Estado Libre Asociado de Puerto Rico

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales

Javier Vélez Arocho
Secretario

PO Box 9066600
Pta. de Tierra Station
San Juan, PR
00906-6600
Tel. (787) 723-3090
Fax: (787) 723-4255

15 de abril de 2005

Lcdo. Carlos López Freytes
Presidente
Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico
PO Box 11488
San Juan, PR 00910-1188

Estimado licenciado López Freytes:

A nombre del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), me place someterle la Declaración de Impacto Ambiental Estratégica Actualizada (DIA-E-A) para el "Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico" (Plan Integral de Aguas). La DIA-E-A fue preparada en cumplimiento con la Resolución Interlocutoria Núm. (JCA-03-0028(DRNA), emitida el 12 de enero de 2005 por la Junta de Calidad Ambiental (JCA) como parte del proceso de evaluación de la DIA Preliminar Programática (DIA-P-P) sobre el Plan Integral de Aguas. La DIA-E-A atiende las recomendaciones y cambios a la DIA-P-P descritas en la Resolución Interlocutoria indicada. En particular, el documento actualizado incluye un resumen de las estrategias y políticas públicas recomendadas en el Plan Integral de Aguas para optimizar el manejo, uso y conservación de este importante recurso. Le incluyo también una copia electrónica del documento en formato "PDF" para publicación en la página de la JCA en la Internet.

Respetuosamente solicito que la JCA programe celebrar vistas públicas sobre la DIA-E-A a mediados de junio próximo, según acordado durante la reunión del 14 de marzo de 2005 con el Ing. Fernando Vargas Arroyo, Subsecretario del DRNA y Gerente de la Oficina del Plan de Aguas. El DRNA solicita que las vistas se celebren en San Juan, Mayagüez, Ponce y Humacao, preferiblemente en las sedes del Colegio de Ingenieros y Agrimensores en estas ciudades. La Oficina del Plan de Aguas coordinará con la JCA la publicación del anuncio oficial de disponibilidad de la DIA-E-A, y reservar las facilidades en dichas sedes. En adición al anuncio público sobre las vistas, invitaremos directamente a organizaciones y personas que participaron anteriormente en la evaluación de la DIA-P-P. También publicaremos una copia de la DIA-E-A en la página de la Oficina del Plan de Aguas en la Internet (www.plandeaguaspr.com).

Le solicito comunicarse con el Ing. Fernando Vargas Arroyo (787-508-5859), de tener alguna pregunta sobre el documento adjunto. Agradezco el apoyo de la JCA en este esfuerzo.

Cordialmente,

Javier Vélez Arocho
Secretario Designado

Anejos

PREÁMBULO

DOCUMENTO: DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA ACTUALIZADA (DIA-E-A)

AGENCIA PROPONENTE: DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES (DRNA)

TÍTULO DEL PROYECTO: PLAN INTEGRAL DE USO, DESARROLLO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA DE PUERTO RICO

OFICIAL RESPONSABLE: HON. JAVIER VÉLEZ AROCHO, SECRETARIO DRNA, SAN JUAN, PR

TELÉFONO: 787-724-8729

FECHA DE CIRCULACIÓN: Abril, 2005

RESUMEN: El DRNA actualiza el Plan Integral de Uso, Desarrollo y Conservación de los Recursos de Agua de Puerto Rico (Plan Integral, Plan), preparado en 1996. El Plan Integral es requerido por la Ley de Aguas de 1976, que delega al DRNA su desarrollo e implantación. El Plan resume el ciclo hidrológico de la Isla, incluyendo un inventario detallado de la cantidad, calidad, ubicación y uso de los recursos de agua. Este análisis concluye que Puerto Rico disfruta de recursos de agua dulce abundantes, pero su uso y conservación poco prudentes durante las últimas décadas amenazan seriamente su disponibilidad futura. Ante esta situación alarmante, el Plan propone la adopción inmediata de una serie de estrategias y políticas públicas diseñadas para optimizar el uso y promover la conservación del recurso a corto y largo plazo.

Esta DIA Estratégica Actualizada (DIA-E-A) describe los elementos del Plan Integral en el marco de los recursos de agua de la Isla. El documento provee un trasfondo de los elementos más importantes de la hidrología de la Isla y los factores que impactan el uso y conservación de los recursos de agua en la Isla. La DIA-E-A evalúa los impactos ambientales potenciales directos, indirectos y acumulativos que ocurrirán al implantarse el Plan Integral actualizado, y los impactos de las alternativas al Plan. En general, la implantación del Plan resultará en impactos ambientales positivos al promoverse la conservación del agua, planificar la protección de las cuencas hidrográficas, considerar las necesidades de la agricultura y los sistemas ecológicos naturales, y proveer al DRNA herramientas modernas para ejercer en forma más efectiva su función ministerial en el manejo de las aguas interiores de la Isla.

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento constituye la Declaración de Impacto Ambiental Estratégica Actualizada (DIA-E-A) para la actualización del Plan Integral de Uso, Desarrollo y Conservación de los Recursos de Agua de Puerto Rico (Plan Integral o Plan). La DIA-E-A se preparó en cumplimiento de la Ley Sobre Política Pública Ambiental (Ley Número 9, 1970, según enmendada) y el Reglamento para la Preparación, Trámite y Evaluación de Documentos Ambientales de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA), según enmendado. Estas leyes y reglamentos tienen como objetivo primordial la protección del medio ambiente y los recursos naturales de la isla, incluyendo los recursos de agua.

La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley 136 del 3 de junio de 1976, o Ley de Aguas) requiere que el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) prepare e implemente un Plan Integral que sirva como herramienta de planificación y guía en el cumplimiento cabal y efectivo de sus deberes ministeriales en relación al desarrollo, uso y conservación de los recursos de agua en Puerto Rico. El Plan Integral descrito en esta DIA-E-A actualiza la versión de 1996, la cual no incluye elementos fundamentales necesarios para que el DRNA lleve a cabo esta función ministerial.

Esta DIA-E-A describe los elementos del Plan Integral y evalúa los impactos potenciales, directos, indirectos y acumulativos que ocurrirán en la fase de implantación del Plan Integral y las alternativas al mismo. Además, la DIA-E-A incluye información pertinente relacionada al medio ambiente en el cual se enmarca la implantación del Plan Integral con énfasis en la descripción de los elementos sustantivos del ciclo hidrológico y, por tanto, los que impactan directamente el uso, desarrollo y conservación de los recursos de agua. En general, la implantación del Plan Integral resultará en efectos positivos al medioambiente en especial a los Recursos de Agua de Puerto Rico.

El DRNA está consciente de que la DIA-E-A no es un documento de aprobación o un permiso para el desarrollo de la acción propuesta, sino parte de los procesos para garantizar la planificación adecuada de la acción propuesta y la participación ciudadana en este proceso. Para cumplir con estos objetivos la Agencia proponente, el DRNA, ha encaminado los siguientes procesos:

- El DRNA ha llevado a cabo varias reuniones con los representantes de las agencias gubernamentales locales y federales responsables del uso, manejo y conservación de los recursos naturales en Puerto Rico, a través del Comité de Recursos de Agua. La DIA-E-A fue radicada ante la JCA para su evaluación por dicha agencia y por el grupo de agencias relacionadas directa o indirectamente a los recursos naturales de Puerto Rico.

- El DRNA promoverá la participación ciudadana en la evaluación de la DIA-E-A y luego en el Plan Integral. Para cumplir con este importante objetivo el DRNA desarrollará las siguientes actividades:

    1. Se circularán en forma amplia copias de la DIA-E-A en las oficinas regionales de la JCA, las alcaldías de los Municipios de la isla, bibliotecas de centros universitarios, grupos ambientales y cívicos.
    2. Según requerido por la Ley Sobre Política Publica Ambiental (Ley Núm. 9 de 1970), la DIA-E-A estará disponible en la Internet en la página de la JCA (www.jca.gobierno.pr), y en la página del Plan Integral de Aguas (www.plandeaguaspr.com).
    3. El DRNA mantendrá copias electrónicas de la DIA-E-A para proveerlas a ciudadanos u organizaciones interesados en el documento. Las copias pueden solicitarse por escrito al Ing. Fernando Vargas, Subsecretario DRNA, PO Box 9066600, San Juan PR 00906-6600, o a la Oficina del Plan de Aguas (787-763-5757, x 1541).
    4. El DRNA coordinará con la JCA la celebración de Vistas Públicas sobre la DIA-E-A y el Plan Integral. Estas vistas se llevarán a cabo en San Juan,

Mayagüez, Ponce y Humacao. Se emitirán avisos en la prensa y en la radio local anunciando el lugar y fecha de las vistas.

5. Luego del proceso de evaluación del documento por parte de las agencias, organizaciones y ciudadanos, la JCA determinará si la DIA-E-A cumple con los requisitos de la Ley Núm. 9. Posteriormente la JCA determinará si solicita al DRNA preparar una DIA-Final (DIA-F), cumpliendo con el artículo 4(c) de la Ley Sobre Política Pública Ambiental.

TABLA DE CONTENIDO

1.0 DESCRIPCIÓN DE LA ACCIÓN PROPUESTA 1-1
1.1 TRASFONDO 1-1
1.2 NECESIDAD DEL PROYECTO 1-7
1.3 OBJETIVOS DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y DEL ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO 1-9
1.4 ELEMENTOS DEL PLAN INTEGRAL 1-10
1.5 METODOLOGÍA Y REGLAMENTOS APLICABLES A LA PREPARACIÓN DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA ACTUALIZADA (DIA-E-A) 1-13
1.6 ÁMBITO DEL PROYECTO 1-14
2.0 MEDIOAMBIENTE DE PUERTO RICO 2-1
2.1 CLIMA 2-1
2.1.1 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN 2-1
2.1.2 TEMPERATURA 2-5
2.1.3 VIENTOS 2-7
2.2 TOPOGRAFÍA 2-9
2.3 SUELOS 2-12
2.4 GEOLOGÍA 2-14
2.5 USO DE TERRENOS 2-17
2.6 HIDROLOGIA 2-19
2.6.1 RÍOS, EMBALSES Y LAGUNAS 2-20
2.6.2 RÍOS 2-20
2.6.3 EMBALSES 2-31
2.6.4 LAGUNAS 2-38
2.7 ESTUARIOS 2-41
2.8 ACUÍFEROS 2-44
2.8.1 MANANTIALES 2-56
2.9 ZONAS INUNDABLES 2-59
2.10 CALIDAD DE AGUA 2-63
2.10.1 CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES 2-63
2.10.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS 2-65
2.10.3 AGUAS SALINAS 2-67
2.11 ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS 2-67
2.11.1 BOSQUES 2-67
2.11.2 HUMEDALES 2-77
2.11.3 REGIÓN DEL KARSO 2-77
2.12 ZONA MARÍTIMO TERRESTRE 2-79
2.13 ESPECIES CRÍTICAS 2-79
2.14 RECURSOS HISTÓRICOS Y CULTURALES 2-85
2.15 ESTÉTICA Y EFECTOS VISUALES 2-85
3.0 ELEMENTOS DEL PLAN INTEGRAL 3-1
3.1 ORGANIZACIÓN DEL PLAN INTEGRAL 3-1
3.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRINCIPALES DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN INTEGRAL DEL 2004 3-3
3.3 ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA 3-6

3.3.1 REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LOS SISTEMAS DE LA AAA 3-8
3.3.2 RESTAURACIÓN DE EMBALSES 3-13
3.3.3 RESTAURACIÓN Y RECARGA DE ACUÍFEROS 3-21
3.3.4 CONTROL DE INUNDACIONES 3-26
3.3.5 OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS DE LA AEE 3-32
3.3.6 REUSO DE AGUAS SANITARIAS 3-35
3.3.7 REUSO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL 3-37
3.3.8 DESALINIZACIÓN DE AGUAS SALOBRES Y SALINAS 3-39
3.3.9 EDUCACIÓN COMUNITARIA SOBRE LA CONSERVACIÓN DEL AGUA 3-41
3.3.10 REVISIÓN DE LAS LEYES Y REGLAMENTOS EN CONFLICTOS 3-43
3.3.11 SISTEMAS DE FRANQUICIAS Y TARIFAS DE USO DE AGUA 3-51
3.3.12 SISTEMA DE TARIFAS DE LA AUTORIDAD DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS 3-53
3.4 POLÍTICAS PÚBLICAS 3-59
3.4.1 CONSERVACIÓN DE FLUJOS MÍNIMOS EN LOS RÍOS Y QUEBRADAS DE NÍVELES MÍNIMOS EN EMBALSES 3-60
3.4.2 CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS 3-60
3.4.3 LIMITACIÓN DE EXTRACCIONES DE ACUÍFEROS AL RENDIMIENTO SEGURO 3-61
3.4.4 MANTENIMIENTO DE FLUJO EN LOS SISTEMA DE RIEGO 3-62
3.4.5 OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS 3-62
3.4.6 UBICACIÓN DE EMBALSES 3-63
3.4.7 PLANES Y MANEJO DE CUENCAS HIDROLÓGICAS 3-64
3.4.8 NECESIDAD DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA ADICIONAL 3-65
3.4.9 REDUCIR PÉRDIDAS EN LA AAA 3-66
4.0 ALTERNATIVAS AL PROYECTO 4-1
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS 4-1
4.2 COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS 4-1
4.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PREFERIDA 4-3
5.0 IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES DE LA ALTERNATIVA PREFERIDA 5-1
5.1 USOS DE TERRENOS 5-1
5.2 SUELOS Y CORTEZA TERRESTRE 5-2
5.3 ZONIFICACIÓN DE TERRENOS 5-3
5.4 DEMANDA Y SUMINISTRO DE AGUA POTABLE 5-3
5.5 GENERACIÓN, DISPOSICIÓN Y REUSO DE AGUAS USADAS 5-4
5.6 ESCORRENTÍA PLUVIAL 5-4
5.7 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA 5-4
5.8 ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIÓN 5-5
5.9 ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS 5-6
5.9.1 FLORA TERRESTRE 5-6
5.9.2 FAUNA TERRESTRE 5-6
5.9.3 HABITÁCULOS ACUÁTICOS 5-6
5.9.4 HUMEDALES 5-7
5.9.5 BARRERAS COSTANERAS 5-7
5.10 CALIDAD DE AGUA 5-7

5.11 AGUAS SUPERFICIALES 5-7
5.11.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....5-8
5.11.2 AGUAS SALINAS 5-9
5.12 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS Y DE JUSTICIA AMBIENTAL 5-9
5.13 RECURSOS VISUALES 5-10
5.14 RECREACIÓN 5-11
5.15 RECURSOS HISTÓRICOS Y CULTURALES 5-11
5.16 ASPECTOS LEGALES Y REGLAMENTARIOS 5-12
5.17 IMPACTOS INDIRECTOS Y ACUMULATIVOS.....5-12
5.17.1 CUENCAS HIDROLÓGICAS.....5-13
5.17.2 RÍOS.....5-13
5.17.3 EMBALSES.....5-13
5.17.4 ESTUARIOS.....5-14
5.17.5 HUMEDALES 5-14
5.17.6 ZONA MARÍTIMO TERRESTRE.....5-14
5.17.7 ACUÍFEROS.....5-14
5.17.8 SISTEMAS DE RIEGO 5-15
5.17.9 SISTEMAS DE ACUEDUCTOS.....5-15
5.17.10SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS 5-15
5.17.11RECREACIÓN.....5-15
5.17.12NAVEGACIÓN.....5-15
5.17.13TURISMO 5-16
5.17.14COMERCIO 5-16
5.17.15INDUSTRIAS.....5-16
5.17.16AGRICULTURA.....5-16
5.17.17TRANSPORTACIÓN.....5-16
5.17.18ENERGÍA.....5-17
5.17.19SISTEMAS MARINOS.....5-17
5.18 COMPROMISO IRREVERSIBLE DE LOS RECURSOS 5-17
5.19 IMPACTOS AMBIENTALES ADVERSOS INEVITABLES 5-17
5.20 USOS A CORTO PLAZO VERSUS PRODUCTIVIDAD A LARGO PLAZO.....5-18
5.21 COMPATIBILIDAD CON LOS OBJETIVOS DE LAS AGENCIAS LOCALES Y FEDERALES, Y GOBIERNOS MUNICIPALES 5-18
5.22 CONFLICTOS Y CONTROVERSIAS.....5-19
5.23 RIESGOS INCIERTOS Y DESCONOCIDOS 5-19
5.24 PRECEDENTES Y PRINCIPIOS PARA ACCIONES FUTURAS.....5-19
6.0 PERSONAL QUE PARTICIPÓ EN LA PREPARACIÓN DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA ACTUALIZADA 6-1
7.0 PARTICIPACIÓN PÚBLICA.....7-1
8.0 ENTIDADES Y AGENCIAS A LAS QUE SE CIRCULA LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA 8-1
9.0 AFFIDAVIT CERTIFICACIÓN.....9-1
10.0 REFERENCIAS.....10-1
11.0 GLOSARIO DE HIDROLOGÍA.....11-1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Ciclo Hidrológico de Puerto Rico. 1-5
Figura 1-2. Uso Histórico de Agua en Puerto Rico, 1960-2000. 1-6
Figura 1-3. Elementos del Plan Integral 1-11
Figura 1-4. Organización del Sistema Computadorizado y de la Base de Datos. 1-12
Figura 2-1. Precipitación promedio en Puerto Rico. 2-2
Figura 2-2. Evapotranspiración promedio en Puerto Rico. 2-4
Figura 2-3. Temperatura promedio en Puerto Rico. 2-6
Figura 2-4. Rosa de los vientos típicos en Puerto Rico. 2-8
Figura 2-5. Topografía general de Puerto Rico. 2-11
Figura 2-6. Suelos principales en Puerto Rico 2-13
Figura 2-7. Geología General de Puerto Rico. 2-16
Figura 2-8. Mapa general de usos de terrenos en Puerto Rico en el 1991 2-18
Figura 2-9 Cuencas y ríos principales en Puerto Rico. 2-21
Figura 2-10. Red de estaciones de medir flujos en los ríos en Puerto Rico operadas por el Servicio Geológico federal en Puerto Rico. 2-24
Figura 2-11. Embalses y lagunas principales en Puerto Rico. 2-33
Figura 2-12. Estuarios principales en Puerto Rico. 2-43
Figura 2-13. Acuíferos principales en Puerto Rico. 2-45
Figura 2-14. Sección transversal de los acuíferos de la costa norte de Puerto Rico y su extensión lateral. 2-50
Figura 2-15. Acuíferos aluviales de la Región Sur de Puerto Rico, incluyendo secciones transversales 2-52
Figura 2-16. Secciones longitudinales de los acuíferos de la Región Sur de Puerto Rico. 2-53
Figura 2-17. Zonas donde ocurre intrusión salina en los acuíferos principales en Puerto Rico. 2-55
Figura 2-18. Ubicación de los manantiales principales en Puerto Rico. 2-57
Figura 2-19. Zonas inundables en Puerto Rico. 2-62
Figura 2-20. Determinación de bacterias fecales en los ríos principales en Puerto Rico. 2-64
Figura 2-21. Lugares principales identificados por la Agencia de Protección Ambiental Federal en Puerto Rico que sufren de contaminación sustancial de las aguas subterráneas. 2-66
Figura 2-22. Zonas boscosas de Puerto Rico 2-76
Figura 3-1. Relación de pérdidas de capacidad en los embalses principales de Puerto Rico con el tiempo desde su construcción. 3-15
Figura 3-3. Inundaciones históricas en Puerto Rico desde 1928-1988 3-28
Figura 3-4. Factura mensual residencial de agua potable en EE.UU., Canadá y Puerto Rico para un consumo de 28 metros cúbicos [7,480 galones]. 3-57
Figura 3-5. Factura mensual residencial de alcantarillado en EE.UU., Canadá y Puerto Rico para 28 metros cúbicos [7,480 galones]. 3-58

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Uso de terrenos en Puerto Rico en 1991. 2-19
Tabla 2-2. Comparación entre las áreas de captación de las cuencas hidrográficas principales de Puerto Rico. 2-22
Tabla 2-3. Datos históricos de los flujos promedios en los ríos principales en Puerto Rico. 2-25

Tabla 2-4. Flujos mínimos en los ríos principales de Puerto Rico, en pies cúbicos por segundo (pcs).....2-30
Tabla 2-5. Características de los embalses principales en Puerto Rico.....2-34
Tabla 2-6. Características principales de las lagunas en Puerto Rico.....2-39
Tabla 2-7. Características generales de los acuíferos principales en Puerto Rico.....2-46
Tabla 2-8. Manantiales principales de Puerto Rico y sus características físicas, químicas y bacteriológicas. 2-58
Tabla 2-9. Características de reservas boscosas de Puerto Rico. 2-69
Tabla 2-10.Lista de especies de flora críticas o en peligro de extinción de acuerdo al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y la Agencia de Protección Ambiental (EPA).....2-80
Tabla 2-11.Lista de especies de fauna críticas o en peligro de extinción de acuerdo al DRNA y EPA. 2-82
Tabla 3-1.Características principales de los embalses mayores en Puerto Rico. 3-14
Tabla 3-2.Estrategias para la restauración o conservación de embalses. 3-18
Tabla 3-3.Inundaciones más significativas en Puerto Rico de 1899 a 1998. 3-29
Tabla 3-4 Características generales de los sistemas hidroeléctricos operados por la AEE en Puerto Rico.....3-32

1.0 DESCRIPCIÓN DE LA ACCIÓN PROPUESTA

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) actualiza el Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico (definido de aquí en adelante como el Plan Integral o el Plan). El Plan Integral vigente data de 1996 y carece de varios elementos de gran importancia y significado. La actualización del Plan Integral tendrá impactos ambientales generalmente positivos sobre los recursos de agua y otros recursos naturales en la Isla. Esta Declaración de Impacto Ambiental Estratégica Actualizada (DIA-E-A) identifica los posibles impactos ambientales de la implantación del Plan Integral, incluyendo medidas para prevenir los impactos adversos y estrategias para minimizar y mitigar los que sean inevitables.

1.1 TRASFONDO

La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley 136 del 3 de junio de 1976, o Ley de Aguas) requiere al Secretario del DRNA "...preparar, adoptar y mantener un Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico". En 1996 el DRNA preparó y adoptó un Plan Preliminar que incluye algunos de los elementos requeridos en la Ley de Aguas. Sin embargo, el Plan de 1996 no incluye elementos de gran importancia necesarios para que el DRNA pueda ejercer eficazmente su función reguladora de administrar los recursos de agua en la Isla. Entre los elementos que el Plan Integral vigente no incluye se encuentran los siguientes:

1. Necesidades y proyecciones de demanda futura de agua por los sectores domésticos, agrícolas e industriales, incluyendo medidas para reducir el uso mediante nuevas tecnologías y control de pérdidas y fomentar la conservación del Recurso.
2. Definición de las necesidades de agua a ser provistas por sistemas ecológicos incluyendo ríos, embalses, estuarios, lagunas costaneras y humedales.
3. Planes o medidas de conservación de calidad y cantidad de las cuencas hidrográficas.

4. Planes o medidas para minimizar la sedimentación y restauración de los embalses existentes.
5. Medidas para la conservación, restauración de los recursos de aguas subterráneas de los acuíferos afectados por contaminación, intrusión salina o explotación excesiva.
6. Potencial de reutilización de las aguas usadas tratadas que descargan a ríos, embalses y al océano.

La falta de un Plan efectivo que permita al DRNA manejar adecuadamente los recursos de agua en la Isla ha tenido impactos negativos sobre los mismos. Estos efectos incluyen principalmente:

1. Desbalance en el desarrollo y uso de los recursos de aguas debido a la sobre-explotación en varias cuencas y acuíferos, mientras que en otros lugares los recursos se subutilizan.
2. Falta de coordinación interagencial para la planificación y uso de los recursos de agua. Varias agencias del ELA intervienen en la planificación y desarrollo de infraestructura para utilizar los recursos de agua, incluyendo a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA); la Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura (AFI); la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE); la Compañía de Desarrollo Industrial (PRIDCO); el Departamento de Agricultura (DA); y la Corporación de Desarrollo Rural (CDR). La determinación de la viabilidad de proyectos de abasto de agua desde el punto de vista de disponibilidad del recurso es función del DRNA, pero desafortunadamente, las agencias indicadas no coordinan efectivamente estos proyectos con el DRNA. Esta falta de coordinación frecuentemente resulta en compromisos en el uso del recurso que no toman en cuenta su disponibilidad a corto y largo plazo.
3. Contaminación de los ríos, embalses, estuarios y acuíferos debido a ubicación indebida de fuentes potenciales de contaminantes en cuencas críticas.
4. Contaminación de los acuíferos costaneros debido a intrusión salina resultante de la sobre-explotación de los acuíferos.

5. Deforestación de cuencas hidrográficas debido a la falta de planes de conservación y manejo de las mismas.
6. Conflictos en la prioridad del uso de agua entre la AAA, la AEE y los sectores agrícolas, comerciales e industriales.
7. Desperdicio de agua debido, en parte, al sistema de tarifas de la AAA.
8. Inundaciones artificiales debido a cambios drásticos en la impermeabilidad y el drenaje en las cuencas.
9. Falta de atención a los sistemas naturales y sus necesidades de agua.

Por otro lado, aunque Puerto Rico disfruta de recursos de agua relativamente abundantes (ver Figura 1-1, Ciclo Hidrológico de la Isla), la demanda de este importante recurso natural aumenta cada día más en proporción al desarrollo socioeconómico en la Isla.

1. Datos históricos del uso de agua en Puerto Rico desde 1960 (Figura 1-2) establecen un aumento sustancial en el uso total, principalmente el uso doméstico y comercial por parte de la AAA.
2. Otros usos importantes, incluyendo agrícolas e industriales, han mantenido tasas de crecimiento moderadas luego de declinar significativamente al eliminarse la industria de la caña de azúcar.
3. El aumento en la incidencia de "eventos de crisis en los abastos de agua potable" ocasionados por sequías moderadas, locales o regionales, se ha intensificado en las últimas décadas. Esto obedece a la falta de coordinación entre las agencias del ELA para el mejor uso y aprovechamiento del agua disponible en períodos de sequía.
4. Teóricamente la AAA produce suficiente agua para satisfacer las necesidades actuales y del futuro cercano (10 años) en la Isla, sin tener que desarrollar infraestructura significativa adicional.

La AAA produce al presente aproximadamente 590 mgd de agua potable, lo cual es suficiente para suplir una población equivalente al doble de la actual en la Isla (3.9 millones). Aproximadamente el 43% del agua que la AAA produce se pierde en

salideros en las tuberías, válvulas, bombas, tanques e hidrantes para el control de fuegos. El sistema de producción y distribución de agua potable de la AAA contribuye a estas pérdidas debido a que es sumamente complejo. El mismo incluye tomas de agua cruda en quebradas, ríos y embalses que alimentan 130 plantas de filtración a través de las Isla, así como aproximadamente 370 pozos profundos. El agua de estas fuentes es distribuida a través de una red de tuberías de aproximadamente 18,000 kilómetros de longitud, con miles de válvulas, estaciones de bombeo y cientos de tanques de almacenaje.

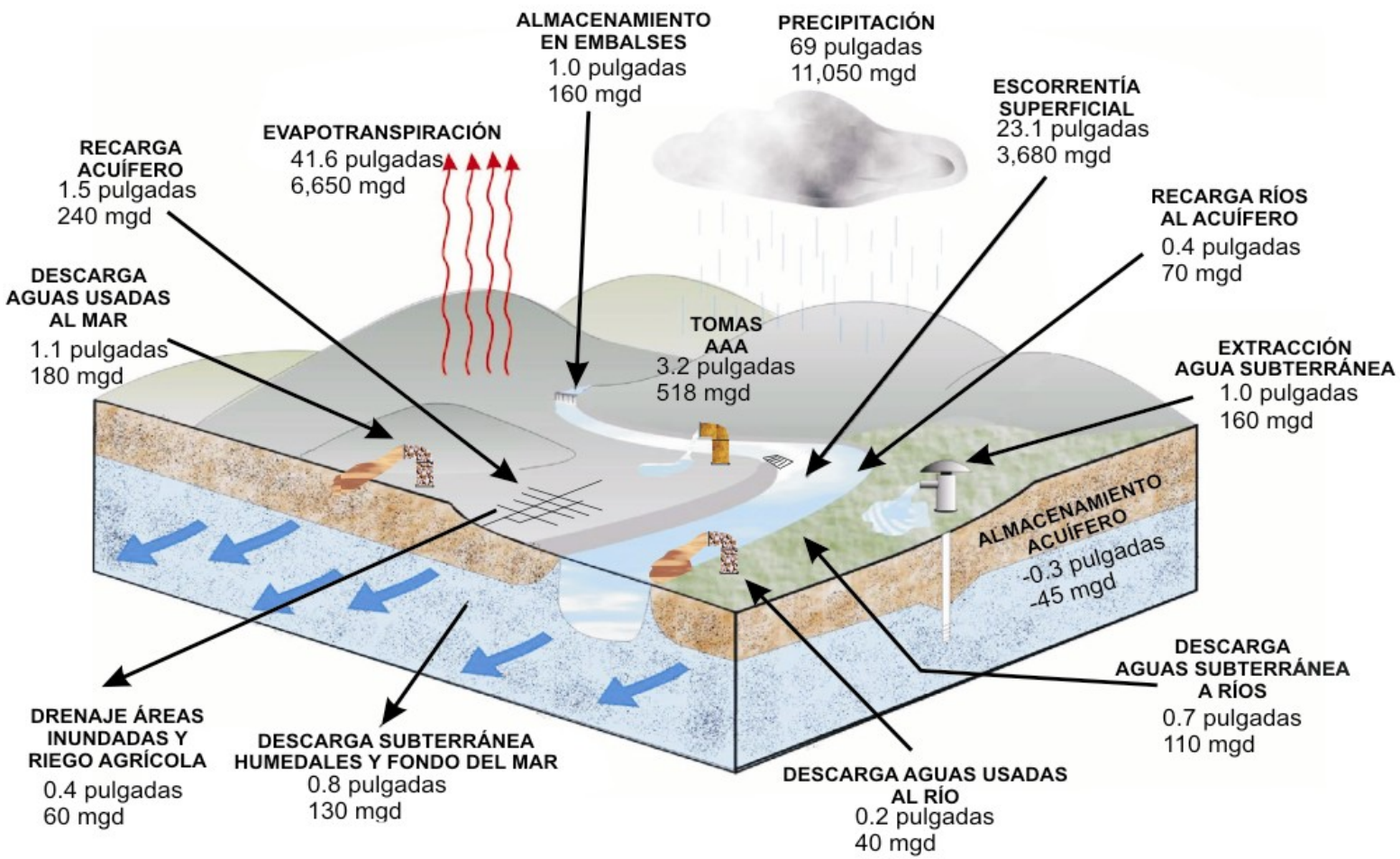


Figura 1-1. Ciclo Hidrológico de Puerto Rico.

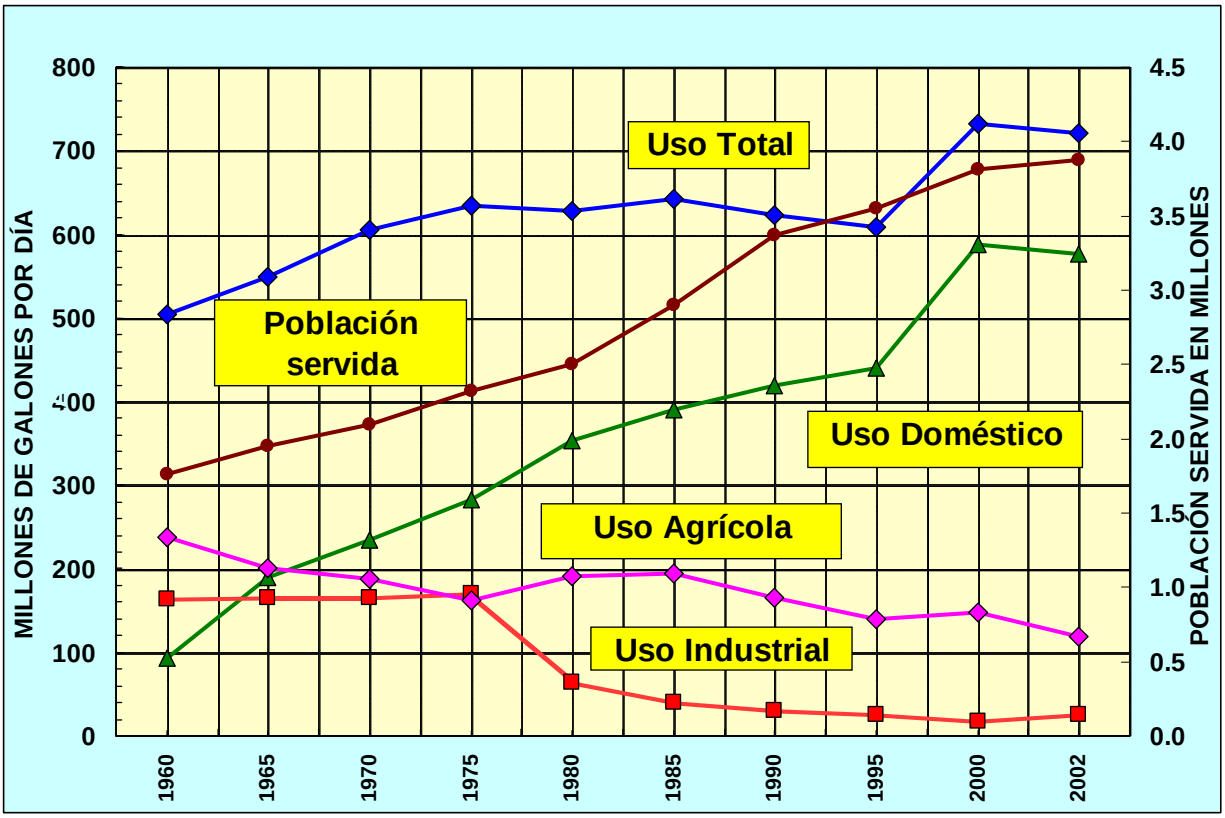


Figura 1-2. Uso Histórico de Agua en Puerto Rico, 1960-2000**.**

Los estimados de las pérdidas en los sistemas de abasto de agua potable de la AAA se basan en varios estudios y análisis llevados a cabo por la misma agencia, la AFI y el DRNA. Los análisis estiman que el consumo per cápita es de 85 galones por día por persona, lo que representa un uso total doméstico de 332 millones de galones por día (mgd) para una población de 3.9 millones de habitantes. El balance entre la producción y el consumo representa las pérdidas reales del sistema de la AAA, equivalentes a aproximadamente 228 mgd (43% de la producción).

El Plan Integral tiene como objetivo principal desarrollar e implantar políticas públicas y estrategias que resulten en un uso más prudente del agua en la Isla, ayudando a su conservación para el beneficio de generaciones futuras. La actualización del Plan Integral es un esfuerzo del DRNA con la asistencia financiera de la AAA y la AEE. Aunque estas agencias proveyeron los fondos necesarios para la actualización del

Plan, no participaron en la formulación del documento excepto en su carácter como agencias comentadoras miembros del Comité de Recursos de Agua.

1.2 NECESIDAD DEL PROYECTO

La Ley de Aguas de 1976 delega al Secretario del DRNA las siguientes funciones y responsabilidades relativas a las aguas interiores de Puerto Rico:

1. Preparar, adoptar y mantener un Plan Integral de Conservación, Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico en consulta con el Comité de Recursos de Agua que más adelante se establece. Este plan precisará los usos actuales de los cuerpos de agua del país y proyectará los futuros. En su preparación el Secretario tendrá presente el ciclo hidrológico, así como las necesidades de los sistemas naturales, sociales y económicos que dependen del recurso para su subsistencia y desarrollo.
2. Establecer un sistema de clasificación de los recursos de agua tomando como base los aprovechamientos y usos; las necesidades de consumo, las prioridades de uso presentes y futuras. También se considerará el estado, la condición del recurso, así como la calidad del abasto que precisa el consumo humano y el desarrollo económico y social previsto para Puerto Rico. Este sistema, lo mismo que el Plan Integral para el Uso, Conservación y Desarrollo de las aguas, constituirá la base para implantar y administrar el sistema de permisos y franquicias que establece esta ley.
3. Adoptar la reglamentación que se estime necesaria sobre usos, y áreas de uso de los cuerpos de agua, caudal que podrá utilizarse de cada cuerpo, reforestación de áreas ribereñas, de ríos, lagos, lagunas y represas, recuperación de tierras, rescate de áreas anegadas, y otros aspectos relacionados a las aguas. Las determinaciones que el Secretario adopte al amparo de esta disposición estarán basadas en consideraciones de interés público y tendrán presente el ciclo hidrológico, la versatilidad de los cuerpos de agua, la variedad de aprovechamientos posibles, y las proyecciones

relativas a la cantidad y calidad de abastos que el país requiere para satisfacer sus necesidades.

4. Establecer áreas o distritos de aguas en estado crítico y adoptar con referencia a ellas las normas especiales y el sistema de prioridades que se precise para garantizar su mejor conservación, uso y aprovechamiento. Las decisiones del Secretario a este efecto estarán basadas en consideraciones de interés público y en criterios de uso óptimo, beneficioso y razonable del recurso. En el ejercicio de esta facultad el Secretario tomará en cuenta las diversas fases del ciclo hidrológico y dará especial atención al ritmo de extracción de aguas subterráneas, el ritmo de abastecimiento de las fuentes, la reducción permisible del nivel freático, y la posible contaminación de acuíferos.
5. Promulgar los criterios de uso óptimo, beneficioso y razonable de las aguas y establecer las prioridades de consumo que se observarán en la administración del sistema de permisos y franquicias que esta ley ordena. En relación con lo anterior, el Secretario de Recursos Naturales, tendrá presente las diferencias hidrológicas que exhiben las regiones de Puerto Rico, la cantidad y calidad de las aguas en cada región y la demanda que representarían nuevas fuentes de consumo. También se tendrá en cuenta la necesidad social y el potencial económico de esas nuevas fuentes, la razonabilidad de los usos y aprovechamientos existentes, la posibilidad de producir agua dulce o de reusar la que ya se aprovecha. Se tomará en cuenta, el costo social y económico que ocasionará el satisfacer las necesidades presentes y futuras de Puerto Rico y las maneras que puedan arbitrarse para satisfacer óptimamente el interés público.
6. Efectuar las investigaciones técnicas que estimen convenientes para precisar la adecuacidad de los determinados usos de las aguas de Puerto Rico. Esto a su vez ayudará a identificar las maneras de cómo proteger, conservar y utilizar eficazmente los acuíferos.

7. Recomendar a la Junta de Planificación (JP) la adopción de normas y reglamentos relacionados al desarrollo y uso de terrenos que afecten los recursos de agua.
8. Recomendar al Gobernador(a) de turno, previa consulta con las agencias e instrumentalidades del Estado Libre Asociado (ELA) interesadas en cada caso en particular, que declare una situación de emergencia con respecto al uso de las aguas en todo Puerto Rico:
    a. En ciertas y determinadas áreas cuando la escasez del abasto lo justifique.
    b. Cuando la calidad de éste conlleve riesgos para la salud, el bienestar o la seguridad de la población.
    c. Cuando cualquiera de esas situaciones fuese prevista.

1.3 OBJETIVOS DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y DEL ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, DRNA actualizó el Plan de 1996 en cumplimiento con la Ley de Aguas de 1976, incluyendo los siguientes elementos:

1. Creación en el 2002 en el DRNA de la Oficina del Plan de Aguas, para completar su desarrollo e implantación en o antes del 30 de septiembre de 2005.
2. Activación del Comité de Recursos de Agua, nombrado por el Secretario del DRNA según requerido en la Ley de Aguas. Dicho Comité incluye representantes de la AAA, la AEE, la Junta de Planificación (JP), la Junta de Calidad Ambiental (JCA), la Administración de Fomento Económico (ahora el Departamento de Desarrollo Económico, DDE), el Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP) y la Universidad de Puerto Rico (UPR). En enero de 2003, el Secretario del DRNA nombró a los miembros del Comité requeridos por la Ley de Aguas, así como a representantes de va otras agencias Estructuración de un Comité Timón presidido por el Secretario del DRNA, incluyendo a los directores de la AAA, AEE, DA, y la JCA.

3. Organización en la Oficina del Plan de Aguas de un Grupo Técnico de profesionales a tiempo completo a cargo de la actualización del Plan Integral. Dicho grupo es dirigido por el Subsecretario del DRNA (Ing. Fernando Vargas Arroyo). El Grupo Técnico incluye empleados del DRNA y consultores privados contratados para asistir a los funcionarios públicos en estructurar el Plan Integral actualizado.
4. Organización de un Comité Asesor externo que provea supervisión técnica al Grupo Técnico. Los representantes de dicho Comité Asesor incluyen el sector privado, las universidades, grupos ambientalistas, agencias federales, la Cámara de Comercio y la Asociación de Industriales.

1.4 ELEMENTOS DEL PLAN INTEGRAL

El desarrollo del Plan Integral conllevó una serie de estudios y la compilación y análisis de datos existentes sobre la hidrología de Puerto Rico y sus islas limítrofes principales (Vieques, Culebra y Mona). Estas actividades se llevaron a cabo en paralelo comenzando en junio del 2003 hasta el presente. Los estudios y análisis incluyeron los siguientes temas sobre Puerto Rico y sus islas limítrofes (para efectos del Plan Integral, el texto se refiere de aquí en adelante a Puerto Rico):

a. Revisión del Mapa de Lluvia Promedio
b. Definición del Mapa de Evapotranspiración
c. Revisión del Mapa de Cuencas Hidrográficas
d. Análisis de la Condición de los Acuíferos de la Provincia del Sur
e. Análisis de la Condición de los Acuíferos de la Provincia del Norte
f. Resumen de las Características y Condiciones de los Embalses Principales
g. Análisis de Flujos Mínimos y Residuales
h. Uso de Agua Dulce en el 2002
i. Sistemas de Riego e Hidroeléctricos
j. Inventario de Pozos
k. Estimados de la Necesidad de Producción de Agua Potable al 2025
l. Estimados de la Necesidad de Agua por el Sector Agrícola

DRNA, 2003

Figura 1-3. Elementos del Plan Integral

Previo a la recopilación de los datos existentes sobre la hidrología de la Isla se diseñó una base de datos computarizada utilizando un Sistema de Información Geográfico (SIG, o GIS, por sus siglas en inglés). El SIG estará acoplado a una base de datos relacional ("Oracle") que permitirá relacionar los datos geográficos, hidrológicos, físicos, químicos, biológicos, ecológicos, socioeconómicos y culturales sobre los recursos de agua en la Isla (Figura 1-4).

La creación de la base de datos incluyó la recopilación de una gran cantidad de información sobre la hidrología de Puerto Rico, la cual está diseminada en agencias locales, federales, universidades, entidades privadas y públicas. Los datos fueron alimentados a la base de datos como parte del proceso de análisis e integración a otras herramientas que permitan su uso efectivo en el manejo de los recursos de agua por parte del DRNA.

La información sobre la hidrología de la Isla recopilada como parte de los informes anteriormente indicados fue utilizada en la preparación del “Inventario de los Recursos de Agua de Puerto Rico”. Este informe, en el formato de un “Atlas”, presenta un análisis detallado de los recursos de agua enfocado en su cantidad, calidad y ubicación en el 2004. El Inventario será publicado por separado por la AAA, la AEE y el DRNA.

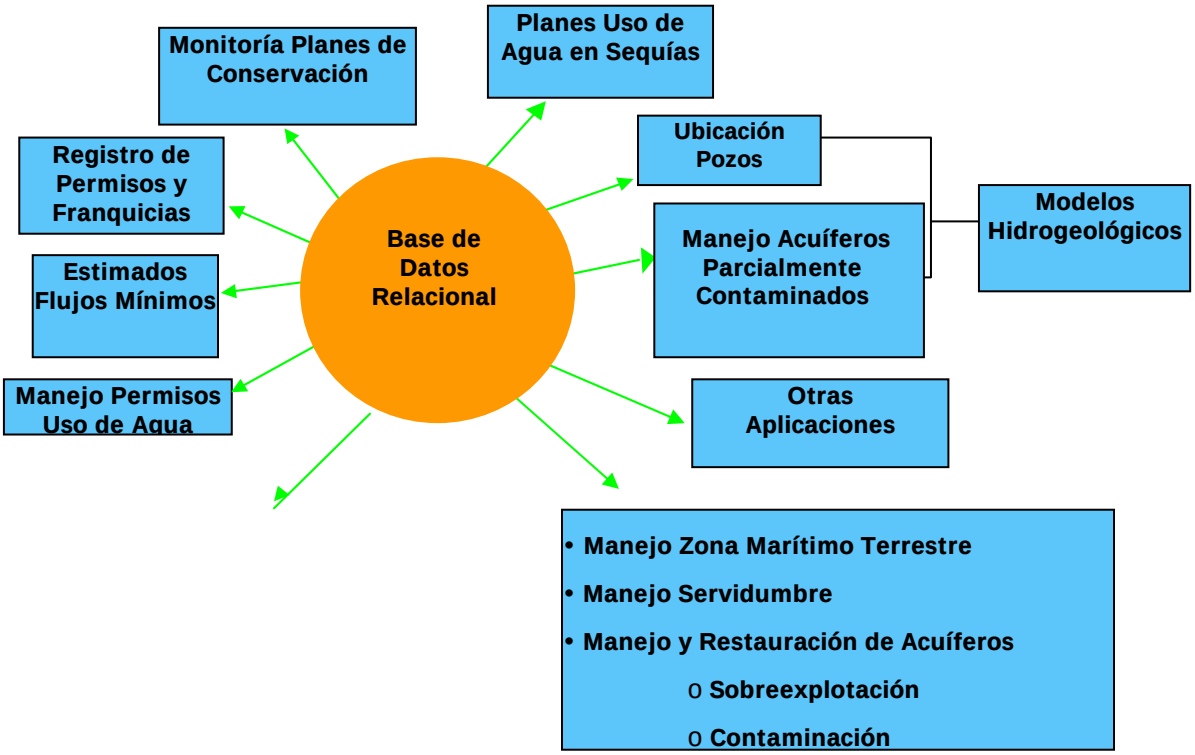


Figura 1-4. Organización del Sistema Computadorizado y de la Base de Datos.

