

## 6.0 Hidrografía de Puerto Rico

La hidrografía superficial de Puerto Rico incluye un gran número de cuencas drenadas por quebradas, ríos, lagunas, embalses y humedales. Estos cuerpos de agua superficiales resultan de la lluvia y escorrentía abundante que disfruta la Isla. A su vez, las quebradas, ríos y embalses son la fuente principal de agua para usos domésticos y agrícolas. A continuación se presentan aspectos importantes de estos cuerpos de agua superficiales y su contribución al balance hidrológico de la Isla.

La mayor parte de la superficie de Puerto Rico es drenada por 64 cuencas principales que forman ríos de características variadas (Figura 6-1). Las cuencas de mayor tamaño ocurren en las regiones Norte y Oeste. Otras cuencas importantes en estas regiones incluyen las del Río Grande de Loíza, Río Grande de Manatí, Río Grande de Arecibo, Río de La Plata, Río Culebrinas y Río Grande de Añasco. El área de captación cumulativa de estas seis cuencas principales es de aproximadamente 1,310 mi<sup>2</sup>, lo que representa el 39% del área superficial de la Isla. En comparación, las cuencas principales de la Región Sur, desde Cabo Rojo hasta Patillas, tienen un área de captación combinada de solamente 550 mi<sup>2</sup>. Esta diferencia significativa en el área de drenaje entre las regiones norte-oeste y sur se debe al desplazamiento hacia el sur de la Cordillera Central relativo al eje central de la Isla. Esto hace que la mayor parte del área superficial en las laderas de la cordillera se encuentre en las pendientes del norte-oeste. Este hecho se comprueba con la longitud promedio de los ríos que drenan la Región Norte, que es de 25 mi, siendo el Río de la Plata el de mayor longitud con 58.5 millas, en comparación con una longitud promedio de 14 mi en los ríos que drenan las laderas del sur. La implicación hidrológica de este hecho es que los ríos de las regiones Norte y Oeste descargan una cantidad mucho mayor de la escorrentía total de la Isla que los ríos de la Región Sur.

La fisiografía de la Cordillera Central y su desplazamiento hacia el sur también son el factor principal en que los ríos de la Región Norte exhiban una pendiente menor que los cauces que drenan hacia el sur. El promedio de la pendiente de los ríos en las regiones Norte y Oeste es de 132 pies por milla, mientras que en la Región Sur la pendiente es de 237 pies por milla. Los factores de menor longitud y mayor pendiente de los cauces de los ríos en la Región Sur contribuyen a que el tiempo que toma a la escorrentía descender de las cordilleras hacia los valles sea menor en esta zona que en las regiones Norte y Oeste. Esto a su vez contribuye a que, para una cantidad de lluvia igual en las laderas de las cordilleras en ambas zonas, las inundaciones en la Región Sur sean más intensas y requieran menor tiempo en llegar a los valles.



Fotografía 6-1. El Cañon de San Cristóbal es un ejemplo del drenaje del Río Usabón que a su vez es tributario del Río de La Plata (foto archivo, USGS, 2000).

