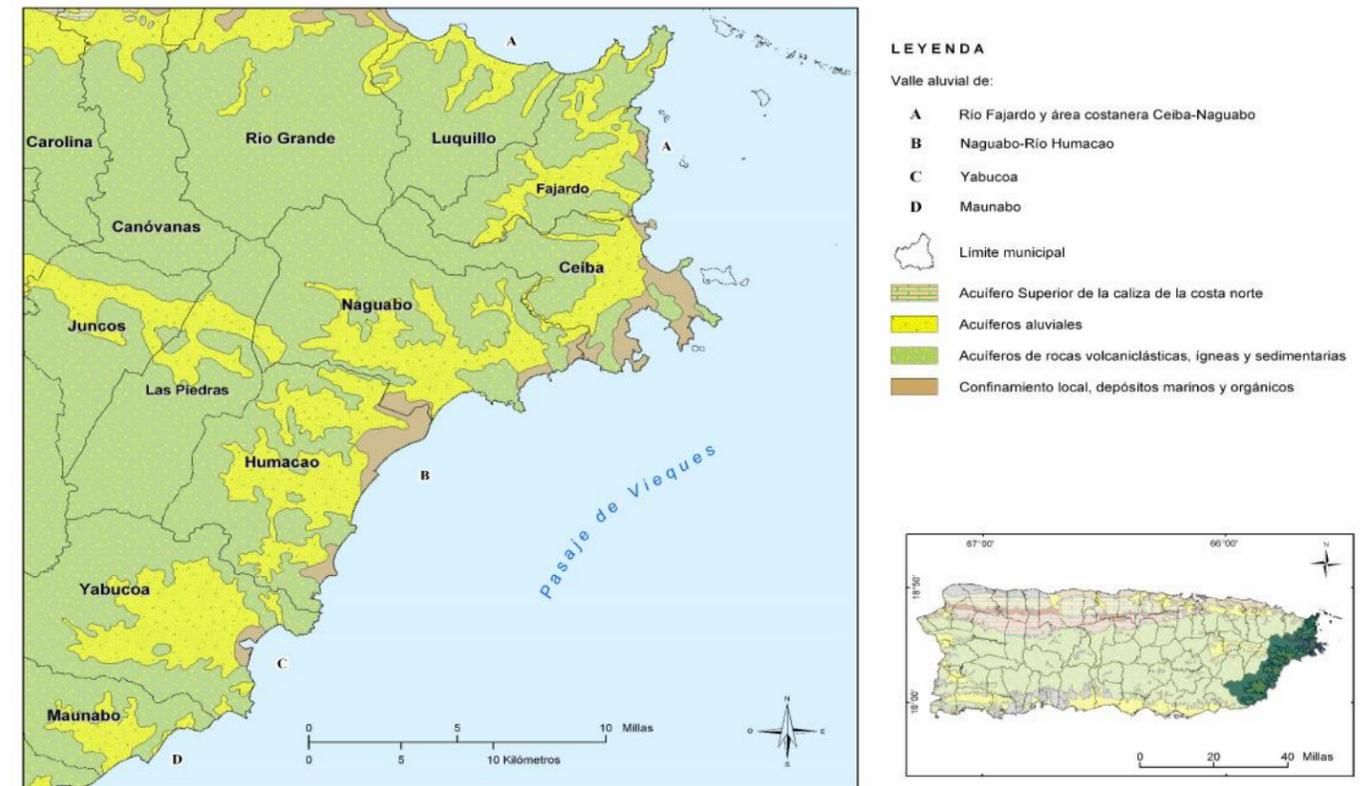
En los acuíferos del Valle de Lajas predominan aguas mineralizadas con bolsillos o parches de agua dulce. Hasta finales del período Terciario (hace 65 - 70 millones de años) el valle estaba cubierto por el mar. Al recesar el mar, sales marinas se acumularon en los suelos al evaporarse el agua de mar. Posteriormente, los depósitos marinos sufrieron alteraciones y descomposición, además de mezclarse con depósitos aluviales. Las sales se retuvieron en los suelos debido a que la lluvia mínima y baja permeabilidad de los suelos en el valle no permitió su solución y remoción. Pozos hincados en las rocas calizas pueden producir hasta 2,000 gpm, pero el agua se mineraliza en poco tiempo al disolver las sales en los suelos (Anderson, 1977). En tiempos modernos, la lluvia que se infiltra a través del aluvión ha disuelto las sales en los acuíferos, mineralizando el agua. En algunos sectores, la recarga de la lluvia y escorrentía fluye a través de zonas de permeabilidad alta, lo que ha resultado en la remoción de las sales y la acumulación de bolsillos de agua dulce.