1.5 METODOLOGÍA Y REGLAMENTOS APLICABLES A LA PREPARACIÓN DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA ACTUALIZADA (DIA-E-A)

Esta DIA-E-A cumple con los requisitos de la Ley Sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico (Ley Num. 9 de 1970, según enmendada). El documento fue preparado de acuerdo con las guías del "Reglamento de la Junta de Calidad Ambiental para el Proceso de Presentación, Evaluación y Trámite de Documentos Ambientales" (Reglamento 6510 del 22 de agosto de 2002, según enmendado). La Ley Num. 9 y el Reglamento tienen como meta el proteger el medioambiente y los recursos naturales de la Isla, y promover la salud y el bienestar general de sus residentes.

La DIA-E-A es un documento ambiental para la planificación y evaluación de los posibles impactos ambientales de un proyecto o acción, y es preparado por la entidad (o agencia) líder o proponente del proyecto, o la acción a llevarse a cabo. En este caso, el DRNA actúa como agencia proponente de la actualización del Plan Integral, definido como la acción propuesta. La DIA-E-A no es un documento de aprobación o un permiso para la acción propuesta, sino parte del mecanismo para garantizar el cumplimiento con las leyes y reglamentos ambientales locales.

Previo a completar el borrador del Plan Integral, el DRNA radicó en septiembre de 2003 ante la JCA una DIA-Programática Preliminar (DIA-P-P) describiendo el ámbito del Plan y los posibles impactos ambientales positivos y negativos de su adopción. La DIA-P-P se preparó utilizando como norma las prácticas anteriores de la agencia en casos similares de acciones generales propuestas por el ELA (tales como el Plan de Infraestructura de Desperdicios Sólidos).

1. La DIA-P-P fue circulada ampliamente a las agencias listadas en el Capítulo 8, así como a los miembros del Comité de Recursos de Agua y la comunidad en general. Se enviaron copias a las bibliotecas universitarias públicas y privadas en la Isla, así como a los municipios principales. Una copia electrónica de la DIA-P-P fue publicada en las páginas de la Internet de la

JCA (www.jca.gobierno.pr) y de la Oficina del Plan de Aguas del DRNA (www.plandeaguaspr.com).

2. La JCA celebró vistas públicas sobre la DIAP-P a finales del 2003 y principios del 2004. Las vistas se llevaron a cabo en San Juan, Arecibo, Ponce, Mayagüez, y Fajardo. La asistencia a estas vistas fue mínima, a pesar de anuncios públicos y promoción amplia.
3. El DRNA sometió en mayo de 2004 a la JCA un documento de respuestas a preguntas y comentarios surgidos durante las vistas públicas, como parte de la evaluación de la DIA-P-P. La mayor parte de los comentarios solicitaban que la DIA-P-P incluyera los elementos más importantes del Plan Integral, el cual se encontraba en desarrollo al momento.
4. El 31 de diciembre del 2004, la JCA emitió una Resolución Interlocutoria (JCA 03-0028 (DRNA) en la cual solicitó al DRNA la preparación de una DIA Estratégica Actualizada sobre el Plan Integral (DIA-E-A). En la misma la JCA solicitó al DRNA que la DIA-E-A incluyera los elementos principales del Plan Integral.

El DRNA, en cumplimiento con la solicitud de la JCA en la Resolución Interlocutoria indicada, modificó la DIA-P-P, añadiendo los elementos principales del Plan Integral. Además, el DRNA revisó aquellos aspectos de los impactos ambientales potenciales de la implantación del Plan que pudieran haber cambiado en consecuencia de las estrategias y políticas públicas recomendadas en el documento.

1.6 ÁMBITO DEL PROYECTO

La actualización e implantación del Plan Integral es aplicable a todo Puerto Rico, incluyendo las islas de Vieques, Culebra y Mona, así como otros islotes territoriales bajo la jurisdicción del ELA. En la práctica fuera de Puerto Rico, Vieques y Culebra, no existen recursos de agua significativos en los otros islotes, incluyendo a Mona. En cuanto al ámbito de los recursos naturales, el Plan Integral influye directamente en el manejo de los ríos, quebradas, manantiales, embalses, acuíferos y estuarios en aguas costaneras. Estos recursos naturales a su vez están relacionados a las cuencas

hidrográficas e hidrogeológicas en la Isla, lo que implica que el ámbito de la DIA-E-A es de toda la jurisdicción territorial de Puerto Rico. Esta DIA-E-A se refiere la mayor parte del tiempo a Puerto Rico, incluyendo las islas limítrofes de Vieques, Culebra y Mona, excepto en aquellas instancias en que específicamente se consideren elementos de la hidrología de dichas islas.

El análisis de posibles impactos ambientales de la actualización e implantación del Plan Integral, sean positivos o adversos, incluye todos los recursos naturales y sistemas ecológicos que directa o indirectamente dependen de los recursos de agua. Las actividades socioeconómicas de la sociedad en Puerto Rico que resultan en el uso de agua pueden impactar estos recursos naturales y sistemas ecológicos. Estas actividades incluyen los usos domésticos de agua por parte de la AAA, usos industriales y comerciales por el sector privado y público, el riego agrícola, la generación hidroeléctrica, actividades recreativas en los cuerpos de agua dulce, y la navegación recreativa y comercial. También se incluyen las demandas de los sistemas ecológicos tales como humedales, estuarios y lagunas costaneras. Esta DIA-E-A evalúa los impactos directos, indirectos y acumulativos de estos usos de agua, y las estrategias de manejo propuestas del recurso como parte del Plan Integral. El siguiente capítulo describe el medioambiente general de la Isla desde el punto de vista de la hidrología y los recursos de agua.

2.0 MEDIOAMBIENTE DE PUERTO RICO

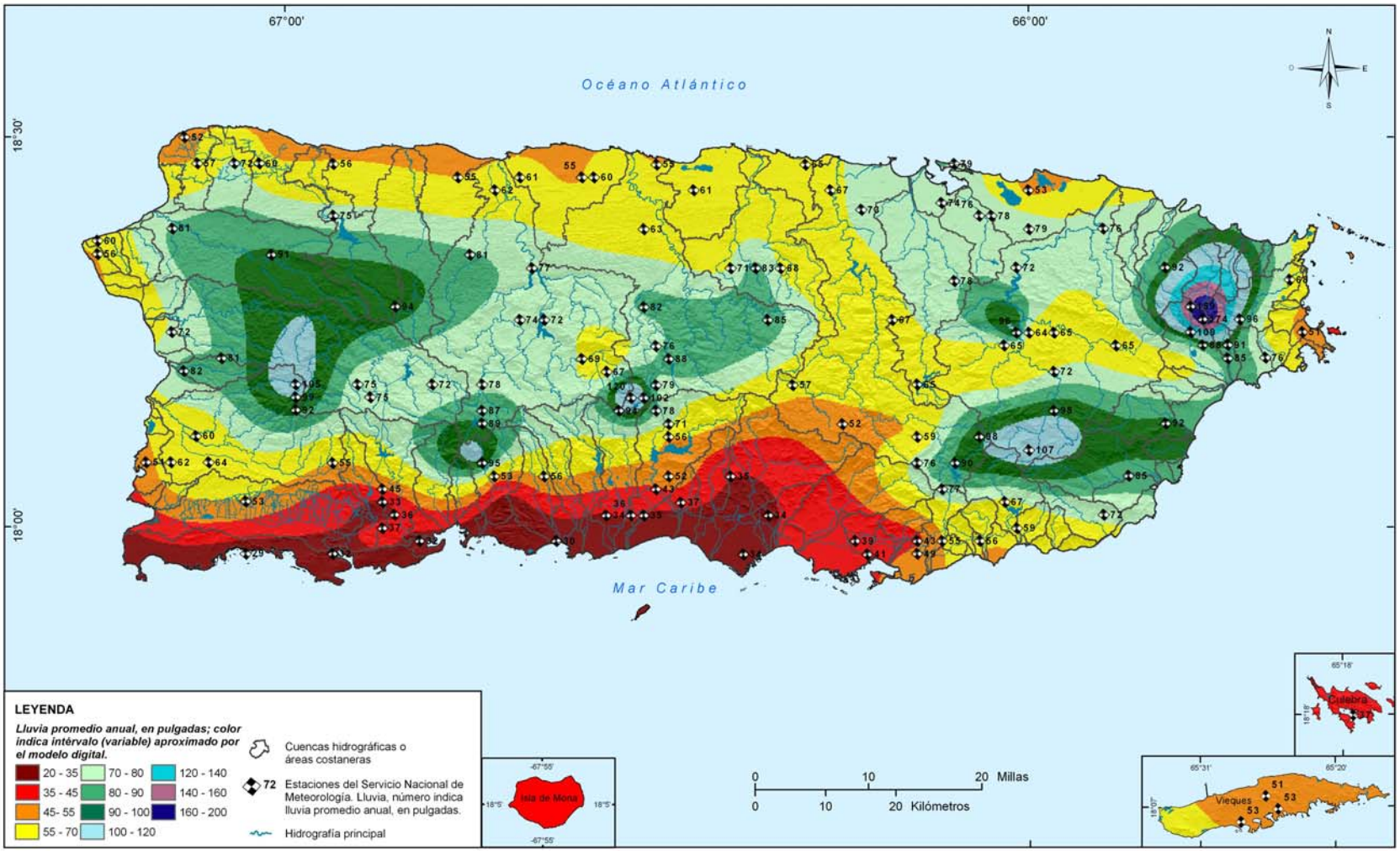
El ámbito de la DIA-E-A para la actualización del Plan Integral incluye a todo Puerto Rico y sus islas territoriales limítrofes. En esta sección se discute el medioambiente de la Isla desde el punto de vista de su influencia en los recursos de agua bajo la jurisdicción del DRNA.

2.1 CLIMA

El clima de Puerto Rico es el factor principal que controla la hidrología de la Isla, afectando directamente la disponibilidad de los recursos de agua. El clima es afectado por la precipitación (lluvia), la evapotranspiración, los vientos y las temperaturas. Aunque generalmente se incluye la evapotranspiración como un elemento del clima, en realidad este parámetro es una función de la temperatura y los vientos.

2.1.1 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

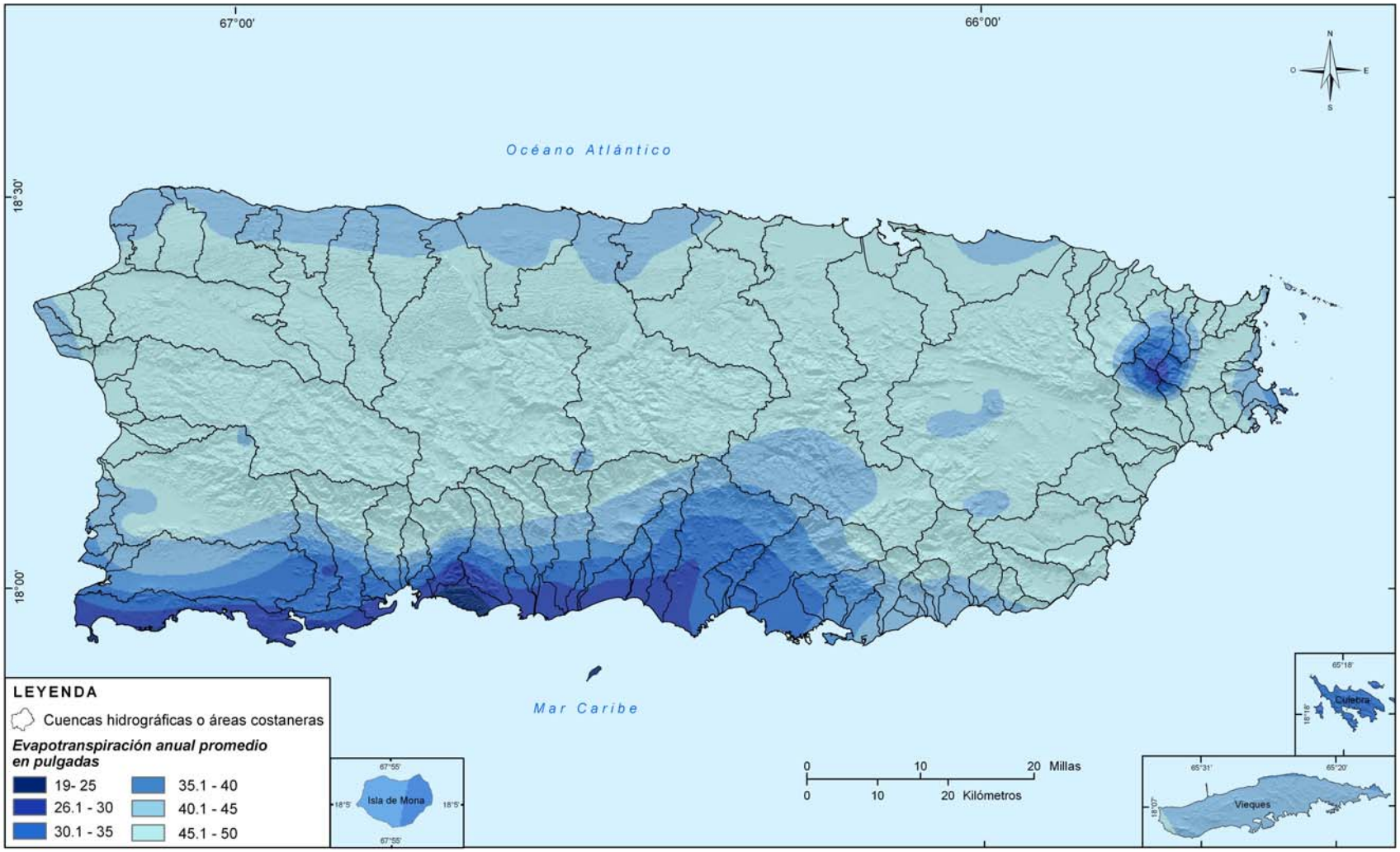
La precipitación o lluvia promedio anual en Puerto Rico es de aproximadamente 69 pulgadas, variando desde menos de 45 pulgadas en el Valle de Lajas hasta más de 150 pulgadas en el Bosque Húmedo del Yunque en la Sierra de Luquillo (Figura 2-1, USGS 1980). A través del año la lluvia varía significativamente, con un período de sequía que normalmente se extiende desde enero hasta marzo o abril, seguido de intensos aguaceros en mayo y junio, un segundo período seco en julio y agosto, y luego el período de lluvias intensas desde septiembre hasta el final del año. Sistemas de baja presión, vaguadas, tormentas y huracanes pueden resultar en eventos de lluvia de hasta 25 pulgadas en 24 horas, causando inundaciones severas regionales o generales a través de la Isla (como ocurrió recientemente durante el Huracán Hortense en el 1996).



Fuente: (SNM,2002; DRNA,2004)

Figura 2-1. Precipitación promedio en Puerto Rico.

La evapotranspiración es un factor importante en el balance de agua en Puerto Rico, ya que la escorrentía disponible en las quebradas y ríos se reduce por la evapotranspiración (Figura 2-2). La evapotranspiración incluye evaporación del agua por la acción del viento (convección) y debido a la radiación solar; y la transpiración por las plantas que retornan a la atmósfera como vapor parte del agua que remueven del suelo a través de las raíces. En promedio, la evapotranspiración en Puerto Rico equivale a 40 pulgadas por año, equivalente a un 60 por ciento de la precipitación promedio. Esto varía a través de la Isla de un mínimo de 15 por ciento en la zona central hasta un máximo de 90 por ciento en el litoral costanero.

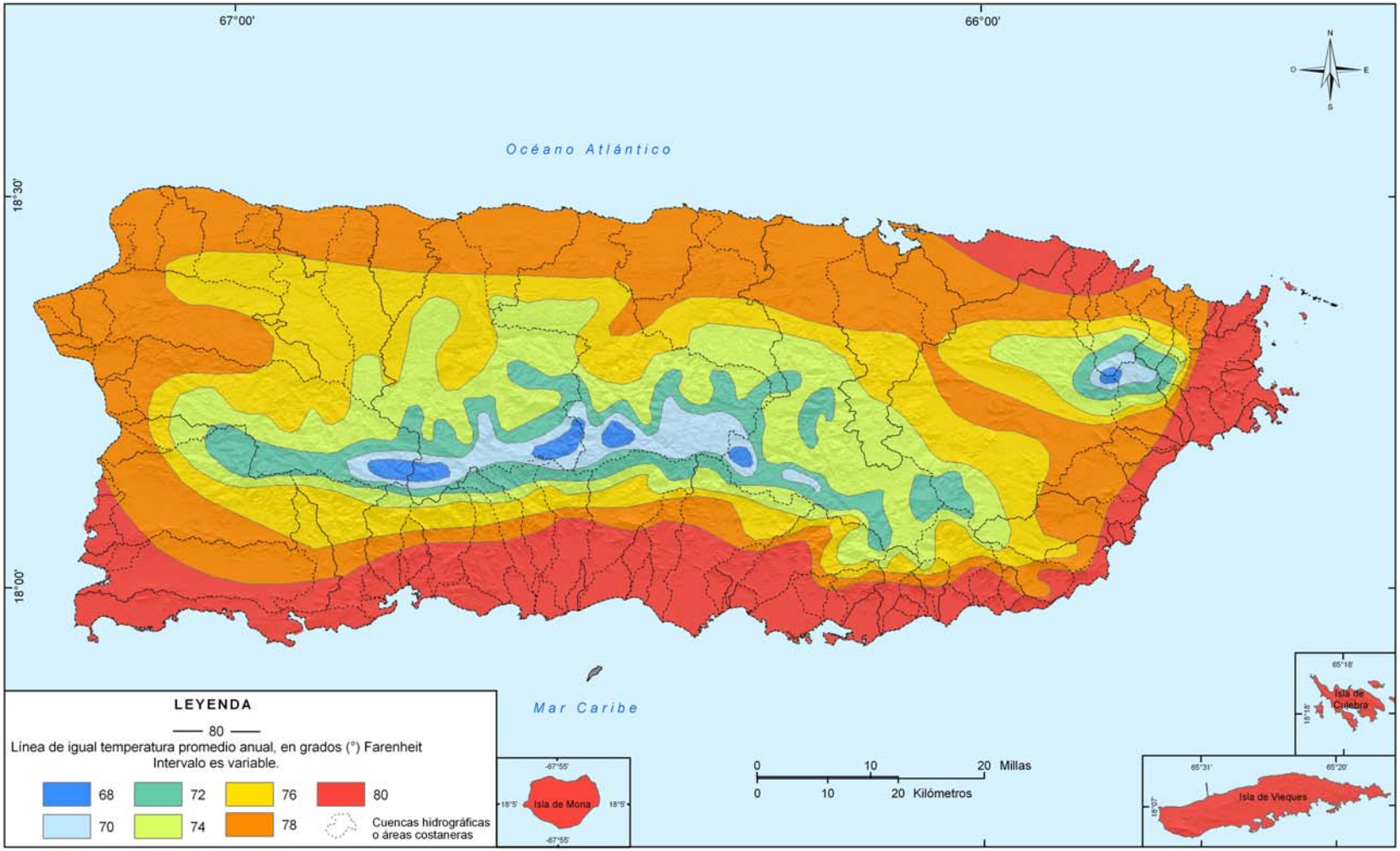


Fuente: (SNM,2002; DRNA,2004

Figura 2-2. Evapotranspiración promedio en Puerto Rico.

2.1.2 TEMPERATURA

La temperatura en Puerto Rico no varía significativamente a través de la Isla y durante el año, con un promedio anual de 82 grados Farenheit. En el ciclo hidrológico el rol principal de la temperatura es regular el mecanismo de evapotranspiración, el que a su vez reduce la disponibilidad de lluvia como escorrentía. Una vez el agua discurre por los ríos y quebradas, o se infiltra a los acuíferos, la temperatura juega un papel importante en el balance de agua de las zonas de vida ecológicas (Figura 2-3).



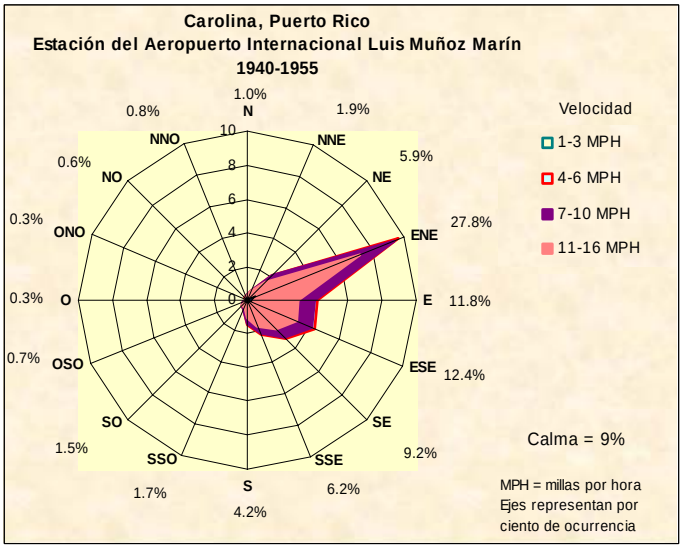
Fuente: (SNM,2002; DRNA,2004)

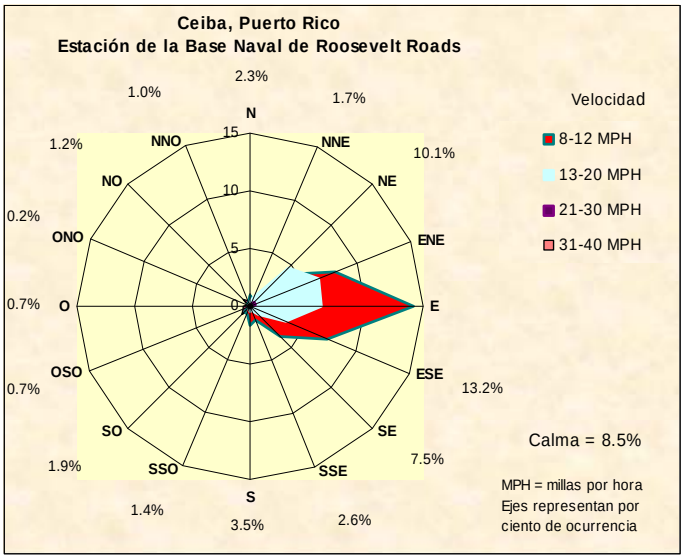
Figura 2-3. Temperatura promedio en Puerto Rico.

2.1.3 VIENTOS

Los vientos afectan el ciclo hidrológico y los recursos de agua directa e indirectamente (Figura 2-4). Los vientos inducen unos cambios en temperatura que producen lluvias orográficas en las faldas de las montañas de la Isla, contribuyen a eventos ciclónicos y aceleran la evaporación de agua en cuerpos libres y la evapotranspiración en la superficie de la vegetación.

Los vientos del este-noreste predominan en Puerto Rico durante la mayor parte del año, particularmente desde septiembre hasta marzo. Los sistemas de vientos del este-noreste, denominados “alisios”, se originan en zonas de alta presión en la vecindad de las Islas Azores, al oeste del continente africano. En los sectores montañosos de Puerto Rico, estos vientos se combinan con la geografía del área para crear efectos orográficos induciendo lluvias vespertinas durante varios períodos del año. Este efecto resulta de la aceleración de los vientos al cruzar las cordilleras, resultando en un enfriamiento de las masas de aire, induciendo la condensación y precipitación de la humedad que contienen. En la zona costanera, estos efectos orográficos no son tan evidentes. En marzo o abril la dirección del viento prevaleciente tiende a cambiar a un rumbo del este-sureste. Esto resulta en aires más cálidos y aumentos en la temperatura sobre la Isla.





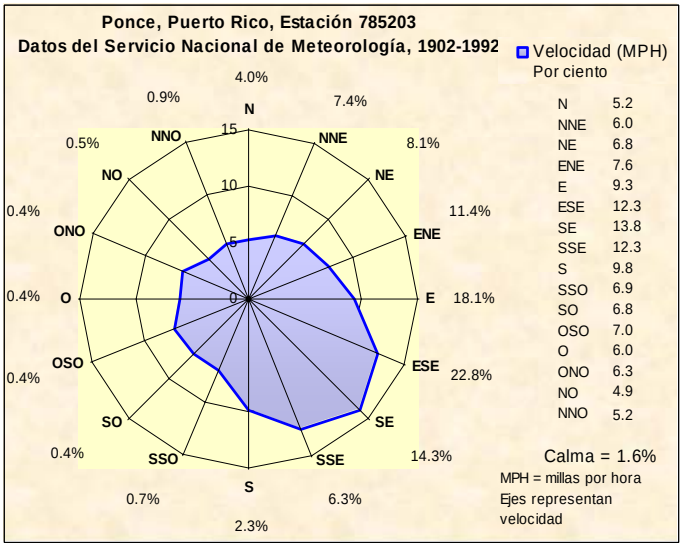


Figura 2-4. Rosa de los vientos típicos en Puerto Rico.

Estos patrones generales de vientos del este-noreste y este-sureste varían como resultado de varios factores, incluyendo:

a. La brisa marina diurna en las costas inducida por diferencias en tasa de calentamiento y enfriamiento entre la tierra y el mar durante el día y la noche. Este fenómeno resulta en una brisa desde el mar a tierra durante el día y en dirección opuesta durante la noche.
b. Tormentas tropicales y huracanes, con vientos de hasta 200 millas por hora predominantemente del este-sureste.
c. Otros sistemas tropicales tales como vaguadas y trombas marinas que pueden inducir vientos en cualquier dirección.

2.2 TOPOGRAFÍA

La topografía de Puerto Rico juega un papel importante en la hidrología y recursos de agua de la Isla. Los montes escarpados de las sierras de Luquillo y la Cordillera Central contribuyen a la red de cuencas hidrográficas de gran complejidad que drenan la escorrentía producida por la lluvia anual. Los ríos principales de la isla se originan en las partes más altas de estas sierras, drenando la escorrentía hacia los valles en los cuatro litorales. Los valles costaneros aluviales proveen zonas de remanso a los ríos que descienden de las montañas, desacelerando su paso y a la vez induciendo infiltración de parte de su caudal a los acuíferos formados en los valles. En la Región Norte, desde Carolina hasta Aguadilla, la franja de rocas calizas que forman la zona cársica constituye su propio sistema de desagüe, alimentando los acuíferos calizos del norte con la lluvia que se infiltra a través de sumideros y rocas porosas. Formaciones calizas similares, pero de menor valor hidrológico, se hayan en la Región Sur, desde Juana Díaz hasta Peñuelas.

La topografía general de la Isla se ilustra en la Figura 2-5. La variación en elevación desde la costa hasta los montes de la Cordillera Central es importante en la hidrología de la Isla desde el punto de vista de inducir lluvias orográficas y contribuir a

escorrentías de gran magnitud aún en cuencas de áreas de captación relativamente pequeñas. En términos de magnitud, las elevaciones mayores en la Isla alcanzan 4,400 pies sobre el nivel del mar en la Cordillera Central, precipitándose a cero en menos de 15 millas de distancia en cualquier dirección. Estos cambios drásticos en elevación son un factor importante en el flujo de la escorrentía hacia el mar. Durante inundaciones el flujo es acelerado, tomando un máximo de un día en llegar desde las partes más altas en las montañas hasta la costa. Los embalses construídos en muchas de las cuencas centrales no tienen la capacidad de retener estos flujos de gran magnitud, lo cual es un factor importante en la disponibilidad de agua para los diferentes usos de la población. Por otro lado, estos pulsos de agua fresca juegan un papel importante en el ciclo ecológico de los ríos y los estuarios. En los estuarios, estos pulsos de gran magnitud empujan temporeramente la cuña de agua salada que penetra tierra adentro en el cauce de los ríos, principalmente en la costa norte. También remueven los depósitos de arena que se acumulan en la boca de algunos ríos, permitiendo el flujo ininterrumpido del agua al mar. Estos efectos son parte del ciclo de vida de varias especies de peces y camarones que habitan en la zona estuarina y dependen de estos ciclos para su supervivencia a largo plazo.

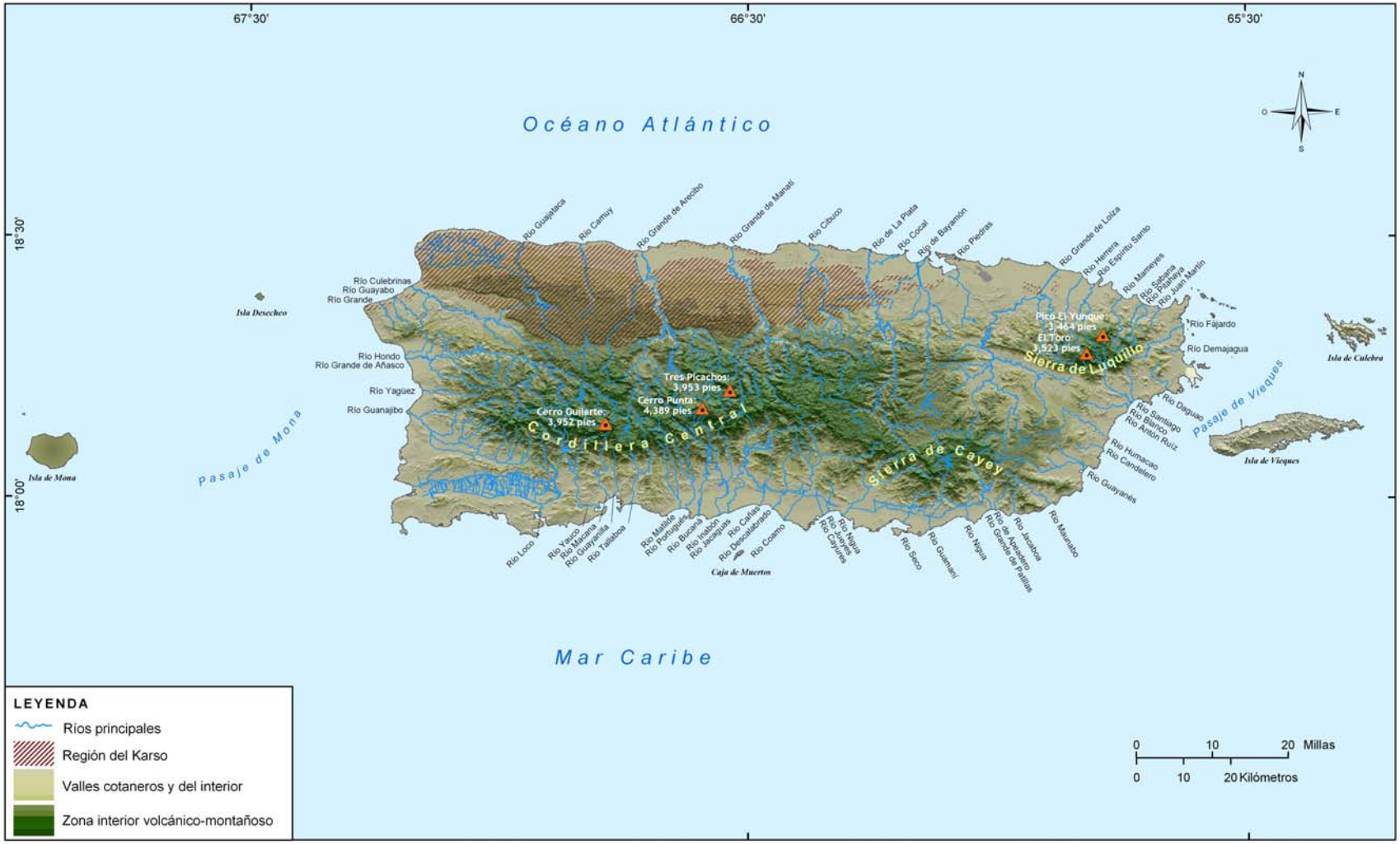


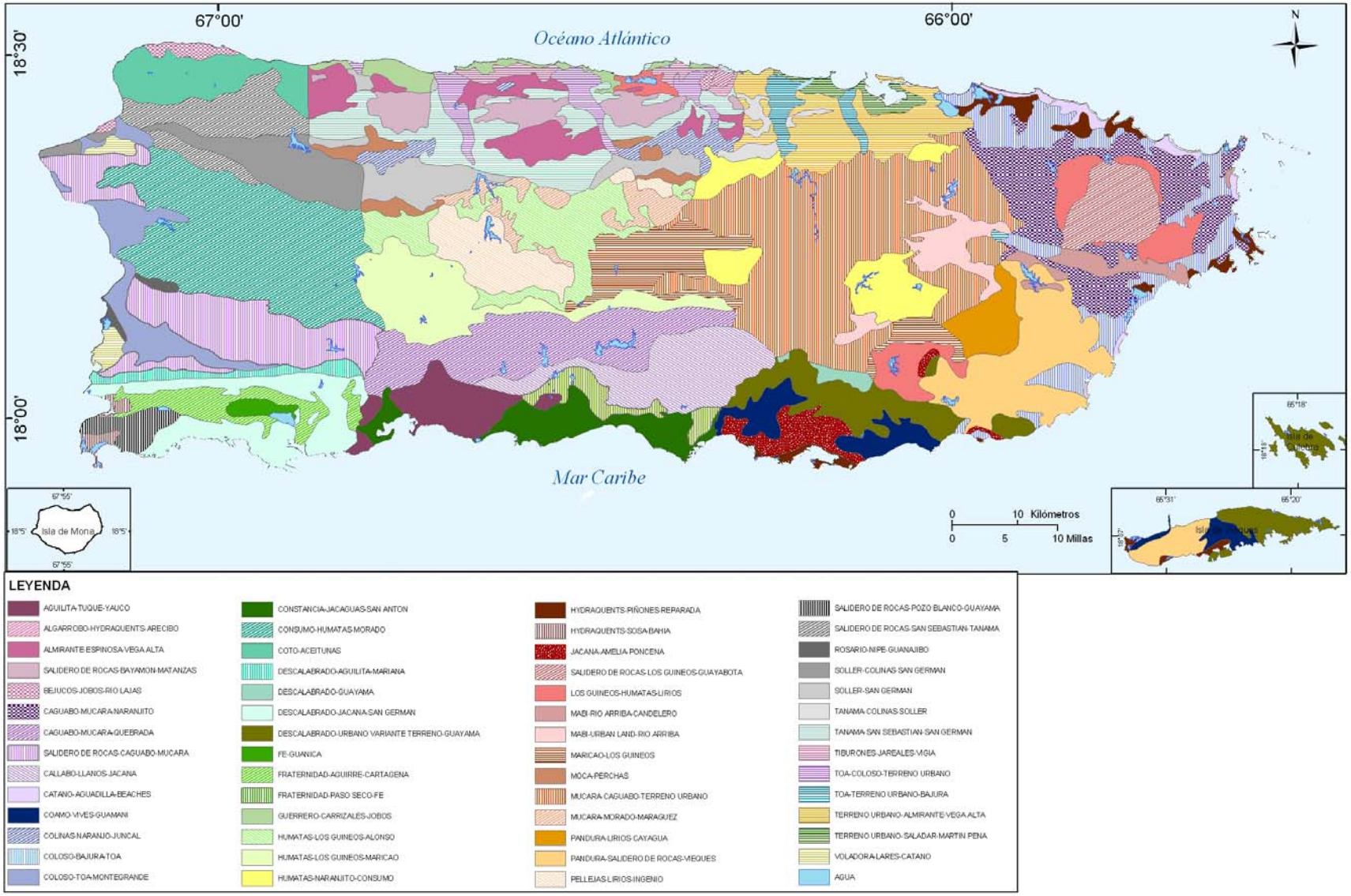
Figura 2-5. Topografía general de Puerto Rico.

2.3 SUELOS

Los suelos de Puerto Rico contribuyen al balance hidrológico de la isla al afectar la escorrentia e infiltración, así como la erosión y transporte de sedimentos. En general, los suelos en las cuencas hidrográficas son variados y complejos, dependiendo de su origen, el cual incluye residuos volcánicos originales y meteorizados, material sedimentario calizo y aluvial, y combinaciones que incluyen materia orgánica. Los suelos principales en la Isla se ilustran en la Figura 2-6.

Los suelos de mayor porosidad se encuentran en los valles aluviales costaneros, así como en la zona del karso del norte. En estas zonas, los suelos permiten altas tasas de infiltración, y contribuyen con altas concentraciones de material orgánico haciéndolos adecuados para el uso agrícola.

Los suelos de la zona central, mayormente de origen volcánico, también son de alta porosidad, y contribuyen a retener parte de la escorrentía antes de que llegue a las quebradas y riachuelos que forman los ríos principales de la Isla. Estos suelos son objetos de erosión intensa durante las lluvias de alta intensidad que periódicamente afectan la zona central. Este material erodado es a su vez transportado aguas abajo hacia los ríos y los embalses, contribuyendo a su sedimentación. La susceptibilidad a la erosión y exposición de estos suelos a la lluvia y escorrentía, cuando se remueve la flora de las cuencas, contribuye a acelerar el desgaste de la superficie terrestre y a la sedimentación de los embalses.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 2-6. Suelos principales en Puerto Rico

2.4 GEOLOGÍA

La geología de Puerto Rico es extremadamente variada para una isla de tamaño relativamente menor. En la superficie, los suelos de origen volcánico y marino, o material meteorizado, contribuyen a las características hidrogeológicas de los suelos. Estas características se reflejan en la capacidad de infiltración y la erodabilidad, lo que a su vez afecta la hidrología superficial y subterránea de la Región del Interior y de los valles costaneros. La geología general de la Isla se resume en la Figura 2-7.

Los acuíferos principales de la Isla son el resultado de cambios geológicos a través del tiempo. En la Región del Interior, rocas de origen volcánico o intrusivo constituyen en general acuíferos de importancia secundaria o menor, almacenando agua principalmente en fracturas. Las excepciones ocurren en los valles centrales de Cayey, Caguas, Cidra y en las riberas de los ríos en varios municipios de la Región del Interior, donde depósitos de aluvión forman acuíferos secundarios que pueden producir cantidades moderadas de agua para usos domésticos e industriales.

En contraste, en las regiones Norte y Sur se encuentran los acuíferos más productivos de la Isla. En la Región Norte, depósitos aluviales sobre rocas calizas del Período Terciario y Cuaternario forman el acuífero llano, de gran productividad y que al presente provee aproximadamente hasta 50 mgd de agua para usos domésticos e industriales. El acuífero llano descansa no-uniformemente sobre el acuífero profundo, el cual posee características artesianas en varios segmentos, particularmente en la zona desde Barceloneta hasta Arecibo.

En la Región Sur, depósitos aluviales con espesores de hasta 2,000 pies descansando sobre rocas volcánicas forman una serie de acuíferos aluviales, extendiéndose en tres provincias desde Patillas hasta Guánica. Estos acuíferos proveen aproximadamente el 50 por ciento del agua (25 mgd) para usos domésticos en la región, además de hasta 50 mgd para riego agrícola.

Depósitos aluviales de importancia menor a los de las regiones Norte y Sur ocurren en los valles de las regiones Este y Oeste, así como en la Región Central Volcánica. En estas regiones, el aluvión es menor de 100 pies de espesor, y aporta cantidades moderadas de agua principalmente para usos domésticos.

La hidrogeología detallada de Puerto Rico se discute ampliamente en las publicaciones del USGS, en particular el informe reciente de Renken y otros (USGS, 2002).

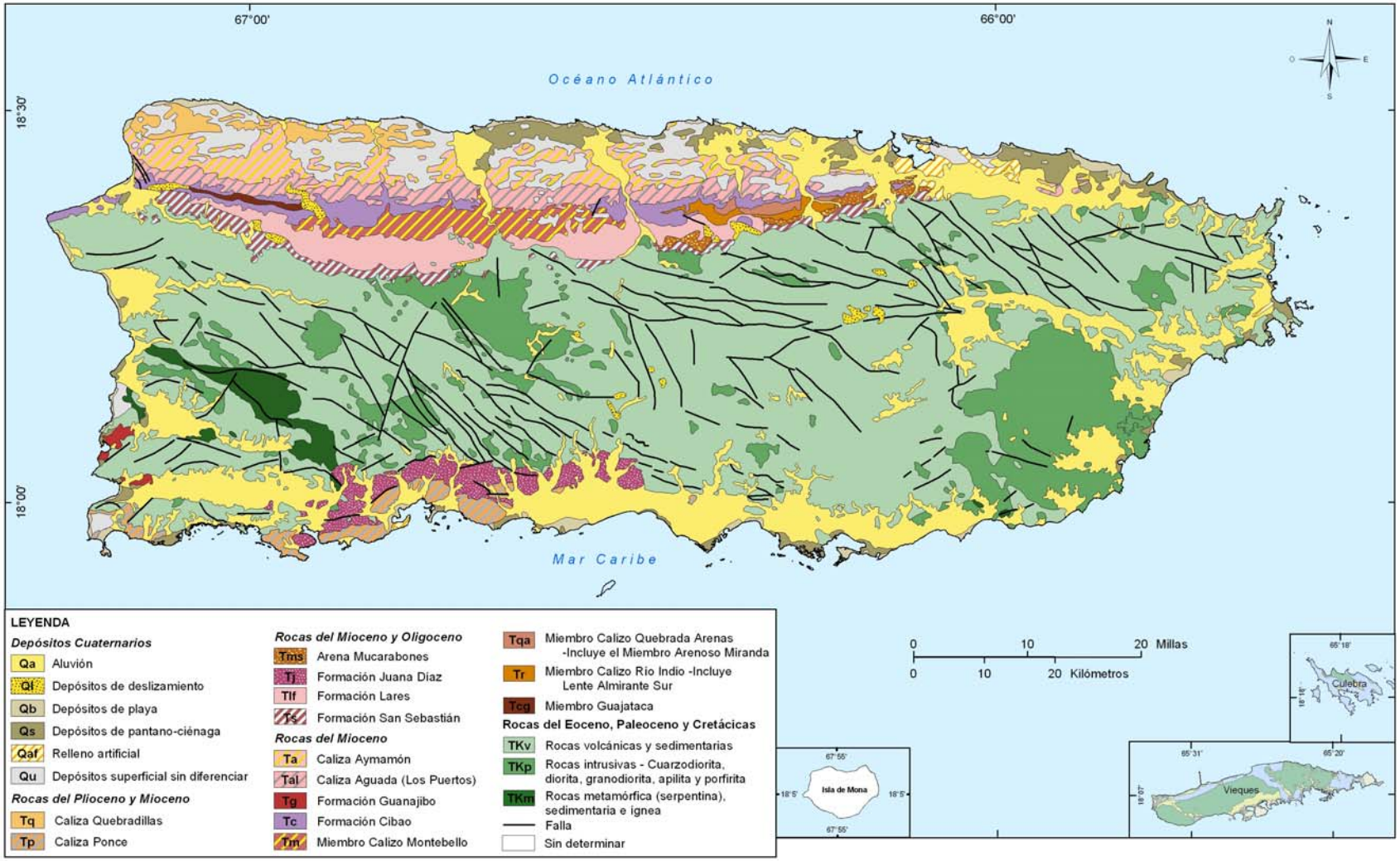
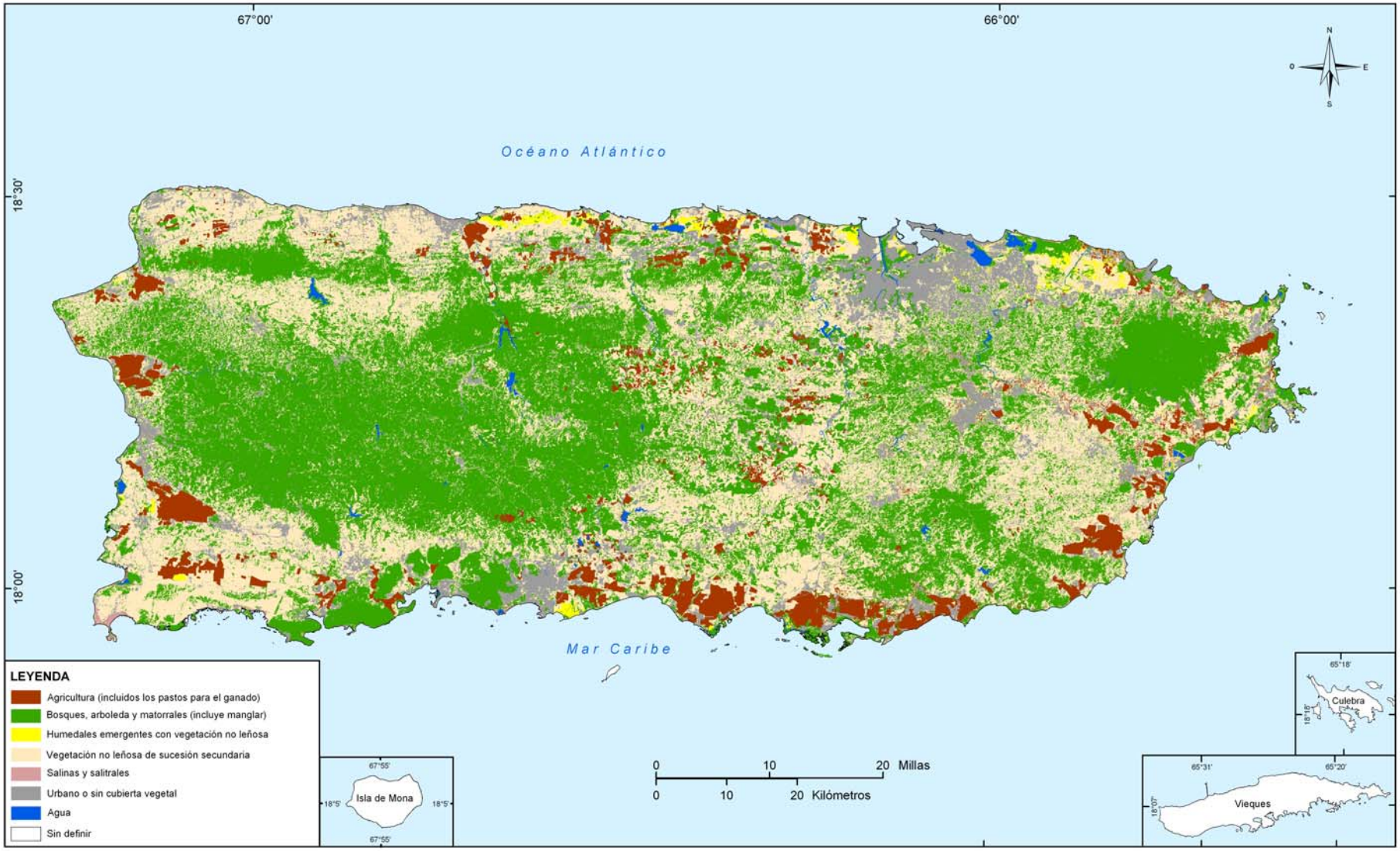


Figura 2-7. Geología General de Puerto Rico.