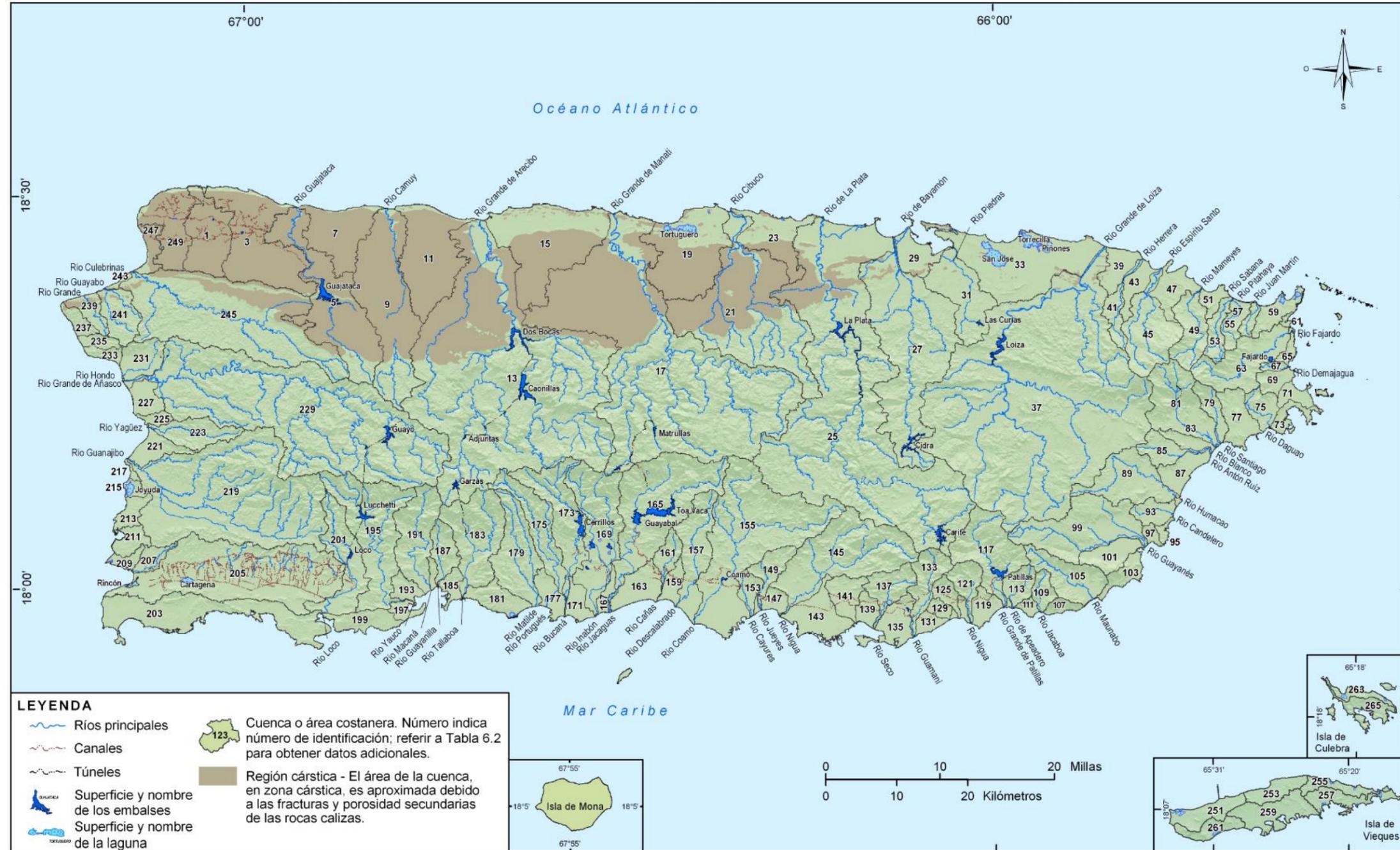


Figura 6-1 Mapa hidrográfico de Puerto Rico, incluyendo las cuencas hidrográficas y ríos, embalses y lagunas principales.

## 6.1 Cuencas Hidrográficas

La cuenca hidrográfica de una quebrada o río en particular es definida por el drenaje o flujo, proveniente de un área controlada por la superficie o relieve topográfico, hacia un punto específico. En general, el área de captación (Ac) incluye toda la superficie del terreno, medida en un plano horizontal, referida a la desembocadura de la quebrada a un río, o del río a uno de mayor área, y finalmente del río principal al mar. Como ejemplos de este concepto, el Río Caliente tiene un área de captación de 2.3 mi<sup>2</sup> en su punto de descarga al Río Frío, el que a su vez tiene un área de captación de 10.9 mi<sup>2</sup> en su desembocadura al Río de La Plata, el cual tiene un área total de captación de 241 mi<sup>2</sup> en su desembocadura al mar (Figura 6-2). El área de captación es un parámetro fijo, irrespectivo de la cantidad de lluvia. Aún en las zonas más secas de la Isla o del planeta, cada cuerpo de agua tiene un área de captación fija, aún cuando el flujo de agua sea continuo o intermitente.

Dentro del área de captación de una cuenca, parte de la lluvia que cae sobre el terreno se evapora debido a la insolación, parte es transpirada por las plantas, y otra parte se infiltra al subsuelo. El balance entre la lluvia (P), menos la suma de la evaporación (Ev), la Transpiración (T) y la infiltración (I), discurre en la superficie en forma de escorrentía (Es) hasta el punto donde se mide el área de captación. Matemáticamente esta relación se expresa por la ecuación 1.

$$Es=P-(Ev+T+I) \quad (1)$$

En cuencas donde existen sumideros, es posible que la verdadera área de captación sea distinta del área superficial de la cuenca. En la Región del Karso del Norte de Puerto Rico, esta condición es común. Esto se debe a que un sumidero en la cuenca de un río puede estar conectado a sistemas de agua subterráneos en otra cuenca, que descargan a los ríos de la segunda cuenca. Sin embargo, en general el área de captación de una cuenca puede definirse con bastante precisión. Esto es de gran importancia debido a que el área de captación es un parámetro utilizado para definir varias relaciones matemáticas con otros parámetros en las cuencas hidrológicas.

La hidrografía de Puerto Rico incluye 134 unidades hidrológicas principales, las que a su vez se dividen en 64 cuencas hidrográficas que descargan la escorrentía directamente al mar y 70 áreas costaneras (Figura 6-2). Anteriormente, en Puerto Rico las cuencas hidrográficas fueron delimitadas utilizando los mapas topográficos del USGS, donde se definen unidades hidrológicas. Estas unidades comprendían una o más cuencas hidrográficas, generalmente definidas utilizando el relieve de la cuenca para definir la dirección del flujo de la escorrentía y datos climáticos e hidrológicos, de modo que cada unidad representara condiciones similares. El USGS definió preliminarmente 123 unidades hidrográficas en la Isla a nivel de cuenca.

El DRNA, como parte del Plan del 2004, revisó las unidades hidrológicas anteriormente publicadas por el USGS (USGS, 2000). El propósito de la revisión es proveer información más

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

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 a otra cuenca o al océano.

En la Zona del Karso de la Región Norte, se definieron áreas de captación aproximadas de los ríos que cruzan a través de dicha región hasta la costa norte. 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 del USGS, estudios anteriores de la hidrogeología de la Región Norte y fotos aéreas recientes. Esto resultó en 8 cuencas hidrográficas y 8 áreas costaneras 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 Guaynabo.

En las zonas costaneras donde ocurre flujo laminar o difuso, se definieron áreas de drenaje aproximadas usando los mapas topográficos, mapas de inundación de la *Federal Emergency Management Agency* (Agencia Federal de Manejo de Emergencias o 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 70 áreas costaneras.

Las 134 cuencas hidrográficas se dividieron en tres categorías: 54 cuencas mayores, 10 cuencas menores y 70 áreas costaneras (Apéndice 10.4). Las cuencas mayores y menores incluyen zonas con drenaje definido a quebradas y ríos; las áreas costaneras incluyen zonas con drenaje indefinido debido a la presencia de sumideros o con drenaje difuso al mar. Del total de 64 cuencas, 54 mantienen un flujo perenne debido a la lluvia y escorrentía abundante, mientras que el balance de 10 exhibe flujos intermitentes debido a su ubicación en regiones de menor lluvia combinada con tasas altas de evapotranspiración y/o infiltración al subsuelo y los acuíferos.

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 adoptados por la JP, los cuales provienen 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.

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.

Las 70 áreas costaneras son aquellas que carecen de una red hidrográfica definida, 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 esta clasificación se incluye el drenaje no definido de la isleta del Viejo San Juan. Estas 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, dos (2) en Culebra y una (1) en Mona.