Los recursos de agua dulce subterráneos más significativos en el Valle de Lajas ocurren en las zona oeste. Los bolsillos más importantes de agua dulce ocurren entre fracturas de las formaciones calizas. El bolsillo de mayor extensión es probablemente una formación caliza semi-confinada en la parte noreste del valle. La recarga de agua a los acuíferos se debe a la infiltración de agua de lluvia en el perímetro del valle, la escorrentía de los ríos y quebradas efímeras, y desde 1955, de la aplicación de agua proveniente del Distrito de Riego del Valle de Lajas. En la zona oeste del valle se extraen hasta 2.5 mgd de agua dulce para abasto público al Municipio de Cabo Rojo. En el sector este del valle, hacia Guánica, se extrae hasta 1.0 mgd para abasto público y riego agrícola (DRNA, 2004). En la década de 1940 se extraían hasta 18 mgd de agua subterránea en el valle (Gómez-Gómez, 1987). La mineralización progresiva de las aguas al disolver las sales limitó la extracción a un período de varios años, y las extracciones actuales no exceden 5 mgd. El rendimiento de pozos en el valle varía desde 5 a 690 gpm (Graves, 1991). Aún con las reducciones en extracciones, las aguas dulces tienen un alto contenido de sólidos disueltos. Como consecuencia, no existen pozos de extracción significativa. Los pozos existentes usualmente están ubicados en la parte central y noreste del valle, donde el potencial de desarrollo de los recursos de agua es mayor.

### 6.6.3.8 Provincias de las Costas Este y Oeste

Las Provincias de la Costa Este y Costa Oeste de Puerto Rico incluyen una serie de acuíferos de tamaño menor y capacidad limitada, por lo que no se consideran un recurso hídrico significativo. Aunque estas provincias se encuentran en los extremos opuestos de la Isla, sus características son similares debido al tamaño de los valles aluviales costaneros y su desarrollo histórico. En estos valles el cultivo de la caña de azúcar resultó en el desarrollo de baterías de pozos y canales para riego mayormente en la parte anegada de los valles.