2.5 USO DE TERRENOS

El uso de terrenos en Puerto Rico afecta los recursos de agua así como su conservación, manejo y uso efectivo. En las cuencas hidrográficas, la urbanización de los terrenos, la remoción de la flora y la corteza terrestre, y prácticas inadecuadas de cultivo, contribuyen a alterar los procesos hidrológicos. En particular, la exposición de los suelos al remover la corteza terrestre aumenta las tasas de escorrentía y el transporte de sedimentos. Aunque en teoría la infiltración en los suelos expuestos también aumenta al remover la cubierta vegetal, en realidad en suelos de pendientes severas el aumento en la tasa de escorrentía neutraliza este efecto. De igual forma, la exposición de los suelos aumenta el potencial de erosión, lo que a su vez resulta en tasas elevadas de transporte de sedimentos hacia los valles y los cuerpos de agua. La calidad del agua se afecta a su vez por aumentos en turbiedad al aumentar el transporte de sedimentos. El transporte de sedimentos afecta los ríos, embalses y estuarios, reduciendo su capacidad hidráulica e impactando adversamente la vida acuática béntica. Estas interacciones pueden tener efectos significativos en el régimen hidrológico de una cuenca.

El inventario de uso de terrenos más reciente disponible en Puerto Rico fue preparado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS) en 1991, y se resume en la Figura 2-8 y la Tabla 2-1. Aunque los bosques y zonas agrícolas constituyen el 47.5 % de todos los usos de terrenos en la Isla (aproximadamente 980,000 cuerdas), las zonas urbanas incluyendo las carreteras, continúan aumentando en perjuicio de los otros usos. Recientemente, datos no publicados del Instituto de Dasonomía Tropical (Lugo, 2002), indican aumentos en las zonas de bosques, pero principalmente debido al abandono de fincas agrícolas que culminan en bosques secundarios o terciarios. Estos cambios con el tiempo en los usos de terrenos en la Isla continúan afectando la hidrología de la Isla y los recursos de agua.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 2-8. Mapa general de usos de terrenos en Puerto Rico en el 1991

Tabla 2-1. Uso de terrenos en Puerto Rico en 1991.

Categoría	Área (cuerdas)
Bosques y Arbustos (Secos y Secos/Húmedos)	111,658
Bosques y Arbustos (Húmedos y Húmedos/Muy Húmedos)	467,543
Bosques (Muy Húmedos, Lluvioso, Bajo montañoso-lluvioso/Muy Húmedos)	404,715
Bosques-Inundados	18,209
Matorrales y arbustos enanos (inundados por la marea)	52
Humedales emergentes (pasto inundable intermitentemente)	5,798
Llanos de sal y lodo	533
Pasto/grama	321,011
Agricultura/heno/pasto	51,607
Urbano y sin cubierta vegetal	91,799
Arena y roca	2,422
Canteras y minas de sal	249
Agua	6,348

Fuente: USDA, Servicio Forestal Federal, 2002

2.6 HIDROLOGIA

La geología, el clima y la topografía de Puerto Rico han resultado en un gran número de cuencas hidrográficas que forman un sistema complejo de ríos y acuíferos a través de la Isla. Las cuencas hidrográficas en la Isla se denominan primarias, secundarias o terciarias, dependiendo de su área de captación y caudal de agua. En esta clasificación no se incluyen las quebradas y riachuelos, que aunque de gran valor ecológico e importantes en la hidrología de la Isla, sus efectos se integran al flujo en las cuencas de mayor tamaño.

Utilizando este criterio general, las cuencas primarias, secundarias y terciarias en la Isla se clasifican de acuerdo a su extensión territorial. Esta clasificación arbitraria se utiliza como uno de varios parámetros para evaluar el impacto de las acciones propuestas en el Plan Integral sobre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos de la Isla. Las cuencas primarias más importantes se ilustran en la Figura 2-9.

2.6.1 RÍOS, EMBALSES Y LAGUNAS

Los recursos hidrológicos superficiales en Puerto Rico incluyen los ríos (incluyendo quebradas), embalses y lagunas costaneras. En la Isla no existen lagos naturales, y todos los denominados como tal han sido creados embalsando ríos. Recientemente se construyó un nuevo embalse en Fajardo fuera del cauce del río, el cual técnicamente pudiera denominarse como un lago, ya que no ubica en el cauce de un río, ni descarga aguas abajo de la presa que lo forma.

2.6.2 RÍOS

Como se indicara anteriormente, en Puerto Rico las cuencas primarias, secundarias y terciarias se clasifican de acuerdo a su extensión territorial. El orden de las cuencas se determina utilizando el siguiente criterio:

Orden I	120 a 200 millas cuadradas
Orden II	50 a 119 millas cuadradas
Orden III	0.10 a 49 millas cuadradas

El área de captación para las cuencas de los ríos principales en la Isla (Figura 2-9) se resume en la Tabla 2-2. En la Región del Karso en la Provincia Norte, una parte indefinida de la escorrentía se infiltra al subsuelo y los acuíferos de la zona de rocas calizas a través del gran número de sumideros y cavidades porosas en dicha Región.

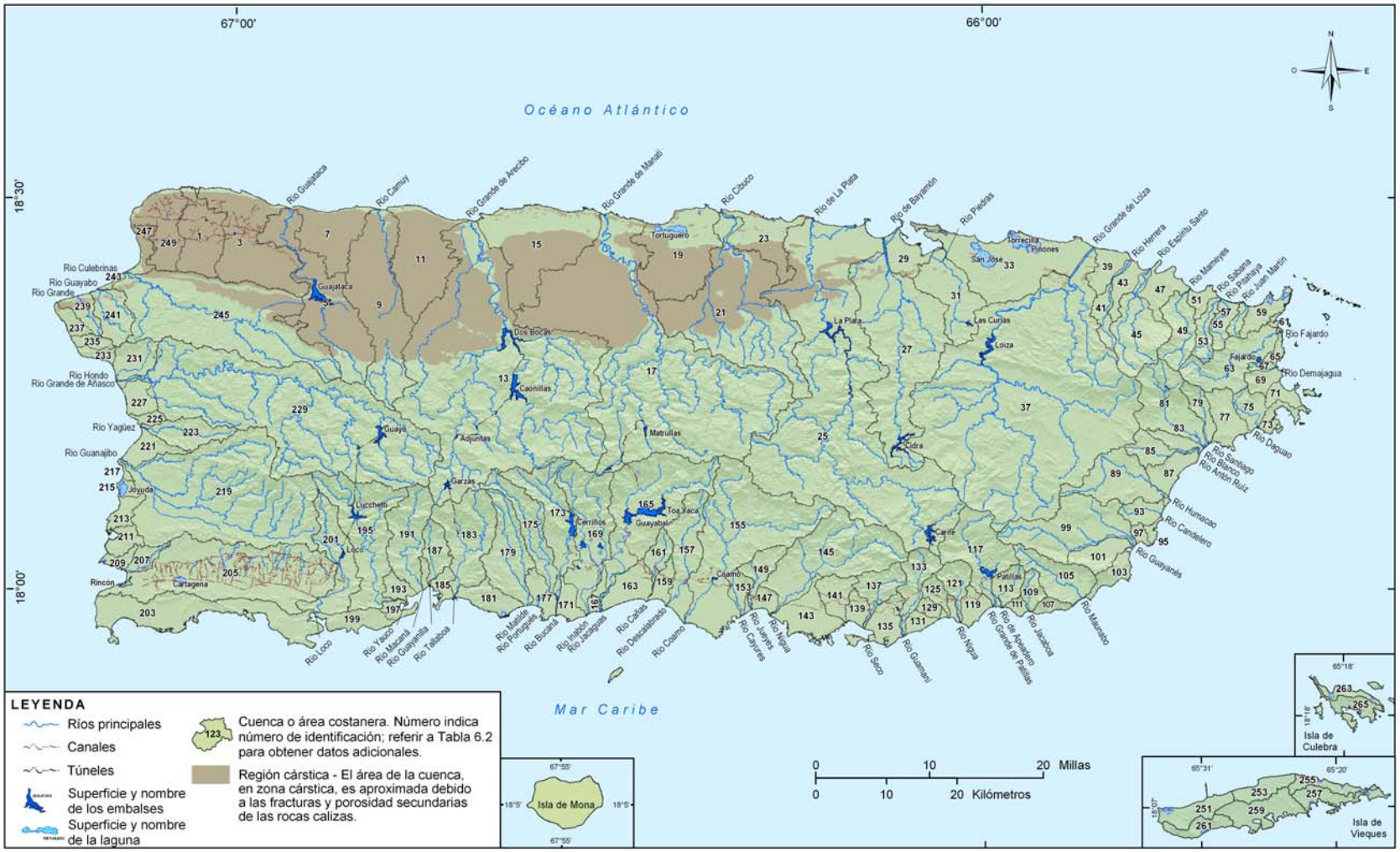


Figura 2-9. Cuencas y ríos principales en Puerto Rico.

Tabla 2-2. Comparación entre las áreas de captación de las cuencas hidrográficas principales de Puerto Rico.

Cuenca	Área de Captación de Cuenca	
	Millas cuadradas (mi^2)	Kilómetros cuadrados (km^2)
Río Guajataca	3.16	8.18
Río Camuy	80***	200***
Río Grande de Arecibo	200	520
Río Grande de Manatí	197*	510*
Río Cibuco	99.1	256.7
Río La Plata	109	282
Río Bayamón	41.8	108.3
Río Grande de Loíza	209	541
Río Espíritu Santo	8.62	22.33
Río Grande	7.31	18.93
Río Mameyes	13.5	34.7
Río Fajardo	14.9	38.6
Río Blanco	0.12	0.31
Río Humacao	6.65	17.22
Río Maunabo	5.38	13.93
Río Coamo	43.5	112.7
Río Descalabrado	12.9	33.4
Río Jacaguas	49.8	129
Río Cerrillos	11.9	30.8
Río Bucaná	24.9	64.5
Río Guayanilla	18.9	49
Río Guanajibo	120	311
Río Grande de Añasco	94.3**	244.2**
Río Culebrinas	94.6	245

Fuente: USGS, 2002

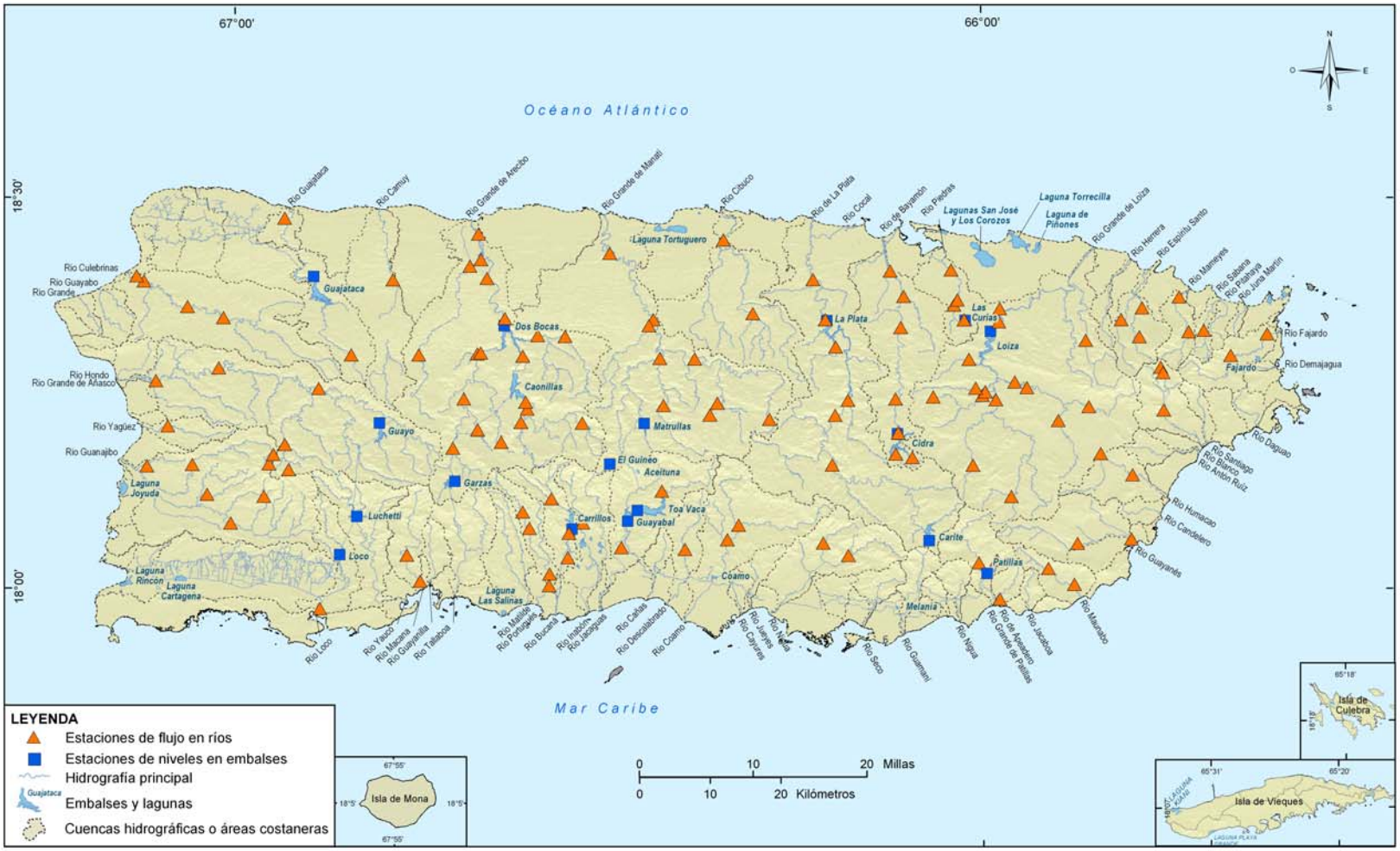
* Aproximadamente 38 mi^2 (98 Km^2) no contribuye parcial o completamente, excluye 6.0 mi^2 (15.5 Km2) aguas arriba del Lago Guineo

** No incluye 36.2 mi^2 (93.8 Km^2) el cual contribuye sólo durante grandes inundaciones, ni 3.5 mi^2 (9.1 Km2) el cual contribuye sólo en parte de su escorrentía

*** Guisti, 1976

Los ríos más importantes de la Isla drenan las regiones Norte y Oeste, donde se encuentran las cuencas principales. El análisis de las cuencas en la Isla indica que aproximadamente el 67% del drenaje superficial fluye desde la Cordillera Central hacia los valles costaneros de la Región Norte (Aguadilla hasta Fajardo). Las cuencas de la Región Sur de la Isla, desde Patillas hasta San Germán, representan aproximadamente el 10% del drenaje superficial. Las cuencas de la Región Oeste representan el 19% del drenaje, mientras que la Región Este es la menor, con aproximadamente el 4% del drenaje superficial.

El manejo efectivo de los recursos de agua depende en gran medida de la disponibilidad de datos sobre los diferentes componentes de la hidrología en la Isla. Afortunadamente para Puerto Rico, el USGS mantiene una red amplia de colección de datos hidrológicos que opera continuamente desde 1957. Estos datos permiten analizar con efectividad los elementos de la hidrología que son de relevancia para el Plan Integral. Los datos disponibles del USGS, los cuales pueden obtenerse directamente de la Internet, incluyen las descargas en los ríos principales de la Isla en puntos cercanos a sus desembocaduras al Océano Atlántico y el Mar Caribe. Estos flujos se resumen en la Tabla 2-3 para las estaciones que opera el USGS. Las estaciones que opera el USGS en los ríos en la Isla se resumen en la Figura 2-10 y en la Tabla -2-3.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 2-10. Red de estaciones de medir flujos en los ríos en Puerto Rico operadas por el Servicio Geológico Federal..

Tabla 2-3. Datos históricos de los flujos promedios en los ríos principales en Puerto Rico.

Cuenca hidrográfica, longitud del río principal	Número de estación	Nombre de la estación	Área de drenaje (mi^2)	Flujo promedio anual (p^3/s)	Años de record
Río Guajataca, 26 millas	50010500	RÍO GUAJATACA EN LARES	3.16	7.37	16
Río Camuy, 15 millas	50013000	RÍO CAMUY CERCA DE LARES	7.62	24.91	4
	50014600	RÍO CAMUY EN SUMIDERO TRES PUEBLOS		50.50	7
	50014800	RÍO CAMUY CERCA DE BAYANEY		97.0	19
	50015700	RÍO CAMUY CERCA DE HATILLO		159.81	12
	50016000	RÍO CAMUY CERCA DE CAMUY		194.64	5
Río Grande de Arecibo, 42 millas	50024950	RÍO GRANDE DE ARECIBO AGUAS ABAJO UTUADO	65.6	76.70	7
	50025000	RÍO GRANDE DE ARECIBO CERCA DE UTUADO	66.0		40
	50029000	RÍO GRANDE DE ARECIBO EN CENTRAL CAMBALACHE	200	480.58	21
Río Grande de Manatí, 44 millas	50035000	RÍO GRANDE DE MANATÍ EN CIALES	128	257.86	50
	50035200	RÍO GRANDE DE MANATÍ EN CARRETERA 145 EN CIALES	132	208.86	3
	50038100	RÍO GRANDE DE MANATÍ EN CARRETERA 2 CERCA DE MANATÍ	197	380.72	33
Río Cibuco, 19 millas	50038317	RÍO CIBUCO EN CIBUCO	5.05		
	50038320	RÍO CIBUCO AGUAS ABAJO DE COROZAL	15.1	37.26	34
	50039500	RÍO CIBUCO EN VEGA BAJA	99.1	122.33	30
	50039600	RÍO CIBUCO EN CENTRAL SAN VICENTE		156.94	4
Río de La Plata, 58 millas	50043000	RÍO DE LA PLATA EN PROYECTO LA PLATA	54.8	100.40	42
	50043800	RÍO DE LA PLATA EN COMERÍO	109	140.64	13
	50045010	RÍO DE LA PLATA AGUAS ABAJO REPRESA LA PLATA	173	160.18	13
	50046000	RÍO DE LA PLATA EN CARRETERA 2 CERCA DE TOA ALTA	208	258.13	43
Río Bayamón a Río Hondo 28 millas	50047535	RÍO DE BAYAMÓN EN ARENAS	0.45	0.77	8
	50047560	RÍO DE BAYAMÓN AGUAS ABAJO EMBALSE CIDRA	8.32	18.62	12
	50047820	RÍO DE BAYAMÓN EN CARRETERA 174 CERCA DE BAYAMÓN	31.9	22.00	2
	50047850	RÍO DE BAYAMÓN CERCA DE BAYAMÓN	41.8	35.84	20
	50048000	RÍO DE BAYAMÓN EN BAYAMÓN	71.9	107.14	4
Río Piedras, 9 millas	50048680	EMBALSE LAS CURÍAS EN REPRESA CERCA DE RÍO PIEDRAS	1.10		6
	50048770	RÍO PIEDRAS EN EL SENORIAL	7.49	18.81	15

Cuenca hidrográfica, longitud del río principal	Número de estación	Nombre de la estación	Área de drenaje (mi^2)	Flujo promedio anual (p^3/s)	Años de record
	50049000	RÍO PIEDRAS EN RÍO PIEDRAS	12.5	29.56	17
	50049100	RÍO PIEDRAS EN HATO REY	15.2	51.21	17
Río Grande de Loíza,	50050900	RÍO GRANDE DE LOIZA EN QUEBRADA ARENAS	6.00	31.06	25
	50051800	RÍO GRANDE DE LOÍZA EN CARRETERA 183 SAN LORENZO	25.0	104.61	13
	50059050	RÍO GRANDE DE LOIZA AGUAS ABAJO REPRESA LOIZA	209	251.68	16
Río Epíritu Santo, 13 millas	50063250	RÍO ESPÍRITU SANTO AGUAS ARRIBA DE EL VERDE	2.13	23.62	7
	50063300	RÍO ESPÍRITU SANTO CERCA DE EL VERDE	2.23	30.28	7
Río Mameyes, 10 millas	50065500	RÍO MAMEYES CERCA DE SABANA	6.88	55.18	26
Río Sabana, 8 millas	50067000	RÍO SABANA EN SABANA	3.96	20.00	23
Río Fajardo, 12 millas	50070500	RÍO FAJARDO AGUAS ARRIBA DE FAJARDO	3.69	29.36	6
	50071000	RÍO FAJARDO CERCA DE FAJARDO	14.9	66.56	42
	50071200	RÍO FAJARDO EN VAPOR AGUAS ABAJO DE CONFLUENCIA	19.4	66.61	6
Río Blanco, 12 millas	50077000	RÍO BLANCO EN RÍO BLANCO	17.6	87.54	5
Río Humacao, 17 millas	50081000	RÍO HUMACAO EN LAS PIEDRAS	6.65	21.06	18
Río Guayanés, 18 millas	50082800	RÍO GUAYANÉS CERCA DE COLONIA LAURA	4.69	29.42	14
	50083500	RÍO GUAYANÉS CERCA DE YABUCOA	17.2	97.32	3
Río Grande de Patillas, 14 millas	50091950	RÍO GRANDE DE PATILLAS AGUAS ABAJO DE QUEBRADA SONADORA	8.75		
	50092000	RÍO GRANDE DE PATILLAS CERCA DE PATILLAS	18.3	57.27	37
	50093050	RÍO GRANDE DE PATILLAS EN EMBALSE PATILLAS	25.6	78.70	9
Río Nigua en Salinas, 19m	50100200	RÍO LAPA CERCA DE RABO DEL BUEY	9.92	6.49	14
	50100450	RÍO MAJADA EN LA PLENA	16.7	6.49	14
Río Coamo, 22 millas	50106100	RÍO COAMO EN CARRETERA 14 EN COAMO	43.5	18.61	16
	50106500	RÍO COAMO CERCA DE COAMO	46.0		25
Río Jacaguas, 24 millas	50111500	RÍO JACAGUAS EN JUANA DÍAZ	49.8	46.81	19
	50111700	RÍO JACAGUAS CERCA DE JUANA DÍAZ	53.2	15.50	4
	50112100	RÍO JACAGUAS CERCA DE ARUS	72.8	27.80	1
Río Inabón, 18 millas	50112500	RÍO INABÓN EN REAL ABAJO	9.70	18.47	38
Río Bucaná, 20 millas	50113800	RÍO CERRILLOS AGUAS ARRIBA DE EMBALSE CERRILLOS CERCA DE PONCE	11.9	29.82	14
	50114390	RÍO BUCANA EN PUENTE CARRETERA 14 CERCA DE PONCE	24.9	53.06	15

Cuenca hidrográfica, longitud del río principal	Número de estación	Nombre de la estación	Área de drenaje (mi^2)	Flujo promedio anual (p^3/s)	Años de record
	50114700	RÍO BUCANA EN PLAYA DE PONCE	28.4	13.63	4
Río Portugués, 17 millas	50114900	RÍO PORTUGUÉS CERCA DE TIBES	7.27	40.21	5
	50115000	RÍO PORTUGUÉS CERCA DE PONCE	8.82	18.63	36
	50115900	RÍO PORTUGUÉS EN CARRETERA 14 EN PONCE	18.6	112.70	5
Río Tallaboa, 15 millas	50121000	RÍO TALLABOA EN PEÑUELAS	24.2	46.78	13
	50122000	RÍO TALLABOA EN TALLABOA	31.6	50.42	4
Río Guayanilla, 15 millas	50124000	RÍO GUAYANILLA CERCA DE GUAYANILLA	18.5	21.49	9
	50124200	RÍO GUAYANILLA CERCA DE GUAYANILLA	18.9	23.85	22
	50124500	RÍO GUAYANILLA EN GUAYANILLA	20.8	15.54	5
Río Yauco, 24 millas	50125790	RÍO YAUCO EN REPRESA LUCCHETTI	17.4	24.18	6
	50126150	RÍO YAUCO AGUAS ARRIBA DE DIVERSION MONSERRATE CERCA DE YAUCO	27.2	21.62	8
	50128000	RÍO YAUCO CERCA DE YAUCO	45.5	17.56	11
Río Loco, 19 millas	50129500	RÍO LOCO CERCA DE GUÁNICA	21.0	40.78	6
Río Guanajibo, 29 millas	50131990	RÍO GUANAJIBO EN CARRETERA 119 EN SAN GERMÁN	34.6	66.67	12
	50138000	RÍO GUANAJIBO CERCA DE HORMIGUEROS	120	190.53	30
Río Grande de Añasco,	50144000	RÍO GRANDE DE AÑASCO CERCA DE SAN SEBASTIÁN	94.3	326.62	40
58 millas	50145000	RÍO GRANDE DE AÑASCO EN EL ESPINO	108	284.71	7
Río Culebrinas, 32 millas	50147800	RÍO CULEBRINAS EN CARRETERA 404 CERCA DE MOCA	71.2	298.26	35
	50147997	QUEBRADA GRANDE CERCA DE MOCA	4.72		
	50148890	RÍO CULEBRINAS EN REPRESA MARGARITA CERCA DE AGUADA	94.6	397.00	4

Fuente: US Geological Survey, 2004.

Los datos del USGS establecen que la descarga anual promedio total de los ríos principales de la Isla hacia el mar es de aproximadamente 1,400 billones de galones por año. Este volumen de agua es significativo, si lo comparamos con la cantidad que se extrae en la Isla para todos los usos, la cual es de aproximadamente 178 billones de galones por año, lo que es menos del 15% del flujo total. La implicación de estos datos es que los recursos de agua totales en la Isla son abundantes en comparación con el uso total.

Sin embargo, los flujos mínimos son el parámetro más importante en términos de posibles impactos ambientales resultantes en el uso del agua. El USGS también determina la frecuencia de flujos para los ríos principales en la Isla, incluyendo los flujos mínimos. Estos datos se resumen en la Tabla 2-4, que incluye varias medidas de flujos mínimos utilizados como guías por las agencias que intervienen en los permisos o endosos para el uso de agua. El USGS también determina, mediante correlaciones matemáticas, los flujos mínimos en cuencas pequeñas y lugares en los ríos donde no existen estaciones de medir la descarga. Estos datos se publican periódicamente en informes especiales, permitiendo estimar el flujo mínimo en cualquier lugar en la Isla.

Las medidas de flujos mínimos utilizados en la Isla por las diferentes agencias locales y federales incluyen:

a. El “Q99”, o el flujo que es excedido el 99% del tiempo en un punto dado. El DRNA frecuentemente utiliza la regla de permitir extracciones de agua a la AAA en una toma en un río que permitan mantener el 50% del Q99. Como ejemplo, si el flujo en el río excede 10 millones de galones por día (mgd) el 99% del tiempo (Q99), el DRNA normalmente no objeta la extracción que mantenga un mínimo de 5 mgd en el cauce. Esta regla no es uniforme y depende de las condiciones específicas en el punto de la toma.
b. El “7Q2” y el “7Q10”. Estas medidas estadísticas de flujos mínimos representan las siguientes condiciones:

i. El 7Q2 representa el flujo mínimo durante siete días consecutivos con una frecuencia de 2 años, lo que equivale a una probabilidad de ocurrir del 50% en un año. Esta medida aproxima el flujo mínimo anual.

ii. El 7Q10, en contraste representa una frecuencia de flujos representativos de la sequía de 10 años, la cual tiene una probabilidad de ocurrir de 10% en un año. El 7Q10 es más restrictivo que el 7Q2, y ambos se utilizan selectivamente por la JCA y el USFWS para medidas aproximadas de la cantidad de agua necesaria en ciertos sistemas bajo condiciones de sequías que no son extremas.

c. El flujo mínimo promedio diario (Qmin), el cual representa la descarga promedio diaria mínima anual en un punto del río, en unidades de mgd o pies cúbicos por segundo (pcs, que se convierten a mgd multiplicando por 0.646).

d. El flujo mínimo instantáneo (Qinst), que refleja la descarga mínimo medida o observada en un río en un instante, generalmente en pcs. En las estaciones del USGS se determina el flujo continuamente utilizando medidores electrónicos que toman lecturas de la elevación del agua, la cual luego se convierte en flujo. El Qinst generalmente ocurre en el mismo día que se calcula el Qmin, pero es levemente menor. Para efectos reglamentarios es preferible utilizar el Qmin.

e. El flujo mInimo promedio anual (MALF, por sus siglas en inglés). Este parámetro se obtiene del promedio de los Qmin para los años de datos disponibles en una estación donde se mide el flujo en forma continua.

Tabla 2-4. Flujos mínimos en los ríos principales de Puerto Rico, en pies cúbicos por segundo (pcs).

Río	Estación	7Q2	7Q10	Q99	MALF
Guajataca	50010500	1.12	0.40		
Camuy	50014800	25.5	22.0	26.0	
Grande de Arecibo	50029000	56.0	90.0	91.0	82.8
Grande de Manatí	50038100	76.5	47.0	59.0	75.7
Cibuco	50039500	18.5	9.80	16.0	19.4
La Plata	50043800	21.0	6.40	16.0	12.65
Bayamón	50047850	6.45		3.00	
Grande de Loíza	50059050	1.80		1.10	
Espíritu Santo	50063800	11.4	5.40	6.20	7.28
Grande	50064200	6.15	3.20	3.80	4.83
Mameyes	50066000	12.0	7.50		
Fajardo	50071000	5.45	3.70	3.90	6.86
Blanco	50074950	0.13			
Humacao	50081000	6.20	5.40	9.00	5.86
Maunabo	50090500	5.05	2.80	3.10	3.90
Coamo	50106100	2.40	0.90	0.90	2.01
Descalabrado	50108000	0.54			
Jacaguas	50111500	2.90		0.80	
Cerrillos	50113800	5.65	2.50	3.30	5.37
Bucana	50114390	2.45		3.40	
Guayanilla	50124200	2.80	2.40	1.90	2.72
Guanajibo	50138000	23.0	9.00	12.0	15.6
Grande de Añasco	50144000	78.5	43.0	50.0	58.7
Culebrinas	50148890	33.5			

Fuente: USGS, 2002; DRNA 2004

2.6.3 EMBALSES

En Puerto Rico existen 37 embalses principales construidos por el ELA y sus agencias para funciones múltiples, incluyendo proveer agua para uso doméstico, riego, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, recreación, pesca y navegación. La ubicación general de los embalses principales se ilustra en la Figura 2-11, mientras que sus características principales se resumen en la Tabla 2-5, incluyendo la agencia "dueña" del mismo.

Los embalses son la fuente de agua principal que utiliza la AAA para la producción de agua potable. En el 2003, la AAA produjo aproximadamente 370 mgd de agua potable de los embalses en la Isla, lo que representa el 68% de la producción de la agencia (aproximadamente 590 mgd). Esto apunta a la importancia de los embalses en el bienestar social y económico de la Isla y sus residentes. Cualquier impacto adverso a los embalses tiene a su vez repercusiones adversas en el bienestar de las comunidades que reciben agua potable de esta fuente.

El segundo uso principal de los embalses en la Isla lo constituye el riego agrícola, primordialmente en los valles de la Región Sur y la Región Noroeste. La AEE opera canales alimentados de varios embalses que forman parte de los sistemas de riego del Suroeste (Valle de Lajas); Costa Sur (Juana Díaz-Santa Isabel); y Patillas (Patillas-Guayama-Salinas); y Isabela (Isabela-Aguadilla). Los embalses suplen hasta 40 mgd a estos sistemas de riego.

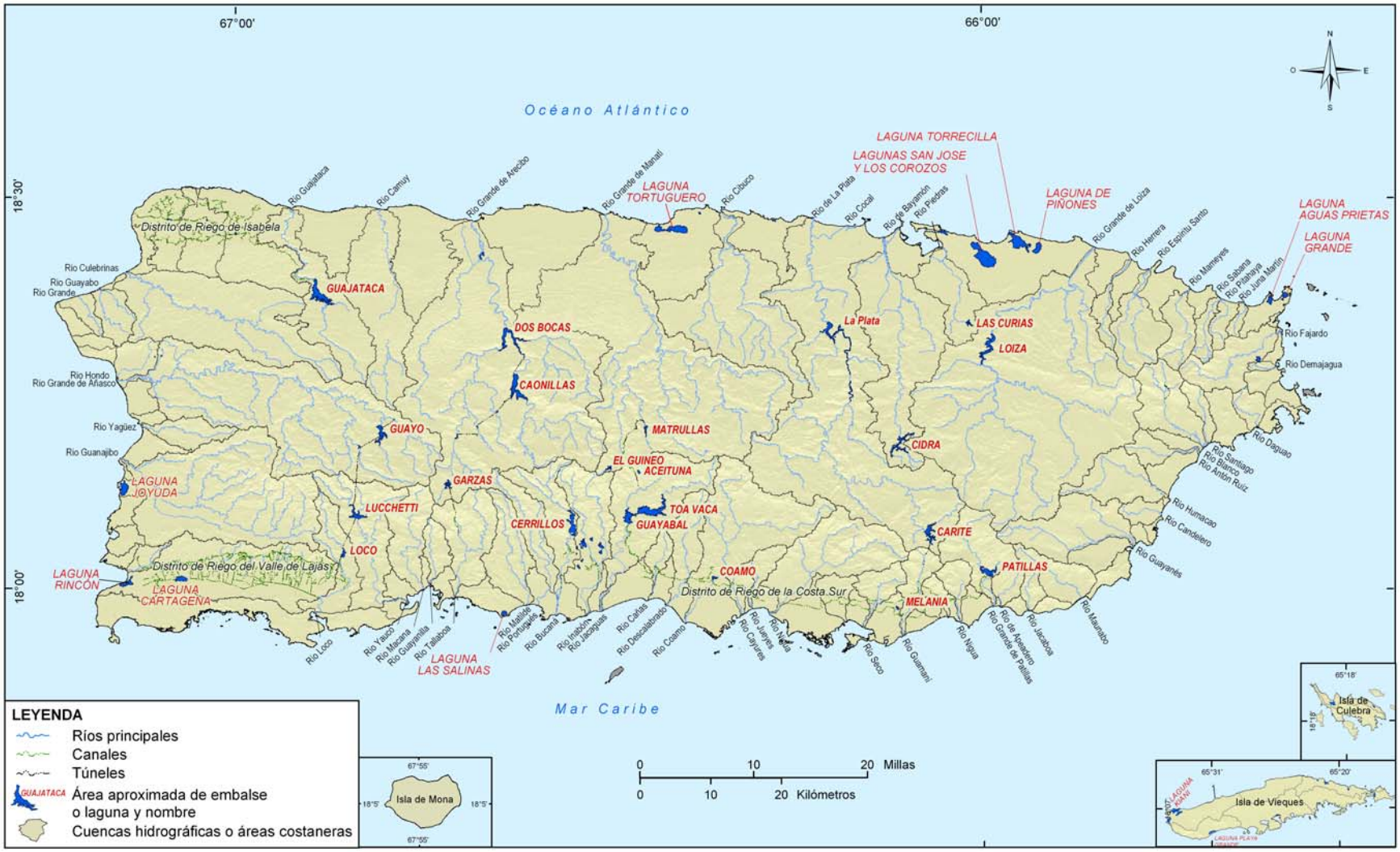
Los embalses también son fuente de agua para la producción de aproximadamente el 1.9% de la energía eléctrica que genera la AEE en la Isla. En el 2003 la AEE generó aproximadamente 165,712 megavatios en cinco sistemas hidroeléctricos a través de la Isla. Esta energía a bajo costo se utiliza para suplementar demandas durante períodos de picos y mantener una base de electricidad durante períodos de emergencia. Aunque parte del agua que utiliza la AEE para generar electricidad se reutiliza por la AAA o para riego, en el Sistema de Riego del Valle de Lajas, dos terceras partes del agua se descarga hacia el mar. Efectos adversos o cambios en el uso del agua en los

embalses que utiliza la AEE pudieran resultar en una disminución en la cantidad de electricidad hidroeléctrica que se genera al presente.

Los embalses son también fuente de recreación en forma de navegación y pesca deportiva. Sistemas de transporte turístico operan en el Embalse Dos Bocas, mientras que clubes de pesca operan en la mayor parte de los embalses en la Isla.

Otra función de los embalses es el control parcial de inundaciones. Aunque solamente el Embalse Cerrillos en Ponce fue diseñado específicamente para el control de inundaciones, todos los embalses proveen control parcial de inundaciones intermedias. Cambios en la operación de los embalses puede afectar en forma positiva o negativa la capacidad de amortiguar parte del flujo resultante de lluvias intensas.

Aún cuando los embalses son cuerpos de agua superficiales y artificiales desarrollados con propósitos específicos, una vez establecidos, se desarrollan habitáculos esenciales para peces, aves y ciertas especies de algas acuáticas. Esto requiere un manejo que tome en consideración estas especies, en particular los peces y aves acuáticas. Las extracciones excesivas de agua de un embalse, particularmente en el período de sequía, pueden resultar en cambios drásticos en las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua. Esto a su vez puede impactar adversamente las especies acuáticas del embalse.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 2-11. Embalses y lagunas principales en Puerto Rico.

Guineo	Fajardo	Garzas	Guajataca	Guayabal	Guayo	La Plata	Loco	Loíza	Lucchetti	Matrullas	Patillas	Prieto	Toa Vaca	Yahuecas
Río Grande de Manatí	Río Fajardo	Río Grande de Arecibo	Río Guajataca	Río Jacaguas	Río Grande de Añasco	Río de La Plata	Río Loco	Río Grande de Loíza	Río Yauco	Río Grande de Manatí	Río Grande de Patillas	Río Grande de Añasco	Río Jacaguas	Río Grande de Añasco
Ciales y Orocovis	Fajardo	Adjuntas	Isabela, Quebradillas y San Sebastián	Juana Díaz y Villalba	Adjuntas y Lares	Bayamón, Naranjito y Toa Alta	Yauco	Caguas, Gurabo y Trujillo Alto	Yauco	Orocovis	Patillas	Lares y Maricao	Villalba	Adjuntas
1931	2004	1943	1928	1913	1956	1974	1951	1953	1952	1934	1914	1955	1972	1956
AEE	AAA	AEE	AEE	ELA	AEE	AAA	ELA	AAA	AEE	AEE	ELA	AEE	AAA	AEE
Hidro-eléctrico	AAA	Hidro-eléctrico	AAA, Riego	Riego	AAA, Riego, Hidro-eléctrico	AAA	AAA, Riego, Hidro-eléctrico	AAA	Riego, AAA, Hidro-eléctrico	Hidro-eléctrico	AAA, Riego	Hidro-eléctrico	AAA, Riego	Hidro-eléctrico
scollera [d]	Tierra	Tierra	Tierra	Contra-fuerte [j]	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Tierra	Tierra	Hormigón	Tierra	Hormigón
1.65	10.90	6.02	30.8	21.0 [k]	27.0 [l]	181	8.40	208	17.3	4.42	25.2	9.6	21.9	17.4
2,960	179	2,415	664	331	1,460	155	230	135	570	2,455	191	1,485	541	1,471
565	1,040	910	1,040	1,980	555	774	600	689	571	710	1,070	247	1,740	450
125	115	202	123	130	190	131	72	98	178	120	147	98	215	90
0.07	0.117	0.15	1.32	0.56	0.45	1.16	0.11	1.03	0.42	0.12	0.58	0.02	1.24	0.08
72	176	98	89	43	126	89	30	59	84	71	79	32	177	21
33	164	42	41	14	47	35	9.8	17	36	33	31	12	65	5.4
1,860	4,455	4,700	39,300	9,580	15,565	32,600	1,950	21,700	16,500	3,010	14,300	621	55,900	1,430
1,530 (oct 2001)	NA	4,140 (sep 1996)	34,300 (ene 1999)	4,960 (dic 2001)	13,400 (oct 1997)	28,700 (oct 1998)	705.3 (mar 2000)	14,212 (ene 2004)	9,630 (mar 2000)	2,500 (dic 2001)	11,200 (abr 1997)	180.8 (oct 1997)	52,000 (jul 2002)	267.5 (mar 1997)
1,520	4,455	4,060	33,900	4,800	13,100	27,800	604	14,700	9,060	2,480	10,600	107	51,700	69.6

4.7		10.6	70.6	49.5	52.0	161	25.3	245	143	7.6	89.2	10.5	131	28.3
2.85		1.75	2.29	2.35	1.93	0.89	3.00	1.18	8.27	1.72	3.54	1.09	5.99	1.63
4,200		1,460	3,080	3,200	2,220	1,250	3,890	750	3,250	2,680	4,810	2,330	7,670	1,960
328	> 2,000 [g]	385	481	97	269	171	24	60	62	324	126 [q]	10	394	3
3,870	13,500 [h]	13,500	84,700	19,600	58,500 [m]	235,700	11,100 [n]	336,500	28,000 [p]	21,200	50,200	18,400	17,500	37,700
96	95	95	96	92	97	88	86	94	96	90	93	45	98	35
2.5	3.3	3.3	2.5	4.0	4.5	8.5	18	23	3.1	8.5	4.6	172	0.34	541
3.8 [c]	10 [i]	10.4 [b]	41.5 [b]	19.7 [b]	11.5 [b]	68.6 [b]	3.3 [o]	40 [b]	13.3 [o]	8 [c]	23 [r]	3.2 [b]	14 [r]	5 [b]
ND	NA	Meso-trófico	Meso-trófico	Hiper-trófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutró-fico	ND	Eutrófico	ND

		Pellejas y Vivi y la charca de retención Jordan, Embalse Dos Bocas incluye 130 mi2 de la subcuenca hidrografica
yiva, W.F., ed.: Proceedings of the		del Río Caonillas.
es Investigations Report 99-4053, 20	b	Valor calculado de interpolación lineal entre el cálculo hecho por el U.S. Army Corps of Engineers (USCOE) en
		el 1975 y las proyecciones para el año 2020 realizadas por Santiago Vázquez en 1987.
ources Investigations Report 99-4144,	c	USCOE, 1975.
	d	Represa hecha con piedras u hormigón armado.
es Investigations Report 99-4169, 11	e	USCOE, 2002.
urces Investigations Report 01-4043,	f	Greg Morris & Associates, 1995.
	g	Se estima que el embalse tardará 2,100 años en perder la mitad de su capacidad de almacenaje.
ources Investigations Report 00-4234,	h	Basado en la suposición de que el caudal anual promedio de entrada será igual al rendimiento seguro de 12
		millones de galones por día y que el cambio en volumen del embalse interanual será cero.
ces Investigations Report 01-4105, 22	i	AFI, 2001.
USGS Water-Resources	j	Represa en hormigón armado reforzado con estribos en forma de pilastras.
imentation survey of Lago Guajataca,	k	Las tasas de sedimentación fueron calculadas considerando las condiciones recientes del embalse luego de la
Soler-López, Luis, and Webb, R.M.T.,		construcción del Embalse Toa Vaca en 1972 . La construcción del Embalse Toa Vaca redujo el área de captación
Survey Water-Resources		del Embalse Guayabal de 43.2 mi2 a 21 mi2.
uerto Rico, September 1996: U.S.	l	Incluye la zona de captación del Embalse Yahuecas de 17.4 mi2.
	m	Incluye contribuciones de agua del Embalse Yahuecas (37,700 acres-pies/año).
uerto Rico, April 1997: U.S. Geological	n	No incluye las contribuciones de agua del Embalse Lucchetti (28,000 acres-pies/año).
	o	Lucchetti: CSA Group, 2002; Loco: modificado de CSA Group, 2002.
Puerto Rico, March 1997: U.S.	p	No incluye las contribuciones de agua del Embalse Guayo (20,800 acres-pies/año).
997: U.S. Geological Survey Water-	q	Datos de capacidad original no disponibles. Capacidad según calculada en 1961 (Luis R. Soler, 1999, Sediment
		Survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997: USGS). Los cálculos se realizaron a base de 36 años de datos
		presentados en el estudio citado.
	r	AFI, 1999.

Algunos de los embalses de la isla sufren de sedimentación acelerada debido a la combinación de condiciones naturales e inducidas en las cuencas que drenan. La capacidad inicial y actual de los embalses principales en la Isla se resumen en la Tabla 2-5, así como su tasa de sedimentación anual y estimados de su vida útil (años). Los factores principales que afectan la sedimentación de los embalses incluyen:

a. Tasas altas de erosión natural. La presa que forma un embalse es una obstrucción al paso de un río en su trayecto desde las montañas hasta el mar. En la zona montañosa de la Isla las pendientes de los suelos son extremas, excediendo el 30% en la mayor parte de las cuencas hidrográficas. Estas pendientes, en combinación con las características de alta susceptibilidad a la erosión de los suelos, y las altas tasas de lluvia en la zona montañosa, promueven la remoción de los suelos y su transporte en forma de sedimentos a los ríos y eventualmente a los embalses.
b. El segundo factor en la sedimentación de los embalses es el aumento en el transporte de sedimentos en las cuencas inducido por la erosión al remover la cubierta vegetal, incluyendo árboles y hierbas. A menudo se concluye que las altas tasas de sedimentación en la Isla se deben únicamente a la deforestación de las cuencas y exposición de los suelos a los efectos de la lluvia y escorrentía. Aunque este es un factor fundamental en la erosión de las cuencas, es también cierto que las tasas naturales de erosión en las zonas tropicales es sumamente alta. Estudios del USGS luego del Huracán Hugo (Simon, 1990), establecen que la cantidad de derrumbes ocasionados por las lluvias intensas en zonas de alta densidad de bosques de pendientes altas en las laderas del Yunque y el Bosque de Carite, igualan o exceden los que ocurren en zonas desprovistas de vegetación. Esto no quiere decir que la remoción de la foresta y la corteza terrestre no aumente la tasa de erosión y transporte de sedimentos, pues en cuencas como la del Río Grande de Loíza esto es visible y se ha determinado. Lo que implica es que aún cuando se tomen las medidas más estrictas de reforestación y conservación de suelos,

las tasas de erosión naturales contribuyen a sedimentar los embalses a tasas relativamente altas.

Lo importante en este análisis es establecer que los embalses en la Isla sufren de altas tasas de sedimentación, y que las acciones bajo el Plan Integral a actualizarse pueden impactar en forma positiva o negativa este problema. La planificación de posibles embalses futuros necesita considerar este elemento. La alternativa de embalses fuera de los cauces de los ríos representa una posible solución a este asunto.