En adición a estas 64 cuencas definidas, se identificaron 70 áreas costaneras que drenan directamente al mar. Estas zonas descargan la escorrentía directamente a manantiales, lagunas naturales, humedales, estuarios, salinas, caños, y ciénagas incluyendo el lecho marino. En términos de % del área de drenaje total de Puerto Rico de 3,363 mi<sup>2</sup>, estas áreas difusas representan el 21 %.

Las características más importantes de conglomerados de algunas cuencas hidrológicas en Puerto Rico se definen en la Tabla 6-1, incluyendo el área de captación neta, la geometría, el patrón de drenaje y la orientación geográfica. Un inventario de las 64 cuencas hidrográficas mayores y menores y las 70 áreas costaneras y sus respectivas áreas de captación o drenaje se ilustra en el Apéndice 10.4.

Las cuencas hidrológicas exhiben patrones variables de drenaje, lo que a su vez afecta los patrones de evapotranspiración, infiltración y escorrentía. El patrón de drenaje de una cuenca hidrográfica es definido por la geología, las pendientes o relieves topográficos y patrones de erosión. Los patrones principales han sido definidos en estudios anteriores, según definidos en la Figura 6-3. En Puerto Rico, el patrón predominante es el dendrítico, en general debido a la geología de origen volcánico de la cordillera central y los patrones de lluvia y erosión predominantes en esta área. En zonas de la Región del Karso en el norte de la Isla pueden observarse patrones anulares debido a la presencia de sumideros. Existen varias cuencas en la zona central que presentan patrones paralelos. Las clasificaciones más comunes de cuencas hidrográficas de acuerdo a su extensión, geometría (forma), morfología de ríos y drenaje se resumen en la Tabla 6-2. La distribución de cuencas hidrográficas de Puerto Rico es presentada en la Figura 6-2.

La cuenca hidrográfica de mayor extensión territorial en la Isla es la del Río Grande de Loíza, con un área de captación de 290 mi<sup>2</sup>. Esta cuenca drena desde la parte este-central de Puerto Rico hacia el norte y el Océano Atlántico. En comparación, la cuenca de menor extensión territorial es

una cuenca que drena directamente al Canal de Mona cerca de Rincón, en la Región Oeste, con un área de captación de 0.05 mi<sup>2</sup> (Figura 6.1).

Tabla 6-1. Unidades hidrológicas principales de la Isla de Puerto Rico.

Unidad Hidrológica	Área (millas cuadradas)	Geometría	Clasificación del Drenaje de los Ríos	Orientación Geográfica
Río Herrera en la Cabezas de San J	7.6	Alargada	Paralelo	Longitudinal
Río Yaguez	13.6	Alargada	Dendrítico	Longitudinal
Bahía de San Juan	51.9	Rectangular	Dendrítico	Longitudinal
Caño Tiburones	58.5	Ovalada	Sin definir	Longitudinal
Río Bayamón a Río Hondo	90	Alargada	Dendrítico	Transversal
Río Cibuco	92	Alargada	Dendrítico	Transversal
Río Culebrinas	103	Alargada	Dendrítico	Longitudinal
Río Maunabo a Río Humacao	110	Triangular	Dendrítico	Longitudinal
Río Antón Ruiz a Río Fajardo	111	Alargada	Radial	Longitudinal
Río Yauco a Río Tallaboa	123	Alargada	Dendrítico	Longitudinal
Río Matilde a Río Inabón	126	Alargada	Dendrítico	Transversal
Río Guanajibo	127	Alargada	Paralelo	Longitudinal
Quebrada Boquerón a Río Loco	159	Alargada	Dendrítico	Longitudinal
Río Grande de Añasco	181	Alargada	Dendrítico	Longitudinal
Río Coamo a Río Seco	197	Alargada	Dendrítico	Transversal
Quebrada Los Cedros a Río Camuy	212	Rectangular	Sin definir	Transversal
Río Grande de Manatí	235	Ovalada	Dendrítico	Longitudinal
Río de La Plata	241	Alargada	Dendrítico	Transversal
Río Grande de Arecibo	257	Ovalada	Dendrítico	Longitudinal
Río Grande de Loíza	290	Ovalada	Dendrítico	Longitudinal

Las cuencas hidrográficas en la Región Norte de Puerto Rico tienen áreas de captación mayores que las cuencas en otras regiones. Las cuencas de los ríos Grande de Loíza, La Plata, Grande de Manatí y Grande de Arecibo, las mayores en la Isla, drenan todas hacia el norte y el Atlántico. Esto se debe a que las partes altas de la Cordillera Central están desplazadas hacia el sur aproximadamente dos terceras (2/3) partes del ancho de 35 millas de la Isla. Los cauces de los ríos que fluyen desde las montañas hacia los valles del norte y el mar tienen una longitud mayor que los ríos que drenan hacia el sur. Debido al desplazamiento de las montañas, los valles costaneros del norte tienen una extensión territorial mayor que los del sur. En comparación, en la Isla de Vieques ocurre lo opuesto, y el desplazamiento es de aproximadamente 2.5 millas hacia el norte desde la costa sur. El valle principal, Esperanza, tiene una extensión mayor debido a su ubicación al sur de la isla de Vieques.