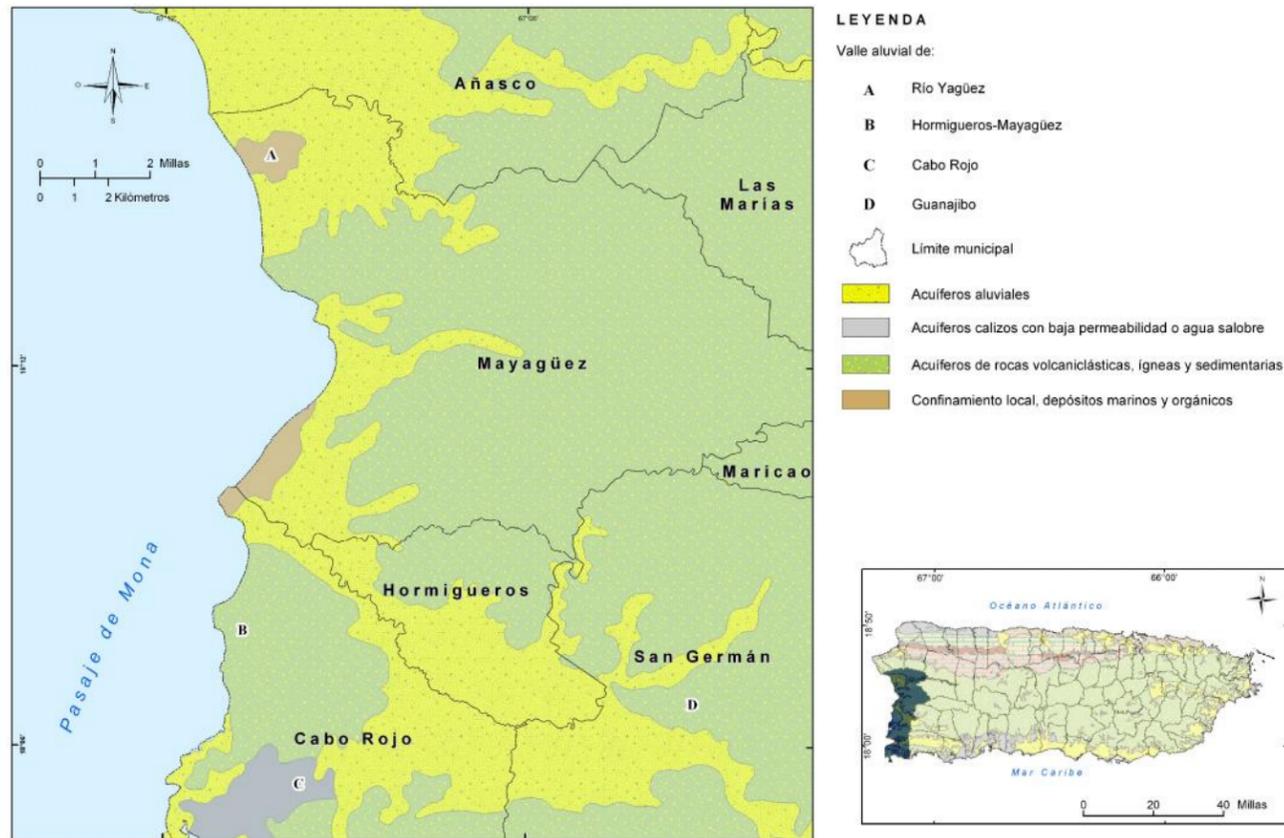
La Provincia de la Costa Este (Figura 6-25) incluye los acuíferos aluviales costaneros del Río Espíritu Santo a Río Demajagua; el Río Humacao al Río Naguabo; el Río Yabucoa; y el Río Maunabo. La Provincia de la Costa Oeste (Figura 6-26) incluye los acuíferos aluviales costaneros del Río Culebrinas; el Río Grande de Añasco; el Río Yagüez; y el Río Guanajibo.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 6-3. Localización de valles aluviales en la Provincia del Este de Puerto Rico.

Estos acuíferos son formados por depósitos aluviales de espesor limitado en valles relativamente estrechos. En zonas de mayor extensión, como en los valles inferiores de los ríos Culebrinas y Añasco en la Provincia de la Costa Oeste, barros y cienos impermeables reducen la permeabilidad del material. Estos acuíferos locales son recargados principalmente de la escorrentía superficial de los ríos principales que drenan las cuencas hidrográficas correspondientes.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 6-4. Localización de valles aluviales en la Provincia del Oeste de Puerto Rico.

Durante el 2002, las extracciones para abasto público estimadas por el DRNA fueron de 3.76 mgd en los acuíferos de la Provincia Este principalmente en los municipios de Maunabo y Yabucoa y de 1.97 mgd en los acuíferos de la Provincia Oeste en los municipios de Añasco, Hormigueros y Mayagüez. El abasto público total fue de 5.76 mgd. El uso combinado de los sectores agrícolas y industriales también requirió de extracciones de agua subterránea adicionales, ó 0.48 mgd en la Provincia del Este y 0.53 mgd en la Provincia del Oeste. El uso total de agua subterránea estimado para las provincias del Este y Oeste de Puerto Rico fue 6.75 mgd.