2.6.4 LAGUNAS

En Puerto Rico existen 19 lagunas de importancia, de las cuales seis (6) se consideran de tamaño relativamente mayor y de relevancia desde el punto de vista hidrológico (Figura 2-11). Estas lagunas contienen agua salobre o salina debido a que se encuentran en los valles constaneros cercanas al mar. En la Isla no existen lagunas naturales de agua dulce de importancia. Existen miles de charcas agrícolas artificiales y pocetas naturales de capacidad menor. Las características de las lagunas principales en la Isla se resumen en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Características principales de las lagunas en Puerto Rico.

Laguna	Localización	Área (cuerdas)
Atolladero	Cabo Rojo	1.16
El Faro	Cabo Rojo	74.4
Guaniquilla	Cabo Rojo	23.6
Joyuda	Cabo Rojo	356
Rincón	Cabo Rojo	190
Salinas I	Cabo Rojo	247
Salinas II	Cabo Rojo	386
de Piñones	Carolina - Loíza	262
La Torrecilla	Carolina - Loíza	759
Ceiba	Ceiba	95.8
Mata Redonda	Dorado	17.9
Aguas Prietas	Fajardo	132
Grande	Fajardo	124
Guánica	Guánica	1118
San Jacinto	Guánica	25.3
Pozuelo	Guayama	28.8
Carrizales	Hatillo	2.01
Sistemas Lagunas de Humacao *	Humacao	980
Cartagena	Lajas	203
Tortuguero	Manatí - Vega Baja	704
Las Salinas	Ponce	88.6
Mar Negro	Salinas	41.2
Punta Arenas	Salinas	26.4
del Condado	San Juan	77.0
Los Corozos	San Juan - Carolina	250
San José	San Juan - Carolina	1,149
Puerto Nuevo	Vega Baja	16.8
Algodones	Vieques	8.23
Anones	Vieques	36.6
Arenas	Vieques	36.3
Boca Quebrada	Vieques	53.1
El Pobre	Vieques	54.0
Gato	Vieques	5.41
Icacos	Vieques	12.1
Kiani	Vieques	79.9
La Plata	Vieques	2.86
Matías	Vieques	7.74
Monte Largo	Vieques	25.9

La importancia de las lagunas es que en muchos casos son “ventanas” de los acuíferos a los sistemas superficiales. En los valles costaneros de las Provincias Norte y Sur, en las zonas donde los acuíferos afloran a la superficie, generalmente se forman lagunas causadas por la interacción del mar y la tierra. La poca elevación del terreno promueve el que se acumule agua fresca proveniente de escorrentías locales o descargas de los acuíferos al aflorar en forma de manantiales. Este es el caso de la Laguna Tortugero, que se nutre de manantiales de agua dulce al norte de su cuenca, pero recibe flujos salinos de manantiales marinos debido a su baja elevación. El Caño Tiburones, entre Barceloneta y Arecibo también se alimenta de manantiales al sur de la costa, y hasta principios del Siglo 20 era formado por agua esencialmente dulce. Su estructura cambió a un sistema de agua salobre luego de la construcción de un sistema de canales y el bombeo de agua para drenar sectores del sistema, lo que induce flujos de agua salina desde el mar.

Los otros tipos de lagunas principales en la Isla son aquellas que esencialmente son extensiones del mar, manteniendo salinidades relativamente altas, pero menores que el mar debido a descargas de agua fresca de fuentes superficiales o subterráneas. Las lagunas del Estuario de la Bahía de San Juan (Condado, San José, Torrecillas y Piñones), las de Fajardo, Joyuda (Hormigueros) y Prieta (Ponce), son representativas de estos sistemas.

La implantación del Plan Integral pudiera afectar el balance hidrológico en los acuíferos, promoviendo el aumento o la disminución del flujo de agua subterránea hacia las costas. Esto a su vez, pudiera afectar el flujo de agua fresca hacia las lagunas. Cambios en la morfología de los terrenos también pudieran afectar el desagüe natural que ahora suple agua fresca a estas lagunas costaneras.

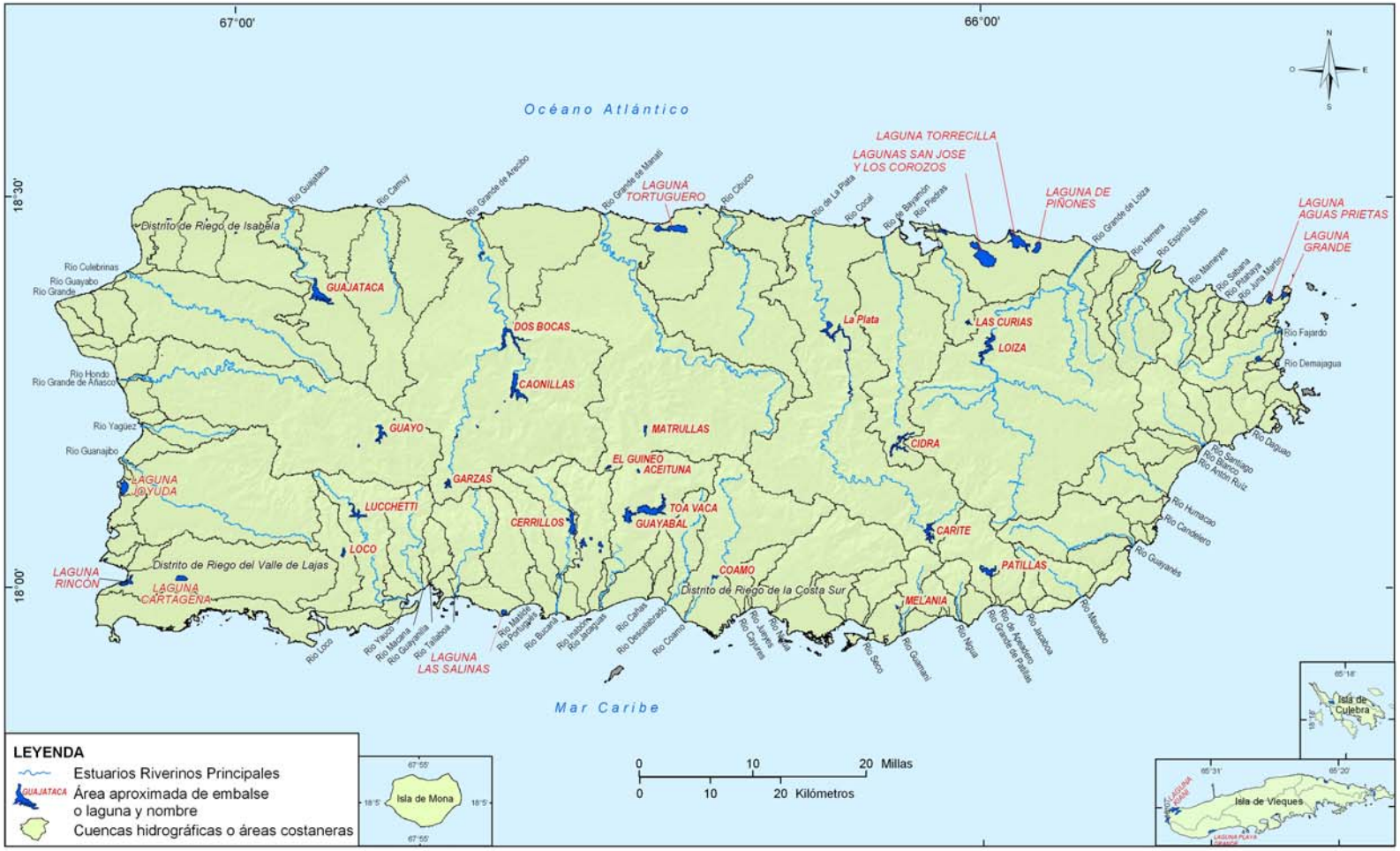
2.7 ESTUARIOS

El estuario es la zona de interface en la desembocadura de los cuerpos de agua al mar donde se mezclan el agua dulce y salina. Los estuarios en Puerto Rico son generalmente sistemas de alta diversidad ecológica. En la mayor parte de los estuarios riverinos en la Isla se encuentran comunidades de árboles de mangle y otras especies, que actúan como residencia temporera de un gran número de organismos acuáticos, por lo que su valor y conservación son de gran importancia. El estuario de un río típico en Puerto Rico incluye una zona de mezcla o interfase entre las capas de agua dulce y salada que fluctúa en su posición con el efecto de las inundaciones y mareas. Existen en la Isla estuarios de "agua fresca", tales como el del Río Culebrinas, que debido a los flujos significativos esencialmente constantes, la cuña de agua salada penetra un mínimo en el canal del río. También, aquellas lagunas costaneras que están conectadas al mar son consideradas estuarios. La Reserva de Jobos (JOBNERR) es considerada estuarina, y se argumenta que recibe flujos significativos de agua subterránea, aunque estudios recientes han demostrado que las aguas superficiales son la fuente principal de agua fresca del sistema. Los estuarios principales en la Isla se ilustran en la Figura 2-12.

En comparación, en sistemas donde el flujo del río se reduce significativamente durante la época de sequía, la cuña de agua salada emigra aguas arriba por el canal del río, a veces millas. Este es el caso del Río Grande de Loíza, el Río Espíritu Santo, el Río Grande de Manatí y el Río Grande de Arecibo. En estos estuarios se acumula arena y agua fresca en la boca del río al mar durante el período de sequía, formando una especie de laguna de agua fresca hasta que el próximo pulso de agua intenso remueve la barrera en la boca del río. Estos cambios son importantes para varias especies acuáticas, que dependen de una concentración mayor de agua fresca durante parte del año. La remoción de arena de la boca al mar de estos estuarios afecta los ciclos de vida de estas especies.

La implantación del Plan Integral pudiera afectar positiva o negativamente la salud ambiental o viabilidad hidrológica de los estuarios. Aumentos o disminuciones en los

flujos máximos y flujos mínimos resultantes de las acciones de implantar el Plan Integral afectarán directamente los estuarios. Extracciones excesivas de agua subterránea podrían afectar la salinidad de la zona de interfase de agua dulce y salina, así como las comunidades de flora y fauna en los estuarios.



Fuente: DRNA, 2004

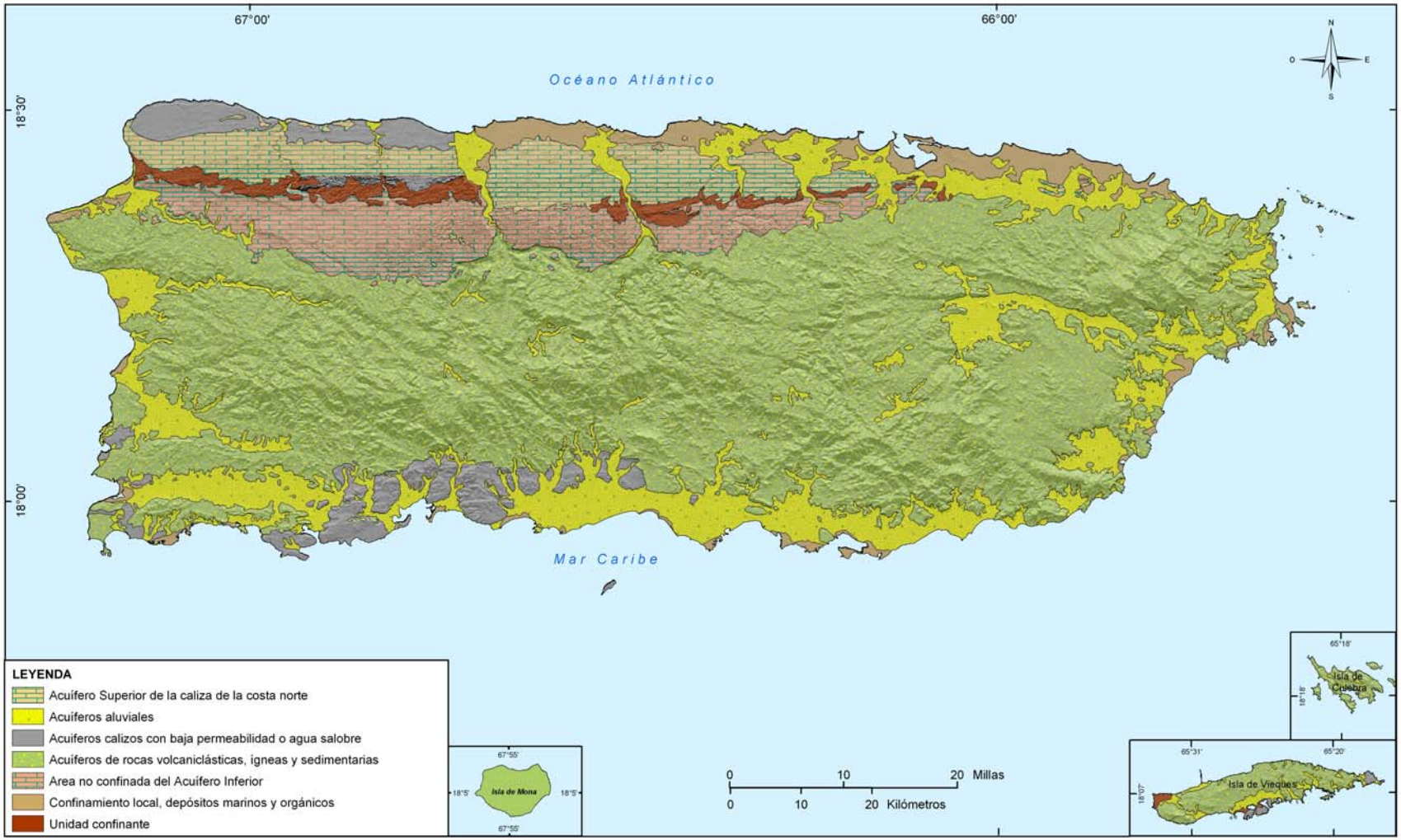
Figura 2-12. Estuarios principales en Puerto Rico.

2.8 ACUÍFEROS

Puerto Rico, a pesar de ser una isla relativamente pequeña, disfruta de acuíferos relativamente amplios y con capacidad de producir cantidades significativas de agua de alta calidad a bajo costo. Los acuíferos en la Isla tienen una capacidad de almacenaje de agua de aproximadamente 70 veces la de los embalses. Las condiciones geológicas que propiciaron la formación de la Isla promovieron el desarrollo de acuíferos sustanciales en las Regiones Norte y Sur, así como formaciones en la zona central que son también fuentes significativas de agua. El informe reciente de Renken y otros (USGS, 2002) provee detalles excepcionales del ambiente en que se formaron los acuíferos de la Isla y sus características hidrogeológicas.

Luego de los embalses y ríos, los acuíferos son la tercera fuente de importancia como abasto de agua para consumo doméstico y agrícola, siendo la fuente principal de agua para usos industriales. El DRNA estima que en el 2002, los acuíferos suplieron aproximadamente 144 mgd de agua para todos los usos. Esto incluyó aproximadamente 94 mgd de agua de los acuíferos para abasto público, 34 mgd para riego, 14 mgd para la industria y 2 mgd para el comercio.

Los acuíferos principales en Puerto Rico y sus características se resumen en la Figura 2-13 y la Tabla 2-7.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 2-13. Acuíferos principales en Puerto Rico.

Tabla 2-7. Características generales de los acuíferos principales en Puerto Rico.

	Descripción	Localización	Capacidad
Acuífero Superior de la Zona Cársica de la Costa Norte	Es formado por dos capas superiores denominadas "Caliza de Aguada" y "Caliza Aymamón". Ambas capas tienen un espesor combinado de 600 pies en los valles el cual va disminuyendo hasta la superficie a medida que se extiende hacia el sur.	Banda que se extiende desde Río Grande hasta Aguada. Ocupa un área de más de 600 millas cuadradas, extendiéndose desde la costa hasta 15 millas hacia el sur.	Provee aproximadamente 30 MGD para usos industriales, agrícolas y domésticos
Acuífero Inferior o Acuífero Artesiano de la Zona Cársica de la Costa Norte	Está localizado dentro de varios miembros de la Formación Cibao y la Caliza Lares; está confinado cerca de la costa. La capa superior formada por la Caliza Cibao está a profundidades que exceden los 1,000 pies bajo la superficie en los valles cerca de la costa. Contiene hasta un 60 por ciento de barro impermeable lo cual hace que la Caliza Cibao sea impermeable en algunas zonas. Es más ancho y transmisivo en la parte norte-central de la isla, en la región de Barceloneta.		Provee aproximadamente 6 MGD para usos industriales y domésticos en el área del Cruce Dávila
Valle de la Costa Sur	Depósitos que contienen aluvión y grava donde el aluvión es relativamente permeable y recarga con aguas subterráneas; es bajo en sólidos disueltos y bajo-saturado con respecto a la calcita. Los depósitos más productivos se observan desde Salinas hasta Ponce donde el espesor del aluvión alcanza hasta 600 pies de profundidad.	Ocurre a lo largo de los valles de la costa sur desde las inmediaciones de Maunabo hacia el oeste hasta los valles de Yauco y Guayanilla.	Proveen aproximadamente 25 MGD de agua para riego, industrias y usos domésticos
Acuífero Central	Está mayormente bajo condiciones no confinadas y está hidráulicamente interconectado con corrientes que cortan por el valle del acuífero aluvial (Puig y Rodríguez, 1993).	Caguas-Juncos	Se ha reportado un rendimiento dentro de un rango de 13,700 gal/día a 0.46 MGD

Fuente: Modificado de USGS, 1985

Es importante señalar varios p[unmtos sobre estos acuíferos:

a. Los acuíferos de mayor capacidad en la Isla son los de la Región Norte. En esta región, que se extiende desde Carolina hasta Aguadilla, formaciones de rocas calizas de gran espesor y capas de material aluvial se han constituido en dos zonas de almacenaje de agua subterránea de gran importancia.

    i. El Acuífero Superior de la Provincia del Norte (anteriormente denominado como el acuífero llano o freático) se compone de capas de aluvión y rocas calizas. El aluvión (mezcla de arena, grava y piedras de origen volcánico transportado por los ríos a los valles hace millones de años) descansa sobre las rocas calizas, principalmente de la Formación denominada Aymamón, proveyendo una capa continua de material de alta porosidad que en algunas zonas tiene un espesor de hasta 500 pies (Figura 2-15). En estos poros se acumula agua proveniente de la lluvia que se infiltra a través del suelo y en los sumideros en la base de las montañas al sur de la Carretera PR-2. La relativa alta porosidad del material (que varía en promedio entre 10-20%) permite la acumulación de grandes cantidades de agua, la cual se extrae mediante pozos profundos. Aproximadamente 250 pozos profundos que se alimentan del acuífero llano producen al presente aproximadamente más de 50 millones de galones diarios de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales. Estos pozos suplen aproximadamente el 20% de la demanda de agua de la Región Norte.

    ii. Durante los últimos 70 a 100 millones de años se depositaron grandes cantidades de sedimentos con un contenido alto de arcilla impermeable a lo largo de la costa norte de Puerto Rico. En partes de la región norte, los depósitos arcillosos tienen espesores de hasta 100 pies y descansan sobre estratos más antiguos de rocas

calizas formados en un ambiente marino, principalmente de la formación denominada Lares. En el presente esta formación constituye un acuífero importante de Puerto Rico. Las rocas de la Formación Lares son generalmente de alta porosidad y almacenan grandes cantidades de agua. La capa de arcilla impide que el agua que penetra a las rocas calizas en la zona de recarga en la vecindad del pueblo de Florida pueda aflorar libremente hasta los puntos de descarga en la costa, donde descarga a través de los depósitos calizos erodados por los ríos que drenan las formaciones volcánicas al sur de los depósitos calizos. Este fenómeno natural, donde la arcilla, localizada principalmente en la formación denominada Cibao impide que el agua fluya hacia la superficie, resulta en una acumulación de presión debido a la formación de una columna agua en las formaciones inferiores. Esto ha resultado en lo que se denomina como el acuífero profundo del norte (antes denominado como el acuífero artesiano), y que se ilustra en la Figura 2-14. En las zonas de Barceloneta y Manatí donde ubican las partes más importantes de este acuífero profundo, las presiones del agua alcanzaban hasta 150 libras por pulgada cuadrada previo al inicio de su explotación en la década de 1960. Esto implicaba que un pozo profundo al perforarse en un sector de Manatí o Barceloneta fluía libremente sin bombeo a una elevación aproximada de 328 pies sobre el nivel de tierra en las inmediaciones del Cruce Dávila. Ahora, debido a escapes en los pozos existentes y sobre-explotación de las zonas de recarga del acuífero profundo en la vecindad del pueblo de Florida, las presiones artesianas se han reducido significativamente. En general, los pozos que se alimentan de este importante acuífero necesitan bombearse al presente. Estos pozos (36 en el 2004) en los municipios Barceloneta, Florida y Manatí, producen aproximadamente 10.6 mgd de agua para usos industriales y

domésticos en la zona. Aún así, el acuífero artesiano o profundo es un importante recurso de agua que necesita atención y conservación.

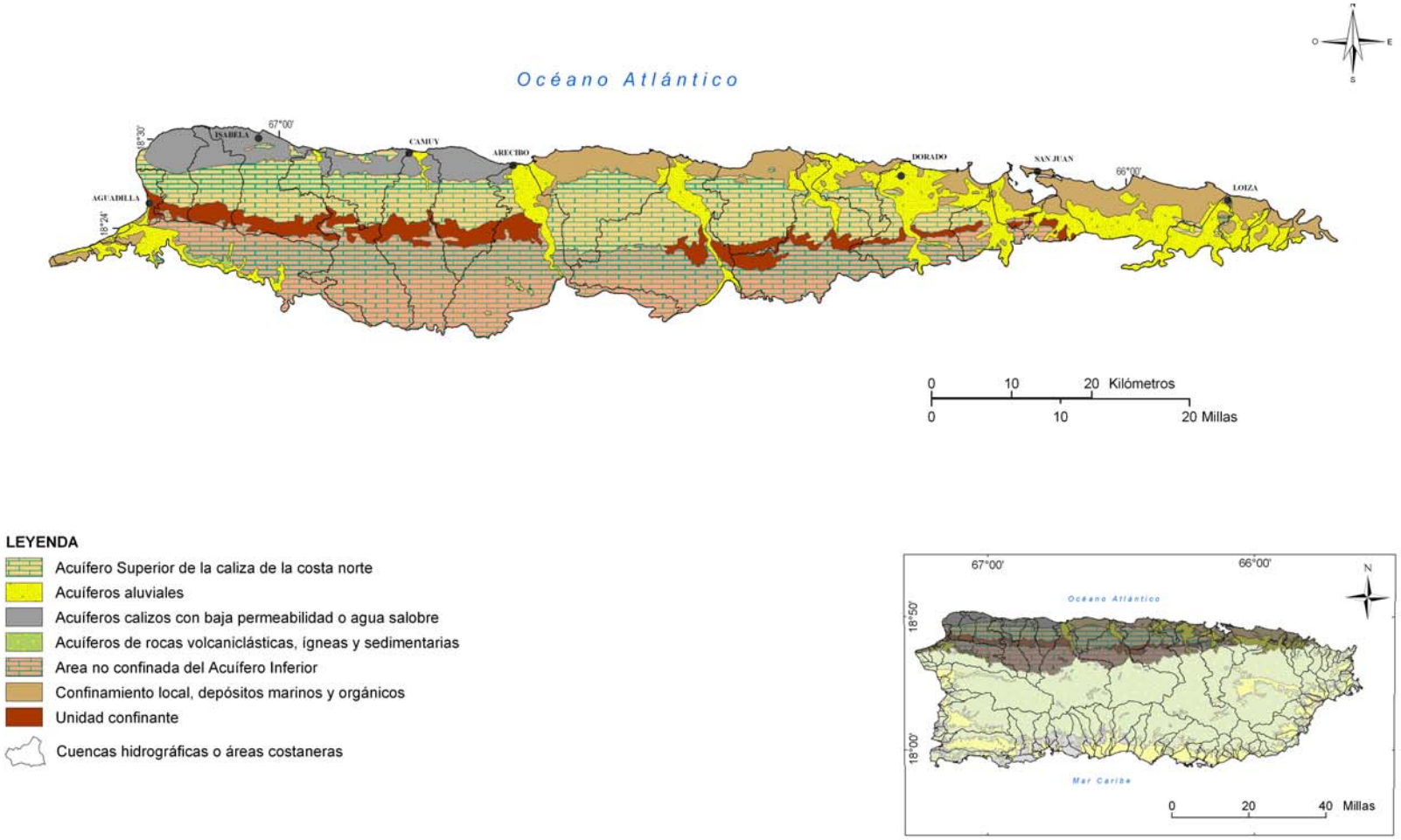


Figura 2-14. Sección transversal de los acuíferos de la costa norte de Puerto Rico y su extensión lateral.

b. Los acuíferos aluviales de la Región Sur de la Isla son también de gran importancia y capacidad, supliendo aproximadamente el 50% del agua para usos domésticos que se utiliza en la zona; esto equivale a unos 24 mgd. Estos acuíferos, ilustrados en la Figuras 2-15 y 2-16, están formados generalmente por capas de aluvión depositado sobre rocas volcánicas y calizas extendiéndose desde Patillas hasta Guánica, aunque no en forma continua. Además del abasto doméstico, pozos profundos en estos acuíferos suplen agua para usos agrícolas en la región.
c. Los acuíferos de las regiones Este y Oeste no tienen una capacidad de almacenaje de agua sustancial, principalmente debido a los materiales geológicos de baja porosidad y espesor que los forman. Aún así, pozos de importancia para los abastos de residentes de estas regiones operan exitosamente produciendo aproximadamente 18 mgd.
d. En la Región del Interior, la mayor parte de las rocas son de origen volcánico y de baja porosidad. En los valles de Caguas-Gurabo, Cayey y Cidra, existen depósitos de aluvión importantes donde se almacena agua en cantidades sustanciales. En estos valles operan pozos domésticos e industriales que producen aproximadamente 4.4 mgd de agua de alta calidad.

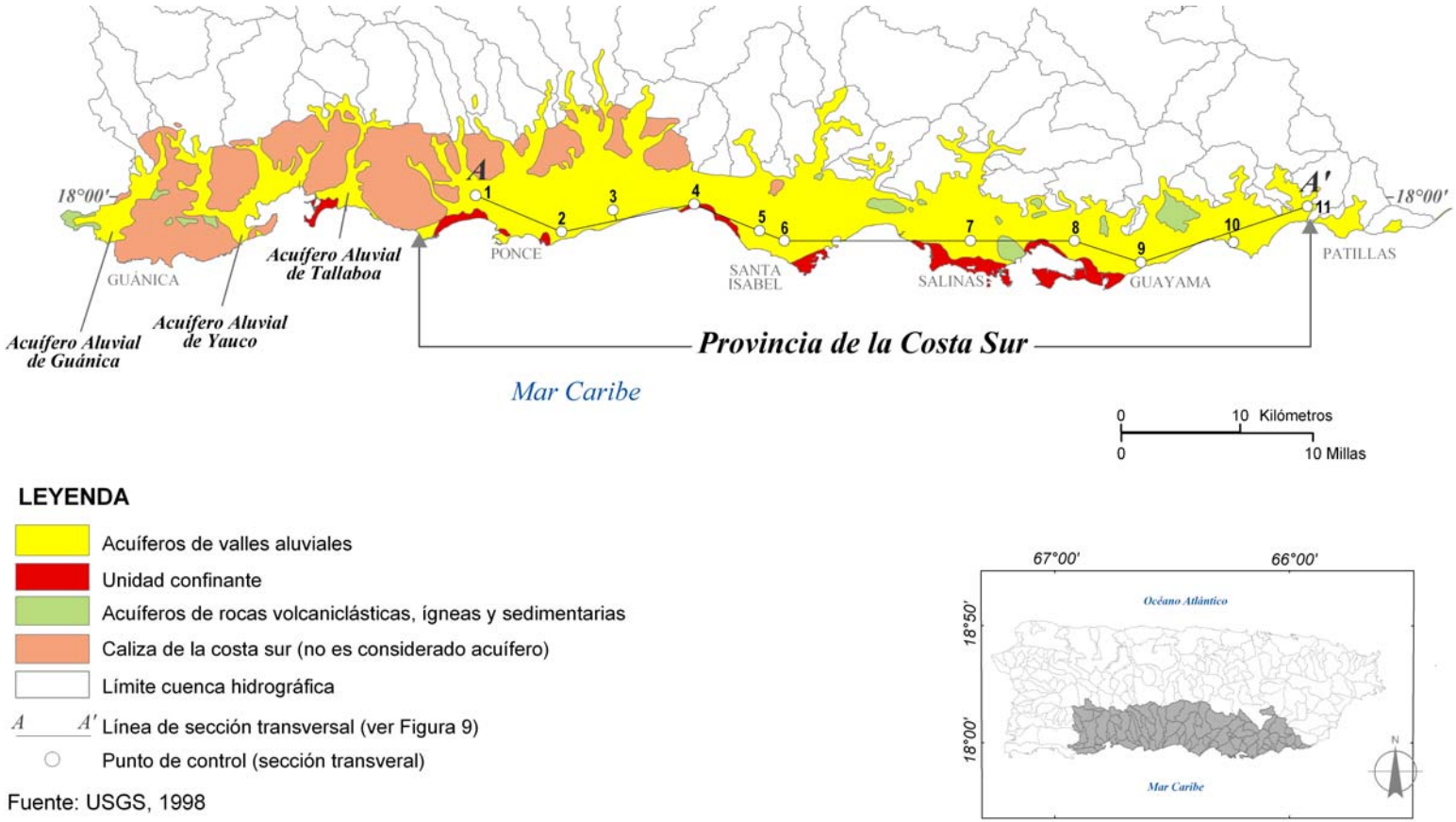


Figura 2-15. Acuíferos aluviales de la Región Sur de Puerto Rico, incluyendo secciones transversales

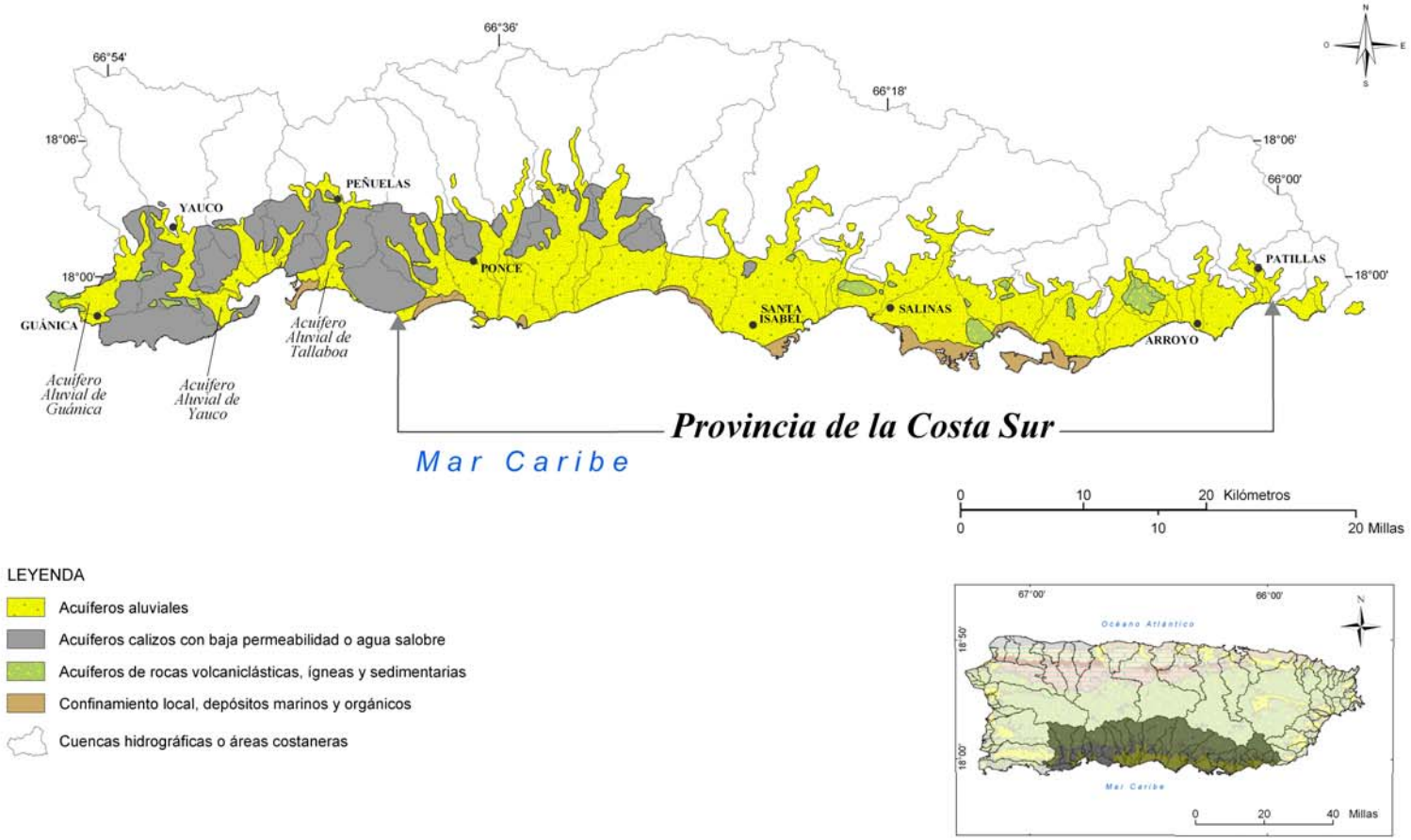
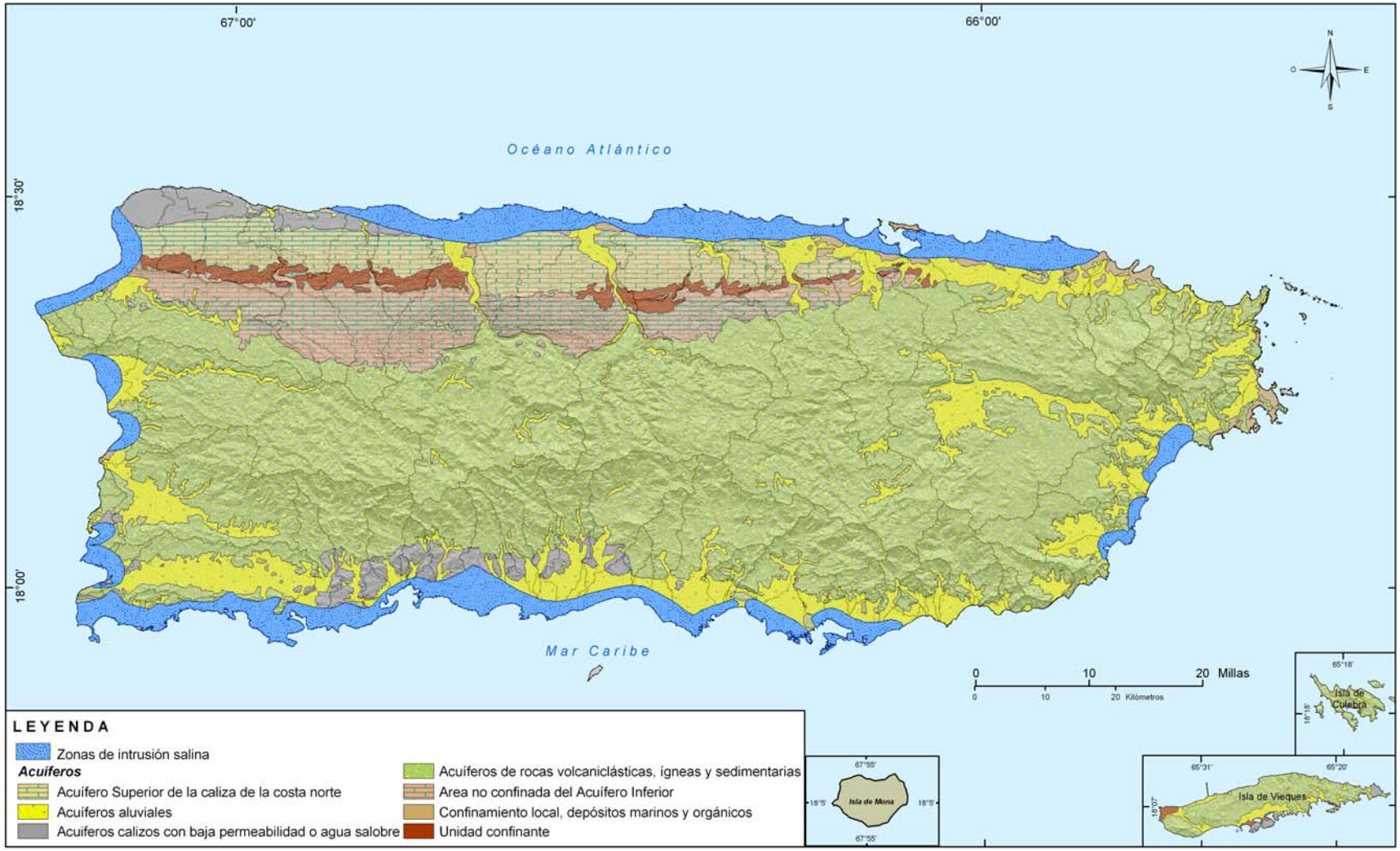


Figura 2-16. Secciones longitudinales de los acuíferos de la Región Sur de Puerto Rico.

La implantación del Plan Integral actualizado tendrá impactos significativos sobre los acuíferos de la Isla, generalmente positivos. En varios sectores de la Isla los acuíferos sufren de contaminación, explotación excesiva y manejo inadecuado. Las fuentes principales de contaminación provienen de productos químicos debido a derrames de materiales o descargas industriales o sanitarias. Zonas de importancia en los acuíferos del norte y del sur sufren de intrusión salina debido a la sobre-explotación o manejo inadecuado de los pozos que extraen agua. La ubicación general de estas zonas en la Isla se ilustra en la Figura 2-17. En las áreas de Manatí, Salinas y Santa Isabel las concentraciones de nitratos en los acuíferos han aumentado a niveles que impiden sus uso para agua potable. Las medidas de evaluación y control de los acuíferos que propone el Plan Integral promoverá su conservación y restauración, auque esto tomará tiempo considerable debido a la complejidad del problema y costo de rehabilitación.



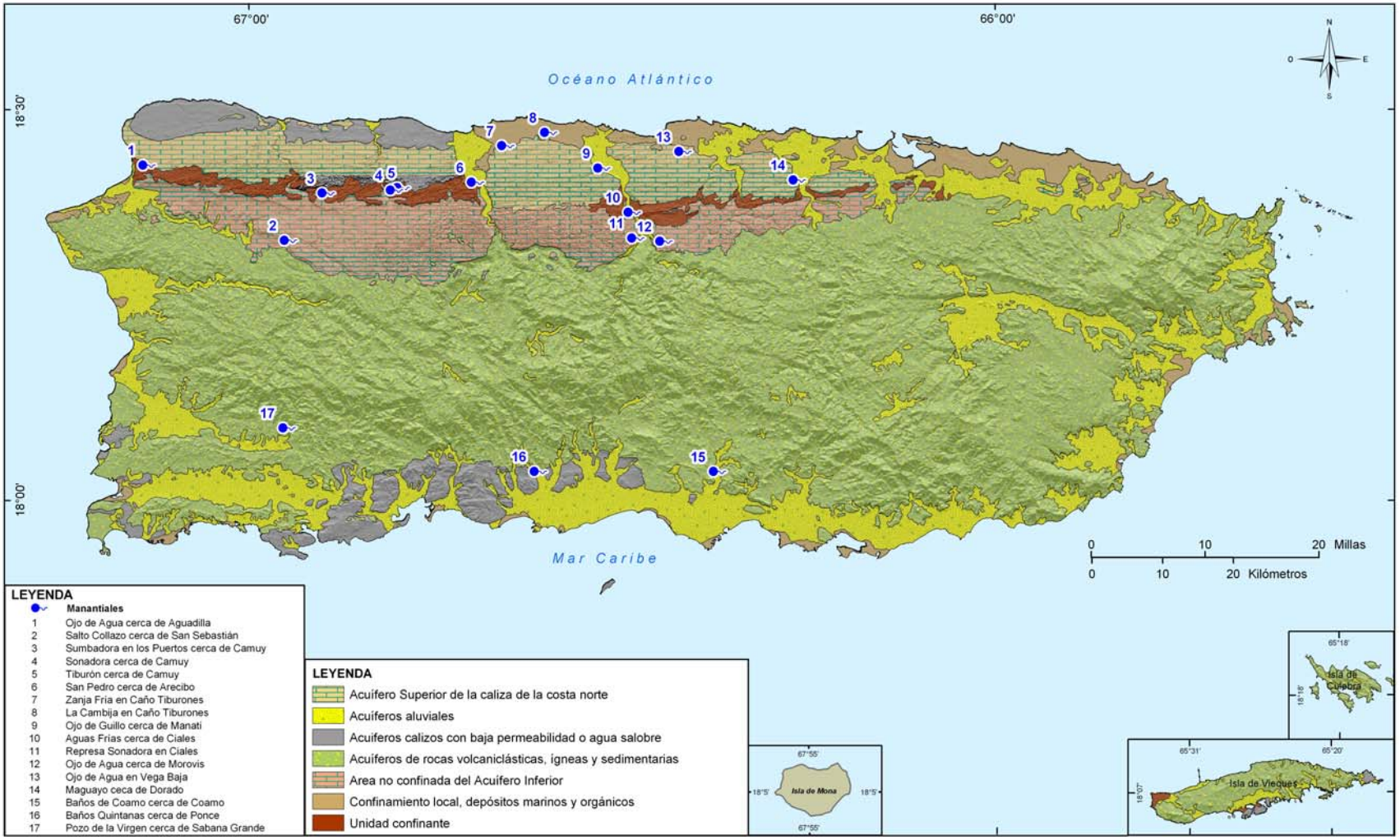
Fuente: DRNA, 2004.

Figura 2-17. Zonas donde ocurre intrusión salina en los acuíferos principales en Puerto Rico.

2.8.1 MANANTIALES

Los manantiales son descargas de agua subterránea que afloran a la superficie de acuíferos regionales o locales. En 1988 el DRNA indicó la presencia de aproximadamente 250 manantiales de magnitud variada y desconocida. El USGS llevó a cabo un estudio donde destaca aquellos de mayor importancia y con más caudal; estos se resumen en la Figura 2-18 y la Tabla 2-8 (Guzmán y otros, 1988).

Los manantiales de la Isla no son una fuente mayor de abasto de agua para usos domésticos, agrícolas o industriales. El potencial de su utilización máxima no ha sido determinado con precisión principalmente debido a su capacidad limitada. La implantación del Plan Integral actualizado impactará el uso potencial de este recurso, posiblemente resultando en una utilización mayor del agua de estas fuentes. Los efectos de extracciones adicionales de los acuíferos en el flujo de manantiales que los anteriores alimentan necesita considerarse en el manejo de ambos recursos.



Fuente: DRNA, 2004

Figura 2-18. Ubicación de los manantiales principales en Puerto Rico.

Tabla 2-8. Manantiales principales de Puerto Rico y sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

Manantial	Flujo Instantáneo (millones de galones diarios, mgd)	Conductancia Específica (Microsimens por centímetro, Us/Cm)	pH	*Coliformes Fecales, 0.7 UM/MF (col100 ml)	**Dureza (mg/l como CACO3)
Maguayo en PR-693 en Dorado	0.50	585	7.0	660	260
Ojo de Agua en Vega Baja	2.52	820	7.1	4	320
Ojo de Agua en Morovis	0.03	470	7.2	430	230
Represa Sonadora de Ciales	0.10	388	7.5	95	180
Aguas Frías en Ciales	3.94	384	7.3	340	190
Ojo de Guillo en Manatí	0.97	522	7.0	15	250
La Cambija en Caño Tiburones	6.40	12,100	7.1	22	1400
Zanja Fría en Caño Tiburones	6.14	1,420	7.4	78	330
San Pedro en Arecibo	5.43	470	7.4	42	230
Sonadora en Camuy	0.09	518	7.3	360	230
Tiburón en Camuy	0.34	445	7.3	220	200
Sumbadora en Los Puertos, Camuy	0.25	517	7.4	400	250
Salto Collazo en San Sebastián	0.02	410	6.9	260	200
Ojo de Agua en Aguadilla	0.65	555	7.2	270	250
Baños Quintana en Ponce	0.01	1,490	9.2	1500	170
Baños de Coamo	0.04	2,210	9.0	10	550

Fuente: USGS, 1985

* 0.7 UM/MF, 0.7 micrómetros por filtro de membrana; COLS/100 ML, **colonias** por 100 mililitros

*MG/L, miligramos por litro; CACO3, Carbonato de Calcio

2.9 ZONAS INUNDABLES

La mayor parte de los valles costaneros en Puerto Rico sufren inundaciones severas periódicamente. La intensidad y magnitud de las lluvias en las cuencas a través de la Isla resultan en escorrentías extremas, ocasionando inundaciones de gran magnitud en las zonas costaneras. Aún en los valles interiores a través de la Isla ocurren inundaciones de gran magnitud que afectan zonas urbanas y rurales. La Junta de Planificación estima que aproximadamente 155,000 familias en la Isla viven en zonas inundables, a pesar de los programas de canalización de los ríos llevados a cabo por el ELA en cooperación con agencias federales. El Programa Nacional de Seguros de Inundaciones (*National Flood Insurance Program)* estima en 162,390 las estructuras dentro de zonas inundables. El USGS, la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) y la JP llevan a cabo investigaciones periódicas de los valles inundables en la Isla. Estos estudios tienen el objetivo de definir los niveles de inundación para eventos de magnitudes definidas como parte del programa federal y local de control y seguros por daños causados por inundaciones. Los mapas de inundaciones de FEMA y la JP proveen elevaciones de los niveles de inundaciones con frecuencias de hasta 100 años (probabilidad de 1% de ocurrir en un año). Las zonas inundables principales en la Isla donde existen mapas de la JP, FEMA y el USGS se ilustran en la Figura 2-19.

El Reglamento Sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación de la JP establece que las áreas susceptibles a inundaciones se clasificarán por zonas, según se establece mas adelante. El mismo toma en consideración su designación en los Mapas de Tasas de Seguro contra Inundaciones (*Flood Insurance Rate Maps, FIRM*), Mapas de Límites de Inundación y del Cauce Mayor (*Flood Boundary and Floodway Maps (FBFM)*) o cualquier otra información sobre inundación base y marejadas, incluyendo consideraciones sobre los niveles, profundidad y velocidad de las aguas, altura de las olas, la condición y características topográficas del terreno, su cubierta vegetal y el riesgo a que están expuestas la vida y hacienda de las personas establecidas o que se establezcan en los terrenos.