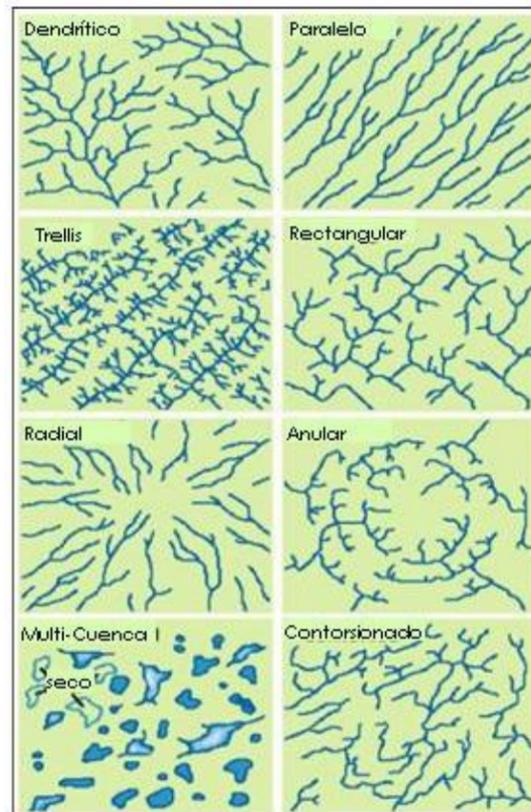


Figura 6-2. Clasificación de cuencas según los patrones de drenaje (Howard,1967).

Las cuencas hidrográficas en Puerto Rico se han formado por procesos erosivos a través de millones de años, resultando en los patrones de drenaje de las aguas superficiales que apreciamos al presente. La forma geográfica de cada cuenca, conjuntamente con su extensión territorial, son características de gran importancia al evaluar los recursos de agua disponibles. En la Isla se identifican cuencas hidrográficas en forma: alargada, ovalada, de hoja, circular y rectangular. La cuenca del Río de La Plata es un ejemplo de una cuenca alargada con un área superficial de aproximadamente 240 millas cuadradas. Ejemplos de cuencas ovaladas en Puerto Rico son las del Río Grande de Loíza, el Río Grande de Arecibo y el Río Grande de Manatí.

El área de captación, la geología, las pendientes y los patrones de drenaje de una cuenca son los factores principales que afectan la escurrentía descargada en un punto en el río que drena la cuenca. El tiempo que toma a la escurrentía en discurrir a través del sistema de drenaje de la cuenca define las características de los flujos en las quebradas y ríos (Grossman y otros, 1972).

Estas características definen a su vez los patrones de flujos, incluyendo los patrones de inundaciones, flujos mínimos y las interacciones entre los sistemas de aguas superficiales y subterráneas de las cuencas. Estas propiedades de un río son fundamentales en el manejo, conservación y uso de los recursos de agua en una cuenca. En secciones posteriores de este documento, se presentan las características hidrológicas pertinentes de las cuencas principales de la Isla.

Tabla 6-2. Inventario de cuencas hidrográficas de Puerto Rico.  
[mi<sup>2</sup> – millas cuadradas].

Número	Nombre	Área (mi <sup>2</sup> )	Geometría	Drenaje de ríos
1	Cuenca Quebrada Los Cedros	23.3	Rectangular	Sin definir
3	Area Costanera Isabela	46.7	-	Sin definir
5	Cuenca Río Guajataca	55.0	Alargada	Dendrítico
7	Area Costanera Quebradillas-Camuy	24.7	-	Sin definir
9	Cuenca Río Camuy	61.8	Alargada	Dendrítico
11	Area Costanera Hatillo-Arecibo	40.5	-	Sin definir
13	Cuenca Río Grande de Arecibo	257	Ovalada	Dendrítico
15	Area Caño Tiburones	58.5	Ovalada	Sin definir
17	Cuenca Río Grande de Manatí	235	Ovalada	Dendrítico
19	Area Laguna Tortuguero	44.3	-	Sin definir
21	Cuenca Río Cibuco	91.6	Alargada	Dendrítico
23	Area Ciénaga Prieta	19.7	-	Sin definir
25	Cuenca Río de La Plata	241	Alargada	Dendrítico
27	Cuencas Río de Bayamón a Río Hondo	89.9	Alargada	Dendrítico
29	Area Ciénaga de Las Cucharillas	10.2	-	Sin definir
31	Cuenca Río Piedras	26.0	Ovalada	Dendrítico
33	Area Estuario de la Bahía de San Juan	51.9	-	Sin definir
35	Drenaje No Definido San Juan Antiguo	1.0	-	Sin definir
37	Cuenca Río Grande de Loíza	290	Ovalada	Dendrítico
39	Area Costanera Punta Iglesia	8.4	-	Sin definir
41	Cuenca Río Herrera	7.6	Alargada	Dendrítico
43	Area Costanera Quebrada Las Lajas	6.8	-	Sin definir
45	Cuenca Río Espíritu Santo	26.2	Alargada	Dendrítico
47	Area Costanera Quebrada Juan González	10.2	-	Sin definir
49	Cuenca Río Mameyes	15.6	Alargada	Dendrítico
51	Area Costanera Quebrada Mata de Plátano	4.1	-	Sin definir
53	Cuenca Río Sabana	7.2	Alargada	Dendrítico
55	Cuenca Río Pitahaya	6.7	Alargada	Dendrítico
57	Cuenca Río Juan Martín	2.9	Alargada	Dendrítico
59	Area Costanera Quebrada Fajardo	8.1	-	Sin definir
61	Area Playa Sardinera	1.0	-	Sin definir
63	Cuenca Río Fajardo	26.2	Alargada	Dendrítico
65	Area Costanera Punta Mata Redonda	2.3	-	Sin definir
67	Cuenca Río Demajagua	1.7	Alargada	Dendrítico
69	Area Costanera Quebrada Ceiba	5.3	-	Sin definir

Tabla 6-2. Inventario de cuencas hidrográficas de Puerto Rico (Cont.)  
[mi<sup>2</sup> – millas cuadradas].