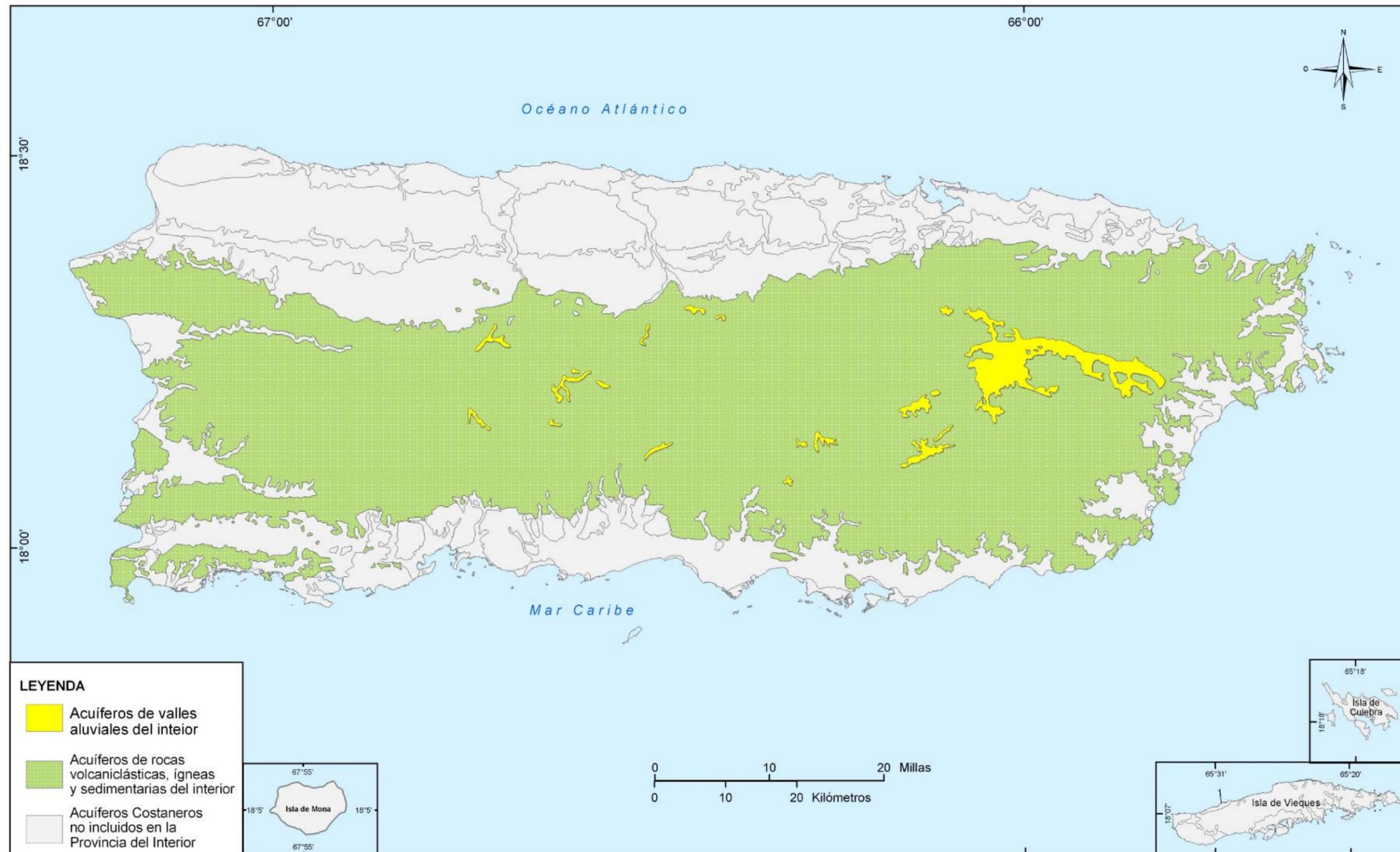
### 6.6.3.9 Provincia del Interior

La provincia con mayor extensión geográfica en Puerto Rico es la del Interior Volcánico (Provincia del Interior), que constituye un 59% del área de Puerto Rico y cubre 1,992 mi<sup>2</sup> millas cuadradas (Figura 6-27). En esta provincia los recursos de agua subterráneos disponibles ocurren en rocas fracturadas de origen volcánico y los valles aluviales del interior.

Las rocas de origen volcánico ocupan la mayor parte de la Provincia el Interior. El desarrollo tectónico y geológico de la Isla contribuyó a la deformar y fracturar intensamente la mayor parte de las rocas volcánicas que forman la provincia. La extensión geográfica de las rocas volcánicas fracturadas contribuye al desarrollo de ciertas características que influyen el potencial de almacenaje de agua subterránea. Estas características incluyen la densidad de fracturas, contenido de sedimentos en las fracturas, ambiente en el cual se formó la piedra volcánica (intrusivo o extrusivo), mineralización, degradación de las rocas y extensión dentro de la zona saturada. El agua es más abundante en zonas donde abundan las fracturas y lineamientos geológicos.