A los efectos de aplicación de este reglamento, se establecen los siguientes tipos de zona (la JP modificará estas designaciones a partir del 19 de abril de 2005, adoptando la nomenclatura utilizada por FEMA):

Zona 1. --Incluye los terrenos que ubiquen dentro de los límites del Cauce Mayor (*Floodway)*. El cauce mayor es el lecho de un río, quebrada, arroyo o drenaje pluvial natural y aquellas porciones de terrenos adyacentes que se deben reservar para descargar la inundación base sin aumentar acumulativamente la elevación superficial de las aguas por más de 0.30 metros (un (1) pie) en áreas no desarrolladas o de 0.15 metros (medio (1/2) pie) en áreas desarrolladas, según determinada por un estudio hidrológico-hidráulico. También se incluyen terrenos comprendidos por núcleos poblados o pueblos.

Zona 1M. --Incluye los terrenos que ubiquen en las áreas costaneras de alto peligro. Estos terrenos se designan como Zona V y V1-V30 en los Mapas de Tasas de Seguros contra Inundaciones (*Flood Insurance Rate Maps FIRM*). Incluye los terrenos que ubiquen en las áreas costaneras de alto peligro y terrenos comprendidos por núcleos poblados o pueblos.

Zona 2. --Incluye los terrenos susceptibles a la inundación base que ubiquen entre los límites del cauce mayor y del valle inundable, pero excluyendo terrenos correspondientes al cauce mayor o a las áreas costaneras de alto peligro. Cuando no existan Mapas de los Límites de Inundación y del Cauce Mayor esta zona será el área comprendida por el valle inundable. Se incluyen en la misma terrenos comprendidos por núcleos poblados o pueblos. Estos terrenos se designan como Zona A, A1-A-30 o A0 en los Mapas de Tasas de Seguro contra Inundaciones.

Las inundaciones son fenómenos naturales que ocurren como parte del clima de una isla, región o continente. La intensidad de las inundaciones causadas por una cantidad de lluvia constante varía de acuerdo a muchos factores, incluyendo la deforestación y la impermeabilización de las cuencas. La deforestación e impermeabilización de los terrenos en una cuenca permite que la lluvia convertida en escorrentía llegue más

rápidamente a las quebradas y ríos de una cuenca. Los árboles y la hierba disminuyen el flujo de la escorrentía, dilatando su viaje hacia las quebradas de una cuenca. La intensidad de las inundaciones aumenta a medida que las cuencas pierden sus bosques y cubierta vegetal, al tomar menos tiempo la escorrentía en llegar a los valles. Al impermeabilizarse los terrenos debido a desarrollos urbanos, incluyendo carreteras, áreas residenciales, comerciales e industriales, la fracción de la escorrentía que anteriormente se infiltraba discurre aguas abajo, aumentando la magnitud de las inundaciones. La conservación de las cuencas es crucial para el control parcial de las inundaciones.

La implantación del Plan Integral actualizado contribuirá a reducir los niveles de las inundaciones en las zonas rurales y urbanizadas en los valles costaneros y centrales de la Isla. Las medidas de conservación de cuencas a implantarse como parte del Plan Integral eventualmente ayudarán a reducir la magnitud e intensidad de las inundaciones. Sin embargo, este efecto será menor en comparación con la implantación de medidas estrictas que prohiban desarrollos adicionales en los valles inundables.

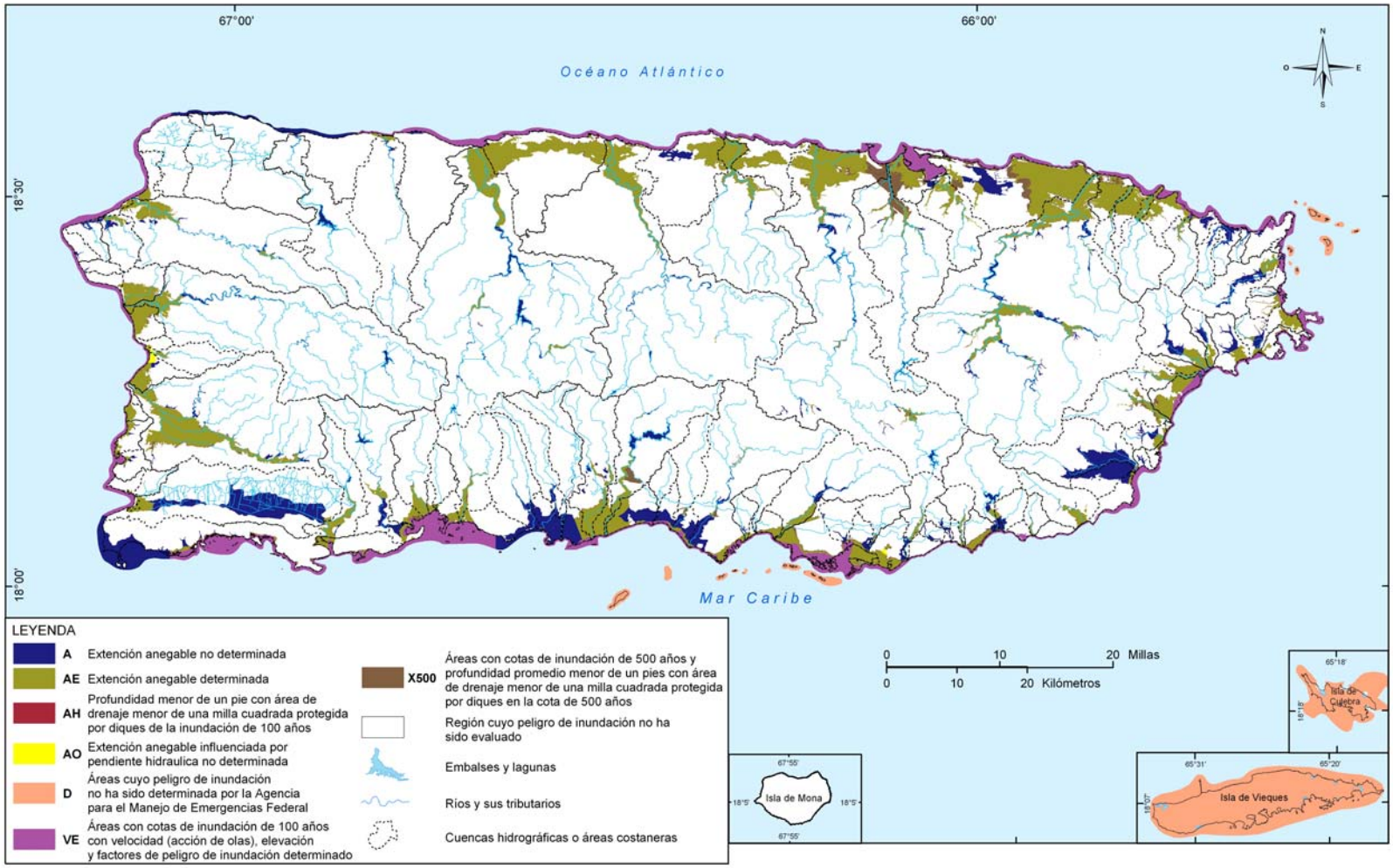


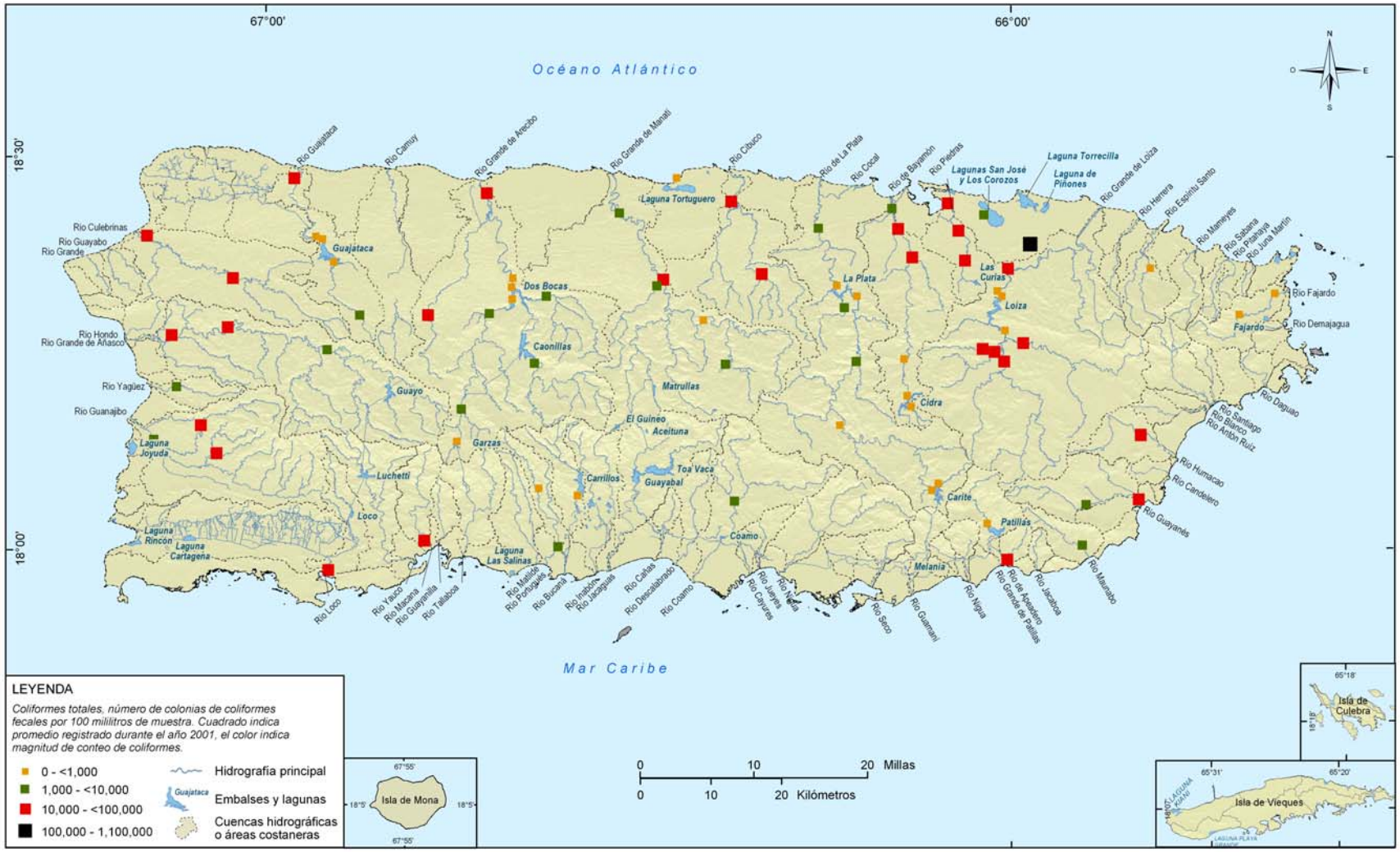
Figura 2-19. Zonas inundables en Puerto Rico.

2.10 CALIDAD DE AGUA

La calidad de las aguas en Puerto Rico varía desde condiciones excelentes en las zonas montañosas o de bosques, a condiciones en ríos, embalses y acuíferos que no cumplen con los estándares de calidad de la JCA y EPA.

2.10.1 CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

Las aguas superficiales en Puerto Rico, incluyendo los ríos y embalses, son de calidad generalmente pobre debido a descargas sanitarias, agrícolas e industriales. La JCA y la EPA estimaron recientemente que aproximadamente el 40% de los cuerpos de agua superficiales en la Isla no cumplen con los estándares de calidad de agua para el medioambiente (JCA, 2003). Los estudios del USGS y la JCA a través de la Isla demuestran que los contaminantes principales en las aguas superficiales de la Isla incluyen bacterias de origen fecal, nutrientes, y compuestos orgánicos volátiles (USGS, 2002). Estos contaminantes provienen de plantas de tratamiento, actividades agrícolas, pozos sépticos y descargas domésticas. Las concentraciones de bacterias de origen fecal en los principales ríos en estaciones operadas por el USGS en el 2002 a través de la Isla se resumen en la Figura 2-20.



Fuente: USGS 2001

Figura 2-20. Determinación de bacterias fecales en los ríos principales en Puerto Rico.

2.10.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas en Puerto Rico son generalmente de mejor calidad que las aguas superficiales, en parte por la protección parcial que ofrecen los acuíferos donde residen. La AAA opera aproximadamente 370 pozos profundos que extraen un promedio de 94 mgd de agua de los acuíferos a través de la Isla, principalmente para consumo humano. Las aguas subteráneas en el acuífero profundo de la Región Norte son de calidad excelente, y se utilizan principalmente para la industria farmacéutica en Manatí, Barceloneta y Arecibo.

Sin embargo, varios sectores del acuífero llano de la Región Norte y de los acuíferos aluviales de la Región Sur sufren de contaminación química debido a derrames, vertederos antiguos y descargas industriales. Se han identificado aproximadamente 19 lugares en la isla **(Figura 2-21, USGS)** donde existe contaminación severa de los acuíferos, impidiendo que se puedan utilizar las aguas de estas zonas para consumo humano. La limpieza de estos sectores de los acuíferos en la Isla tomará años y requerirá inversiones sustanciales.

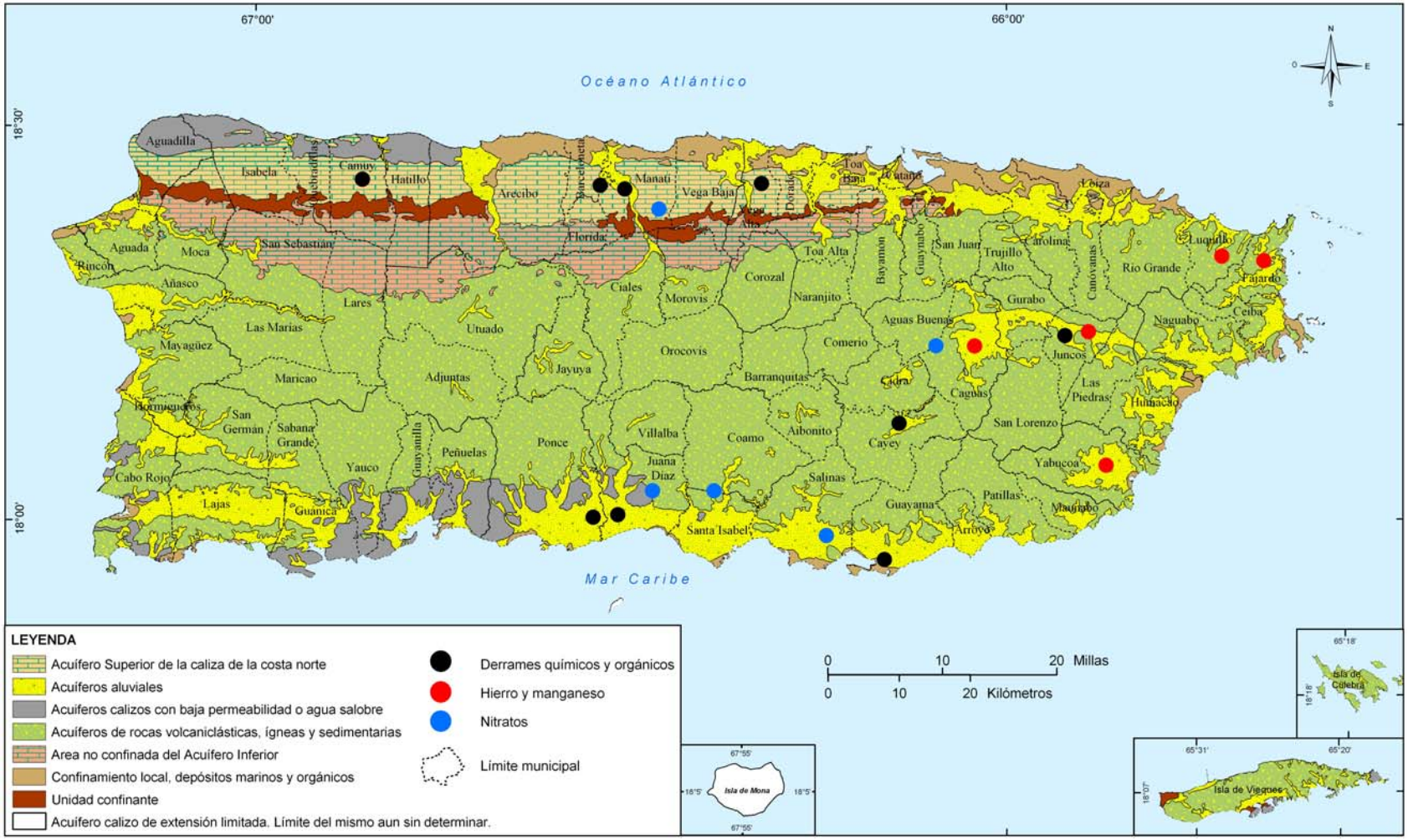


Figura 2-21. Lugares principales identificados por la Agencia de Protección Ambiental Federal en Puerto Rico que sufren de contaminación sustancial de las aguas subterráneas.

2.10.3 AGUAS SALINAS

Los acuíferos en las zonas costaneras de Puerto Rico están expuestos a intrusión salina debido a interacciones naturales y manejo inadecuado. Sectores del acuífero llano de la costa norte y del acuífero aluvial del sur sufren de intrusión salina debido a exceso de bombeo por parte de la AAA y sectores agrícolas e industriales. La Figura 2-17 ilustra los lugares principales en la Isla donde sectores importantes de estos acuíferos han sido afectados por intrusión salina. Por otro lado, las aguas salinas son un recurso no utilizado en la Isla, que tiene potencial para usos diversos, incluyendo desalinización y riego en campos de golf y actividades recreativas similares, economizando el uso de aguas frescas. La implantación efectiva del Plan Integral promete reducir y eventualmente eliminar la intrusión salina en exceso de las tasas naturales resultantes de ciclos hidrológicos. La evaluación eventual de la magnitud de los recursos salinos podría acelerar su uso.

2.11 ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS

En Puerto Rico existen una gran variedad de ecosistemas terrestres y acuáticos no-marinos de gran importancia y valor ecológico que dependen para su supervivencia de la disponiblidad de agua fresca. Estos ecosistemas incluyen las reservas de bosques, humedales, la zona del carso, la zona marítimo-terrestre y lagunas costaneras.

2.11.1 BOSQUES

Aproximadamente el 44% de la superficie de Puerto Rico está cubierta por bosques primarios o secundarios de los cuales sólo el 9% está protegido (USFS, 2002). Esto compara desfavorablemente con la cantidad de bosque en tiempos precolombinos, cuando esencialmente cubrían toda la Isla. La deforestación intensa durante el período español obedeció al desarrollo de cultivos, tales como la caña de azúcar en los valles costaneros y las laderas de las montañas.

Aproximadamente 90,880 cuerdas de los bosques de la Isla son reservas locales o federales, representando varios ecosistemas de gran valor ecológico. La ubicación de estas reservas boscosas se ilustran en la figura 2-23, los detalles sobre sus características y tamaño se muestran en la Tabla 2-9.

De importancia especial es el Bosque Nacional del Caribe, en la Sierra de Luquillo, donde anualmente se registra un promedio de 200 pulgadas de lluvia. Los ríos que se originan en las laderas de El Yunque descargan cantidades significativas de agua que proveen abastos de agua potable a varias comunidades en las zonas bajas de la región este. Segmentos de los ríos Mameyes e Icacos han sido designados Ríos Silvestres y Escénicos por el Congreso de los Estados Unidos a petición del ELA. Los bosques de Carite y Toro Negro presentan características similares y generan cantidades sustanciales de escorrentía que alimentan tributarios de varios de los ríos principales en las regiones sureste y norte de la Isla. El Bosque Seco de Guánica es un área única donde la intensidad de la lluvia es mucho menor que en otras áreas boscosas en la Isla.

Las actividades que inducirá la implantación del Plan Integral resultarán en impactos positivos a los bosques de la Isla, aunque a largo plazo. La conservación de las cuencas, su reforestación y el manejo efectivo de los recursos de agua resultará en impactos directos e indirectos positivos a estos sistemas.

Tabla 2-9. Características de reservas boscosas de Puerto Rico.

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Guajataca	2,357	75	76.5	Bosque húmedo subtropical. Suelo formado por afloraciones de roca caliza y por grupo de colinas subcónicas con mogotes separados por sumideros. Tiene dos asociaciones de vegetación: 76% suelos calcáreos en las laderas y el restante 24 % en los sumideros. Existe una gran variedad de flora y fauna con un total de 31 especies endémicas.
Cambalache	1,050	60-80*	77*	Bosque húmedo subtropical, localizado en la región norte caliza o zona de mogote. Hogar de un sinnúmero de especies de flora y fauna algunas de estas endémicas o en peligro de extinción.
Río Abajo	5,811	76.2	71.6	Bosque húmedo subtropical. Localizado entre el Río Tanamá y el Lago Dos Bocas en la región caliza del norte de la Isla. Se observan mogotes y sumideros característicos de la zona del carso. En la flora se encuentran 47 especies amenazadas y en la avifauna el guaraguao de bosque (Buteo platyperus brunnescens).

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Vega	1,139	64.4	78*	Bosque húmedo subtropical ubicado en la zona kársica del norte de Puerto Rico. El bosque juega un papel importante en la protección los abastos subterráneos de agua de la zona debido a la formación geológica muy singular caracterizada por mogotes, sumideros y cuevas subterráneas creadas por el efecto de disolución que tiene el agua sobre la piedra caliza. Los sumideros son áreas de recarga natural del acuífero norte. En éste se refugian varias especies raras y endémicas.
Piñones	3,232	43*	80*	Habitat natural para una gran diversidad de vida marina y silvestre, habitáculo de no menos de 46 especies de aves. 70 % de su flora está compuesta por mangles.
Bosque Nacional del Caribe (El Yunque)	28,000	200	77.9 en las partes más bajs y aproximadamente 65.3 sobre los 1000 metros	Formado por cuatro tipos de bosque: Bosque Pluvial o de Bajura, Bosque de Palo Colorado, Bosque de Palma de Sierra y Bosque Enano. Alberga 225 especies de árboles nativos del bosque veintitrés (23) especies endémicas y posee 47 especies introducidas. La fauna está dominada por reptiles y aves en el día y por los anfibios en la noche.

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Carite	6,600	65-100*	72	Localizado en la Sierra de Cayey, geológicamente es de origen volcánico del Cretáceo Bajo. Fue establecido para la protección de las cuencas hidrográficas de los ríos: Grande de Loíza, Grande de Patillas y La Plata, los cuales eran afectados por la erosión causada por la deforestación que ocurrió a principios del siglo. También se estableció para plantaciones con potencial maderero. Sin embargo, a través de los años este bosque ha tenido otros propósitos de gran importancia como refugio de vida silvestre, área recreativa y potencial de producción forestal.
Aguirre	2,464	30-60	78	Bosque seco subtropical, suelos de origen biológico y salitroso. Predominan los manglares, árboles y arbustos espinosos. Existen 87 especies de aves en el área de la Bahía de Jobos; 59% residentes y 35% migratorias. Dos especies, el pelícano pardo (Pelecanus occidentalis) y la mariquita (Angelaius xanthomus) están designadas como especies en peligro de extinción.
Toro Negro	6,945	105-115*	67*	Bosque húmedo subtropical y Bosque muy húmedo montano bajo. Tiene nueve ríos: Río Indalecia, Río Guayo, Río Inabón, Río Blanco, Río Anón y Río Prieto fluyendo hacia el sur y Río Saliente, Toro Negro y Río Matrullas que discurren hacia el Norte. Los embalses Matrullas y Guineos se encuentran localizados en el bosque y son los más altos en relación al nivel del mar.

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Bosque del Pueblo o Bosque de Adjuntas[1]	760	79*	70-74*	Bosque húmedo subtropical secundario. Localizado entre los ríos Pellejas y Viví, tributario principales del embalse Dos Bocas y entre los bosques Gilarte, Río Abajo y Toro Negro. El bosque está dominado por especies secundarias y remanentes de vegetación nativa.
Guilarte	3,604	90.0	60-75	Bosque húmedo subtropical. Está dividido en siete segmentos ubicados entre los municipios de Adjuntas, Guayanilla, Peñuelas Y Yauco. Conviven unas 172 especies de árboles divididas en dos zonas de vida bioclimática: bosque de Palma de Sierra y la tabaiba. Refugio de plantas y animales en riesgo de caer en la lista de especies amenazadas.
Maricao	10,569	94.0	72	Bosque muy húmedo subtropical, Bosque húmedo subtropical y Bosque montano bajo. Tiene mayor diversidad de especies de plantas, 29 aves endémicas y el zumbadorcito en peligro de extinción. En él nacen los ríos Guanajibo y Río Grande de Añasco, con sus respectivos tributarios. Su clima, su suelo serpentinita y su estado de pristina conservación lo hace único en Puerto Rico.

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Susúa	3,341	55.6	75	Bosque presenta transición climática de húmeda a seca. Su suelo es un combinación de volcánico y serpentinita, roca quebradiza color negro a verde pálido a verde azulado con apariencia aceitosa consistente en su totalidad de minerales serpentinos. Dentro de sus límites nacen cuatro ríos o sus tributarios: Río Coco, Río Cañas, Río Loco y Quebrada Grande. Bosque con alto endemismo.
Guánica	9,878	30.0	80 en la sombra y 100 en áreas expuestas	Bosque seco subtropical, localizado en la zona más seca y árida de la Isla y de mayor radiación solar. Hogar de muchas especies endémicas y en peligro de extinción. Su topografía puede ser caracterizada como ondulante, observándose una diferencia en el nivel del terreno que va desde acantilados de gran altura y terrenos empinados y rocosos como los que bordean la Bahía de Guánica donde el suelo varía desde arenoso hasta calcáreo. La vegetación de este bosque se compone en su mayoría de manglares, salinas naturales, suculentas, bosque espinoso, bosque deciduo, bosque siempre-verde.

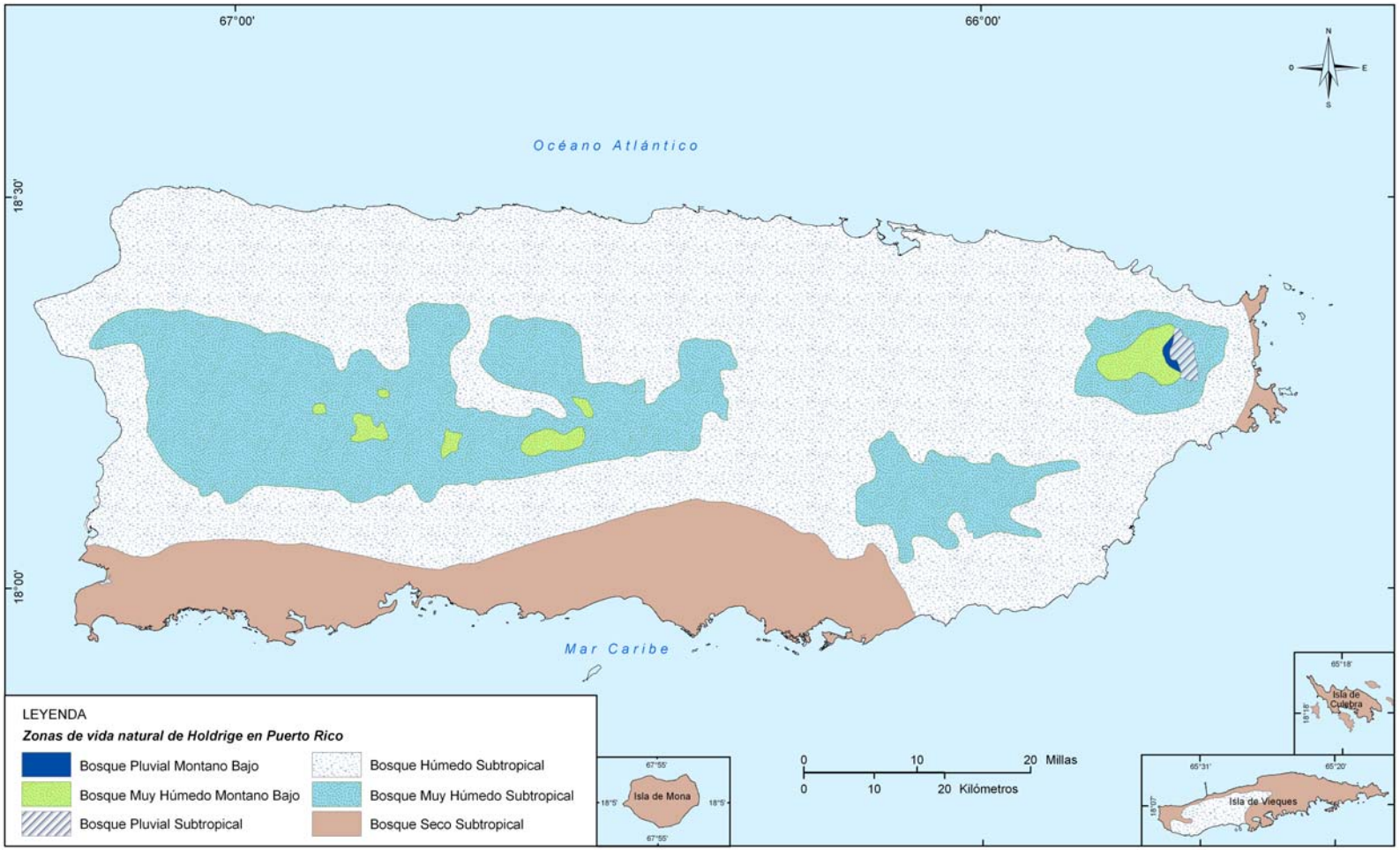
Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Boquerón	4,773	44.4	78	Bosque seco subtropical que se encuentran en la franja caliza del sur. Dividido en ocho segmentos importantes: los manglares Guanajibo, Laguna Joyuda, Puerto Real, Boquerón, Refugio de Aves, El Faro, Molinos Pitahaya y Bahía Montalva. Habitats importantes: islotes, manglares costeros, salitrales, tierras llanas y praderas submarinas. Se encuentra la población más grande de la mariquita de Puerto Rico (Agelaius xanthomus) catalogada en peligro de extinción y protegida por el DRNA y el USFWS.
Ceiba	363	79.0	80*	Bosque seco subtropical. Suelos arenosos o arcillosos, pálidos salinos con alto contenido de material orgánico derivado de los mangles. Su flora consiste en su mayoría de mangles rojo, negro, blanco y botón. Su fauna es muy variada que va desde peces, aves y organismos marinos.
Bosque Urbano del Nuevo Milenio	400	+	+	Los terrenos del Bosque se ubican en el lado este del Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, bordeados por los barrios Venezuela, Buen Consejo, las Urbanizaciones Park Gardens, Hill Mansions, Ciudad Universitaria y Venus Gardens, entre otras. Los terrenos en la periferia del Jardín Botánico se caracterizan por tener una vegetación arbórea de crecimiento secundario bien desarrollada.

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Los Caños	+	+	+	El Centro de Productos Forestales Los Caños está localizado en la Antigua Central Los Caños en Arecibo, Puerto Rico. Los caños es un centro de producción y distribución de productos de maderas tales como: rótulos tablas, postes, espeques, costaneras, aserrín y viruta provenientes de corte selectivo de árboles (raleo) de nuestras plantaciones de árboles nativos y exóticos sembrados en los, bosques estatales de Río Abajo, Toro Negro, Maricao, Carite, Cambalache y Guilarte.
San Patricio	70	+	+	Ubicado en la urbe metropolitana sus 53 cuerdas llanas y 17 en mogotes son hogar para la boa puertorriqueña, más de 30 aves y 40 árboles. Incluye veredas interpretativas.

Fuente: *www.drnapr.com* excepto 1Casa Pueblo Apartado 704, Adjuntas, P.R. 00601

*Valores aproximados obtenidos de la Junta de Planificación

+Se proveerá la información más adelante



Fuente Servicio Forestal Federal 1973

Figura 2-22. Zonas boscosas de Puerto Rico

2.11.2 HUMEDALES

Los humedales son aquellas áreas que han sido inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas, en donde se puede mantener comunidades vegetales y animales adaptadas a una vida donde las condiciones del suelo son saturadas. Los humedales incluyen generalmente ciénagas, pantanos, terrenos fangosos y similares; son muy importantes como sistemas reguladores del agua.

Según la JCA el área total de humedales en Puerto Rico es de aproximadamente 23,650 cuerdas de humedales costaneros y 81,440 cuerdas de humedales de agua fresca (JCA, 2003). Por otro lado, el USFS ha determinado como humedales un área aproximada de 16,420 cuerdas (USFS, 2002). Históricamente la reducción en el área de los humedales se debía a la agricultura; hoy día la disminución que se observa es debido principalmente a los desarrollos urbanos que han resultado en el relleno de una gran parte de estos bosques. Los mangles en Puerto Rico cuya extención original se estima en 61,800 cuerdas para el año 1975 se redujeron a menos de 10,200 cuerdas (Cuerpo de Ingenieros, 1978). En las zonas costaneras, los humedales arbóreos están formados por mangles rojo (Rhizophora mangle), blanco (Laguncularia racemosa), negro (Avicennia germinans) y botón (Conocarpus erectus). El mangle rojo es el más cercano al mar, mientras que el mangle botón es el más lejano a la costa. La implantación del Plan Integral tendrá efectos positivos en los humedales de la Isla. El mantenimiento de flujos mínimos en los ríos, particularmente hacia los estuarios, resultará en la preservación de humedales y en el potencial de facilitar la restauración de zonas de estos importantes ecosistemas.

2.11.3 REGIÓN DEL KARSO

El término carso o karso (proveniente del término "*karst")* se refiere a las zonas donde las rocas calizas forman un patrón de drenaje no definido, predominando sumideros entre colinas y dolinas. Estas formaciones de rocas calizas resultaron de la acumulación de residuos de caracoles y esqueletos de organismos marinos depositados a través de millones de años en ambientes marinos. Cataclismos en el área del Caribe resultaron en la elevación de la plataforma de la Isla, exponiendo los

depósitos de rocas calizas en bandas a lo largo de los valles de las Regiones Norte y Sur de la Isla, siendo los depósitos de la Región Norte los más importantes (Figura 2-7). Esta zona de rocas calizas es nombrada como la Región del Karso del norte de Puerto Rico, y ocupa un área de aproximadamente 550 millas cuadradas (16% de la superficie de la Isla).

Las rocas calizas en la Isla estuvieron expuestas a la atmósfera por milenios, resultando en una disolución selectiva del carbonato de calcio en las rocas. Esto ha resultado en el patrón de sumideros formados en dolinas y rodeados de colinas típicos del carso. En esta zona la mayor parte de la lluvia se infiltra al subsuelo, recargando los acuíferos profundos y llanos de la costa norte antes descritos. Los patrones de drenaje superficiales son mínimos, excepto por los ríos que se originan en las montañas formadas por rocas volcánicas y que transcurren a través de la zona del carso. La importancia de los acuíferos del norte para los abastos de agua en la Isla es significativa.

Ecológicamente, la Región del Karso es de gran diversidad en su flora y fauna. Estudios realizados ubican aproximadamente 21 familias de flora y 19 familias de fauna catalogadas como vulnerables o en peligro de extinción que habitan en estas áreas (USDA Forest Service, 2001). La preservación de la Región del Karso es de primordial importancia para la Isla.

La implantación del Plan Integral actualizado ocasionará efectos e impactos positivos en la Región del Karso. El mantenimiento de flujos mínimos en los ríos y la protección y restauración de las cuencas, promoverá la conservación de la mayor parte de esta importante zona.

2.12 ZONA MARÍTIMO TERRESTRE

La isla de Puerto Rico cuenta con aproximadamente 313 millas de costas. Su zona marítimo-terrestre se extiende desde el mar hasta la línea donde llega la marea ciclónica. En esta zona las mareas y marejadas interaccionan con los sistemas terrestres; tales como humedales costaneros, dunas, acantilados y arrecifes. El DRNA es responsable del manejo de la zona costanera y define lo que constituye la Zona Marítimo-Terrestre. Por otro lado, la JP maneja el Programa Federal de la Zona Costanera, asegurándose que el desarrollo de proyectos dentro de una milla de esta zona es compatible con su conservación. La implantación del Plan Integral tendrá impactos mínimos en la Zona Marítimo-Terrestre.

2.13 ESPECIES CRÍTICAS

El DRNA ha catalogado un total de 576 especies de flora y fauna en Puerto Rico como críticas, incluyendo 75 designadas como en peligro de extinción (CSA Group, 2003). El Gobierno Federal mantiene listas separadas que no coinciden totalmente con las del DRNA. Las especies incluídas en el Inventario del Patrimonio del DRNA que coinciden con las del Gobierno Federal se resumen en las Tablas 2-10 y 2-11, incluyendo su distribución conocida. Las especies consideradas como en peligro de extinción por el Gobierno Federal también se ilustran en esta tabla.

Entre las especies designadas como críticas o en peligro de extinción se encuentra el organismo acuático *Alloweckelia gurnee*, un crustáceo que vive solamente en ríos subterráneos y cuya supervivencia depende directamente de la disponibilidad de agua adecuada y de excelente calidad. Uno de los objetivos del Plan Integral es mantener flujos mínimos en los ríos y estuarios donde habitan especies similares. Los planes de conservación y restauración de cuencas eventualmente redundarán en la protección de especies de fauna y flora terrestres acuáticas.

Tabla 2-10. Lista de especies de flora críticas o en peligro de extinción de acuerdo al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Flora Categorías	Familia	Nombre		Designación
		Científico	Común	
Angiospermas	POACEAE	Aristida chaseae	---	
		Aristida portoricencis	Pelos del diablo	PE
	RHAMNACEAE	Auerodendron pauciflorum	---	PE
	FLACOURTIACEAE	Banara vanderbiltii	Palo de Ramon	PE
	BUXACEAE	Buxus vahlii	Diablito de tres cuernos	PE
	VERBENACEAE	Callicarpa ampla	Capa rosa	PE
		Cornutia obovata	Palo de Nigua	PE
	MYRTACEAE	Calyptranthes thomasiana	---	PE
		Eugenia haematocarpa	Uvillo	PE
		Eugenia woodburyana	---	PE
		Myrcia pagani	Ausu	PE
	ARECACEAE (PALMACEAE)	Calyptronoma rivalis	Palma de manaca	V
	RUBIACEAE	Catesbaena malanocarpa	---	PE
		Mitracarpus maxwelliae	---	PE
		Mitracarpus polycladus	---	PE
	FABACEAE (LEGUMINOSAE-CAESALPIONOIDEAE)	Chamaecrista glandulosa var. mirabilis	---	PE
		Stahlia monosperma	Cobana negra	V
	POLYGONACEAE	*Coccoloba rugosa*	Ortegon	NC
	BORAGINACEAE	*Cordia bellonis*	—	PE
		Cordia rupicola	—	C1
	ORCHIDACEAE	*Cranichis ricartii*	—	PE
		Lepanthes eltoroensis	—	PE
	BIGNONIACEAE	*Crescentia portoricensis*	Higuero de sierra	PE
	THYMELEACEAE	*Daphnopsis helleriana*	—	PE
	GESNERIACEAE	*Gesneria pauciflora*	—	V
	SOLANACEAE	*Goetzea elegans*	Matabuey	PE
		Solanum drymophillum	Enrubio	PE
	CACTACEAE	*Harnsia portoricensis*	Higo chumbo	V
		Leptocereus grantianus	—	PE
	AQUIFOLIACEAE	*Ilex cooki*	—	PE
		Ilex sintenisii	—	PE
	JUGLANDACEAE	*Juglans jamaicensis*	Nogal	PE

Flora Categorías	Familia	Nombre		Designación
		Científico	Común	
	ERICACEAE	*Lyonia truncata var. proctori*	—	PE
		Gonocalyx concolor	—	C1
	ICACINACEAE	*Ottoschulzia rhodoxylon*	Palo de rosa	PE
	PIPERACEAE	*Peperomia wheeleri*	—	PE
	CANNELACEAE	*Pleodendrum macranthum*	ChupaGallos	PE
	OLACACEAE	*Schoepfia arenaria*	—	V
	STYRACACEAE	*Styrax portoricensis*	Palo de jazmin	PE
	THEACEAE	*Ternstroemia luquillensis*	Palo Colorado	PE
		Ternstroemia subsessilis	—	PE
	MEUACEAE	*Trichilia triacantha*	Bariaco	PE
	ASTERACEAE	*Vernonia proctorii*	—	PE
	RUTACEAE	*Zanthoxylum flavum*	Aceitfllo	—
		Zanthoxylum thomasianum	Espino rubial	PE
Helechos y Especies Afines	ADIANTACEAE	*Adiantum vivesii*	—	PE
	CYATHACEAE	*Cyathea dryopteroides*	Helecho arboreo enano	PE
	DRYOPTERIDACEAE	*Elaphoglossum serpens*	—	PE
		Polystichium calderonense	—	PE
	ASPLENACEAE	*Tectaria estremerana*	—	PE
	THELYPTERIDACEAE	*Thelypteris inabonensis*	—	PE
		Thelypteris verecunda	—	PE
		Thelypteris yaucoensis	—	PE

Fuente: DRNA

PE, Peligro de extinción; V, Vulnerable; C1, Candidata a incluirse en la lista de especies protegidas bajo la *Ley Federal de Especies en Peligro de Extinción*

Tabla 2-11. Lista de especies de fauna críticas o en peligro de extinción de acuerdo al DRNA y EPA.

	Familia	Nombre		Status
		Científico	Común	
Mamalia	MOLOSSIDAE	*Tedarida brasiliensis antillarum*	Murciélago de Cola Libre	R
	MORMQOWDAE	*Mormoops blainvilii cinnamomeum*	Murciélago	R
		Pteronotus parnellii portoricencis	Murciélago Bigotudo	R
	PHYLLOSTOMIDAE	*Monophyllus redmaw portoncensis*	Murciélago de las Flores de Puerto Rico	R
		Stenoderma rufum darioi	Murciélago Rojo Frutero	R
	TRICHECMIOAE	*Trichechus manatus manatus*	Manatí	N
	PHOCIDAE	*Monachus tropicalis*	Foca Monje del Caribe	X?
	BALAENOPTERIDAE	*Balaenoptera physalus*	Ballena de Aleta	M
	PHYSETERIDAE	*Physeter catodon*	Cachalote	M
Aves	ACCIPITRIDAE	*Accipiter striatus venator*	Falcón de Sierra	E
		Buteo platypterus brunescens	Guaraguao de Bosque	*R '*
	ANATIDAE	*Anas bahamensis*	Pato Quijada Colorada	R
		Dendrocygna arborea	Chiriria	R
		Oxyura dominica	Pato Dominico	R
		Oxyura jemaSeenm	Pato Chorizo	R
	ARDEIDAE	*Egretta rufescens*	Garza Rojiza	R

	Familia	Nombre		Status
		Científico	Común	
Aves	CAPRIMULGIDAE	*Caprimulgus noctitherus*	Guabairo Pequeño	E
	CHARADRIIDAE	*Charadrius alexandrinus*	Playero Blanco	R
		Charadrius melodus	Playero Melodioso	M
	COLUMBIDAE	*Columba inornata wetmorei*	Paloma Sabanera	E
		Columba leucocephala	Paloma Cabeciblanea	R
	EMBERIZIDAE	*Agelaius xanthomus*	Mariquita	E
		Dendroica angelae	Reinita del Bosque Enano	E
	FALCONIDAE	*Falco persgrinus anatum*	Falcón Peregrino	M
	LARIDAE	*Sterna antillarum*	Gaviota Pequeña	R
		Sterna dougalli dougalli	Palometa	R
	PELEGANIDAE	Pelecanus occidentalis	Pelicano Pardo	R
	PODICIPEDIDAE	*Tachybaptus dominicus*	Tigua	R
	PSITTACIDAE	*Amazons vittata*	Cotorra de Puerto Rico	E
	RALLIDAE	*Fulica caribaea*	Gallinazo	R
		Porzana ftaviventer	Gallito Amarillo	R
	STRIGIDAE	*Otus nudipes*	Múcaro de Puerta Rico	R
Reptili	AMPHISBAENIDAE	*Amphisbaena bakeri*	Culebra de dos Cabezas	E

	Familia	Nombre		Status
		Científico	Común	
a	BOIDAE	*Epicrates inornatus*	Boa de Puerto Rico	E
		Epicrates monensis granti	Boa de Islas Vírgenes	N
		Epicrates monensis monensis	Boa de Mona	E
	CHELONIBAE	*Caretta caretta*	Cafaezón	M
		Chelonia mydas	Peje Blanco	M
		Eretmochelys imbricata	Carey de Concha	M
	DERMOCHELYDAE	*Dermochelys coriacea*	Tinglar	M
	GEKKONIDAE	*Sphaerodactylus micropithecus*	Gueco de Monito	E
	IGUANIDAE	*Anolis cooki*	Lagartijo del Seco	E

Fuente: DRNA

R, Residente; E, Endémico; M, Migratorio; N, Nativo; X, se presume extinto

2.14 RECURSOS HISTÓRICOS Y CULTURALES

En Puerto Rico existen yacimientos arqueológicos y recursos históricos de importancia en todas las cuencas. Las civilizaciones taínas se asentaron con frecuencia en los valles y montañas de la Isla, en promontorios y laderas cercanos a los ríos. Los colonizadores españoles levantaron casas y estructuras en los valles y montañas que hoy son de gran valor histórico. El inventario general de yacimientos arqueológicos del Instituto de Cultura Puertorriqueño (ICP) revela que los mismos están presentes en todas las cuencas y los valles de la Isla.

En relación con la implantación del Plan Integral actualizado, no existen conflictos aparentes significativos entre ambas actividades, excepto por el posible desarrollo de embalses adicionales. Estos embalses pudieran tener impactos directos sobre yacimientos desconocidos al momento, o sobre estructuras de valor histórico.

2.15 ESTÉTICA Y EFECTOS VISUALES

Puerto Rico disfruta de un ambiente hermoso y plácido, donde las montañas de las sierras son bañadas por la lluvia abundante resultando en el verdor perenne de nuestro paisaje. Este ambiente de bosque es complementado por los abundantes riachuelos, quebradas y ríos que descienden de las montañas a los valles. Los embalses contribuyen a este ambiente tropical en ausencia de lagos naturales.