Número	Nombre	Área (mi <sup>2</sup> )	Geometría	Drenaje de ríos
71	Area Puerto Medio Mundo	4.7	-	Sin definir
73	Area Ensenada Honda	4.6	-	Sin definir
75	Cuenca Río Daguao	7.4	Alargada	Dendrítico
77	Area Costanera Quebrada Palma	11.7	-	Sin definir
79	Cuenca Río Santiago	6.8	Alargada	Dendrítico
81	Cuenca Río Blanco	27.7	Alargada	Dendrítico
83	Cuenca Quebrada de las Mulas	4.4	Alargada	Dendrítico
85	Cuenca Río Antón Ruiz	8.7	Alargada	Dendrítico
87	Area Costanera Bo. Río Abajo	8.6	-	Sin definir
89	Cuenca Río Humacao	24.8	Alargada	Dendrítico
91	Area Costanera Morro de Humacao	0.4	-	Sin definir
93	Cuenca Río Candelero	6.7	Alargada	Dendrítico
95	Area Costanera Punta Candelero a Punta Icacos	1.6	-	Sin definir
97	Area Playa de Guayanés	2.1	-	Sin definir
99	Cuenca Río Guayanés	39.2	Alargada	Dendrítico
101	Cuenca Caño de Santiago	9.8	Alargada	Dendrítico
103	Area Costanera Punta Quebrada Honda a Quebrada Emajagua	6.3	-	Sin definir
105	Cuenca Río Maunabo	18.5	Alargada	Dendrítico
107	Area Costanera Quebrada Florida	3.1	-	Sin definir
109	Cuenca Río Jacoboa	5.2	Alargada	Dendrítico
111	Area Costanera Quebrada Palenque	2.1	-	Sin definir
113	Cuenca Río Chico	7.2	Alargada	Dendrítico
115	Area Costanera Pollos	0.3	-	Sin definir
117	Cuenca Río Grande de Patillas	29.1	Alargada	Dendrítico
119	Area Costanera Quebrada de Yaurel	6.1	-	Sin definir
121	Cuenca Río Nigua en Arroyo	8.3	Alargada	Dendrítico
123	Area Costanera Quebrada Salada	1.5	-	Sin definir
125	Cuenca Quebrada Corazón	4.6	Ovalada	Dendrítico
127	Area Costanera Hacienda Felicia	0.4	-	Sin definir
129	Cuenca Quebrada Branderi	2.7	Ovalada	Dendrítico
131	Area Playita Machete	3.5	-	Sin definir
133	Cuenca Río Guamaní	12.9	Alargada	Dendrítico
135	Area Costanera Quebrada Melanía	11.2	-	Sin definir
137	Cuenca Río Seco	11.4	Alargada	Dendrítico
139	Area Costanera Quebrada Amorós	4.7	-	Sin definir
141	Cuenca Quebrada Aguas Verdes	9.2	Alargada	Dendrítico

Tabla 6-2. Inventario de cuencas hidrográficas de Puerto Rico (Cont.)  
[mi<sup>2</sup> – millas cuadradas].

Número	Nombre	Área (mi <sup>2</sup> )	Geometría	Drenaje de ríos
143	Area Costanera Aguirre	16.4	-	Sin definir
145	Cuenca Río Nigua en Salinas	52.8	Alargada	Dendrítico
147	Area Costanera Las Ochenta	4.0	-	Sin definir
149	Cuenca Río Jueyes	8.5	Alargada	Dendrítico
151	Area Costanera Parcelas Peñuelas	0.6	-	Sin definir
153	Cuenca Río Cayures	5.3	Alargada	Dendrítico
155	Cuenca Río Coamo	84.0	Alargada	Dendrítico
157	Cuenca Río Descalabrado	23.3	Alargada	Dendrítico
159	Area Costanera Bo. Río Cañas Abajo	5.0	-	Sin definir
161	Cuenca Río Cañas	6.4	Alargada	Dendrítico
163	Area Costanera Cintrona	11.2	-	Sin definir
165	Cuenca Río Jacaguas	59.9	Alargada	Dendrítico
167	Area Costanera Capitanejo	3.1	-	Sin definir
171	Area Costanera Vayas	5.5	-	Sin definir
173	Cuenca Río Bucaná	28.5	Alargada	Dendrítico
175	Cuenca Río Portugués	20.3	Alargada	Dendrítico
177	Area Playa de Ponce	7.0	-	Sin definir
179	Cuenca Río Matilde	26.2	Alargada	Dendrítico
181	Area Costanera Punta Cucharas	9.9	-	Sin definir
183	Cuenca Río Tallaboa	32.3	Alargada	Dendrítico
185	Area Costanera Punta Guayanilla	4.1	-	Sin definir
187	Cuenca Río Macaná	9.2	Alargada	Dendrítico
189	Area Playa de Guayanilla	1.7	-	Sin definir
191	Cuenca Río Guayanilla	25.1	Alargada	Dendrítico
193	Area Costanera Indios	4.7	-	Sin definir
195	Cuenca Río Yauco	46.1	Alargada	Dendrítico
197	Area Costanera Punta Verraco	3.4	-	Sin definir
199	Area Costanera Bosque Estatal de Guánica	9.2	-	Sin definir
201	Cuenca Río Loco	24.7	Alargada	Dendrítico
203	Area Costanera Sur del Valle de Lajas	42.4	-	Sin definir
205	Area Valle de Lajas	83.5	-	Sin definir
207	Cuenca Quebrada Boquerón	4.9	Alargada	Dendrítico
209	Area Costanera Bosque Estatal de Boquerón	3.2	-	Sin definir
211	Area Costanera Puerto Real a Quebrada Zumbón	5.8	-	Sin definir
213	Area Costanera Joyuda a Quebrada Las Piñas	5.5	-	Sin definir

Tabla 6-2. Inventario de cuencas hidrográficas de Puerto Rico (Cont.)  
[mi<sup>2</sup> – millas cuadradas].