Sin embargo, la naturaleza de las rocas volcánicas en Puerto Rico es variada. Esto provoca incertidumbre en la productividad de agua de las mismas. Estudios de flujos mínimos en áreas o cuencas de rocas volcánicas fracturadas han determinado razones de recarga a las fracturas similares a la recarga de los acuíferos calizos más productivos de la Provincia del Norte, con estimados de recarga neta promedio de hasta 20 pulgadas anuales en el municipio de Comerío (Rodríguez-Martínez, 2001). La recarga de lluvia en la Provincia del Interior representa esencialmente el flujo mínimo de los ríos principales que drenan las cuencas hidrográficas. Esta recarga neta generalmente es pequeña y representa una fracción cuando se compara con la recarga neta a los acuíferos aluviales. La extracción de agua subterránea de fracturas en la roca volcánica usualmente no excede los 25 galones por minuto. Sin embargo, existen comunidades en los municipios de Caguas y Cidra que extraen hasta un (1) mgd de pozos en fracturas. Extracciones excesivas de sistemas fracturados de roca volcánica solo ocurren cuando existe una fuente de recarga continua que los abastece.

Los acuíferos aluviales de la Provincia del Interior de Puerto Rico se encuentran en los valles de Aibonito, Cayey y Caguas-Juncos, aunque existen otras áreas de depósitos aluviales de menor extensión. Estas áreas más pequeñas en extensión no han sido considerados en esta descripción general. Los acuíferos aluviales de importancia del interior se asocian con ríos principales que representan la fuente de recarga principal de los mismos. La recarga neta a estos acuíferos aluviales representa aproximadamente entre 10 a 15% de la lluvia promedio anual (DRNA, 2004). La extracción de agua subterránea de los acuíferos aluviales usualmente no excede los 100 gpm, aunque en Cidra y Caguas extracciones de hasta 200 gpm son posibles en zonas limitadas. Sin embargo, este nivel de extracción en muchas ocasiones no puede sostenerse indefinidamente.



Fuente: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2004

Figura 6-5. Acuíferos de la Provincia del Interior de Puerto Rico.

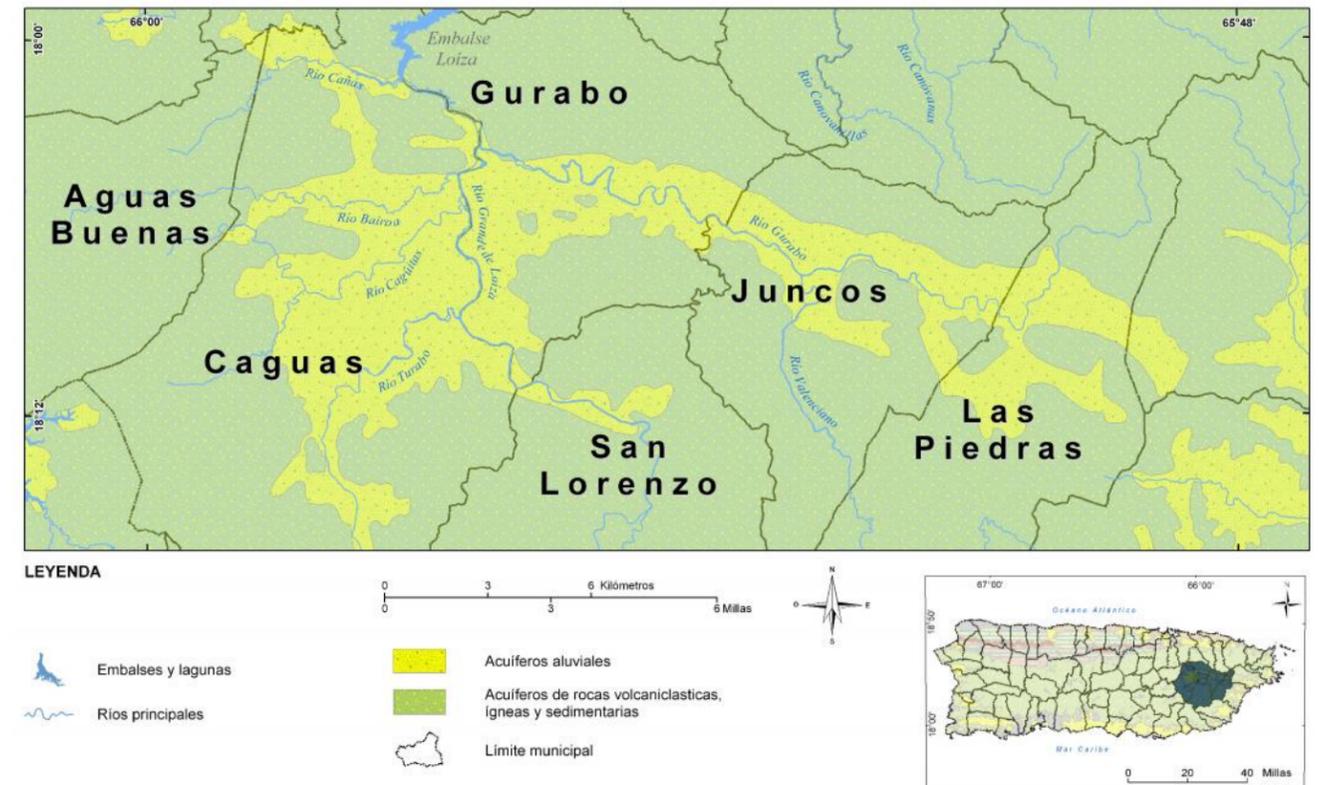
### 6.6.3.9.1 Acuífero Aluvial de Caguas a Juncos