La implantación del Plan Integral no impactará significativamente el paisaje natural de la Isla. El manejo adecuado de los recursos de agua permitirá que los sistemas acuáticos mantengan su belleza y viabilidad por el futuro previsible. Mejoras en la calidad del agua resultarán en un ambiente más agradable en los cauces de los ríos en los valles centrales y costaneros. La posible construcción de embalses adicionales añadirá contraste al paisaje verde de las montañas.

3.0 ELEMENTOS DEL PLAN INTEGRAL

El DRNA completó en septiembre del 2003 el borrador inicial de la actualización del Plan Integral. Este borrador se encuentra al presente en las fases de revisión inicial por el Comité de Recursos de Agua y el personal del DRNA a cargo de su implantación. Una vez se concluya el proceso de revisión del documento, el DRNA celebrará audiencias públicas sobre los elementos del Plan. El borrador del Plan se encuentra publicado en la página de la Internet de la Oficina del Plan de Aguas del DRNA (www.plandeaguaspr.com). Copias electrónicas del borrador del Plan pueden obtenerse mediante solicitud escrita (carta of fax) de la Oficina del Plan de Aguas (Capital Center, Edificio Norte, Suite 1501, Tel. 787-763-5757, x 1541; fax 787-753-4147).

Esta sección de la DIA-E-A describe los elementos principales del borrador del Plan Integral, incluyendo un resumen de las estrategias y políticas públicas principales propuestas en el documento como medidas principales para optimizar el manejo, conservación uso de los recursos de agua en la Isla.

3.1 ORGANIZACIÓN DEL PLAN INTEGRAL

El borrador del Plan Integral actualizado en el 2004 incluye los siguientes capítulos principales:

1. Un marco conceptual del Plan en base a la Ley de Aguas de 1976, el trasfondo del Plan de 1996, y las metas y objetivos de la actualización del Plan en el 2004.
2. Un trasfondo amplio y detallado de los recursos de agua de Puerto Rico, incluyendo: la cantidad, calidad, uso y disponibilidad. Este trasfondo se nutre de varios de los estudios identificados en la Introducción, los cuales se incluyen como apéndices al Plan. El Inventario de los Recursos de Agua, a ser publicado separadamente del Plan, es la fuente principal del trasfondo, ya que provee detalles sobre cada elemento de los recursos de agua segregados por cuencas.

3. Un resumen de las leyes y reglamentos vigentes sobre los recursos de agua en la Isla, incluyendo estatutos locales y federales. Este resumen se nutre del Estudio Legal llevado a cabo como parte del Plan, así como de información general sobre las interacciones entre las diferentes agencias donde residen al momento responsabilidades específicas que están en conflicto con la Ley de Aguas de 1976.
4. Secciones individuales de cada elemento de los recursos de agua de la Isla, con recomendaciones para la adopción de políticas públicas.
5. Un análisis de los reglamentos y leyes que permitan al DRNA optimizar el manejo de las aguas superficiales y subterráneas, incluyendo iniciativas y proyectos para promover el reciclaje o reuso de las aguas, la conservación de las cuencas hidrográficas, y estrategias para desalinización.
6. Un resumen de las recomendaciones principales resultantes de la actualización del Plan en forma de estrategias y políticas públicas propuestas como necesarias para optimizar el manejo de los recursos de agua en la Isla.
7. Apéndices con los estudios e informes llevados a cabo como parte del proyecto de actualización del Plan. Estos estudios incluyen:
    a. Plan de Reuso de Aguas
    b. Revisión del Mapa de Lluvia Promedio de Puerto Rico
    c. Definición del Mapa de Evapotranspiración de Puerto Rico
    d. Necesidades de Agua para el Sector Agrícola
    e. Condición de los Embalses Principales incluyendo Capacidad Hidroeléctrica
    f. Flujos Mínimos y Necesidad de Sistemas Ecológicos
    g. Definición de las Cuencas Hidrográficas en la Isla
    h. Balance de Agua en las Cuencas Principales
    i. Estimados de Extracciones y Uso de Agua en el 2002
    j. Estimados de las Necesidades de Producción de Agua Potable hasta el 2005

k. Hidrogeología y Condición de los Acuíferos de la Región Norte

l. Hidrogeología y Condición de los Acuíferos de la Región Sur

m. Inventario de los Recursos de Agua en Puerto Rico en el 2004

3.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PRINCIPALES DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN INTEGRAL DEL 2004

Los estudios y análisis llevados a cabo como parte de la actualización del Plan Integral establecen lo siguiente:

1. Los recursos de agua en Puerto Rico son relativamente abundantes, con capacidad de satisfacer las demandas actuales y en el futuro previsible. La Isla recibe un promedio diario de 11 mil millones de galones diarios (mgd) de lluvia, y las escorrentías alcanzan 3,700 mgd. En comparación, las extracciones actuales son de aproximadamente 723 mgd.
    a. Los recursos de agua son más abundantes en las cuencas de las Regiones Oeste, Norte y Este en comparación con la Región Sur. Esto es debido a que en estas regiones ubican las cuencas principales de la Isla, y a que la precipitación es mayor que en las laderas de la Región Sur.
    b. Aproximadamente dos terceras partes de las aguas superficiales que discurren por los ríos descargan al mar, aún en cuencas claves que son fuente principal de agua potable, incluyendo las de los Ríos Grande de Arecibo, La Plata, y Loíza.
2. Los embalses son el recurso hídrico más importante en la Isla, con una capacidad de almacenaje de 375,410 acres-pies, proveyendo aproximadamente el 68 % de toda el agua fresca que utiliza la AAA para producir agua potable. Contrario a la creencia general, la mayor parte de los embalses mantienen su capacidad útil y se sedimentan a tasas normales para su diseño y vida útil. Sin embargo, la sedimentación de varios de los embalses más importantes es crítica, y requerirá su dragado en los próximos 10-20 años.

3. La Isla posee acuíferos importantes en las Regiones Norte y Sur, de los cuales se extraen aproximadamente 107 mgd de agua para usos domésticos y agrícolas. Sin embargo, las extracciones excesivas de agua y la contaminación de algunos sectores de los acuíferos han resultado en su deterioro gradual a un punto crítico al presente, lo que limita su aprovechamiento y amenaza su viabilidad futura. El análisis establece que los acuíferos de la Región Sur han alcanzado niveles críticos debido a la sobreexplotación e intrusión salina. En los acuíferos de la Región Norte ocurren condiciones similares, particularmente desde Toa Baja hasta Manatí. El Acuífero Inferior o Artesiano de la Región Norte continúa deteriorándose debido a extracciones en exceso de la recarga y pérdidas debido a roturas de pozos profundos.
4. La calidad de las aguas superficiales y subterráneas en general cumple con las normas estatales y federales como fuentes para producir agua potable. Sin embargo, la mayor parte de los ríos exhiben concentraciones de bacterias de origen fecal que exceden las normas ambientales de la Junta de Calidad Ambiental (JCA), así como concentraciones elevadas de nutrientes y de sedimentos. Esto a su vez se refleja en condiciones similares en los embalses y estuarios.
5. Las extracciones y el uso de agua en la Isla aumentaron de 500 mgd en 1960 a 723 mgd en el 2002 (datos más recientes), primordialmente debido al crecimiento de la población durante ese período, de 2.4 a 3.9 millones de habitantes. Las extracciones de agua dulce por la AAA para abasto público en el 2002 fueron de 612 mgd, mientras que los sectores agrícolas e industriales extrajeron 89 y 16 mgd respectivamente. En la Isla operan aproximadamente 270 sistemas independientes que proveen agua a 120,000 habitantes y utilizan hasta 12 mgd de agua de ríos y pozos (denominados Sistemas *Non-PRASA*). La mayor parte de estos sistemas no cumplen con las normas del Departamento de Salud sobre calidad de agua potable.
6. Los sistemas de distribución y almacenaje de agua potable de la AAA son ineficientes, y pierden aproximadamente el 43 % de la producción. El sistema

de tarifas por el consumo de agua que mantiene la AAA no promueve su conservación.

7. La planificación del uso del agua, a pesar de ser delegada al DRNA en la Ley de Aguas, está fraccionada entre varias agencias que no coordinan estos esfuerzos. La AAA, la AFI, la AEE y el Departamento de Agricultura planifican independientemente proyectos para el desarrollo de los recursos de agua sin coordinar con el DRNA. Esto resulta en proyectos que no cumplen las metas de conservación del DRNA, o que no son eficientes respecto a la mejor utilización del recurso.
8. En la Isla no se practica la protección de las cuencas hidrográficas y las zonas de recarga de los acuíferos. El desarrollo urbano sin control, particularmente en las zonas de recarga de los acuíferos y en las laderas inmediatas de los embalses, amenaza estas fuentes de agua. La política actual de uso de terrenos conflige con la conservación del agua y lleva a la Isla a una crisis más aguda en la disponibilidad del recurso en un futuro cercano. Es necesario iniciar un programa agresivo de conservación de cuencas y embalses.
9. El uso de agua por el sector agrícola ha disminuido sustancialmente durante las últimas décadas debido a la desaparición de la industria de la caña de azúcar y la implantación de sistemas de riego por goteo. Esto es más evidente en la Región Sur, donde ocurre la mayor parte del riego agrícola. El área bajo cultivo agrícola en la Isla ha permanecido estático por varias décadas, y secciones extensas de los mejores terrenos han sido urbanizados o se mantienen fuera de cultivo. Por otro lado, la Legislatura y el Departamento de Agricultura han promovido el desarrollo de reservas agrícolas que requieren riego sustancial. En el caso de la Reserva del Valle de Lajas, su designación se llevó a cabo sin considerar que el valle no dispone de recursos de agua adecuados para el desarrollo propuesto. Estudios de la AFI y la AAA establecen que el Sistema de Riego del Valle de Lajas no tiene la capacidad para proveer el agua que se necesitaría para el desarrollo propuesto. Esta conclusión es independiente de la cantidad de agua que utilice la AAA para las plantas de filtración que opera en el valle y la Región Suroeste. Las demandas de agua que representaría el

desarrollo de hasta 20,000 cuerdas en la Reserva exceden por un factor de tres o cuatro el agua disponible al presente en el sistema de riego. A pesar de que las cuencas que alimentan el Sistema de Riego del Suroeste son capaces de producir el agua necesaria para este desarrollo, la infraestructura que opera la AEE en el sistema no tiene la capacidad de transmisión de la cantidad de agua necesaria. Estudios llevados a cabo como parte del Plan Integral establecen que las cuencas de los ríos Yauco y Loco, y los embalses en las laderas norte que alimentan el Sistema del Suroeste, pueden producir hasta 120,000 acres-pies de agua al año. El uso total de agua en el valle (agrícola y doméstico) es de aproximadamente 32,000 acres-pies. El balance (88,000 acres-pies promedio) descarga hacia el Mar Caribe desde la presa que forma el Embalse Loco. La AAA lleva a cabo al momento un estudio conducente a evaluar el potencial de capturar parte de esa escorrentía y acumularla en algún lugar en el Valle de Lajas para aumentar los abastos de agua para usos agrícolas y domésticos en la Región Suroeste, incluyendo la Reserva Agrícola del Valle de Lajas.

3.3 ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA

El borrador del Plan Integral identifica una serie de estrategias y políticas esenciales para alterar el curso nefasto y desastroso que se persigue al presente en el manejo de los recursos de agua en la Isla. Estas estrategias y políticas necesitan evaluarse e implantarse como ahora propuestas o modificadas sin mayor dilación. La disponibilidad actual y en el futuro de agua en Puerto Rico depende en gran parte de las prácticas de uso y conservación que adopte el ELA a través del DRNA y el Plan Integral de Aguas. Aunque la Isla disfruta de una abundancia relativa de agua, los usos actuales incluyen prácticas contrarias a su conservación y aprovechamiento prudente. La Isla se enfrenta en varias regiones o zonas a escasez actual y futura en los abastos para consumo, así como competencia y conflictos por los recursos disponibles entre el sector doméstico y los usos agrícolas, industriales y energéticos.

El factor más importante en el manejo del agua en Puerto Rico son las pérdidas en los sistemas de distribución y almacenaje de la AAA. En el 2002, la AAA produjo aproximadamente 576 mgd de agua potable, lo que equivale a 150 galones por día por residente, mientras que el consumo era de aproximadamente 85 galones por día (340 mgd), tomando en cuenta el uso residencial y gastos de agua relacionados al diario vivir distribuidos entre la población (comercios, escuelas, gobierno). La diferencia, equivalente a 236 mgd, representa pérdidas en los sistemas de distribución de la AAA y agua no contabilizada. El DRNA estima que la AAA pierde hasta el 43% de la producción de agua potable debido a filtraciones y roturas en las líneas de transmisión de agua potable.

Otro factor importante que no promueve la conservación del agua es el sistema de tarifas que utiliza la AAA para facturar el consumo de agua. Los ingresos de la AAA provenientes de las facturas son mucho menores que los costos de operación y mantenimiento de la empresa. En el 2003, la AAA tuvo un déficit en el costo de sus operaciones de aproximadamente $230 millones, debido a que los ingresos por la venta del agua son inadecuados para cubrir el costo de producción de agua potable y tratamiento de aguas usadas. Un estudio comparativo de las tarifas de la AAA y otras 50 utilidades similares en E.U. y Canadá llevado a cabo en el 2004 por el DRNA como parte del Plan, reveló que las tarifas de la AAA son las segundas más bajas entre los sistemas comparados. Además de ser bajas, la AAA mantiene tarifas subsidiadas irrespectivo de la capacidad económica de sus clientes residenciales, que utilizan la mayor parte del agua que se produce y descargan la mayor parte de las aguas sanitarias. Aunque es loable que se provea agua a un costo económico a los ciudadanos de recursos limitados, este beneficio no debe aplicarse a todas las familias irrespectivo de sus ingresos. Este sistema de tarifas necesita revisarse para representar el costo actual de producción y penalizar el consumo excesivo, como ocurre en la mayor parte de las compañías de agua en otros países.

Por otro lado, los sistemas de generación hidroeléctrica y riego operados por la AEE no están optimizados para maximizar estos usos además de proveer abastos adecuados a los sistemas de la AAA. Cantidades significativas de agua se descargan al océano de

los sistemas hidroeléctricos y de riego operados por la AEE en las regiones Norte y Sur, en zonas donde escasea el agua para usos domésticos y agrícolas. La falta de infraestructura adecuada para optimizar la operación de los sistemas de la AEE limita la capacidad de la agencia para optimizar el uso de agua de los embalses y sistemas de riego que opera.

La implantación de medidas estrictas de conservación es el mecanismo más importante que permitirá que Puerto Rico pueda contar con abastos adecuados en el futuro previsible. Las siguientes estrategias representan iniciativas fundamentales en las metas del DRNA como parte del Plan Integral de Aguas del 2004.

3.3.1 REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LOS SISTEMAS DE LA AAA

Las extracciones por la AAA para producción de agua potable constituyen el uso principal de agua en Puerto Rico. A mayor razón de extracción de agua, mayor es la cantidad de agua que resulta en pérdidas. Como se indicara anteriormente, en el 2002 la AAA extrajo aproximadamente 612 mgd de agua cruda de ríos, quebradas, embalses, manantiales y acuíferos en la Isla. La producción neta de agua potable producto de esta extracción es de aproximadamente 580 mgd, ya que un promedio del 7% del agua potabilizada se utiliza en el lavado de filtros y es descargada nuevamente a las fuentes de extracción (ríos, quebradas y embalses, ya que las aguas extraídas de acuíferos no son filtradas). Esta cantidad equivale a una extracción per cápita de 150 galones por persona por día (gppd). La AAA sirve la mayor parte del agua a residencias, aunque provee abastos sustanciales a oficinas de los gobiernos central y municipales, comercios (incluyendo hoteles y centros comerciales), industrias, y sistemas de control de incendios (hidrantes).

Datos históricos sobre consumo de agua en Puerto Rico y estudios en otros lugares, sugieren que el consumo actual per cápita de agua es de aproximadamente 85 gppd. Si utilizamos el valor de 95 gppd, resulta que aproximadamente el 45% del agua que produce la AAA se pierde en los sistemas de distribución y almacenaje. Los argumentos de que parte de esta agua no está contabilizada debidamente, o que se

utiliza en conexiones no-autorizadas, es parcialmente cierto aunque es posiblemente una fracción de las pérdidas. La producción de la AAA y el consumo per cápita son valores medidos o calculados de datos relativamente confiables. La única posibilidad de error en estos estimados es que el consumo per cápita promedio de la Isla sea mayor, lo cual no hace sentido racional ante las costumbres y hábitos de los puertorriqueños, y datos reales de facturas donde se mide el consumo por parte de la AAA (ver el Estudio de Pérdidas en los Sistemas de la AAA, DRNA, 2004). Históricamente las pérdidas en los sistemas de distribución de la AAA han aumentado, a medida que la red se extiende y envejece (Quiñones, 1995). La AAA opera una red de tuberías de aproximadamente 18,000 Km. de longitud, incluyendo miles de bombas y válvulas, así como cientos de tanques de almacenaje. En cada uno de estos componentes, interconexiones defectuosas, roturas y filtraciones en las uniones promueven pérdidas cada vez mayores. La eficiencia de muchas de las plantas se reduce a medida que los sistemas de filtro agotan el medio filtrante, requiriendo lavados más frecuentes, lo que a su vez resulta en consumos más altos de agua. La AAA no ha implantado un programa efectivo de reducción de pérdidas, y por el contrario, continúa extrayendo cada vez más agua en los puntos donde mantiene franquicias registradas o de uso. Al presente no existe un plan, o programa sistemático, o definido para controlar y reducir las pérdidas en los sistemas de la AAA.

El hecho de que la AAA pierda físicamente hasta el 45% del agua que produce afecta directamente en la conservación de los cuerpos de agua. Los ríos, quebradas, embalses, manantiales y acuíferos que proveen el agua que extrae la AAA, pudieran conservarse a largo plazo si las pérdidas se redujeran efectivamente. Algunos ejemplos de efectos beneficiosos inmediatos a los cuerpos de agua de reducciones en las pérdidas de la AAA incluyen:

- Eliminación eventual de la práctica de extraer agua en exceso del rendimiento sostenible de los cuerpos que la suplen. Las extracciones de agua por parte de la AAA agotan prácticamente todo el flujo en ríos tales como Canovanillas, Canóvanas, Nigua y Coamo. Los acuíferos de los valles costaneros de las regiones Norte y Sur sufren de extracciones excesivas a lo largo de zonas extensas, lo que

ha resultado en descensos severos en los niveles del agua y aumentos en la intrusión salina. Reducciones de hasta el 50 % de las extracciones actuales en sectores de estos acuíferos son necesarias para permitir su recuperación parcial, aunque en algunas zonas será necesario inducir recargas mayores para lograr una recuperación real.

- A largo plazo, las reducciones en las extracciones de agua por parte de la AAA redundarían en otros beneficios ambientales y económicos, incluyendo:

    1. Reducciones en los programas de inversiones capitales para el desarrollo de nuevos embalses o tomas de agua. Los embalses suplen el 70 % del agua que extrae la AAA, y en la mayor parte de las regiones tienen suficiente capacidad para suplir las demandas diarias, excepto durante sequías extremas. Esta capacidad sería más confiable si las pérdidas en los sistemas de distribución se redujeran, ya que las extracciones durante sequías serían menores. Esto permitiría mantener por un período más largo el nivel seguro de los embalses. En varias regiones, la capacidad de los embalses es adecuada para satisfacer las demandas actuales y en el futuro inmediato (10-20 años) de agua de la AAA, sujeto a reducciones en las pérdidas. La inversión capital en varios de los embalses planificados por la AAA podría postergarse permitiendo a la agencia mejorar otros elementos de su infraestructura.
    2. Oportunidad de desarrollar e implantar planes para la restauración de los embalses (planes de conservación de cuencas, dragados, aumentos en capacidad estructural, cambios en reglas de operación).
    3. Oportunidad para desarrollar e implantar planes para la restauración de acuíferos, o sectores de éstos, afectados por extracciones excesivas o por contaminación química o intrusión salina.
    4. Mejoras en la calidad del agua y la vida acuática en los ríos, quebradas, embalses, y estuarios. Reducciones en extracciones por parte de la AAA

resultarían en aumentos en los flujos mínimos durante períodos de estiaje. Esto a su vez mejoraría la calidad del agua y la vida acuática.

Los beneficios ambientales y económicos que resultarían al reducir las pérdidas en el sistema de producción y distribución de agua potable de la AAA son tan significativos que ameritan la adopción de una política pública sobre el particular. Además de la política pública propuesta, el DRNA adoptará las siguientes normas:

1. Condicionará el renovar u otorgar franquicias nuevas a la AAA a que ésta agencia reduzca las pérdidas por filtraciones a un valor acordado en un plan formal a ser definido entre ambas agencias. El plan deberá ser sometido para aprobación por el DRNA previo a otorgar o renovar la franquicia.
2. La AAA y el DS necesitan formalizar una estrategia para el reuso de una fracción más alta de las aguas potabilizadas que se utilizan para el lavado de filtros, y que representan un caudal estimado en 32-35 mgd. La implantación de nuevas técnicas de tratamiento de agua permite el reuso de la mayor parte de estas aguas, estimándose que se podrían recobrar hasta 20-25 mgd.

Otras medidas propuestas para promover la conservación del agua incluyen:

1. La AAA deberá designar un Comité de Tarifas que lleve a cabo un análisis exhaustivo de las tarifas de la AAA. El comité deberá incluir a representantes del Comité de Recursos de Agua y funcionarios de la AAA. El comité preparará en tres meses luego de instituido un informe y recomendaciones a la Junta de Gobierno de la AAA sobre cambios en el sistema de tarifas de la AAA.
2. Enmendar las reglamentaciones existentes para requerir sin excepciones el uso de grifos, duchas e inodoros que consuman menos agua. Al presente esta práctica es esencialmente voluntaria, en parte debido a que la ley que los requiere no cuenta con medidas para fiscalizar su uso e implementación.

La imposición de tarifas especiales significativas a equipos que no cumpla con las normas de conservación de agua resultaría en fomentar el uso de los mismos. Es necesario revisar la legislación vigente para incorporar un arbitrio a todo equipo de plomería que no cumpla con el requerimiento de ahorrar en el gasto de agua. Este incentivo negativo generará demanda por los equipos que ahorran en consumo de agua. Se deberá incluir que se le ordene a ARPE el no otorgar permisos de construcción si en el plano de de plomería no especifica la instalación de quipo de ahorro en el consumo de agua, ni permiso de uso a ninguna estructura que no tenga este tipo de equipo instalado. También se debe establecer que toda estructura gubernamental que se construya o renueve tiene que cumplir con esto, incluyendo el que el Departamento de la Vivienda no autorizará, ni endosará la construcción de viviendas que no cumplan con la instalación de equipo de ahorro en el consumo de agua. Utilizar equipo de plomería que conserva agua ha demostrado reducir el consumo residencial en 26% (Morris, 2000).

3. Desarrollar e implantar un programa educativo efectivo y continuo sobre la conservación de agua en los medios noticiosos y las escuelas.

    a. La AAA llevará a cabo campañas de conservación de agua, usualmente durante épocas de sequías de forma continua. Estas campañas son necesarias para mantener al consumidor alerta e informado de la necesidad de conservar el agua.
    b. El DRNA promoverá de forma continua, e independiente, en los medios noticiosos una campaña sobre la conservación del agua tomando en cuenta la naturaleza de cada región hidrográfica de Puerto Rico.
    c. El DRNA preparará material educativo sobre los recursos de agua en la Isla y coordinará con el Departamento de Educación para su integración en el prontuario de educación ambiental en las escuelas públicas.

3.3.2 RESTAURACIÓN DE EMBALSES

La conservación y restauración de los embalses existentes en Puerto Rico es vital para garantizar abastos de agua confiables en el futuro y minimizar la necesidad de desarrollar nuevas represas. Los embalses son el abasto de agua público principal en Puerto Rico, supliendo el 68 % del agua que utiliza la AAA y aproximadamente el 9% del agua que se utiliza para riego agrícola. Los embalses principales en la Isla se resumen en la Tabla 3-1, que incluye el nombre, año de construcción, capacidad inicial, capacidad actual y la cantidad de agua que se extrae para producir agua potable y riego agrícola. La tasa de sedimentación y la vida útil proyectada para estos embalses se ilustra en la Figura 3-1. El análisis de los datos demuestra que la mayor parte de los embalses en la Isla sufren de tasas de sedimentación altas que reducen su capacidad vertiginosamente. Varios de los embalses principales, incluyendo a Guayabal, Dos Bocas, Loco, Prieto y Yahuecas han perdido más del 50% de su capacidad original. Sin embargo, la mayor parte de los sedimentos en estos embalses yace en la zona que no afecta todavía el rendimiento seguro efectivo de estos recursos.

Tabla 3-1. Características principales de los embalses mayores en Puerto Rico.

Embalses	Año en que se construyó	Capacidad original, en acres-pies	Capacidad estimada para el año 2004, en acres-pies	Por ciento (%) pérdida de capacidad	Vida útil remanente, en años
Caonillas	1948	45,100	33,400	26	160
Carite	1913	11,300	8,560	24	285
Cerrillos	1991	47,900	47,300	1	958
Cidra	1946	5,300	4,580	14	370
Coamo	1914	2,830	---	---	---
Dos Bocas	1942	30,400	13,200	56	48
El Guineo	1931	1,860	1,520	18	328
Fajardo	2004	4,455	4,455	0	> 2,000 [1]
Garzas	1943	4,700	4,060	14	385
Guajataca	1928	39,300	33,900	14	481
Guayabal	1913	9,580	4,800	51	97
Guayo	1956	15,565	13,100	16	269
La Plata	1974	32,600	27,800	15	171
Loco	1951	1,950	604	69	24
Loíza	1953	21,700	14,700	32	60
Luchetti	1952	16,500	9,060	45	62
Matrullas	1934	3,010	2,480	18	324
Patillas	1914	14,300 [2]	10,600 [2]	24 [2]	126 [2]
Prieto	1955	621	107	83	10
Toa Vaca	1972	55,900	51,700	8	394
Yahuecas	1956	1,430	69.6	95	3

--- Sedimentado, en proceso de restauración.
1 Se estima que el embalse tardará 2,100 años en perder la mitad de su capacidad de almacenaje.
2 Datos de capacidad original no disponibles. Capacidad según calculada en 1961 (Luis R. Soler, 1999, Sediment Survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997: USGS). Los cálculos se realizaron a base de 36 años de datos presentados en el estudio citado.

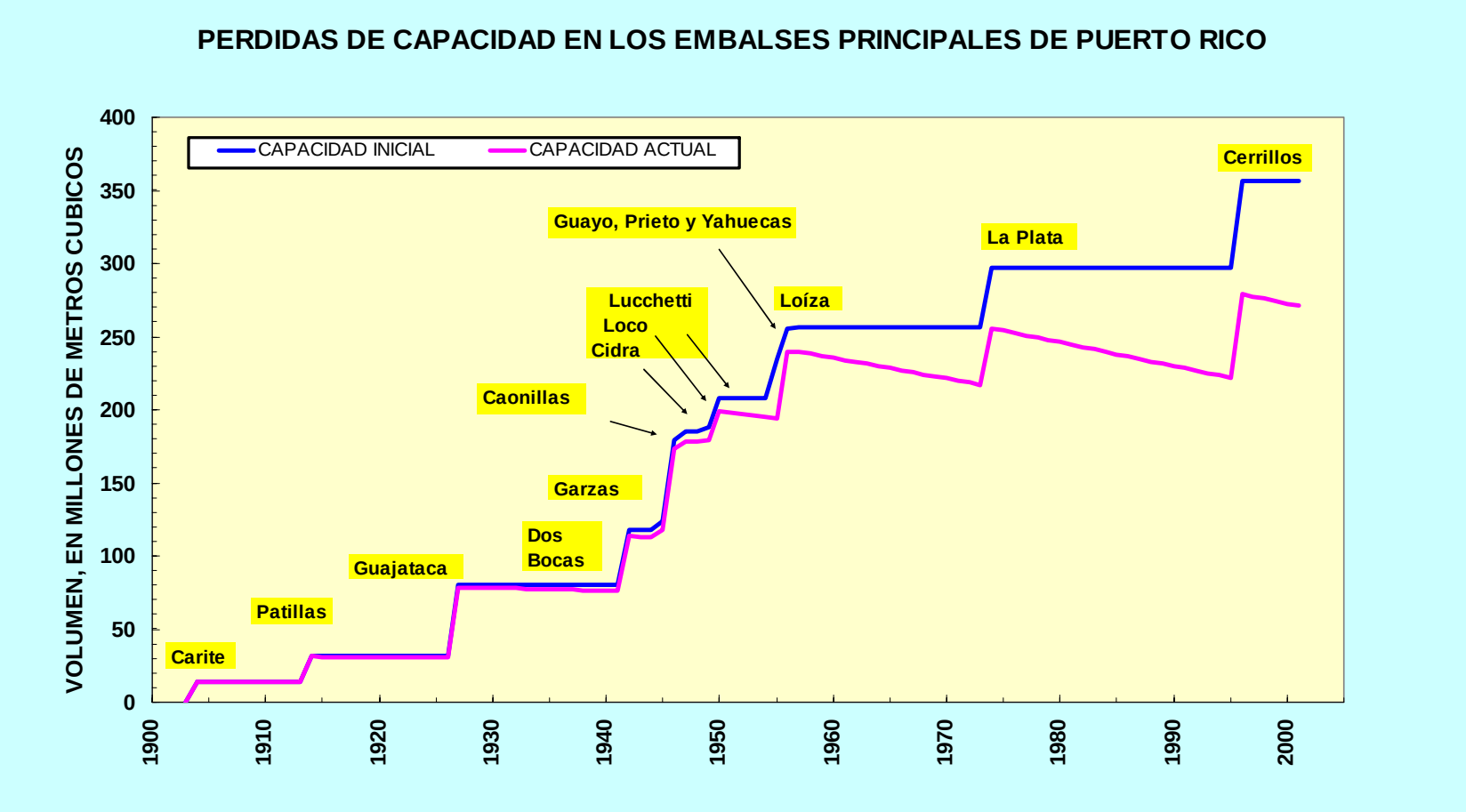


Figura 3-1. Relación de pérdidas de capacidad en los embalses principales de Puerto Rico con el tiempo desde su construcción.

Por otro lado, el desarrollo de nuevos embalses es cada día más complicado y extenso en tiempo debido a factores de impacto ambiental así como el número limitado de lugares aptos para nuevas represas. Los embalses ocupan predios extensos de terrenos, ya sea en las laderas del cauce del río que los forma, así como en depresiones u hondonadas en lugares donde se pueden construir represas fuera de los ríos. Las represas en el cauce de los ríos alteran todos los procesos hidrológicos y ecológicos del canal que embalsan, afectando la vida acuática y la calidad del agua.

Existen pocos lugares en la Isla donde no se han establecido residencias, por lo que los embalses también resultan en impactos sociales, ya que usualmente requieren reubicar residentes o eliminar actividades agrícolas. Además de estas consideraciones ambientales, desde el punto de vista geográfico, el número de lugares aptos para el desarrollo de embalses es cada día más limitado. Entre las cuencas principales en la Isla, solamente las de los ríos Grande de Manatí, Añasco y Culebrinas no cuentan con represas significativas. En la región este, donde los ríos son caudalosos debido a la abundancia de lluvia, los límites del Bosque Nacional del Caribe impiden el desarrollo de embalses. En la Región Central existen varios lugares incluyendo las cuencas de los ríos Bauta cerca de Orocovis; Rosario cerca del poblado de Rosario al sur de Mayagüez; Casei cerca de Añasco; y Valenciano cerca de Juncos; donde existen condiciones hidrológicas y geográficas favorables para el desarrollo de nuevos embalses. Fuera de estos lugares, las únicas alternativas son embalses de capacidad limitada fuera de los cauces de los ríos, similares al Embalse Fajardo, recientemente completado.

Las pérdidas de capacidad de los embalses en la Isla se deben a varios factores naturales e inducidos por actividades humanas. Las represas que forman los embalses son escollos en el paso de un río en su descenso de las zonas altas de su cuenca hacia su desembocadura en otro río o al mar. En todas las cuencas ocurre a mayor o menor grado erosión de los suelos, que luego son transportados hacia los cauces de las quebradas y los ríos. Estas tasas naturales de erosión y transporte de sedimentos aumentan o disminuyen en proporción a la cantidad e intensidad de la lluvia, las

características de los suelos, las pendientes de las cuencas y la cubierta vegetal. En comparación, la deforestación y remoción de la corteza terrestre aceleran la erosión de los suelos y el transporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua y eventualmente a los embalses. Los estudios del USGS en la Isla demuestran que en cuencas menos desarrolladas, la tasa de generación de sedimentos es menor que en las desarrolladas. Como resultado, los embalses en cuencas desarrolladas se llenan de sedimentos más rápidamente que aquellos en cuencas que mantienen su cubierta vegetal.

Ante esta combinación de factores naturales y artificiales que contribuyen al transporte de sedimentos hacia los embalses, y las limitaciones ambientales y geográficas para el desarrollo de nuevos embalses, es indispensable adoptar medidas para proteger los embalses existentes. Estas medidas incluyen estrategias para minimizar la sedimentación de los embalses existentes, establecer prioridades para rehabilitar, mediante dragados, los más críticos en relación al por ciento de sedimentación y de mayor importancia en cuanto a fuentes de abasto. Estas estrategias incluyen medidas a corto y largo plazo, que se resumen en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Estrategias para la restauración o conservación de embalses.

Embalse	Cantidad de agua producida en millones de galones diarios	Por ciento (%) de capacidad remanente	Medidas de restauración o conservación
Dos Bocas-Caonillas	100	62	Dos Bocas requiere un dragado preliminar de inmediato; seguido de un dragado general en 10-15 años. Instituir dragado preventivo permanente.
Loíza (Carraízo)	100	68	Dragado en el 2000, esperando estudio del USGS para determinar condición. Instituir dragado preventivo permanente.
La Plata	70	85	Dragado necesario en 20-30 años. Instituir dragado preventivo permanente.
Cerrillos	22	99	Necesidad de estudio de actualización para determinar estatus.
Toa Vaca	15	93	No requiere dragado inminente.
Guajataca	20	86	No requiere dragado inminente.
Luchetti-Loco	17	52	Embalse Luchetti requerirá dragado en 15-20 años.
Carite	16	76	Dragado necesario en 20-30 años.
Patillas	30	76	Dragado necesario en 20-30 años
Guayabal	19	49	Dragado inmediato necesario.
Coamo	3	*	Dragado en progreso.

* Capacidad remanente se determinará en el 2005

El manejo efectivo y conservación de los embalses existentes requiere una estrategia que incluya medidas preventivas, además del dragado de aquellos que han perdido un por ciento alto de su capacidad. El Plan propone que se adopten las siguientes estrategias a corto y mediano plazo:

1. Desarrollo e implantación de planes de manejo y conservación de las cuencas hidrográficas que alimentan los embalses. Estos planes necesitan incluir medidas estructurales y gerenciales para reducir la remoción de los bosques, minimizar la remoción de la corteza terrestre, supervisar efectivamente los sistemas de permisos de control de erosión y sedimentación (CES y SWPP), mejorar las normas de cultivos agrícolas a tenor con las características y pendientes de los suelos, y promover la participación local. Estos planes deben incluir como primera prioridad las cuencas de los siguientes ríos donde existen embalses:

    a. Río Grande de Loíza
    b. Río Grande de Arecibo
    c. Río de La Plata
    d. Río Guajataca
    e. Río Toa Vaca y Río Jacaguas
    f. Río Grande de Patillas
    g. Río Yauco y Río Loco

2. En las cuencas de los ríos Grande de Arecibo, Guajataca y Loíza existen datos abundantes y principios de planes que deben adoptarse como base para los trabajos a realizarse. En segunda prioridad deben desarrollarse planes de manejo y conservación que incluyan las cuencas de los siguientes ríos:
    a. Río Guanajibo
    b. Río Fajardo
    c. Río Culebrinas
    d. Río Grande de Añasco
    e. Río Grande de Manatí

f. Río Camuy
g. Río Mameyes
h. Río Humacao
i. Río Yauco
j. Río Cibuco
k. Río Bayamón

Los planes deben desarrollarse utilizando como base los Sistemas de Información Geográfica (SIG) existentes sobre cada cuenca, y estructurados formalmente con Juntas de Conservación que incluyan representantes ciudadanos, de los gobiernos municipales y de las agencias del Gobierno Central.

3. Desarrollo en cooperación con los gobiernos municipales y el Departamento de Educación de programas educativos para el manejo y conservación de las cuencas. Es indispensable desarrollar una mejor conciencia de la importancia de las cuencas y los embalses para promover su conservación. Este programa deberá incluir:

   a. Desarrollo de prontuarios educativos sobre las cuencas y embalses para ser utilizados en las escuelas a todos los niveles.

   b. Coordinación con el Departamento de Educación para promover talleres educativos sobre cuencas y embalses para los maestros de escuelas intermedias y superiores.

4. Desarrollo por el DRNA en cooperación con el Departamento de Recreación y Deportes y la Compañía de Parques Nacionales de programas formales para el desarrollo, manejo y control de las áreas de recreación en las áreas circundantes a los embalses. Estos planes deberán incluir:

   a. Reforestación de la cuenca inmediata al embalse.
   b. Limitación y control de las áreas recreativas y su designación como parques.

c. Control más efectivo de acceso de embarcaciones a los embalses.

5. Zonificar como distrito de protección del recurso agua los terrenos susceptibles a erosión y no desarrollados en las cuencas de los embalses principales.

3.3.3 RESTAURACIÓN Y RECARGA DE ACUÍFEROS

La restauración, conservación y manejo adecuado de los acuíferos en Puerto Rico es otro elemento esencial de las estrategias para garantizar abastos de agua seguros y confiables a largo plazo. Como se indicara en la Sección 2.8, los acuíferos constituyen la segunda fuente de agua más importante en la Isla luego de los embalses. Las aguas subterráneas que se extraen de los acuíferos costaneros y centrales en la Isla proveen aproximadamente 144 mgd de agua para usos domésticos, agrícolas comerciales e industriales equivalente al 20% del uso total de agua dulce en la Isla. Los acuíferos de las regiones Norte y Sur proveen el 29% de las aguas subterráneas utilizadas para consumo. A pesar de la importancia de los acuíferos para el bienestar de la población en la Isla, su condición es generalmente de deterioro progresivo. Esta condición es el resultado de la combinación de extracciones excesivas al rendimiento sustentable, contaminación con compuestos químicos industriales y nutrientes producto de actividades agrícolas, e intrusión salina (véase Sección 2.10).

La restauración de un acuífero es un término relativo que requiere establecer una meta en comparación con las condiciones anteriores y la realidad presente. Las variables principales en este análisis son:

1. Definir las condiciones pre-desarrollo relativas al nivel del agua en los acuíferos (freático para acuíferos a presión atmosférica o no-confinados; y potenciométrico para acuíferos confinados o artesianos). Los acuíferos en Puerto Rico mantenían un equilibrio dinámico en los niveles del agua previo al inicio de su explotación o desarrollo a principios del Siglo 20. Este equilibrio dinámico representaba un balance entre la recarga por infiltración de la lluvia directa y la escorrentía, y las descargas naturales del acuífero a quebradas, ríos,

humedales, manantiales, lagunas costaneras y el mar. Una vez se explota un acuífero, es poco probable que éste revierta a su condición original. Para que esto ocurra tendrían que cesar todas la extracciones de agua y reestablecer la tasa de recarga a su condición de origen. Este último factor es casi imposible de lograr debido a que las zonas de recarga y la escorrentía se han reducido o afectado por el desarrollo urbano.

2. Definir las condiciones de equilibrio sustentable del acuífero. La cantidad de agua que se puede extraer de un acuífero está definida por: la capacidad de almacenaje y el flujo hidráulico.
    a. El almacenaje es la cantidad de agua en la zona saturada[1] del acuífero que se acumula en los poros de las partículas que lo forman.
    b. El flujo hidráulico es la cantidad de agua que descarga el acuífero hacia los cuerpos receptores debido a la pendiente del nivel freático o potenciométrico, el espesor de la zona saturada y las propiedades hidráulicas en los acuíferos. Este flujo hidráulico en el acuífero disminuye a medida que se reduce el nivel del agua (y por ende el espesor de la zona saturada en un acuífero no-confinado) debido a extracciones, ya que esto a su vez reduce la pendiente del nivel freático o el valor potenciométrico. En acuíferos confinados, el nivel potenciométrico establece la magnitud del flujo de descarga en proporción a su magnitud y las propiedades del acuífero.
3. En un acuífero operado idealmente, la extracción de agua se controla para mantener un nuevo equilibrio dinámico.
    a. En los acuíferos no-confinados, el análisis de sus propiedades y la cantidad de recarga ayudan a establecer la extracción máxima sustentable. Esto conlleva definir el nivel freático mínimo que se mantendrá en un nuevo equilibrio alimentado por la recarga. El manejo sustentable de un acuífero conlleva establecer el volumen máximo que se

[1] En los valles aluviales la zona saturada la forma material compuesto de arena, grava, piedras y barros los cuales se caracterizan por ser no-consolidados lo que hace que el agua se acumule casi uniformemente entre las partículas. En los acuíferos calizos la zona de saturación está formada por rocas sedimentarias marinas consolidadas. En éstas la porosidad se debe al espacio entre el material así como a cavidades secundarias ocasionadas por la disolución del carbonato de calcio en las rocas.

extraerá cada año el cual se reemplazará con la recarga. En este análisis es necesario considerar la recarga en años de sequías, la que disminuye proporcionalmente a la lluvia y la escorrentía. La cantidad máxima de recarga renovable se define mediante análisis hidráulicos sobre los efectos acumulativos de todos los pozos en los niveles del agua en el acuífero y los cambios en la recarga. El propósito es determinar cuál es el nivel freático mínimo que impida el avance tierra adentro de la cuña natural de agua salina, y que permita una extracción de agua renovada por la recarga natural o artificial. Aunque este análisis puede llevarse a cabo utilizando métodos analíticos manuales, los modelos hidrogeológicos de acuíferos preparados por el USGS permiten un análisis más preciso y rápido. Esta agencia, en acuerdo cooperativo con las agencias del ELA, ha desarrollado modelos hidrogeológicos para todos los acuíferos principales en Puerto Rico, lo que permite definir el nivel de desarrollo sustentable relativo para éstos.

b. En los acuíferos confinados, donde el nivel potenciométrico provee un diagnóstico de su condición, un análisis similar de las extracciones de agua y la recarga permite predecir el nivel de extracciones sustentables. Al igual que en los acuíferos freáticos el objetivo es permitir una extracción a un nivel óptimo que se mantenga por la recarga una vez el sistema alcance el nuevo equilibrio.

En el desarrollo de los acuíferos en Puerto Rico durante las últimas décadas, no se han implantado las reglas de operación antes descritas. Aunque para la década de 1970 existía suficiente información para delimitar extracciones máximas en la mayor parte de los acuíferos en la Isla (excepto el Acuífero Artesiano de la Región Norte), no se controlaron debidamente las extracciones de agua en estos sistemas[2]. Como se describe en las Secciones 2.4.1 y 2.4.2, la condición de los acuíferos de las Provincias

[2] Se destaca que la Ley de Aguas supra se adoptó en 1976 y su Reglamento (Reglamento de Aguas) entró en vigencia en 1984.

del Norte y del Sur es crítica, lo que requerirá medidas drásticas para su eventual recuperación y manejo óptimo.

Las siguientes estrategias se recomiendan, como medidas a corto y largo plazo para lograr la restauración de los acuíferos en la Isla:

1. Medidas a Corto Plazo (próximo año) –

    a. Declarar áreas críticas en los acuíferos principales. Será necesario implantar una moratoria en la aprobación de nuevas franquicias para extraer agua de los acuíferos costaneros de las regiones Norte y Sur, con excepción de la zona del acuífero superior entre los Municipios de Arecibo y Barceloneta y bolsillos en los acuíferos de la Región Sur. Esta acción requerirá declarar dichos acuíferos como áreas críticas según contemplado en la Ley de Aguas.
    b. Establecer como norma para otorgar las franquicias para autorizar la extracción de agua el incluir una condición en éstas dirigida a fijar el número de horas de operación máxima que cada pozo pueda operar.
    c. Determinar la viabilidad de sustituir las extracciones de agua subterránea en la zona de recarga del acuífero artesiano en el Municipio de Florida.
    d. Iniciar un estudio cooperativo con el USGS sobre el Acuífero Artesiano (Inferior) en la zona de Dorado - Arecibo, conducente a definir estrategias para su restauración y operación óptima. Coordinar un proyecto con la Asociación de Industriales, AAA, PRIDCO y otras entidades para la restauración de los pozos artesianos con roturas que resultan en pérdidas de agua subterránea de alta calidad.
    e. Continuar con la transferencia de tecnología y conocimiento desarrollada por el USGS a través de los estudios realizados mediante los acuerdos cooperativos con las agencias del ELA. Este transferencia permitirá la utilización de los modelos para definir los rendimientos sustentables de cada acuífero o zona de un acuífero, así como analizar medidas de recarga a los acuíferos y control del avance de la cuña de intrusión salina.

f. Delimitar las áreas de recarga de los acuíferos de las Provincias del Norte y del Sur. Requerir que todos los proyectos de desarrollo en estas áreas lleven a cabo estudios hidrológicos/hidráulicos para determinar medidas de ingeniería que garanticen que la recarga neta a los acuíferos no serán alteradas.

2. Medidas a Largo Plazo (2-5 años):

   a. Programar el cierre selectivo de pozos de la AAA y agrícolas en la regiones Sur y Norte hasta reducir las extracciones a niveles sustentables. Esto requerirá cumplir con procedimientos administrativos y legales definidos en la Ley de Aguas y el Reglamento de Aguas, así como coordinación con el programa de la AAA para reducciones de pérdidas en los sistemas de distribución de agua potable, además del desarrollo de fuentes alternas de abasto en estas regiones, de ser necesarias.
   b. Evaluar la viabilidad de desarrollar proyectos de recarga con aguas de escorrentía o sanitarias en sectores críticos en los acuíferos de las regiones Norte y Sur, incluyendo:
      i. Sectores de Ponce, Juana Díaz, Santa Isabel, Coamo, Salinas y Guayama.
      ii. La zona de Dorado, mediante la recarga al acuífero del efluente de la planta de tratamiento de aguas usadas terciaria que desarrollará la AAA en Toa Baja.
      iii. El área de Vega Alta, mediante el desvío de parte de la escorrentía del Río Cibuco para recarga del acuífero en la Sector de Ponderosa.