Número	Nombre	Área (mi <sup>2</sup> )	Geometría	Drenaje de ríos
215	Area Laguna Joyuda	2.4	-	Sin definir
217	Area Costanera Quebrada Irizarry	0.9	-	Sin definir
219	Cuenca Río Guanajibo	127	Alargada	Paralelo
221	Cuenca Quebrada Grande	8.1	Alargada	Dendrítico
223	Cuenca Río Yagüez	13.6	Alargada	Dendrítico
225	Cuenca Quebrada del Oro	2.6	Alargada	Dendrítico
227	Area Caño Boquillas	7.0	-	Sin definir
229	Cuenca Río Grande de Añasco	181	Alargada	Dendrítico
231	Cuenca Río Hondo en Añasco	11.0		Dendrítico
233	Area Costanera Quebrada Laya a Caño García	3.2	-	Sin definir
235	Cuenca Quebrada Grande de Calvache	3.6	Alargada	Dendrítico
237	Area Costanera Quebrada Piletas a Quebrada Los Ramos	4.3	-	Sin definir
239	Cuenca Río Grande	6.6	Alargada	Dendrítico
241	Cuenca Río Guayabo	12.9	Alargada	Dendrítico
243	Area Costanera Guaniquilla	1.0	-	Sin definir
245	Cuenca Río Culebrinas	103	Alargada	Dendrítico
247	Area Costanera Aguadilla	5.9	-	Sin definir
249	Area Costanera Punta Borinquen	21.9	-	Sin definir
251	Area Costanera Noroeste de Vieques	9.7	-	Sin definir
253	Area Costanera Area Norte-Central de Vieques	7.1	-	Sin definir
255	Area Costanera Noreste de Vieques	5.6	-	Sin definir
257	Area Costanera Sureste de Vieques	8.3	-	Sin definir
259	Area Costanera Sur-Central de Vieques	14.4	-	Sin definir
261	Area Costanera Suroeste de Vieques	6.2	-	Sin definir
263	Area Costanera Norte de Culebra	4.3	-	Sin definir
265	Area Costanera Sur de Culebra	7.5	-	Sin definir
267	Drenaje No Definido Isla de Mona	21.5	-	Sin definir

## 6.2 Ríos y Quebradas

Los ríos son sistemas dinámicos en continuo cambio debido al alto contenido de energía potencial de la escorrentía en las cordilleras donde se originan. Esta energía se disipa parcialmente cuando el agua erosiona los cauces de los ríos a través del tiempo. En su paso desde las cordilleras, los ríos forman rápidos y charcas (pocetas), separadas por depósitos de grava y arena que emigran constantemente aguas abajo con cada crecida e inundación. En los segmentos donde ocurren rápidos aumenta la velocidad del agua y su poder de erosión, arrastrando grandes cantidades de sedimento hacia las charcas. Con el tiempo, las charcas se llenan de sedimentos hasta que eventualmente pierden su capacidad de acumular material, y por ende de disipar energía. Esto hace que a su vez pasen a ser parte del rápido anterior o posterior, reiniciándose nuevamente el ciclo antes descrito. Estos procesos son más visibles en los cañones que forman los ríos de la Región del Karso del norte de Puerto Rico. En el Río Grande de Manatí, el Río Tanamá, el Río Camuy y el Río Guajataca, debido a la erosión de las rocas calizas en el cauce, se han formado cañones profundos donde la pendiente del río es mínima. En estos cauces la energía potencial es mínima, excepto durante inundaciones cuando el flujo se torna turbulento, erosionando lentamente los bancos del cauce y el canal.

Debido a su mayor área de captación y mayor cantidad de lluvia sobre sus cuencas, los ríos de las regiones Norte y Oeste mantienen un flujo perenne en comparación con la mayor parte de los cauces en la Región Sur. La mayoría de los ríos y quebradas en la Región Sur son intermitentes. Estos mantienen un flujo constante solamente durante la época de lluvia, o cuando ocurren eventos climatológicos anormales que resultan en lluvias intensas en la época de sequía. Aún cuando algunos ríos en la parte alta de las laderas de la Región Sur exhiben escorrentía la mayor parte del tiempo, una vez el flujo avanza hacia los valles aluviales, la infiltración y evapotranspiración consumen la mayor parte del agua, secándose el cauce. La construcción de embalses y la extracción de agua para uso doméstico y riego en varios de los ríos de la Región Sur también contribuyen a disminuir su flujo, aún durante la época de lluvia. Algunos de los ríos principales de la Región Sur afectados por embalses incluyen el Río Grande de Patillas (Embalse Patillas), Río Jacaguas (embalses de Toa Vaca y Guayabal), Río Bucaná (Embalse Cerrillos), el Río Yauco (Embalse Lucchetti) y el Río Loco (Embalse Loco). En la Región Norte, se han desarrollado embalses en el Río Guajataca (Embalse Guajataca), el Río Grande de Arecibo (embalses Caonillas y Dos Bocas), el Río de La Plata (embalses Carite y La Plata), el Río Bayamón (Embalse Cidra) y el Río Grande de Loíza (Embalse Loíza). El Embalse Fajardo se construye al momento en el Río Fajardo, pero fuera de su cauce. Los ríos son uno de los factores naturales más importantes en la evolución de los valles aluviales costaneros de Puerto Rico. La pendiente del cauce de los ríos es mucho menor en los valles costaneros que en las laderas de las cordilleras. A medida que los sedimentos son transportados de las cordilleras hacia las costas y hacia el mar, estos se precipitan cuando la corriente natural pierde energía al reducirse la pendiente del cauce. En los valles costaneros los sedimentos se acumulan en los cauces, reduciendo su profundidad efectiva. Eventualmente, durante eventos de lluvia extremos, la cantidad de escorrentía no puede ser contenida en el cauce, en parte debido a la reducción en profundidad causada por la acumulación de sedimentos. Los ríos inician emigraciones de sus

cauces abriendo nuevas rutas hacia la costa, definidas como meandros. Estos cambios en canales principales pueden observarse en la desembocadura del Río Grande de Arecibo, y en los meandros formados por el Río Grande de Manatí desde Manatí hasta la costa. La repetición de estos procesos durante milenios ha resultado en la acumulación de grandes cantidades de aluvión en los valles, contribuyendo a su vez a la formación de los acuíferos aluviales superiores que ocurren en las regiones Norte y Sur de Puerto Rico.