El acuífero aluvial de Caguas a Juncos es el más importante en la Provincia Interior de Puerto Rico. Localizado en la parte central-este de la Isla incluyendo la mayor parte de la zona urbana de Caguas (Figura 6-28), el acuífero ocupa un área de 35.1 mi<sup>2</sup> entre Caguas y Juncos, incluyendo sectores de Gurabo (Puig y Rodríguez, 1993). El acuífero se formó de la acumulación de depósitos sedimentarios transportados desde la Cordillera Central por los ríos Gurabo y Grande de Loíza. El valle formado por los depósitos aluviales se divide en dos (2) zonas distintivas: 1) la zona que incluye el centro urbano de Caguas hacia el oeste, con un área de 16.6 mi<sup>2</sup>, y 2) la zona hacia el este desde Gurabo hasta Juncos, con un área de 18.5 mi<sup>2</sup>. El aluvión que forma el acuífero de Caguas a Juncos consiste primordialmente de arena, grava y cienos, depositados sobre rocas de origen volcánico en los valles formados por los ríos Gurabo y Grande de Loíza. Los depósitos aluviales varían en espesor dependiendo de su ubicación en los valles de los ríos, con un promedio saturado de 80 pies (USGS, 1993), y máximos de hasta 100 pies en Juncos y 126 pies en Gurabo (Puig y Rodríguez, 1993). La transmisividad (T) en el acuífero varía desde 181 y 1,440 pies cuadrados por día en el área de Caguas, y entre 700 a 4,800 pies cuadrados por día en el área de Gurabo a Juncos. El rendimiento de agua de los pozos también es variable, fluctuando entre 50 a 310 gpm (Puig y Rodríguez, 1993).

Aunque el acuífero es capaz de producir cantidades de agua significativa, las extracciones de agua se han reducido sustancialmente debido a contaminación con solventes industriales. El uso de agua subterránea en la zona ha disminuido de 3.5 mgd en 1986 a 2.6 mgd en 1988 y un estimado en 0.9 mgd en el 2002 (Puig y Rodríguez, 1993; DRNA, 2003). Los pozos de mayor producción se encuentran en los centros de bombeo de la AAA en los sectores de Bairoa y Las Catalinas en Caguas; la zona urbana de Gurabo en Gurabo; y en la Estación Experimental cerca de Juncos. Los pozos de Bairoa rinden hasta 140 gpm, aunque su operación cesó desde el 1985 debido a contaminación química. Lo mismo ocurrió en 1987 con los pozos de Las Catalinas, que rendían en aquel entonces 55 gpm. Los pozos de la AAA en Gurabo rendían alrededor de 270 y 275 gpm aunque recientemente confrontaron problemas de calidad de agua y nuevos pozos en fracturas asociadas a las rocas de origen volcánico fueron construidos para reemplazar la fuente de abasto del municipio de Gurabo.

### 6.6.3.9.2 Acuífero aluvial de Cayey

El Acuífero de Cayey es de menor importancia y capacidad en comparación con otros valles aluviales en la Provincia Interior de Puerto Rico. Ubicado en la cabecera del Río de La Plata, el valle aluvial que forma el acuífero ocupa un área de aproximadamente 3.2 mi<sup>2</sup> en la planicie de Cayey (Figura 6.28). El aluvión fue transportado a la planicie desde las laderas de la Sierra de Cayey por el Río de La Plata y sus tributarios, con espesores máximos de hasta 50 pies, que



Fuente: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2004.