3. Una vez delimitadas las áreas de recarga de los Acuíferos Inferior y Superior, se establecerán las estrategias para el manejo adecuado de los acuíferos. Estas pueden incluir:

   a. El cierre parcial o total de pozos que opera la AAA en el área de Florida, que es la zona de recarga del Acuífero Artesiano. Las extracciones en Florida son una de las causas principales de la disminución en los niveles potenciométricos en el

Acuífero Artesiano en Barceloneta (OPA, 2004). Será necesario sustituir esta fuente de abasto de agua potable para el Municipio de Florida. Existen varias alternativas viables para proveer el agua necesaria a los residentes de Florida, incluyendo desviar parte del flujo del Superacueducto mediante una tubería expreso; construir un acueducto rural alimentado del Río Grande de Manatí cerca de Ciales; o desarrollar un manantial de gran caudal que descargue a dicho río.

b. Evaluar la viabilidad de la tecnología de desalinización para sustituir el agua subterránea que se extrae de los valles aluviales donde los acuíferos están sobre-explotados.

Las aguas subterráneas son de gran importancia para el bienestar y desarrollo socioeconómico de Puerto Rico, y deben estar disponibles para desarrollar aquellas actividades que sean de beneficio a la Isla. Las medidas antes propuestas para la restauración de los acuíferos principales requerirán recursos económicos sustanciales y la cooperación de varias agencias, incluyendo la AAA, la AEE y el DA.

3.3.4 CONTROL DE INUNDACIONES

Las lluvias intensas que periódicamente afectan a Puerto Rico y sus islas limítrofes causan inundaciones relativamente frecuentes y severas. La mayor parte de los valles costaneros en la Isla sufren inundaciones periódicas de gran magnitud, e inclusive los valles interiores. El DRNA estima que en la Isla existen cerca de 300,000 cuerdas (455 millas cuadradas) de terreno sujeto a los riesgos de inundaciones, de las cuales más de 200,000 cuerdas están ubicadas en la zona costanera. La JP estima que 160,000 familias residen en áreas sujetas a inundaciones. Las inundaciones ocurren cuando frentes de frío, vaguadas, tormentas y huracanes inducen lluvias abundantes en períodos cortos en la zona montañosa de la Provincia Interior de la Isla. En Puerto Rico se han registrado inundaciones severas en el 1899, 1928, 1933, 1960, 1970, 1975, 1985 y más recientemente a causa de los huracanes Hugo (1989), Hortense (1996) y Georges (1998) según se ilustra en la Figura 3-2. Estos eventos han causado

daños graves a la propiedad privada y pública, así como a la agricultura e infraestructura, además de causar pérdidas de vidas. Los efectos adversos de las inundaciones más recientes han sido mayores debido al desparrame urbano en los valles costaneros y del interior, donde residencias, negocios e industrias se ubican en zonas inundables. Un resumen de estas inundaciones se ilustra en la Tabla 3-3.

El desarrollo urbano en los valles inundables ha obedecido al crecimiento acelerado de la población de Puerto Rico acompañado del desarrollo económico. Anteriormente, el desarrollo no tomó en cuenta la sensitividad de las cuencas a cambios que afectan la intensidad y severidad de las inundaciones. Al presente, el desarrollo en zonas inundables clasificadas como zona 2 está sujeto a que demuestre que el mismo no altera los niveles de inundación en dicha zona. La JP y FEMA publican mapas de inundaciones que se utilizan para reglamentar los desarrollos en áreas inundables. Estos mapas tienen como base estudios de inundaciones históricas y la aplicación de modelos hidráulicos e hidrológicos para determinar la magnitud y la elevación del nivel del agua durante una inundación de frecuencia definida, ordinariamente de cien años. Le compete al DRNA evaluar y determinar si los Estudios Hidrológico-Hidráulico cumplen con los estatutos, incluyendo el requerimiento de mitigación. El DRNA es responsable de asegurar que la alteración u obstáculo propuesto al libre fluir de las aguas no afecta al cuerpo de agua en cuestión en cuanto a la calidad y cantidad de sus aguas. La JP no aprueba la ubicación de proyectos en sectores de la Zona Inundable 2 si no cuentan con el endoso previo del DRNA.

Fuente: USGS, 2004-10-30

Figura 3-2. Inundaciones históricas en Puerto Rico desde 1928-1988

Tabla 3-3. Inundaciones más significativas en Puerto Rico de 1899 a 1998.

Fecha	Área Afectada	Intervalo Recurrencia (años)	Comentarios
8 de agosto de 1899	Isla completa	Desconocido	Huracán San Ciriaco. Vientos con velocidad de 104 mph. Se registraron 23 pulgadas de lluvia durante 24 horas y 3,000 muertos. Daños estimados en $35 millones.
13 de septiembre de 1928	Isla completa	100	Huracán San Felipe. Vientos con velocidad de 160 mph, presión barométrica de 27.5 pulgadas; 300 muertos y daños estimados de $50-85 millones.
26 de septiembre de 1932	Isla Completa	Desconocido	Huracán San Ciprián. Vientos con velocidad de 115 mph, 40,000 casas destruidas, 70,000 familias sin hogar, 300 muertes; daños estimados en $30 millones.
6 de septiembre de 1960	Área este de Puerto Rico	25 a 80	Huracán Donna. Se registraron 19 pulgadas de lluvia durante 24 horas; 484 casas destruidas, 117 muertos; daños estimados de $7.5 millones.
27 de agosto de 1961	Noreste de Puerto Rico	2 a 25	Onda del Este. Registrándose 18 pulgadas de lluvia durante 24 horas; 630 casas destruidas, 5 muertos. Daños estimados en $11 millones.
9-11 de diciembre de 1965	Costa norte e interior	2 a 25	Frente de frío estacionario. Cientos de familias fueron evacuadas y 3 muertos; daños estimados en $11 millones.
9 de noviembre de 1969	Este de Puerto Rico	2 a 10	Se registraron 7 pulgadas de lluvia en 6 horas; 13 casas destruidas, 123 casas con daños, 6 puentes destruidos. Daños estimados en $6 millones.
5-10 de octubre de 1970	Dos terceras partes del este de Puerto Rico	2 a 50	Depresión tropical estacionaria. Se registraron 38.4 pulgadas de lluvia en 6 días, excediendo los registros previos; 600 casas destruidas, 6 puentes destruidos. Muertes, 18. Daños estimados en $68 millones.
16 de septiembre de 1975	Suroeste de Puerto Rico	25 a 100	Huracán Eloísa. Registrándose un máximo de 23 pulgadas de lluvia durante 24 horas en Maricao; 15 puentes destruidos, 34 muertos. Daños estimados en $125 millones.
7 de octubre de 1977	Este de Puerto Rico	2 a 10	Onda tropical asociada con una depresión en los altos niveles. Un total de 6 a 8 pulgadas de lluvia durante un período de 24 horas registrándose 2 muertes. Daños estimados en $4 millones.
26-27 de octubre	Área este y	2 a 25	Onda tropical combinada con un sistema de baja presión. Registrándose un

Fecha	Área Afectada	Intervalo Recurrencia (años)	Comentarios
de 1978	sur de Puerto Rico		total de 8.3 pulgadas de lluvia durante 24 horas en Humacao, 1 muerte y daños estimados en $6 millones.
29-31 de agosto de 1979	Este, sur y norte de Puerto Rico	2 a 25	Huracán David. Velocidad en los vientos de 75 millas por horas, 18 pulgadas de lluvia durante 3 días, 800 hogares destruidos, 8,000 hogares dañados. Daños estimados en $125 millones.
4 de septiembre de 1979	Norte y este de Puerto Rico	2 a 10	Tormenta tropical Frederic. Velocidad en los vientos entre 40 a 50 mph, olas entre 12 a 15 pies en el este, y la costa sur, 18 pulgadas de lluvia durante 3 días; 1,000 hogares destruidos y daños estimados en $7 millones.
12 de septiembre de 1982	Sur de Puerto Rico	2 a 25	Onda Tropical. Lluvias cercanas a 13 pulgadas en Peñuelas, 1 muerte; daños estimados en $6 millones.
3- 5 de noviembre de 1984	Este de Puerto Rico	2 a 10	Depresión estacionaria en los niveles altos, desarrollándose en la tormenta tropical Klaus. Lluvias entre 3 y 5 pulgadas en 3 horas, 1 muerte y daños estimados en $11 millones.
17-18 de mayo de 1985	Noreste y norte central de Puerto Rico	20 a 100	Baja depresión estacionaria. Lluvias intensas cercanas a 4 pulgadas en una hora, 1 muerte y daños estimados en $37 millones.
6-7 de octubre de 1985	Sur de Puerto Rico	>100	Onda tropical estacionaria. Registrándose 24.6 pulgadas de lluvias en 24 horas; 3,000 hogares dañados, 170 muertos y daños estimados en $125 millones.
5-6 de enero de 1992	Interior montañoso y varias costas del norte, este y sur de Puerto Rico	5 a > 100	Sistema combinado de frente frío con una vaguada. Se registró una lluvia de 20 pulgadas en 24 horas en la Región Montañosa Interior. Se produjeron 23 muertes, 167 heridos y 17 hospitalizados; los daños se contabilizaron en $150 millones.
10 de septiembre de 1996	Norte de la Puerto Rico	50 a 100	Huracán Hortense. Vientos máximos de 81 millas por hora. Se registró un lluvia de 22 pulgadas en 24 horas. Murieron 18 personas; se destruyeron o dañaron más de 1,000 viviendas.

Fecha	Área Afectada	Intervalo Recurrencia (años)	Comentarios
22 de septiembre de 1998	Interior de la Isla	50 a >100	Huracán Georges. Vientos sostenidos de 116 millas por hora. Se registró una lluvia de 30.3 pulgadas en 24 horas. Más de 20,000 residencias fueron destruidas y más de 100,000 residencias sufrieron daños; muchos puentes y carreteras sufrieron perjuicios.

3.3.5 OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS DE LA AEE

La AEE opera once (11) sistemas hidroeléctricos en embalses de su propiedad a través de Puerto Rico, generando un promedio anual de 65,700 Kilovatios de energía. Las características de estos sistemas se resumen en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Características generales de los sistemas hidroeléctricos operados por la AEE en Puerto Rico.

Sistema (Embalses)	Capacidad Hidroeléctrica de Diseño (Kilovatios)	Producción Hidroeléctrica Promedio Anual (Kilovatios)
Río Blanco (Icacos)	6,250	2,500
Toro Negro (El Guineo y Matrullas)	7,800	7,500
Dos Bocas (Caonillas y Dos Bocas)	45,100	17,600
Garzas (Garzas)	15,300	8,600
Yauco (Luchetti y Loco)	35,000	29,500
Total	**109,450**	**65,700**

Los embalses que alimentan las unidades hidroeléctricas operadas por la AEE tienen otros usos, incluyendo: suplir agua a plantas de filtración de la AAA; proveer abasto para riego agrícola; suplir abastos industriales; proveer almacenaje para mitigar inundaciones; y como lugares para actividades recreativas tales como la pesca y navegación. La AEE está consciente de la necesidad de optimizar el uso del agua disponible para estas actividades múltiples, y establece prioridades tomando en cuenta las reglamentaciones y leyes vigentes, compromisos previos y las necesidades de cada usuario.

Sin embargo, a medida que aumenta la demanda de agua para abasto público, riego agrícola, usos industriales y actividades recreativas, la AEE se enfrenta a conflictos entre estos usos y la generación de electricidad. La AEE opera cada embalse mediante una regla que mantiene el nivel de agua tomando en cuenta la época del año. Esta regla se basa en la capacidad de cada embalse y datos históricos de la

escorrentía en la cuenca que alimenta el embalse. La regla se diseña para garantizar la seguridad del embalse manteniendo el volumen máximo posible de agua durante la época de lluvia de modo que pueda estar disponible en los meses de menor lluvia o sequías. Las reglas de operación son únicas para cada embalse e incluyen condiciones máximas y mínimas de niveles a través del año. La AEE genera electricidad tomando en cuenta esta norma en la regla de operación. Durante períodos de lluvia y escorrentía abundante, existe el potencial de disponer de volúmenes de agua mayores para generar electricidad. Cuando los embalses alcanzan un nivel máximo, la AEE se ve obligada a generar electricidad, o a desbordar el agua en los vertedores de cada represa. A menudo, las descargas de las represas luego de generar electricidad o durante desbordes forzados, exceden la capacidad de utilización del agua por parte de la AAA o los sistemas de riego. El agua fluye entonces hacia el mar sin poder ser aprovechada debido a la falta de espacio para su almacenaje.

Las reglas de operación de los embalses de la AEE no han sido optimizadas tomando en cuenta la demanda de agua actual y las prioridades en el uso de las aguas establecidas en la Ley de Aguas de 1976. La operación de cada embalse donde la AEE genera electricidad se basa en prácticas anteriores, acuerdos informales con la AAA, demandas de agua estimadas, y las necesidades de generación hidroeléctrica. Esta práctica resulta en conflictos cuando ocurren las siguientes condiciones:

1. Durante sequías, cuando el nivel de los embalses baja y la generación hidroeléctrica continúa a pesar de que pudieran agotarse recursos de agua necesarios para abasto público o riego agrícola, que tienen prioridad sobre la producción de energía.
2. Cuando la demanda de agua para consumo y riego agrícola excede la cantidad disponible, pero la generación se continúa debido a emergencias en los sistemas de la AEE o prácticas operacionales.

La optimización de la operación de los embalses donde se genera electricidad por la AEE requiere la calibración de modelos matemáticos de usos múltiples. Estos modelos

utilizan datos estadísticos de la hidrología de la cuenca e información histórica de la operación del embalse (cambios en niveles). Una vez calibrado el modelo, se simulan escenarios que toman en cuenta las demandas de agua prioritarias (consumo, riego), capacidad de control de inundaciones y necesidades potenciales de navegación. Estos parámetros se balancean con el potencial generatriz del agua disponible basado en las prioridades seleccionadas.

El sistema de Caonillas-Dos Bocas es el único sistema hidroeléctrico operado por la AEE donde se ha calibrado un modelo matemático con las capacidades antes descritas. La AAA completó dicha optimización como parte de los trabajos para el desarrollo del Superacueducto del Norte. Este modelo (denominado "Optimiza") provee reglas de operación a la AEE para optimizar la generación hidroeléctrica tomando en consideración las necesidades de agua del Superacueducto. En condiciones de lluvias abundantes, el modelo permite que la AEE genere electricidad en forma liberal, controlando los niveles del Embalse Dos Bocas a niveles que permitan la navegación recreativa y turística. Afortunadamente, la cuenca del Río Grande de Arecibo, que alimenta los embalses de Caonillas y Dos Bocas, no ha sufrido períodos de sequías severas desde la inauguración del Superacueducto en el 2000. No obstante, esto ha impedido que pueda validarse la calibración del modelo y determinar si la optimización es práctica. En los otros sistemas donde la AEE opera unidades hidroeléctricas, las reglas de operación se basan en prácticas acostumbradas de mantenimiento de niveles.

La optimización eventual de los sistemas hidroeléctricos que opera la AEE requerirá varias iniciativas, incluyendo:

1. El desarrollo y calibración de modelos de optimización tomando en cuenta los usos múltiples de cada embalse o sistema de embalses y las prioridades para el uso del agua establecidas por el DRNA basado en la Ley de Aguas.
2. Un análisis detallado del equipo en las instalaciones hidroeléctricas para determinar su eficiencia en comparación con equipos más modernos. La mayor

parte de las unidades hidroeléctricas que opera la AEE datan de varias décadas. Avances tecnológicos modernos han resultado en el desarrollo de unidades generatrices hidroeléctricas de alta eficiencia que requieren menos cantidad de agua (o elevación del nivel del agua). El estudio debe incluir un análisis de costo-beneficio de la modernización de las unidades hidroeléctricas en operación tomando en cuenta las prioridades del uso de agua.

3. Un estudio sistemático de los sistemas hidroeléctricos inactivos, así como de los embalses donde no existen unidades generatrices. Este estudio proveería información para determinar la viabilidad de modernizar o reparar las unidades existentes fuera de operación, o instalar nuevas unidades en un número mayor de embalses. Este estudio tiene que tomar en cuenta las prioridades en el uso del agua según establecido en la Ley de Aguas.

Mientras se completan los estudios indicados, la política pública del ELA sobre la generación hidroeléctrica necesita coordinarse a través del Comité de Recursos de Agua. Un subcomité de este cuerpo necesita establecer acuerdos para la operación de los embalses que maneja la AEE donde se produce electricidad, particularmente durante períodos de sequías.

3.3.6 REUSO DE AGUAS SANITARIAS

El reuso de parte de los 223 mgd de aguas sanitarias generadas por la AAA y descargadas a los ríos, estuarios y el mar es una actividad en beneficio de los recursos de agua en Puerto Rico que puede implantarse a corto plazo. Esta acción tiene el beneficio directo de reducir el ritmo de extracción de agua tanto de cuerpos de agua superficiales como subterráneos. La implantación de esta alternativa requiere que:

1. El Secretario del DRNA nombre un Comité Timón de Reuso de Aguas. Este Comité tendrá la misión de estructurar los elementos del Programa de Reuso.
2. Análisis legal de la acción propuesta para determinar su viabilidad de acuerdo al marco jurídico presente que rige este asunto. Este análisis debe determinar si es

necesario preparar y promover legislación que permita el reuso directo de las aguas sanitarias tratadas y descargadas al medioambiente por la AAA. Las reglamentaciones vigentes federales y estatales establecen limitaciones en el reuso de aguas sanitarias como medidas previsoras para minimizar el potencial de efectos adversos a la salud de los consumidores de posibles contaminantes biológicos y químicos en las aguas usadas.

3. Establecer normas para el reuso de aguas sanitarias desde el punto de vista de salud ambiental y percepción pública de acuerdo a los hallazgos del análisis legal.
4. Implantación del Plan de Reuso el cual debe incluir proyectos específicos que se promoverán, a corto, intermedio y largo plazo en cuanto a volumen de efluente a reuso en un término fijo. Algunos proyectos de reuso de aguas sanitarias cuya viabilidad puede evaluarse en el corto plazo incluyen:
   a. Recarga del Acuífero de Santa Isabel-Coamo con el efluente de la Planta de Tratamiento Regional de Santa Isabel.
   b. Reuso en las calderas de parte del efluente de la Planta de Tratamiento de Ponce y de la de Guayanilla en las plantas de la AEE en Costa Sur.
   c. Reuso en las calderas de parte del efluente de la Planta Regional de Arecibo en la Planta de la AEE en Cambalache.
   d. Reuso en las calderas de parte del efluente de la Planta de Tratamiento de Bayamón y Puerto Nuevo en las plantas de la AEE en Palo Seco y Puerto Nuevo respectivamente.
   e. Reuso del efluente de la nueva Planta de Filtración de Fajardo recirculando el efluente al Acueducto Regional de Fajardo.
   f. Reuso del efluente de la Planta de Filtración Terciaria de Dorado para recargar el acuífero de la zona.
   g. Reuso del efluente de la Planta de Tratamiento de Vega Alta para recargar el acuífero en esa zona.
5. Evaluar la viabilidad técnica y legal de los siguientes elementos sobre reuso:
   a. Diseño y adopción de normas de reuso directo e indirecto mediante la preparación de un reglamento a esos efectos.
   b. Requerir el reuso de todos los efluentes terciarios en la Isla.

c. Requerir que todos los campos de golf aliados a desarrollos urbanos reusen las descargas sanitarias de dichos desarrollos.

Aunque no se contempla en el Plan Integral en esta etapa, el reuso de las aguas industriales descargadas a los cuerpos de agua es también necesario a largo plazo.

3.3.7 REUSO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL

El reuso de parte de la escorrentía pluvial en las zonas urbanas constituye una fuente potencial de abasto de agua adicional para diversos usos en Puerto Rico. Las zonas urbanas de la Isla ocupan aproximadamente 367 mi^2 de área, ubicando la mayor parte de las ciudades de tamaño mayor en los valles costaneros cerca del mar. La Zona Metropolitana de San Juan y las ciudades de Arecibo, Aguadilla, Mayagüez, Ponce, Guayama y Fajardo, ubican en la costa cercana al mar. Estos centros urbanos ocupan aproximadamente el 90% de las zonas urbanas en la Isla. Balances de agua promedio para las cuencas en Puerto Rico indican que la escorrentía neta es del orden de 1.15 mgd por mi^2. Esto sugiere que aproximadamente 420 mgd de escorrentía pluvial descarga a los cuerpos de agua en las zonas urbanas o directamente al mar. Este volumen de agua es significativo, y necesita considerarse en los planes de manejo integrados de los recursos de agua en la Isla.

Sin embargo, el reuso potencial de estas fuentes para abasto público presenta escollos significativos debido a la calidad del agua y la infraestructura necesaria para su captura, purificación y distribución.

1. Los estudios de la EPA y la JCA establecen que la escorrentía pluvial de zonas urbanas contiene varios contaminantes en concentraciones que exceden las sugeridas por la EPA y el DS como fuentes para agua potable. Esto incluye aceites, grasas, solventes, bacterias, nutrientes y sólidos disueltos. Su uso potencial como fuente de agua potable requeriría el endoso del DS y posiblemente tratamiento especial complejo para remover los contaminantes indicados.

2. La escorrentía pluvial en las zonas urbanas inicialmente surge de puntos múltiples dispersos, retenida temporalmente en lagunas de detención de urbanizaciones y parques comerciales e industriales, concentrándose luego en tuberías soterradas y canales artificiales y naturales. Generalmente, esta concentración ocurre en las partes de poca elevación. Aunque en otras ciudades en EE.UU. existen lagunas de detención de tamaño significativo (como en el Parque Central de Nueva York), las ciudades costaneras en la Isla no disponen de espacios adecuados para el desarrollo de lagunas de detención de tamaño mayor. El agua generalmente fluye hacia el mar desde canales que reciben el flujo de las lagunas de detención menores. Esto implica que aunque fuera permitido extraer agua de estos sistemas para tratarlas y utilizarlas como fuente de agua potable, durante sequías estos canales mantienen flujos residuales mínimos, que generalmente son inadecuados para proveer un abasto adecuado a plantas de purificación. La única alternativa sería el desarrollo de lagunas de detención de tamaño adecuado para alimentar plantas de purificación cercanas. Las limitaciones de espacio en las ciudades en la Isla limitan esta oportunidad.
3. Aún cuando fuera posible desarrollar lagunas de retención de escorrentía en las zonas urbanas con capacidad adecuada para proveer un abasto de agua seguro significativo, la viabilidad de operar plantas de purificación en dichas zonas es cuestionable. La integración a los sistemas de distribución de plantas de purificación en zonas costaneras conlleva sistemas de transmisión y bombeo complejos que pueden implicar costos significativos. La localización de las plantas purificadoras en zonas elevadas provee energía hidrostática que resulta en minimizar los costos energéticos.

En conclusión, en la Isla existen otros recursos de agua disponibles cuyo desarrollo, cuando sea necesario, puede llevarse a cabo a un costo menor que la reutilización de la escorrentía pluvial. El Plan Integral de Aguas reconoce que este recurso existe, pero que en la ventana de tiempo de planificación hasta el 2025, su posible utilización es limitada, o no representa una oportunidad real en este momento.

3.3.8 DESALINIZACIÓN DE AGUAS SALOBRES Y SALINAS

La desalinización de aguas salobres y salinas es un componente de la estrategia del ELA para atender las demandas actuales y futuras de agua dulce en Puerto Rico. Como se indicara en la Sección 2.5, la Isla disfruta de una fuente esencialmente infinita de aguas salinas y cantidades significativas de aguas salobres potencialmente renovables. Sin embargo, este elemento de la estrategia para el manejo y la conservación de los recursos de agua conlleva la consideración de los siguientes factores:

1. El método más eficiente y de menor costo para desalinizar agua es el proceso de RO utilizando agua salobre en vez de salina. La eficiencia de los sistemas de RO mejora mientras menor es la salinidad del agua. La eficiencia mejora hasta un 58% si se usa agua con una concentración menor de 10,000 mg/L de sólidos disueltos (sales), en lugar de agua de mar (AWWA, 2003). El uso de métodos de destilación de agua de mar o salobre reduce la eficiencia del proceso, aumentando el costo significativamente.
2. El costo de la desalinización de agua es mucho mayor que el de producir agua potable de fuentes superficiales y subterráneas. En el 2003, el USGS estimó que el costo promedio de desalinizar agua utilizando RO era de aproximadamente $3 por cada 1,000 galones. Esto no incluye el costo de distribución ni la depreciación del equipo. En comparación, el costo de producción de agua del Superacueducto de la Costa Norte es menor de $0.75 por cada 1,000 galones. La AAA factura el agua que produce de fuentes superficiales y subterráneas a un costo promedio de $2.50 por cada 1,000 galones, con un costo de producción mucho menor.
3. El costo de desalinización de agua aumenta directamente con el costo de la energía. Las plantas desalinizadoras, incluyendo las de RO, consumen cantidades altas de energía. El aumento en el costo de petróleo resultará en incrementos sustanciales en el costo futuro de desalinización. Las plantas desalinizadoras que utilizan electricidad de suplidores como la AEE que dependen primordialmente de aceites derivados del petróleo, se enfrentan a aumentos sustanciales en el costo de la energía a medida que aumente el costo del petróleo. El costo futuro de la

producción de agua potable de fuentes superficiales y subterráneas también aumentará con el aumento en el costo de la energía, pero mucho menos. Esto se debe a diseños estratégicos de las plantas de filtración y líneas de distribución que toman ventaja de la gravedad.

4. La vida útil y el mantenimiento de las plantas desalinizadoras es menor que la de un embalse, una planta de filtración de agua dulce, o de un pozo. El agua salina o salobre es corrosiva, afectando con mayor rapidez todos los componentes de una planta desalinizadora. La vida útil de un embalse o una planta tradicional puede exceder 50 años, mientras que las plantas desalinizadoras requieren mantenimiento constante y rehabilitaciones generales para extender su vida útil más de 20 años. El costo de la inversión capital inicial, más los costos de operación y mantenimiento, incrementan sustancialmente el costo de la desalinización.
5. La disposición del concentrado salino de una planta desalinizadora requiere estudios complejos y permisos especiales locales y federales. En la zona marítima de la Isla donde habitan especies de flora y fauna en peligro de extinción, o de importancia, las agencias locales y federales no endosan descargas que alteren los ecosistemas costaneros.
6. La integración de las plantas desalinizadoras a los sistemas de distribución requiere análisis hidráulicos e inversiones sustanciales. En muchas zonas de la Isla las necesidades de abastos de agua están concentradas en la zona montañosa en terrenos elevados. Aunque es posible bombear el agua salobre o salina a una planta ubicada en zonas elevadas, esto incrementa el costo de la desalinización.
7. No es necesario llevar a cabo estudios pilotos para proyectos de desalinización por RO. La tecnología ha sido probada en muchos lugares operando mundialmente más de 1,200 plantas de desalinización que la utilizan efectivamente.

La desalinización se ha representado como una panacea que puede resolver los problemas de abasto de agua de los municipios o regiones de Puerto Rico que sufren escasez debido a problemas de pérdidas en los sistemas de la AAA, o por la falta de recursos de agua adecuados. El DRNA endosa iniciativas para la desalinización de agua sujeto a las siguientes condiciones:

1. Desalinización de agua salobre en lugar de agua salina usando RO.
2. Se demuestre que no existen otras alternativas razonables de abasto de agua dulce. En general, en Puerto Rico disfrutamos de abastos de agua abundantes, y excepto por las pérdidas en los sistemas de distribución de la AAA, estos son adecuados para satisfacer todas las demandas actuales y futuras.
3. Se demuestre su viabilidad económica y ambiental, particularmente el costo energético.

3.3.9 EDUCACIÓN COMUNITARIA SOBRE LA CONSERVACIÓN DEL AGUA

La Ley de Aguas requiere en su Artículo 5 (n) al Secretario del DRNA "divulgar información y promover el conocimiento acerca de los problemas y recursos de agua de Puerto Rico". Esta tarea es afín con el Plan Integral de Aguas, ya que la educación comunitaria contribuye a lograr las de conservación, desarrollo y uso prudente de los recursos de agua de la Isla. La actualización del Plan incluye estrategias para el desarrollo e implantación de programas educativos sobre el uso y conservación de los recursos de agua en Puerto Rico.

En general, el conocimiento entre la población sobre los recursos de agua en la Isla es limitado. No existen programas formales continuos de educación sobre los recursos de agua, excepto cursos de hidrología a nivel universitarios en varios de los recintos públicos y privados. En los niveles de educación primaria y secundaria, los prontuarios y guías de los cursos de ciencia del Departamento de Educación incluyen conceptos generales sobre los recursos de agua en la Isla. Estos prontuarios necesitan actualizarse. Además, los maestros en estos niveles educativos no reciben adiestramiento formal sobre los recursos de agua, lo que limita la información que éstos pueden transmitir a los estudiantes. La comunidad se informa sobre los recursos de agua que provienen primordialmente de los artículos en la prensa y por autogestiones ante la calidad del servicio de agua potable que reciben. En general, la prensa también desconoce elementos fundamentales sobre el agua y a menudo la información es incompleta o inexacta.

El DRNA, a través del Plan Integral de Aguas, propone desarrollar, implantar y coordinar programas educativos sobre los recursos de agua en los que se incluya a todos los sectores de la comunidad. Estas iniciativas incluirán:

1. Coordinación con el Departamento de Educación para desarrollar un programa de educación sobre recursos de agua con:
   a. Prontuarios educativos sobre los recursos de agua en la Isla. Esto incluirá los niveles elementales y secundarios.
   b. Talleres educativos para los maestros de ciencia sobre los recursos de agua.
2. Coordinación con los recintos universitarios para promover el desarrollo de un curso sobre ambiente en la Isla, que incluya recursos de agua y que sea requisito de graduación en todas las universidades. El DRNA proveería material educativo para uso de los profesores universitarios. Este curso puede coordinarse a través de la página en la Internet del DRNA y el Plan de Aguas.
3. Desarrollar un programa de educación comunitaria sobre los recursos de agua que incluya los siguientes elementos:
   a. Documentales fílmicos y breves para la televisión y la radio.
   b. Foros, talleres y conferencias comunitarias.
   c. Una columna permanente en uno de los periódicos de circulación general sobre los recursos de agua con escritores invitados.
   d. Publicación de artículos en revistas especializadas de Puerto Rico, como Acta Científica y la revista de colegios profesionales (Colegio de Ingenieros; Colegio de Agrónomos).
   e. Envío de hojas sueltas al consumidor, sobre la conservación del agua, ofreciendo incentivos económicos para estimular la conservación del recurso agua.
4. Desarrollo de un programa formal de becas para estudios graduados en recursos de agua en cooperación con la AAA, la AEE, el DE, la CFI y la JCA.
5. Coordinación de un programa de internado para estudiantes de escuela superior en el DRNA o en el USGS.

6. Coordinación de programas cooperativos entre el DRNA y el USGS para el destaque de empleados del DRNA, la JCA, la AAA y la AEE en el USGS.

3.3.10 REVISIÓN DE LAS LEYES Y REGLAMENTOS EN CONFLICTOS

La creación del DRNA en 1972 constituyó el primer paso dirigido a coordinar las funciones relacionadas al agua que hasta entonces estaban dispersas en diferentes agencias gubernamentales. Mediante la aprobación de la Ley de Aguas en 1976 se reconoce la falta de coordinación entre las agencias y la necesidad de una autoridad que centralice la toma de decisiones concernientes a los problemas de manejo y aprovechamiento de los recursos de agua. La Asamblea Legislativa señala que:

> *"… la falta de un ordenamiento jurídico que permita planificar y administrar el recurso en forma correspondiente con el desarrollo del País, y el desperdicio que de todo ello resulta, justifican que el Estado Libre Asociado de Puerto Rico adopte, con sentido de urgencia, la legislación y los reglamentos y establezca los mecanismos de planificación y administración necesarios para proteger las aguas del País y asegurar su más eficiente uso."* (Exposición de Motivos, Ley de Aguas)

Dado a que el agua es un recurso tan útil y con impactos tan diversos sobre la sociedad, durante las últimas cuatro décadas una variedad de agencias (estatales y federales) han desarrollado responsabilidades referentes al manejo y uso del recurso. Existen sobre diez agencias, estatales y federales, con responsabilidades específicas referentes al manejo de los recursos de agua en Puerto Rico. Sin embargo, a pesar de todo este esfuerzo gubernamental, los problemas del agua no sólo han persistido, sino que a veces se han agravado por la falta de coordinación entre estas agencias. Esta situación plantea un problema a nivel institucional.

Cada una de estas agencias ha establecido prioridades según sus propias metas. La falta de coordinación entre éstas se traduce en una confusión de enfoque, particularmente cuando las agencias compiten para la utilización del mismo recurso con propósitos diferentes.

La falta de coordinación también resulta en perdidas de esfuerzos y recursos económicos. Ejemplo de esto, son algunas áreas que en su momento tenían gran potencial para construirse en éstas embalses para diversos usos y ya no son una opción debido a la expansión no planificada del desarrollo. La intención legislativa que se expresa a través de la ley prever la necesidad de que todas las instituciones lleven a cabo sus acciones en conformidad con una estrategia que garantice la integridad de los recursos en el largo plazo.

La Ley de Aguas hace hincapié en la necesidad de manejar el recurso y buscar soluciones a los problemas utilizando un enfoque integral a largo plazo. Existe una relación sistemática donde el agua como recurso afecta a estos sistemas y éstos a su vez afectan el agua. Debido a esto es imprescindible una visión integradora con respecto al manejo del recurso agua.

> *"La adecuada administración de esta política exige una visión de conjunto, una perspectiva integradora de nuestros problemas hidrológicos. El propio ciclo hidrológico donde el recurso se nos manifiesta en su variedad de estados y formas constituye, recuérdese, una unidad en vez de una sucesión de fenómenos aislados. De igual manera, como un conjunto, debe ser administrada la presente Ley."* (Ley de Aguas, Exposición de Motivos)

La falta de coordinación entre las agencias es uno de los problemas que más dificultan la planificación y administración del recurso agua para lograr su manejo eficiente. La preparación del Plan Integral de Aguas y el Comité de Recursos de Agua son dos de

los mecanismos establecidos por la ley supra para resolver el problema de falta de coordinación entre las diversas agencias y el sector público y privado. No obstante, hay que reconocer que algunas de estas agencias han hecho esfuerzos significativos para compatibilizar y armonizar sus funciones de manera integrada para lograr los objetivos de la Ley de Aguas. Ejemplo de esto son la serie de documentos y planes que desde la década de 1970 han preparado diversas entidades, tales como el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos[3], la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados[4] y el propio Departamento de Recursos Naturales y Ambientales[5].

Puerto Rico tiene jurisdicción para establecer legislación y reglamentación referente al manejo de sus recursos de agua. Sin embargo, existe además la intervención de la jurisdicción federal mediante legislación Congresional. Ésta establece normas que deben ser satisfechas a nivel local. Esto responde a que el gobierno federal, en algunos aspectos de los recursos de agua, tiene el *"campo ocupado"*. Las leyes "Safe Drinking Water Act de 1974" y el "Clean Water Act de 1977", según enmendadas, son ejemplos de la legislación promovida por la EPA en la cual se establecen estándares referentes a la calidad de agua que son uniformes y compulsorios para todos los Estados Unidos, incluyendo a Puerto Rico. La Isla tiene la opción de establecer estándares más restrictivos, pero no menos estrictos que los federales.

El DRNA fue creado por la Ley Número 23 del 20 de junio de 1972, asignándole la responsabilidad de implantar la política contenida en la Sección 19 del Artículo VI de la Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico. La Sección 19 establece que "Será la política pública del Estado Libre Asociado la más eficaz conservación de sus recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio general de la comunidad. La Ley 136 del 23 de junio de 1976, Ley de

[3] Island Wide Water Supply Study For Puerto Rico-1980; Island Wide Water Supply Implementation Plan-1983, Water Needs For Puerto Rico San Juan Metropolitan Region-1983.
[4] Water Supply Plan-1982,
[5] Water Use Scenarios-1974, Water Resources Assessment for Puerto Rico-1976, Borrador Del Plan Integral De Recursos De Agua De Puerto Rico-1984, Proyecciones de Demanda y Necesidades de Producción de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados-1986, Informe Al Honorable Gobernador Rafael Hernández Colón Sobre La Situación Y Perspectiva De La Demanda Y Oferta De Agua En Puerto Rico Servida Por La AAA-1988, Plan Integral De Recursos De Agua-1996

Aguas, asigna al DRNA funciones especificas con respecto a la planificación, administración, conservación, uso y desarrollo de los recursos de agua de Puerto Rico. En la ejecución de su deber ministerial el DRNA ha realizado diversos esfuerzos para administrar el recurso agua conforme a lo que establece la Ley supra. El mecanismo del Reglamento Núm. 6213, "Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico", ha resultado muy útil para esto. No obstante, no es suficiente para cumplir con la finalidad de la Ley de Aguas, ya que la propia ley establece que la AAA y la AEE están exentas de cumplir con algunos aspectos de la ley, pues le reconoce los derechos y poderes de estas agencias sobre las aguas con anterioridad a la adopción de ésta. Esta limitación no le permite al DRNA participar del proceso de administración (asignación) de las aguas en los embalses de esas agencias.

Además de las responsabilidades delegadas al DRNA sobre el manejo y conservación de los recursos de agua en la Isla, varias agencias federales y estatales también llevan a cabo funciones relacionadas que a menudo están en conflicto. Estas agencias incluyen:

1. La Junta de Calidad Ambiental (JCA) es la agencia creada por la Ley Número 9 del 18 de junio de 1970, Ley sobre Política Pública Ambiental, la cual establece la política ambiental en Puerto Rico. Al amparo de esta Ley, la función de la JCA en lo concerniente al recurso agua consiste en establecer los parámetros de descarga permitidos en los cuerpos de agua de Puerto Rico. La JCA establece vigilancia con el propósito que se cumplan estos estándares de calidad de agua.
2. La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) fue creada por la Ley Número 163 del 3 de mayo de 1949. Esta corporación pública tiene la función de brindarle a los habitantes de la Isla el servicio de agua potable y alcantarillado sanitario y cualquier otro servicio o facilidades incidentes o propios de éstos. Incluye como parte primordial de este servicio la purificación y distribución de agua potable y recolección y tratamiento de las aguas usadas. Antes del 1949 existían en Puerto Rico sistemas individuales, domésticos y municipales, de abastos de agua. Estos sistemas datan del siglo pasado. Muchos de ellos aún están en operación. La

AAA desde su creación está integrando estos sistemas a los sistemas nuevos que ha construido a través de los años. Esta situación ha traído una serie de problemas como incompatibilidad entre sistemas y averías en sistemas viejos, lo cual redunda en pérdidas y uso ineficiente del agua. La AAA administra las aguas de sus embalses conforme a sus necesidades al igual que los embalses. A pesar de que las aguas son de dominio público y el embalse es propiedad pública, esta agencia por razones operacionales y de seguridad, limita el acceso a los embalses. La población objeta el que no se les permita acceder a los embalses y se le limite el derecho a recrearse con un bien de dominio público en terrenos públicos. El DRNA no tiene facultad en ley para intervenir en la operación que la AAA hace de los embalses, aunque dentro de sus funciones ministeriales está el fomentar y promocionar la pesca recreativa y regular la navegación. Tampoco puede autorizar el uso de los embalses de la AAA como fuente de abasto para usuarios particulares que colinden con estos, independientemente del rendimiento seguro del embalse.

3. La Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) fue creada por la Ley Número 83 del 2 mayo de 1941 bajo el nombre de la Autoridad de Fuentes Fluviales (AFF). La misma está facultada para desarrollar sistemas para generar energía utilizando como medio el recurso agua. Para esto, la AEE construyó una red de plantas generadoras hidroeléctricas distribuidas a través de la Isla. La red se compone de veinte plantas generadoras de las cuales hay activas solamente once. La AEE opera los embalses donde ubican las plantas de acuerdo a las necesidades de generación de energía que demande el sistema. Estos sistemas aprovechan las aguas, pero no la consumen por lo que la misma regresa al cuerpo del cual se extrajo aguas abajo de dicho lugar. El DRNA, al igual que en el caso de la AAA, no tiene facultad para intervenir en el proceso operacional de los embalses de la AEE. Además, la AEE es responsable de administrar todos los sistemas de riego de la Isla descritos en la Sección 2.8. La AEE opera los sistemas de riego conforme a la necesidad de generación de energía eléctrica y la de los distritos de riego. Esta agencia está facultada en ley para vender el sobrante de agua que no tenga comprometida con el Distrito de Riego a usuarios fuera del Distrito. En dicho

proceso no interviene el DRNA ya que las aguas de los embalses, una vez en éstos, la AEE posee la facultad de administrarlas conforme a sus facultades. El DRNA vuelve a ser custodio de las aguas una vez salen del embalse y vuelven al cauce del río donde éste ubica. Al igual que en el caso de la AAA, la AEE determina el uso que permite en sus embalses. Esta agencia permite la recreación en los mismos al igual que la instalación de tomas de agua individual, aunque el DRNA no interviene en ninguno de estos aspectos.

4. El Departamento de Salud (DS), por delegación de la EPA según la Ley de Agua Potable Segura federal y la Ley Número 5 del 21 de julio de 1977, tiene la facultad de establecer mediante reglamento los niveles máximos de contaminantes que pueda contener el agua potable y a la vez crear un sistema de muestreo que asegure el cumplimiento de dichos límites. El DS es responsable de garantizar al Pueblo de Puerto Rico la calidad de las aguas potables por lo cual vigila constantemente a la AAA, los sistemas de abasto privados y las plantas embotelladoras de agua. La falta de coordinación de esta agencia con el DRNA lleva a que ésta emita licencia de operación a plantas embotelladoras de agua que no tienen franquicia para extraer aguas, al igual que sistemas de acueductos privados. Esto dificulta la función de vigilante de las aguas que tiene el DRNA y la administración del recurso.
5. La Junta de Planificación (JP) fue creada por la Ley Número 213 del 12 de mayo de 1942. La JP es la agencia que tiene como función principal dirigir el desarrollo social, económico y físico de Puerto Rico. Tiene la responsabilidad de preparar el Plan de Desarrollo Integral para Puerto Rico, el cual debe incorporar los planes y programas que desarrollan las otras agencias. Es la agencia responsable del desarrollo y uso del terreno en Puerto Rico. Aunque existen mecanismos para proteger los recursos de agua del efecto del desarrollo urbano la pobre comunicación entre el DRNA y esta agencia ha dificultado que se implanten en forma efectiva dichos mecanismos. La incorporación de la protección del recurso agua como criterio para evaluar la viabilidad de un proyecto de desarrollo es algo necesario. El DRNA tiene que suplir información para que esta cuente con los

datos suficientes con relación al recurso agua y que los mismos se utilicen al momento de la toma de decisiones.

6. El Servicio Geológico Federal de los Estados Unidos (USGS) se estableció en 1879 como parte del Departamento del Interior Federal. Tiene como responsabilidad principal operar la red de estaciones de rastreo de la cantidad y calidad de las aguas a través de Estados Unidos y sus territorios, y preparar estudios referentes a la disponibilidad y uso del agua. El USGS es la agencia responsable de llevar a cabo estudios a largo plazo, encaminados a determinar la cantidad y calidad de aguas superficiales y subterráneas, así como la recurrencia de inundaciones, etc. Esta agencia mantienen en operación una oficina en Puerto Rico desde el año 1957 y actualmente opera una red de estaciones para determinar la cantidad (flujo) y calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la Isla, además de estaciones meteorológicas para determinar la cantidad de lluvia. La JCA es la agencia designada para lograr los acuerdos cooperativos de investigación sobre el recurso agua entre agencias estatales y el USGS. A estos efectos, las agencias aportan proporcionalmente a un fondo común que se utiliza para sufragar los costos de los estudios con esta agencia federal. Se estableció como política pública que todos los estudios sobre el recurso agua se realizarán en función de los beneficios derivados de éstos. Una vez terminados los estudios las agencias estatales utilizan los mismos en sus funciones y actividades. La necesidad de investigación sobre el recurso agua y el acopio de datos sobre éste es continuo. Según se genera información surge la necesidad de más información para complementar la existente o ampliar el ámbito de la misma.
7. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (COE) fue establecido en el 1802. Es la institución federal más antigua vinculada a los programas de recursos de agua con funciones que incluyen investigaciones, diseño, construcción y operación de trabajos relacionados a la navegación y control de erosión costanera. En Puerto Rico, además, el COE tiene autorización para realizar estudios con respecto a los problemas de abasto de agua. Ha mantenido una oficina en Puerto Rico desde el 21 de junio de 1941, la cual es una dependencia de la oficina del Distrito de Jacksonville, Florida. El COE labora en colaboración

estrecha con el DRNA en el desarrollo de proyectos de control de inundaciones y otros aspectos del recurso agua. Esta agencia es responsable de muchos de los modelos de hidrología e hidráulica que se utilizan para simular el comportamiento de los cuerpos de agua y las aguas de escorrentías en distintas instancias. También, es la agencia responsable de los modelos que se utilizan para proyectar la demanda de agua. Aunque tuvo una participación activa en la década de 1970 con respecto al manejo del recurso agua de forma integral, posteriormente se concentró en el aspecto del control de inundaciones y su reglamentación con respecto a humedales y aguas navegables. En ambos asuntos, labora en estrecha colaboración con el DRNA.

8. La Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA), fue creada en 1970, y tiene responsabilidades reglamentarias en relación al control de contaminación en el agua ("Clean Water Act") y en el aire ("Clean Air Act"), la disposición de desperdicios sólidos y sustancias tóxicas y peligrosas ("Resources Conservation and Recovery Act"), entre otras. Ha promovido legislación relacionada a los recursos de agua dirigida a establecer programas para la protección de los abastos potables (por ejemplo, el "Safe Drinking Water Act"). Tiene la responsabilidad de implantar la política federal relacionada a la restauración y mantenimiento de la composición química, física y biológica de los recursos de agua. En Puerto Rico, algunas de estas funciones han sido delegadas a la JCA y al DS.
9. El Servicio Nacional de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), anteriormente conocido como el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) es parte del Departamento de Agricultura Federal mediante legislación del Congreso de Estados Unidos en el 1935. La agencia dirige programas de servicios de conservación en cuencas hidrográficas, realiza estudios y diseño de obras para el control de erosión, sedimentación e inundaciones. Fomenta y promueve el uso de práctica agrícolas que no afecten los recursos de agua mediante la educación a agricultores y el otorgamiento de ayuda económica. Realiza además, proyectos para controlar la erosión de los bancos de los cuerpos de agua, especialmente en quebradas con el fin de protegerlos de la fuerza erosiva del agua para que los sedimentos no lleguen a los embalses. Aunque el trabajo de esta agencia

complementa las funciones del DRNA, no hay intercambio de información entre ambas. Esto ha provocado que se dupliquen esfuerzos para solucionar un mismo problema.