Los ríos en Puerto Rico también juegan un papel importante en la penetración lateral de agua salina o salobre en los acuíferos. En los valles costaneros, principalmente en la Región Norte, la baja elevación del terreno respecto al nivel del mar permite que durante mareas altas, una cuña de agua de mar penetre por la desembocadura de los ríos. Esta cuña puede avanzar varias millas aguas arriba por el cauce de un río, como ocurre en los ríos Grande de Arecibo, Grande de Manatí cerca de Barceloneta, de La Plata en Dorado, Grande de Loíza en Loíza y Espíritu Santo en Río Grande, entre otros. Lateralmente, esta cuña contribuye a la intrusión salina hacia los acuíferos aluviales y calizos llanos de la Región Norte. La cuña de agua salada es desplazada nuevamente al mar cuando ocurren las frecuentes lluvias que causan caudales significativos, particularmente en la Región Norte. La formación periódica de bancos de arena en la desembocadura de los ríos afecta este equilibrio dinámico entre el mar y el río, impidiendo a veces el avance tierra adentro de la cuña de agua salada, aún durante mareas altas. Este fenómeno de intrusión de la cuña de agua de mar no ocurre en forma significativa en los ríos de las costas sur, este u oeste. Esto se debe principalmente a que las pendientes de los ríos en estas regiones son mayores que en el norte, limitando los efectos de las mareas sobre los cauces de los ríos. Las características principales de los ríos más importantes de Puerto Rico con relación a los recursos de agua se resumen en el Apéndice 10.5.

### 6.2.1 Escorrentía

La escorrentía o flujo de agua natural de los principales ríos en Puerto Rico ha sido medida de forma casi continua desde la década de 1940. La antigua Autoridad de Fuentes Fluviales (AFF) inició la operación de estaciones de medir el flujo de los ríos en puntos estratégicos en la Isla, principalmente en las cuencas donde operaban o planificaban embalses y sistemas hidroeléctricos o de riego. En el 1957, la División de Recursos de Aguas del *US Geological Survey (USGS)* comenzó operaciones en la Isla, incluyendo un programa para determinar en forma continua el caudal y la calidad del agua en los ríos principales. Los datos de flujo anteriormente recolectados por la AFF fueron eventualmente integrados a la base de datos del *USGS*, que ahora comprende aproximadamente 175 localizaciones en Puerto Rico, incluyendo los niveles de agua en los embalses principales. En el año 2002, el *USGS* operó aproximadamente 120 estaciones de escorrentía y niveles en embalses (Figura 6-4), datos que están disponibles en sus publicaciones en la Internet ([pr.water.usgs.gov](http://pr.water.usgs.gov)). Estos datos son de gran valor para la planificación de la conservación y uso de los recursos de agua en la Isla. Los datos permiten llevar a cabo análisis estadísticos sobre los flujos mínimos, promedios y máximos,

y cambios en niveles en los embalses, información esencial para el manejo adecuado de las aguas superficiales en la Isla.

Aunque es posible calcular otras estadísticas de flujos, tales como el Q90 (flujo que es excedido o igualado el 90 % del tiempo), o el flujo promedio diario o anual, estos parámetros no son de utilidad para planificar la conservación y uso de los recursos de agua. Los flujos promedios diarios o anuales son de valor para balances de agua en una cuenca, y para calcular el caudal y volumen de agua disponible al diseñarse obras tales como tomas y embalses. El *USGS* publica estas y otras estadísticas de frecuencia de flujos tanto en su página en el Internet como en sus informes anuales sobre la red de estaciones de escurrimiento en la Isla.

#### 6.2.1.1 Flujos Mínimos

Anualmente, todas las cuencas en Puerto Rico experimentan períodos de sequías (estiaje), generalmente comenzando en enero hasta abril, pero en ocasiones extendiéndose hasta julio y agosto. En cuencas no desarrolladas, tales como en El Yunque y la Cordillera Central, los flujos mínimos representan la descarga de los acuíferos a las quebradas y ríos. En estas cuencas, el flujo mínimo depende enteramente de la precipitación y geología de la zona. En ausencia de lluvia, el agua almacenada en el subsuelo y las rocas descarga lentamente por gravedad hacia los cauces de las quebradas y los ríos. En cuencas desarrolladas, los flujos mínimos son afectados por extracciones en tomas y embalses, o descargas de agua a los ríos y las quebradas. Los flujos mínimos en los ríos son uno de los parámetros más importantes para efectos de planificación de la conservación y uso de los recursos de agua. El flujo mínimo representa la condición de sequía, o estiaje, cuando la precipitación sobre la cuenca es mínima.

Los datos de escurrimiento en los ríos de la Isla obtenidos de las estaciones operadas por el *USGS*, o anteriormente por la *AFF*, se pueden utilizar para definir estadísticas de flujos mínimos. Las estadísticas de flujos mínimos más comúnmente utilizadas en Puerto Rico incluyen el “Q99”, el “7Q2” y el “7Q10”. Estas estadísticas de flujos mínimos son utilizadas por las agencias reguladoras locales y federales en programas de control de extracciones de agua (programa de franquicias de agua superficial por el *DRNA*) y control de descargas de aguas usadas (programa *NPDES* de la *EPA*). Además, el *US Fish and Wildlife Service* (Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos o *USFWS*) utiliza estos parámetros como guías para definir los posibles efectos de extracciones de agua en un río sobre la fauna y flora acuática.

- El Q99 representa la escurrimiento en un punto de un río que es excedida el 99 % del tiempo. Como ejemplo, el Q99 en la estación número 50055000 operada por el *USGS* en el Río Grande de Loíza en Caguas es de 21.3 p<sup>3</sup>/s (13.8 mgd). Esto quiere decir que el flujo en el río es mayor o igual a 13.8 mgd el 99 % del tiempo. Inversamente, el flujo es menor de 13.8 mgd solamente el uno (1) % del tiempo.
- El 7Q2 y el 7Q10 representan el flujo mínimo durante siete (7) días consecutivos con probabilidades de ocurrir de una vez cada dos (2) y diez (10) años respectivamente.