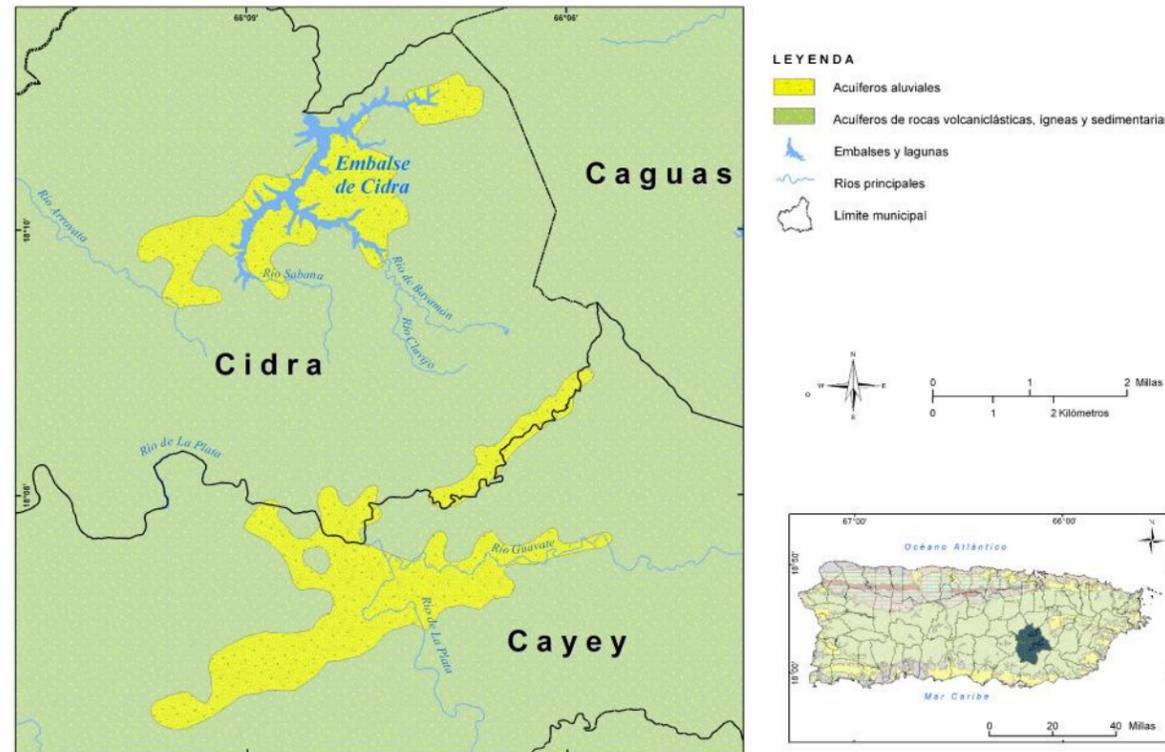
Figura 6-6 Acuífero aluvial de Caguas a Juncos en la Región Este-Central de Puerto Rico.

generalmente no exceden 15 pies (McGuinness, 1948). El aluvión descansa sobre rocas de origen volcánico, primordialmente piroclásticas, que dado su origen, han sido fragmentadas y erosionadas a través de los siglos. Aunque el aluvión no tiene espesores significativos, actúa como un conducto del agua que se infiltra hacia el material descompuesto y fracturado.

El acuífero aluvial no es significativo debido a su espesor limitado y la producción de agua proviene de pozos que interceptan el agua en el material volcánico descompuesto, o en fracturas en rocas consolidadas. McGuinness identificó varios pozos en el valle aluvial con capacidades específicas de 7-8 galones por pie de abatimiento. En varias zonas donde los pozos se nutren del material descompuesto debajo del aluvión, o de fracturas en las rocas más profundas, producciones de hasta 100 gpm son posibles. El uso de agua subterránea en la zona de Cayey es limitado, con una producción de 0.46 mgd en el 2002 (DRNA, 2004).

### 6.6.3.9.3 Acuífero Aluvial de Cidra

El acuífero de Cidra se encuentra en la parte central-este de la Isla y tiene un área de 0.44 mi<sup>2</sup> (Ramos-Ginés, 1997). El acuífero aluvial se formó de la acumulación de depósitos sedimentarios



Fuente: DRNA, 2004

Figura 6-27. Acuíferos aluviales de Cayey y Cidra.

de los ríos Sabana y Bayamón aunque también incluye la contribución de flujo de agua subterránea de las fracturas de las rocas volcánicas en el perímetro del Embalse Cidra (Figura 6.28).

El acuífero de Cidra consiste de depósitos aluviales, mayormente arena, grava y cieno. Los datos e información hidráulica necesaria para describir el comportamiento de las aguas subterráneas en este acuífero son escasos. Un estimado del gradiente hidráulico de 0.026 pies por pie conjuntamente con valores de transmisividad de 200 pies cuadrados por día se utilizaron para estimar el flujo de agua subterránea en este acuífero en alrededor de 1,000 acres-pies por año en el área este del Embalse Cidra. Otras áreas con permeabilidad menor y un gradiente hidráulico mayor contribuyen alrededor de 450 acres-pies por año, en el área oeste del Embalse Cidra (Ramos-Ginés, 1997).

El rendimiento de los pozos en el Acuífero de Cidra produjo 3.74 mgd durante 1993 (Ramos-Ginés, 1993). La ubicación de la mayor parte de los pozos cercanos al Embalse de Cidra sugiere que la mayor parte del agua que los nutre proviene del embalse propio. La infiltración de agua

superficial del embalse resulta en agua de calidad marginal con altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, lo que limita su uso o requiere tratamiento para remover estos nutrientes. El uso de agua subterránea ha disminuido a 0.46 mgd en el 2002 (DNRA, 2004). Esta disminución se debe a la mejoras a la planta de filtración del Embalse Cidra para suplir la demanda de abasto público en el municipio de Cayey, con una producción de hasta 7 mgd de agua de alta calidad. (AAA, 2003). Esto ha resultado en reducciones sustanciales en la extracción de agua subterránea.

### 6.6.3.9.4 Acuíferos de Roca Fracturada en la Región Montañosa

Aparte de los valles aluviales descritos en las secciones anteriores, en la Provincia del Interior los recursos de agua subterráneos ocurren primordialmente en rocas fracturadas de origen volcánico, que ocupan la mayor parte de la provincia. El desarrollo tectónico y geológico de la Isla contribuyó a una deformación y rompimiento (fallas o fracturas) intenso de la mayor parte de las rocas volcánicas que forman la provincia. La extensión geográfica de las rocas volcánicas fracturadas contribuye al desarrollo de ciertas características que influyen el potencial de almacenaje de agua subterránea. Estas características incluyen la densidad de fracturas, contenido de sedimentos en las fracturas, ambiente en el cual se formó la roca volcánica (intrusivo o extrusivo), mineralización, degradación de las rocas y extensión dentro de la zona saturada. El agua es más abundante en zonas donde abundan las fracturas y lineamientos geológicos.

Sin embargo, la naturaleza de las rocas volcánicas en Puerto Rico es variada. Esto provoca incertidumbre en la productividad de agua de las mismas. Estudios de flujos mínimos en áreas o cuencas de rocas volcánicas fracturadas han determinado razones de recarga a las fracturas similares a la recarga de los acuíferos calizos más productivos de la Provincia del Norte. Rodríguez-Martínez (2001) estimó una recarga neta de hasta 12.4 pulgadas anuales en el municipio de Comerío. La recarga de lluvia en la Provincia del Interior representa esencialmente el flujo mínimo de los ríos principales que drenan las cuencas hidrográficas. Esta recarga neta generalmente es pequeña y representa una fracción cuando se compara con la recarga neta a los acuíferos aluviales. La extracción de agua subterránea de fracturas en la roca volcánica usualmente no excede 25 gpm (DRNA, 2004). Existen varias comunidades en los municipios de Caguas y Cidra que extraen hasta un (1) mgd de pozos que interceptan fracturas. Extracciones excesivas de sistemas fracturados de roca volcánica solo ocurren cuando existe una fuente de recarga continua que los abastece. Las figuras 6-30 y 6-31 muestran pozos de extracción de agua subterránea utilizados para agricultura y abasto público, respectivamente.