Esto se obtiene evaluando los datos de flujos mínimos para todo el período del record hasta obtener los 7 días consecutivos de flujo menor con probabilidad de ocurrir una vez cada 2 ó 10 años.

Los valores del Q99 y el 7Q2 o el 7Q10 en un punto de un río son afectados por extracciones y/o descargas aguas arriba del punto de referencia. Existen pocas cuencas en la Isla donde los flujos mínimos no son afectados por los embalses y las tomas de agua de la AAA, las descargas de aguas usadas de las plantas de la AAA o de fuentes agrícolas y las descargas industriales. La transferencia de agua de una cuenca a otra complica más aún el análisis de flujos mínimos, resultando en valores que no se relacionan al área de captación o la lluvia sobre la cuenca. Es necesario entonces ajustar los valores para estos factores externos.

Otro parámetro que provee información sobre los flujos mínimos en las cuencas es el “flujo mínimo promedio anual” (*Minimum Annual Low Flow, MALF*). El *MALF* se deriva de estaciones donde se mide el flujo continuamente con 20 años o más de datos. El parámetro se calcula de los datos de flujo promedio diarios que el *USGS* determina anualmente. Para cada año se selecciona el flujo promedio diario mínimo, los que se agregan y se obtiene el promedio aritmético de los valores disponibles (la suma de todos los valores dividida entre los años de datos). El *MALF* se utiliza en Europa y las Islas Británicas como una herramienta adicional para planificar los flujos residuales. Estadísticamente, el *MALF* se aproxima al 7Q10 cuando el número de años de datos es significativo.

Además de los datos de flujos mínimos de estaciones continuas de flujo en los ríos en Puerto Rico, el *USGS* lleva a cabo estudios regionales donde se determinan los flujos base o mínimos periódicamente. Estos estudios se enfocan en cuencas pequeñas, de modo que los datos sirvan como una herramienta para la evaluación de los recursos de agua en zonas rurales y aisladas donde el servicio de agua potable es deficiente o no existe. El *DRNA* recopiló estos estudios del *USGS* como parte del Plan de Aguas del 2004. La información se recopiló en un mapa de la Isla donde se identifican las estaciones donde existen datos de flujos mínimos, su área de captación y valores del *MALF* para lugares con estaciones de flujos continuos que excedan 20 años de record. Este mapa se ilustra en la Figura 6-3.

Los valores de Q<sup>99</sup>, 7Q10 y *MALF* para las estaciones de escurrimiento existentes o anteriores en Puerto Rico se resumen en la Apéndice 10.5. Los datos incluyen el nombre del río y su ubicación, así como el área de captación en el punto de medición del flujo. Se incluye una anotación reflejando que los flujos mínimos son afectados por extracciones o descargas conocidas.



Fuente: US Geological Survey, 1992, 1995 y 1998.

Figura 6-3. Distribución y magnitud de flujos mínimos documentados en Puerto Rico.

### 6.2.1.2 Flujos Máximos

La mayor parte de los valles costaneros en Puerto Rico sufren inundaciones periódicas de gran magnitud que afectan miles de residencias, negocios, industrias y la infraestructura de la Isla, especialmente las carreteras y puentes (Figura 6-6). Esta incidencia de inundaciones se debe a la intensidad de las lluvias causadas por fenómenos tropicales, que incluye frentes de frío, vaguadas, tormentas tropicales y huracanes. En promedio, Puerto Rico sufre los efectos adversos de inundaciones una vez cada diez años, principalmente como consecuencia de los huracanes que azotan la Isla o su vecindad (Quiñones, 1992). Entre 1988 y 1994 la Isla ha sido afectada por 17 inundaciones severas (USGS, 1999). Nueve de estas inundaciones se originaron de tormentas y ondas tropicales. Los efectos de estas inundaciones se acentuaron debido al desarrollo urbano en los valles de los ríos principales, mayormente en los valles costaneros. La Junta de Planificación estima que aproximadamente 160,000 familias en la Isla residen en zonas propensas a inundación, siendo afectados por las inundaciones periódicas. Esto incluye sectores en la Zona Metropolitana de San Juan, en las cuencas del Río Piedras y el Río Grande de Loíza. Excepto por los valles del Río de Bayamón en Bayamón, el Río Bucaná en Ponce y el Río Yagüez en Mayagüez, donde el cauce ha sido canalizado para controlar las inundaciones, los demás ríos en la Isla inundan periódicamente grandes sectores rurales y urbanos. Los estudios del USGS, FEMA y la JP han definido la frecuencia, magnitud y extensión de las inundaciones en los valles costaneros y algunos valles interiores en Puerto Rico. El USGS publica mapas de las inundaciones históricas basados en datos de campo recopilados luego de una inundación (Figura 6-7). Estos mapas están disponibles en el USGS y sirven como base para los estudios que lleva a cabo FEMA para definir los niveles de las inundaciones en distintos sectores de la Isla. La JP adopta estos mapas de FEMA para definir las zonas de inundación en un cauce, y reglamentar la construcción de obras en los valles propensos a inundación (Figura 6-8).

Las descargas máximas registradas en diferentes lugares en Puerto Rico se resumen en la tabla 6-3, según documentada por el USGS. Los periodos de recurrencia señalados son el resultado de un análisis de frecuencia de los datos con un mínimo de datos acumulados de 10 años. Esto es recomendable para obtener una muestra representativa de la estación de aforo evaluada. Sin embargo, cambios en las condiciones climáticas a largo plazo pueden requerir una reevaluación debido a que la frecuencia estimada puede no representar el rango total de flujos observados.



Fotografía 6-2. Las lluvias torrenciales pueden ocasionar escorrentías súbitas, aumentando el flujo y transporte de sedimentos a su paso (foto por Mathew Larsen, USGS, 2004).