Uno de los objetivos es la resolución de los conflictos interagenciales mediante coordinación a través del Comité de Recursos de Agua. Paralelamente, el Estudio Legal llevado a cabo como parte del Plan recomendará medidas legislativas diseñadas para solucionar los conflictos que se identifiquen mediante enmiendas a las mismas. Este Estudio Legal es una tarea que debido a su naturaleza, tiene que ser completada posterior al plan.

3.3.11 SISTEMAS DE FRANQUICIAS Y TARIFAS DE USO DE AGUA

La Ley de Aguas, en su Artículo 5 (j), requiere al Secretario del DRNA "establecer un sistema de permisos y franquicias para el uso y aprovechamiento de las aguas y cuerpos de agua de Puerto Rico y fijar los derechos a cobrar en cada caso". Dicha sección también decreta que la AAA y la AFF (ahora la AEE) estarán exentas del pago de dichos derechos. El DRNA implementa este mandato a través del "Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de los Recursos de Agua" (Reglamento Num. 6213). La Ley de Aguas le indica al Secretario que:

1. No se requerirá el pago de tarifas por franquicias en los casos en que existan derechos de propiedad sobre ciertos caudales adquiridos al amparo de legislación anterior ni en los casos de usos agrícolas, pecuarios o agroindustriales, según estos sean definidos por el Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.
2. La tarifa anual por cada franquicia de agua salobre o de mar será de ciento cincuenta dólares ($150.00), más veinte centavos ($0.20) por cada millón (1,000,000) de galones autorizados por el Secretario.
3. Se pagará un quinto (1/5) de centavo por cada galón de agua dulce subterránea extraída por cada franquicia para uso industrial o comercial.

Enmiendas realizadas en el 2004 a la Ley de Aguas asignan al Programa de Recursos de Agua del DRNA los fondos recaudados por concepto del pago de los derechos

descritos en el inciso número tres anterior. Las enmiendas disponen que estos fondos se utilicen para apoyar la operación de dicho Programa, el cual es responsable de implantar el Plan y mantener la base de datos hidrológica. Los fondos pueden ser utilizados además, para llevar a cabo investigaciones sobre los recursos de agua en la Isla.

En el 2003 el DRNA había emitido aproximadamente 350 franquicias para extracción de aguas superficiales o subterráneas en Puerto Rico, Vieques y Culebra. La mayor parte de estas franquicias corresponden a actividades de la AAA, la AEE y programas o proyectos agrícolas, por lo que están exentas del pago de los derechos indicados. Las franquicias industriales y comerciales registradas resultan en el pago al DRNA de aproximadamente $3.6 millones. Previo a las enmiendas recientes a la Ley de Aguas, el 90% de estos pagos se transferían a la AAA.

Las tarifas por concepto de derechos de uso de agua necesitan re-examinarse a la luz de la realidad de los abastos de agua de la Isla. Varios cambios significativos han ocurrido en los sectores exentos del pago de tarifas que ameritan ser estudiados y analizados para determinar si se debe enmendar la Ley de Aguas para ajustarla a los cambios que se presentan a continuación:

1. Actividades industriales que cesaron operaciones hace años mantienen los derechos sobre extracciones de agua subterráneas sin su utilización. Esto incluye varios pozos importantes en los valles de Yabucoa, Guayama y Tallaboa-Guayanilla. Hay que evaluar el requerir a éstos el pago de derechos por un caudal mínimo o requerir el rendimiento de los derechos al DRNA.
2. Evaluar si los sectores que están exentos del pago de tarifa, como la agricultura, deben continuar con ese privilegio.
3. Evaluar si a los sectores exentos del pago de tarifa se les debe establecer un canon de acuerdo al lugar de la extracción y el caudal que extrae. Esto con el fin de evitar extracciones excesivas para las condiciones de los acuíferos o ríos. Es necesario evaluar cada franquicia exenta del pago de derechos, y considerar una fórmula que

garantice que el sector exento se beneficie del agua pero que contribuya a su conservación.

4. En el sector agrícola también se debe evaluar la condición financiera de cada actividad que extrae agua al presente sin costo. Se debe evaluar una posible fórmula que requiera el pago de ciertas tarifas proporcional a la condición financiera de la empresa que utiliza el agua.
5. En el caso de la AEE, esta agencia no exime a otras agencias u organizaciones del pago de derechos por el uso del agua de los embalses. Aunque la AEE no extrae cantidades significativas de aguas subterráneas o de los ríos, es necesario evaluar la aplicación de derechos de franquicia a sus actividades que utilizan esta agua.
6. Es necesario revisar la tarifa por concepto de derechos establecido en la Ley de Aguas de un quinto de centavo por cada galón de agua dulce subterránea extraída de los acuíferos de la Isla. Esta evaluación debe llevarse a cabo a tenor con los recursos de agua disponibles en cada región, incentivando mediante tarifas menores la ubicación de nuevas industrias o negocios en zonas donde los recursos de agua sean más abundantes. En zonas de recursos de agua escasos, nuevas franquicias pudieran tener que pagar una tarifa mayor que el quinto de centavo.

3.3.12 SISTEMA DE TARIFAS DE LA AUTORIDAD DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

La estructura de tarifas utilizada por la AAA es uno de los elementos que afecta el consumo de agua en Puerto Rico, y por ende su conservación y uso prudente. Las tarifas de la AAA datan de 1986, sin haberse ajustado desde esa fecha para incrementos en el costo operacional de la agencia, incluyendo energía, materiales, mantenimiento y operaciones (salarios). En la Isla no se han llevado a cabo estudios formales que documenten la relación entre el consumo de agua en el sector doméstico y las tarifas. Estudios de la AWWA en otras localidades establecen una relación directa entre el uso de agua y los precios (AWWA, 2003).

El uso de agua en Puerto Rico ha aumentado significativamente durante las últimas cuatro décadas, particularmente en el sector doméstico. La AAA extrae

aproximadamente 612 mgd de agua de los ríos, embalses y acuíferos en la Isla para producir agua potable, la cual es servida al 97% de la población. Esta cantidad es aproximadamente el 75% del uso total de agua en la Isla, representando el balance los usos agrícolas, industriales y comerciales. Aunque los sistemas de distribución de la AAA pierden una parte sustancial del agua que transportan a los consumidores (estimada en 40-45% de la producción), el consumo actual continua aumentando, y se estima en aproximadamente 90-95 galones por persona por día, lo que equivale a 350-370 mgd. Paralelamente, la población conectada a sistemas sanitarios operados por la AAA genera aproximadamente 223 mgd de aguas usadas tratadas. Las tarifas que la AAA cobra por ambos servicios son menores a los costos en los que incurre al ofrecerlos. Los costos operacionales de la AAA en el 2003, incluyendo mejoras capitales, fueron de aproximadamente $580 millones de dólares. Durante ese año la AAA recaudó aproximadamente $350 millones de dólares por los servicios de agua y alcantarillado debido a que una parte significativa de la producción no la factura debido a pérdidas físicas y de contabilidad. Esto provocó que la AAA solicitara a la Legislatura en el 2003 autorización para obtener un préstamo anual de $230 millones de dólares, durante tres años, destinado a cubrir las deficiencias presupuestarias que enfrenta debido al poco dinero que recauda mediante facturación. Esto significa que en el año 2003, la AAA operó con un déficit de $230 millones de dólares, aproximadamente 66% de su presupuesto operacional anual. Este análisis macroeconómico subraya la necesidad de corregir las pérdidas y evaluar las tarifas de la AAA como un factor para que ésta opere según las normas establecidas para la sana administración de los bienes públicos. Esto a su vez ayudará a conservar el agua mediante un uso más prudente por los consumidores.

La estructura de tarifas de la AAA establece dos categorías para los clientes residenciales utilizando como criterio un consumo mínimo fijado con antelación en 20 metros cúbicos cada dos meses.

La tarifa actual de la AAA incluye los siguientes parámetros:

a. Una tarifa fija de $8.10 hasta 20 metros cúbicos de consumo, incluyendo alcantarillado. Las residencias sin alcantarillado pagan $4.45 hasta 20 metros de consumo.
b. Cuando el consumo excede 20 metros cúbicos se paga una tarifa combinada por los servicios de agua y alcantarillado de $17.29 por los primeros 20 metros cúbicos de agua (5,280 galones) consumidos y $1.19 por cada metro en exceso de 20 metros cúbicos.

En ambos elementos de la tarifa, la facturación incluye cargos por consumo de agua y tratamiento y disposición de aguas sanitarias, donde el uso del agua potable representa el 55% de la factura, y las aguas sanitarias representan el balance. Por ejemplo, una residencia que consuma 40 metros de agua, sin alcantarillado paga $22.55.

1. Es indispensable ajustar las tarifas al costo real de producción del agua a la AAA, de modo que sirva de estímulo para el ahorro en el consumo. Estas tarifas, que hace 18 años no se revisan, son de las segundas más bajas entre las que se cobran por los servicios de agua y alcantarillado en compañías de agua comparables a la AAA en Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) y Canadá. Esta conclusión se dedujo de un análisis comparativo de las tarifas de agua potable y de servicios de alcantarillado facturado en el 2002, por 34 compañías de agua que sirven individualmente a un mínimo de 500,000 personas (DRNA, 2004). El análisis también incluyó 29 plantas de tratamiento de aguas usadas que sirven a un mínimo de 450,000 personas. Los resultados se compararon con las tarifas de la AAA en Puerto Rico. El análisis reveló que los abonados de la AAA que consumen un volumen mensual de 7,480 galones (28 metros cúbicos) de agua potable pagan un promedio de $7.49/mes. Estas son las tarifas más bajas para los servicios combinados de agua potable y alcantarillado entre todas las compañías de agua comparadas. Solamente en la ciudad de Memphis, Tennessee, las tarifas son menores que en Puerto Rico, debido a

que ésta utilidad utiliza agua subterránea de un acuífero artesiano que requiere tratamiento y bombeo mínimo. El rango de las facturas está entre un mínimo de $7.47 (AAA) y un máximo de $31.53 dólares mensuales (Figura 3-3). La media de las tarifas mensuales es de $16.41 y la mediana es de $15.14. Existen lugares en los EE.UU. y Canadá servidos por compañías de agua de tamaño menor que las comparadas que cobran mucho más por el agua. Como ejemplo, la comunidad de “Celebration” en Orlando, factura un promedio de $60 mensuales por el servicio de 30 metros cúbicos de agua. En Puerto Rico, un ajuste en el precio del agua ayudaría a resolver el grave déficit en el presupuesto operacional de la AAA.

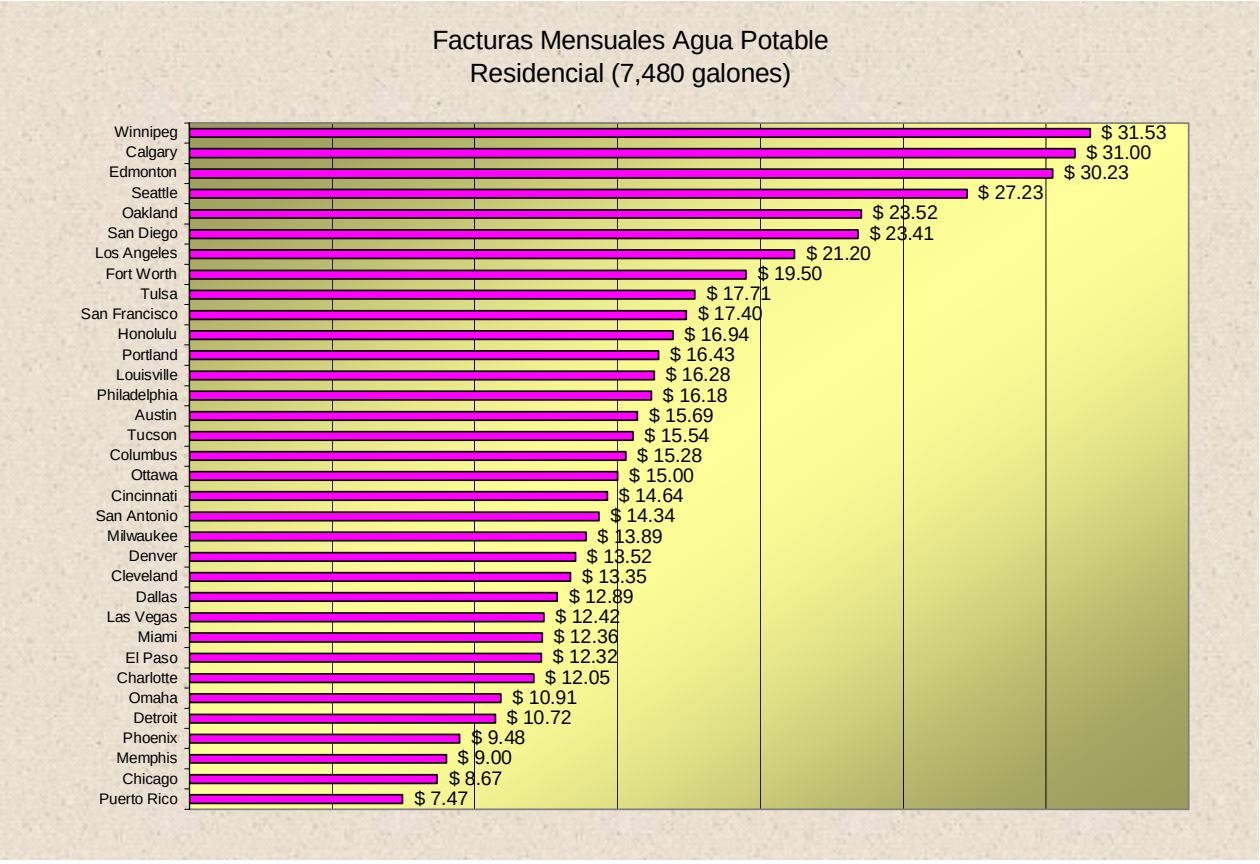


Figura 3-3. Factura mensual residencial de agua potable en EE.UU., Canadá y Puerto Rico para un consumo de 28 metros cúbicos [7,480 galones].

Las facturas promedio de las residencias que descargan aproximadamente 7,480 galones de aguas usadas al mes se resumen en la Figura 3-4. El rango del promedio de las facturas está entre un mínimo de $4.39 y un máximo de $43.24 dólares mensuales. La media del promedio de las facturas mensuales por servicio de alcantarillado es de $20.59 y la mediana es de $20.00. Los abonados de la AAA pagan un promedio de $6.15/mes. La tarifa promedio combinada de los usuarios de la AAA $13.62, es la tarifa más baja para los servicios combinados de agua potable y alcatarillado entre todas las compañías comparadas.

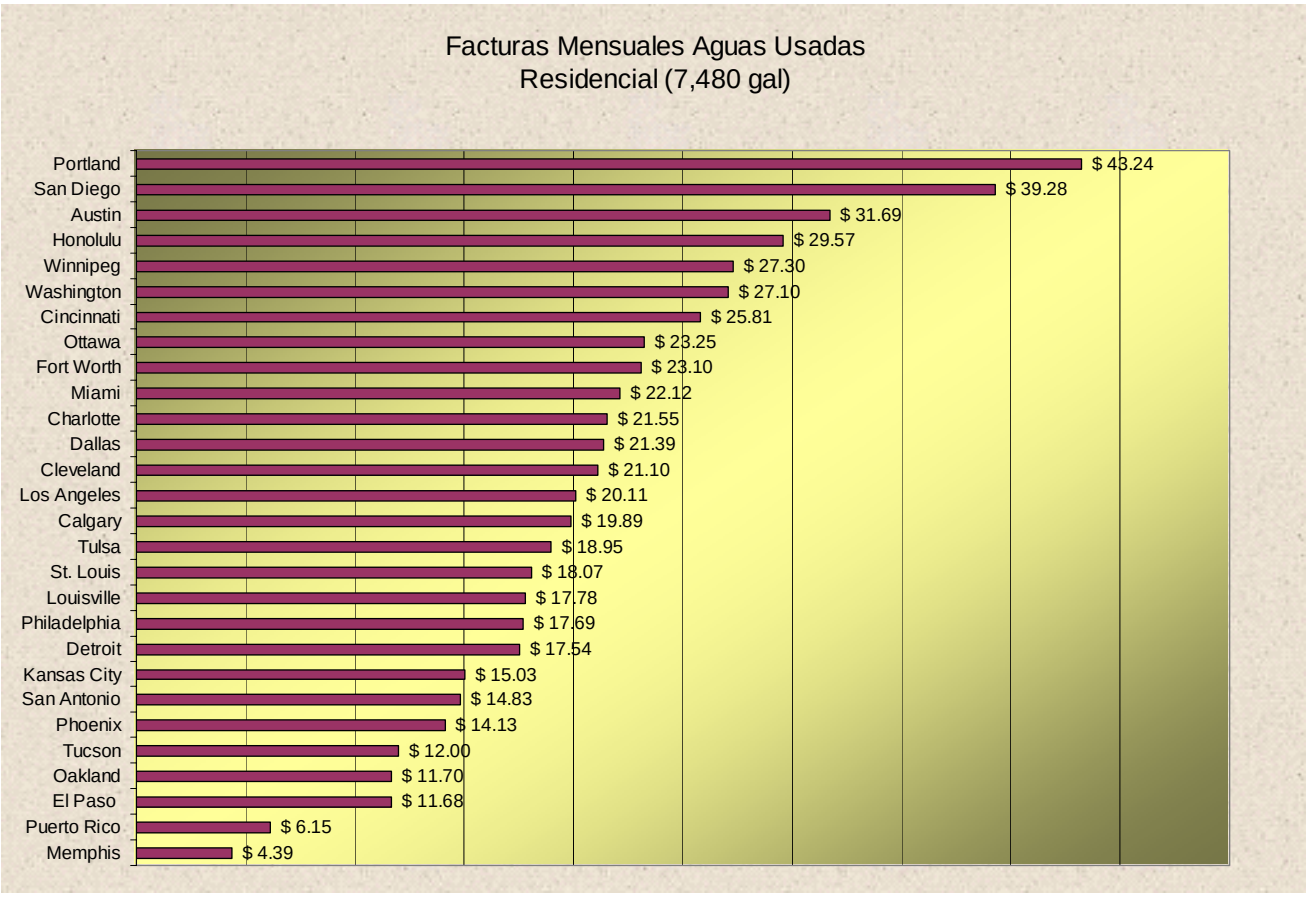


Figura 3-4. Factura mensual residencial de alcantarillado en EE.UU., Canadá y Puerto Rico para 28 metros cúbicos [7,480 galones].

Como parte del Plan Integral de Aguas, se recomienda que la AAA evalúe su estructura de tarifas para estimular la conservación del agua potable entre sus abonados y reestructurar las finanzas de la agencia. La revisión de las tarifas de la AAA debe considerar los siguientes elementos:

1. Instituir un costo base realista que todo consumidor tenga que pagar, para compensar a la AAA por tener el servicio disponible y un consumo básico de cierto volumen de agua. El pago de $4.05 mensuales por el consumo de hasta 10 m^3 de agua potable es totalmente inadecuado para compensar el costo de producción de la AAA. Aunque se exima a usuarios de bajos ingresos bonafide, se debe cobrar un mínimo independientemente de si el usuario no consume. Esto es similar a lo que utilizan muchas empresas de agua en EE.UU. donde se cobra un costo base más el consumo. La AEE utiliza un

sistema similar en las cuentas comerciales, cobrando un costo base por tener disponible la energía eléctrica aunque el consumidor no la utilice.

2. Modificar el sistema de subsidios en el consumo de agua usando la base de datos del Departamento de la Familia, la que se basa en el poder adquisitivo de cada familia. Las familias que no cualifiquen para subsidios económicos debido a sus ingresos, pagarían una factura mínima base más una tarifa escalonada por cada metro de agua utilizado.
3. Instituir tarifas que sirvan como incentivos para que los consumidores conserven agua. El uso de tarifas de agua flexibles (o más "elásticas") se practica en muchas localidades en EE.UU. y otros países del mundo. Este concepto penaliza el uso excesivo de agua mediante aumentos progresivos en el costo de cada metro cúbico utilizado. Ejemplo, el costo del primer metro cúbico en exceso de la base sería mayor que el costo unitario de los metros cúbicos base. El siguiente metro cúbico costaría más que el anterior, y así sucesivamente. El consumidor que utilice agua indiscriminadamente pagaría una factura sustancial.
4. La nueva estructura de tarifas debe generar los ingresos necesarios para que la AAA cubra los gastos anuales de operación y planifique un crecimiento sostenible con los recursos económicos generados durante los próximos 25 años.

3.4 POLÍTICAS PÚBLICAS

El DRNA tiene la jurisdicción primaria sobre la conservación, desarrollo, y uso de los recursos de aguas dulces, salobres y salinas en Puerto Rico. Dicha jurisdicción le es conferida al DRNA mediante la Ley de Aguas, requiriendo al Secretario preparar e implantar el Plan Integral de Aguas. Otras agencias federales y estatales tienen jurisdicciones parciales o complementarias sobre ciertos aspectos de los recursos de agua en la Isla. Estas agencias incluyen en el nivel estatal a la JP, AEE, la JCA, el DA, el DS, la AAA y el DTOP. En el ámbito federal, las agencias involucradas directa o indirectamente en el manejo del agua en la Isla incluyen a la EPA, el COE, el USFS, el

USFWS, el NRCS y el USGS. Sin embargo, la responsabilidad final del manejo integral de este importante recurso recae sobre el DRNA, quien promulga las políticas públicas y reglamentos conducentes a la conservación y aprovechamiento del agua. A tenor con esta responsabilidad delegada por la Ley de Aguas al DRNA, se propone la adopción de las políticas públicas que se presentan en las siguientes secciones de este capítulo.

3.4.1 CONSERVACIÓN DE FLUJOS MÍNIMOS EN LOS RÍOS Y QUEBRADAS DE NÍVELES MÍNIMOS EN EMBALSES

Trasfondo: Es necesario mantener flujos residuales adecuados para sostener la calidad del agua y la vida acuática en los cuerpos de agua superficiales en Puerto Rico. Cada quebrada y río en la Isla mantiene un flujo de agua mínimo único durante períodos de sequías que es resultado de las interacciones entre el clima, la fisiografía, los suelos, la geología y la flora de la cuenca que drena. En los embalses, los niveles del agua fluctúan con las operaciones de cada sistema, pero también dependen de los flujos mínimos en períodos de estiaje. El Plan Integral provee medidas estadísticas comúnmente utilizadas para definir los flujos mínimos en las quebradas y ríos en la Isla, incluyendo el 7Q2, el 7Q10, el Q99 y el MALF. El DRNA, utilizando estos datos y otros análisis posteriores, se propone identificar en cada quebrada y río principal en la Isla, y los tramos de éstos, flujos residuales mínimos que deben mantenerse.

Política Pública: El Plan adopta como política pública del ELA mantener en las quebradas y ríos principales de la Isla un flujo residual adecuado para sostener la calidad del agua y vida acuática representada por las condiciones naturales. Este flujo será definido para cada quebrada o río principal, y los tramos de estos.

3.4.2 CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Trasfondo: Los datos históricos y recientes de la JCA y el USGS establecen que la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la Isla es afectada por altas concentraciones de bacterias de origen fecal y por nutrientes. Estos contaminantes provienen de pozos sépticos y descargas de la AAA e industrias. La contaminación de las aguas superficiales con bacterias y nutrientes no impide que éstas puedan ser

utilizadas como fuente de agua potable, pero limitan su uso para recreación y actividades de contacto con seres humanos. En los acuíferos de la Isla existen zonas significativas afectadas adversamente por contaminantes químicos sintéticos, nitratos de descargas agrícolas e intrusión salina debido a exceso de extracciones del agua. Las aguas subterráneas afectadas por los contaminantes indicados no pueden utilizarse como fuente de agua potable.

Política Pública: Se establece como política pública el restaurar la calidad del agua en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Esta política la implantará la JCA, agencia líder en la protección de la calidad del agua, en coordinación con el DS, la JP y el DRNA.

3.4.3 LIMITACIÓN DE EXTRACCIONES DE ACUÍFEROS AL RENDIMIENTO SEGURO

Trasfondo: Los datos históricos y recientes del DRNA y el USGS establecen que las extracciones de agua en los acuíferos principales en la Isla exceden su rendimiento seguro o sostenible a largo plazo. Varios sectores de los acuíferos costaneros principales en las Provincias del Norte y Sur están sujetos a extracciones de aguas superiores a la cantidad de agua que se recarga naturalmente. Los problemas de contaminación e intrusión salina en sectores extensos de los acuíferos impiden la extracción de agua en estos acuíferos costaneros. Los estudios recientes del DRNA y el USGS establecen que, bajo las condiciones presentes, no es viable autorizar extracciones significativas adicionales en los acuíferos calizos Inferior y Superior de la Provincia Norte y los acuíferos aluviales costaneros de la Provincia del Sur.

Política Pública: El Plan adopta como política pública del ELA el restaurar los niveles de agua en los acuíferos de la Provincia Sur (desde Patillas hasta Yauco), en la zona del Valle de Lajas desde Guánica hasta Cabo Rojo, en el Acuífero Inferior (Artesiano) de la Provincia Norte y en los segmentos del Acuífero Superior desde Toa Baja hasta Barceloneta. Para implantar esta política pública éstas áreas serán declaradas como críticas. El DRNA considerará solicitudes para extracciones adicionales en los sectores

del Acuífero Superior desde Barceloneta hasta Arecibo, sujeto a estudios adicionales a llevarse a cabo. Esta política se implantará en coordinación con la JP, la JCA y el DS a través del Comité de Recursos de Agua.

3.4.4 MANTENIMIENTO DE FLUJO EN LOS SISTEMA DE RIEGO

Trasfondo: Los tres sistemas de riego (Isabela, Costa Sur y Valle de Lajas) se nutren de 10 embalses en la Región Montañosa de la Provincia del Interior de la Isla. Estos sistemas de riego público, operados por la AEE, proveen hasta 30 mgd para riego agrícola. Además suplen el 6.5% (40 mgd) del agua que utiliza la AAA en sus plantas de filtración. Ambos usuarios, agricultores y la AAA, necesitan que el agua esté disponible de acuerdo a su necesidad. Esto implica que debe haber agua en los canales de acuerdo a las necesidades de los usuarios y en la cantidad que éstos requieren. El mantener flujos adecuados en los sistemas de riego requiere optimizar la operación de los embalses, reparar el sistema de túneles y canales que distribuyen el agua a los usuarios. Es probable que sea necesario restaurar los embalses afectados por sedimentación para tener disponible el agua en los canales.

Política Pública: El Plan adopta como política pública del ELA la restauración y optimización de los elementos que componen los sistemas de riego. La AEE, como agencia responsable de los sistemas de riego, revisará los planes y operaciones de éstos. Para no más tarde del 30 de junio del 2005, la AEE presentará un Plan para la Rehabilitación de los sistemas de riego públicos. Esta iniciativa se coordinará con el DA y la JP.

3.4.5 OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS

Trasfondo: La AEE opera seis (6) sistemas hidroeléctricos en la Isla que se nutren de embalses con usos múltiples, incluyendo abastos de agua, mitigación parcial de inundaciones, riego agrícola y recreación. Estos sistemas generan un promedio anual de 65,000 Kilovatios de energía. Además, la AEE mantiene fuera de operación otros 10 sistemas, con una capacidad de 60,000 Kva. En vista de los aumentos en el costo de los combustibles que utiliza la AEE en sus plantas termoeléctricas, es prudente

maximizar la generación hidroeléctrica en la Isla. Sin embargo, la optimización de los sistemas hidroeléctricos de la AEE puede confligir con las demandas de agua por los sectores domésticos y agrícolas, particularmente durante sequías. La Ley de Aguas establece como uso prioritario las necesidades domésticas, lo que requiere coordinar las actividades de generación hidroeléctrica y abastos para consumo y la agricultura.

Política Pública: El Plan adopta como política pública del ELA optimizar la operación de los embalses y sistemas hidroeléctricos tomando en cuenta las prioridades de uso de agua establecidas en la Ley de Aguas. El objetivo de la política es maximizar la generación hidroeléctrica sujeto a que no se afecte el abasto de agua para uso doméstico El Comité de Recursos de Agua, con el DRNA como agencia líder y en coordinación con la AEE, llevará a cabo un análisis para determinar cómo se pueden optimizar los sistemas hidroeléctricos de la Isla de forma que se satisfaga la demanda de todos los usuarios de éstos, manteniendo la prioridad de uso de agua establecido en la Ley de Aguas. Este análisis incluirá determinar la viabilidad de restaurar las unidades hidroeléctricas en desuso y de instalar unidades en embalses que no están equipados para generar electricidad. Este análisis se completará para el 30 de septiembre de 2005.

3.4.6 UBICACIÓN DE EMBALSES

Trasfondo: Los embalses son la fuente de agua más importante en Puerto Rico, supliendo el 68% (370 mgd) del agua que utiliza la AAA y el 20% (30 mgd) del agua que se utiliza para actividades agrícolas. Los embalses proveen además otros beneficios directos e indirectos, incluyendo agua para la generación de electricidad, mitigación parcial contra las inundaciones, recreación y navegación turística. Debido a la lluvia copiosa y escorrentía abundante en la Isla, el desarrollo de embalses adicionales es una de las estrategias preferidas para aumentar los abastos de agua para uso doméstico y actividades agrícolas. Desde el punto de vista económico, basado en su rendimiento seguro y vida útil, éstos representan una inversión efectiva. Sin embargo, la construcción de los embalses induce impactos ambientales significativos, incluyendo el uso de extensiones significativas de terreno, destrucción de

hábitat ribereños, impedimentos a la migración de especies acuáticas y cambios en la calidad del agua. Además, debido a las tasas de erosión altas en la Isla los embalses se sedimentan relativamente rápido, lo que puede afectar su vida útil.

Política Pública: El Plan adopta como política pública del ELA desarrollar sólo embalses fuera del cauce de los ríos, si se demuestra que no hay otra alternativa de menor impacto ambiental, social y económico.

3.4.7 PLANES Y MANEJO DE CUENCAS HIDROLÓGICAS

Trasfondo: El Plan Integral de Aguas del 2004 utiliza la cuenca hidrográfica como la unidad fundamental de análisis. La cuenca hidrográfica integra en forma individual los efectos combinados de clima, fisiografía, geología, uso de terrenos y efectos culturales incluyendo el desarrollo urbano. Cada cuenca exhibe un patrón único en su régimen hidrológico resultante de la integración de estos factores. El desarrollo socioeconómico de las áreas de una cuenca requiere de estrategias que permitan un desarrollo sostenible, particularmente en cuanto a los recursos de agua. Es necesario la preparación e implantación de planes de manejo de las cuencas hidrográficas para cumplir con la política pública de desarrollo sostenible. En la implantación de los planes de manejo de cuencas, la participación de grupos de interés y ciudadana es esencial para el éxito de estos esfuerzos.

Política Pública: El Plan adopta como política pública del ELA desarrollar e implantar Planes de Manejo de las cuencas hidrográficas principales de la Isla con la participación de los ciudadanos de la cuenca. El DRNA, a través del Comité de Recursos de Agua y utilizando las guías en el Plan Integral, preparará un análisis y recomendaciones de los pasos necesarios para el desarrollo de dichos planes. Esto se coordinará con la JP, la JCA, el DA, y los municipios representados en las cuencas hidrográficas.

3.4.8 NECESIDAD DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA ADICIONAL

Trasfondo: El manejo adecuado de los recursos de agua de Puerto Rico requiere información actualizada de una serie de variables hidrológicas, ambientales y socio-económicas. El desarrollo eventual de Planes de Manejo para las cuencas hidrográficas requiere la disponibilidad de datos adecuados y actualizados sobre el flujo en los cuerpos de agua superficiales, la cantidad de agua disponible, el uso de agua y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. La mayor parte de esta información es obtenida por el USGS mediante programas cooperativos con las agencias del ELA. La JCA, mediante la Ley Núm. 51 del 2003, coordina estos programas, los cuales son financiados proporcionalmente por las agencias participantes. Aunque los datos obtenidos por el USGS son de buena calidad y generalmente pertinentes, su disponibilidad y divulgación toma demasiado tiempo y no cumple las metas del Plan de Aguas. Además, a menudo los proyectos que lleva a cabo el USGS no responden a las necesidades inmediatas o a plazo intermedio de Puerto Rico.

Política Pública: Será la política del ELA promover la investigación sobre el recurso agua y el acopio de ésta en un banco de datos central en el DRNA. Se fomentará el desarrollo de investigaciones sobre asuntos necesarios para el manejo efectivo de los recursos de agua. El Banco de datos estará disponible a todas las agencias y el público en general. La coordinación de los programas de investigación y desarrollo de datos hidrológicos estará en el DRNA.

3.4.9 REDUCIR PÉRDIDAS EN LA AAA

Trasfondo: Las pérdidas de agua potable en los sistemas de transmisión y almacenaje de la AAA son el factor principal que contribuye al deterioro de los recursos de agua en Puerto Rico. Aunque existe incertidumbre con respecto a la cantidad precisa de agua potable que se pierde en estos sistemas, la diferencia entre la producción y el consumo (facturación) señala a pérdidas de aproximadamente el 43% de la producción. Este valor excede las normas de la mayor parte de los sistemas en cualquier localidad. Datos históricos de la AAA que datan de 1960 establecen que el por ciento de pérdidas ha ido en aumento, contrario a las normas operacionales razonables. Esto resulta en que la AAA tenga que extraer cada vez una cantidad mayor de agua de las fuentes de abasto para satisfacer la demanda y las pérdidas. Estas extracciones excesivas son el factor principal en el deterioro de los acuíferos, mermas en los flujos residuales en los ríos y quebradas, y mermas drásticas en las reservas de agua en los embalses durante sequías. Si la AAA reduce las pérdidas a una tasa que no exceda el 30% de la producción neta (580 mgd en el 2002), esto sería equivalente a producir aproximadamente 120 mgd adicionales. Este volumen de agua es suficiente para abastecer a 1.4 millones de habitantes adicionales (basado en 85 gppd).

Política Pública: Será política pública del ELA el reducir las pérdidas en el sistema de acueductos a no más del 20% de la producción. La Legislatura habrá de asignar fondos a la AAA para que esta pueda reducir la pérdidas a un 30% para el 2010 y a un 20% de la producción para el 2020. La AAA establecerá un Programa de Control de Pérdidas. Este Programa será responsable de presentar un informe anual a la Legislatura y al Ejecutivo sobre los avances obtenidos en la consecución del objetivo pautado para reducir las pérdidas a un 20% de la producción neta.

4.0 ALTERNATIVAS AL PROYECTO

La Ley Núm. 9 y el Reglamento de la JCA requieren que al considerar un proyecto, se evalúen alternativas razonables al mismo, de modo que puedan compararse los impactos ambientales potenciales de cada alternativa. De este modo, la selección de una alternativa preferida toma en cuenta el efecto neto de los impactos positivos y negativos de la acción propuesta en comparación con todas las alternativas razonables. En esta sección de la DIA-E-A, se consideran las alternativas razonables a la Acción Propuesta.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Las siguientes alternativas fueron consideradas conjuntamente con la actualización e implantación del Plan Integral:

1. No acción, donde el DRNA y el ELA no tomarían acción alguna para actualizar el Plan de 1996, continuando con las estrategias presentes para la conservación y manejo de los recursos de agua.
2. Desarrollo de planes individuales para cada sector, cuenca o región sobre el uso de agua, en lugar de un Plan Integral.
3. Actualización del Plan Integral de 1996, según propuesto como alternativa preferida.

4.2 COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Las siguientes secciones comparan las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas consideradas:

1. Implantacion del Plan Integral de 1996 como herramienta de manejo de los recursos de agua de la Isla. Esta alternativa conllevaría que el DRNA adopte los elementos del Plan de 1996 sin modificaciones.

   Las ventajas de esta alternativa son las siguientes:

   a. Requiere recursos humanos y económicos limitados para su implantación.

b. Mejora levemente el sistema de manejo de los recursos de agua vigente que se ha utilizado por 25 años.

Las desventajas de esta alternativa son las siguientes:

a. Promueve que se continúe con la utilización poco efectiva de los recursos de agua.
b. No toma en cuenta usos críticos de agua de los sectores agrícolas y ecológicos.
c. No promueve la conservación efectiva de los recursos de agua utilizando herramientas modernas de manejo.

2. Desarrollo de planes individuales para cada sector de uso de agua, en lugar de un Plan Integral. Las ventajas de esta alternativa son las siguientes:

a. Mejora el sistema de manejo de los recursos de agua vigente que se ha utilizado por 25 años.
b. Provee un marco regional o local para el manejo de los recursos de agua, lo que permitiría una participación local más activa .

Las desventajas de esta alternativa son las siguientes:

a. Requiere recursos mayores que un Plan Integral, y un tiempo más prolongado para su implantación.
b. Requiere una coordinación más efectiva entre cuencas, en un sistema donde las transferencias de agua entre estas cuencas ya ocurre.

3. Actualización del Plan Integral de 1996 (Acción Propuesta). Las ventajas de esta alternativa son las siguientes:

a. Define un marco central de estrategias y políticas públicas para el manejo, uso y conservación de los recursos de agua en la Isla, según requerido por la Ley de Aguas.

b. Enfoca el uso de los recursos disponibles en objetivos regionales y de toda la Isla, lo que no es posible con las otras alternativas.

c. Promueve la utilización de herramientas avanzadas para poder centralizar, manejar e interpretar en forma más efectiva el cúmulo de información sobre los recursos de agua disponibles en la Isla.

Las desventajas de esta alternativa son las siguientes:

a. Requiere un esfuerzo y recursos sustanciales a corto y largo plazo.
b. Envuelve el desarrollo y mantenimiento de un sistema complejo de facilidades, personal y programación.
c. A tenor con los resultados del borrador del Plan Integral, esta alternativa requiere medidas drásticas a corto plazo para la restauración de los acuíferos, embalses y ríos, y el uso más prudente del agua. Estas medidas pudieran tener impactos adversos sobre la industria, la agricultura y los abastos de agua para uso público.

4.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PREFERIDA

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de las alternativas consideradas, la alternativa preferida del DRNA como agencia proponente, es la actualización del Plan Integral de 1996. Esta iniciativa permitirá desarrollar e implantar un Plan Integral robusto, utilizando herramientas modernas que proveerán un marco de manejo efectivo cumpliendo con los requisitos de la Ley de Aguas de 1976. A largo plazo, resultará en beneficios sustanciales que redundará en el manejo y conservación efectiva de los recursos de agua en la Isla.

5.0 IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES DE LA ALTERNATIVA PREFERIDA

Esta sección resume los impactos ambientales potenciales de la implantación de la alternativa preferida para el desarrollo del Plan Integral. En vista de la naturaleza programática del documento ambiental, estos impactos son generales y no cuantificados. Normalmente, el desarrollo de actividades y proyectos futuros como parte de una acción programática requiere la preparación de documentos ambientales detallados, en los cuales se evalúan cuantitativamente los impactos ambientales potenciales de las acciones individuales. La DIA-E-A sirve de marco general para los documentos ambientales subsiguientes, sean estos Evaluaciones Ambientales o Declaraciones de Impacto Ambiental.

5.1 USOS DE TERRENOS

Los usos de terrenos principales en Puerto Rico son los bosques, zonas agrícolas, zonas urbanas y áreas cubiertas de agua (embalses y ríos). El uso de terrenos es uno de los factores que afectan el ciclo hidrológico, y por ende la disponibilidad de recursos de agua para los diferentes usos culturales y ecológicos. Esta situación se acentúa más en países como Puerto Rico, donde la topografía es montañosa y las cuencas exhiben pendientes agudas. En estos casos, los recursos hidrológicos se afectan por los siguientes procesos:

1. La retención de la lluvia en las cuencas es función de la cubierta del terreno, la cual depende del uso. En los bosques la cubierta formada por los árboles reducre el tiempo que le toma a la lluvia llegar al suelo, así como su fuerza de impacto, aumentando el tiempo en que la parte que se torna en escorrentía requiere para llegar a un punto en la cuenca. La intensidad de los picos de escorrentía es menor en zonas de bosques que en áreas desprovistas de vegetación para las mismas pendientes y condiciones del clima.

2. En zonas llanas, la escorrentía es afectada más por las tasas de evaporación, evapotranspiración e infiltración que por la cubierta del terreno.
3. En la Región del Karso - en el norte de la Isla - el uso de terrenos es principalmente boscoso, con terrenos urbanizados y agrícolas entrelazados en la zona de mogotes y sumideros característicos de la región. En esta zona, la escorrentía es mínima, excepto, por los ríos que la atraviesan desde la zona montañosa de rocas volcánicas. La mayor parte de la lluvia que no se evapora, se infiltra a través de los sumideros al subsuelo y a los acuíferos.
4. La implantación del Plan Integral tendrá un efecto neto positivo sobre el uso de terrenos al promoverse la conservación y restauración de las cuencas. La definición del agua que estará disponible para usos agrícolas futuros tendrá un efecto de forzar la planificación más precisa de los terrenos que se dedicarán a cultivos que requieran riego, controlando indirectamente el uso de estos terrenos.

Por otro lado, existe el potencial de que la optimización del manejo y conservación de los recursos de agua actúe como un catalizador para desarrollos urbanos adicionales que impacten adversamente el uso de los terrenos.

5.2 SUELOS Y CORTEZA TERRESTRE

La implantación del Plan Integral no tendrá efectos adversos o positivos directos en los suelos o la corteza terrestre en la Isla, excepto por los mencionados anteriormente relativos a la conservación y manejo de cuencas.

5.3 ZONIFICACIÓN DE TERRENOS

El desarrollo e implantación del Plan Integral tendrá efectos indirectos sobre la zonificación de terrenos en la Isla. Estos serán generalmente positivos al promoverse la conservación de cuencas y reservas agrícolas que requieran riego. La identificación de zonas de conservación y agricultura por riego requerirá rezonificar estos terrenos de acuerdo a los planos de zonificación territoriales, regionales y generales.

5.4 DEMANDA Y SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

El desarrollo del Plan tendrá un efecto positivo a largo plazo sobre la demanda y abastos de agua potable en la Isla.

1. Según se indicara anteriormente, el abasto de agua para fines domésticos constituye el uso principal del recurso en la Isla (ver Figura 1-2, Uso de Agua Histórico en Puerto Rico). También se ilustró que los sistemas de la AAA pierden aproximadamente la mitad del agua potable que producen antes de que llegue a los consumidores. La falta de control de pérdidas en el agua potable por parte de la AAA es uno de los elementos principales en el desarrollo de obras adicionales, requiriendo abastos adicionales.

Una vez se implante el Plan Integral, se definirán los recursos disponibles con más precisión. De esta manera se podrán establecer mejores estrategias definidas para desarrollos futuros; así como para otros renglones tales como la agricultura y sistemas ecológicos. Esto servirá de incentivo a la AAA para reducir las pérdidas en sus sistemas y mejorar el servicio a los ciudadanos, pues no existirán recursos adicionales para continuar el patrón de pérdidas vigentes.

5.5 GENERACIÓN, DISPOSICIÓN Y REUSO DE AGUAS USADAS

La implantación del Plan Integral tendrá un efecto negativo en la generación de aguas usadas, al aumentarse el volumen de las mismas a tenor con mejoras en los abastos a los residentes en las zonas urbanas con sistemas sanitarios. Las plantas de tratamiento de la AAA recibirán cargas adicionales a medida que se aumente el uso de agua neto, ya que las aguas que se filtran no fluyen a las facilidades de la AAA. Esto requerirá tomar en cuenta las tasas de generación de aguas usadas futuras en la planificación de la infraestructura de aguas usadas.

Por otro lado, el Plan tendrá un efecto positivo en el reuso de aguas usadas, pues uno de sus elementos incluye un subplan con este propósito. El Plan no afectará la disposición de aguas usadas, excepto reducir el volumen al implantarse planes de reuso.

5.6 ESCORRENTÍA PLUVIAL

El Plan tendrá un efecto positivo neto al resultar en la eventual reducción en las tasas de escorrentía pluvial en las cuencas que se identifiquen para restauración y conservación.

5.7 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Uno de los elementos del Plan es la optimización de los sistemas de generación hidroeléctrica para atemperar esta actividad a las prioridades de uso del agua establecidas en la Ley de Aguas. La Ley establece el uso doméstico como prioridad principal, seguido de la agricultura. Al presente, en varias cuencas y sistemas operados por la AEE, existen conflictos de uso entre la generación hidroeléctrica y los usos domésticos y agrícolas.

La implantación del Plan probablemente resulte en una reducción neta en la cantidad de energía hidroeléctrica generada en la Isla. Esto se debe a los siguientes factores:

2. La AEE genera electricidad en varios embalses para satisfacer picos de demanda sin tomar en cuenta los sistemas de abasto de agua o agrícolas aguas abajo de las unidades hidroeléctricas.
3. Esto resulta en que frecuentemente se descargan cantidades de agua que no pueden ser aprovechadas para usos domésticos o agrícolas, fluyendo eventualmente al mar.
4. El Plan propone optimizar la generación hidroeléctrica en los embalses donde la demanda doméstica es afectada por la actividad generatriz. Esto resultará, en descargas de agua más uniformes que reducirán la habilidad de la AEE de generar los picos que ahora produce. Estudios de optimización en el Embalse de Dos Bocas establecen que satisfacer las demandas de agua para uso doméstico del Superacueducto del Norte, resultará en una reducción de aproximadamente 20% en la generación hidroeléctrica. Es de esperarse que reducciones similares o mayores ocurran en otros sistemas donde la AEE genera electricidad sin tomar en cuenta las necesidades domésticas y agrícolas.

5.8 ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIÓN

El Plan no tendrá impactos significativos a corto plazo sobre las zonas susceptibles a inundaciones. El único impacto pudiera ser a largo plazo, al reducir el potencial de inundaciones a medida que se mejore la conservación de las cuencas.

5.9 ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS

El desarrollo del Plan tendrá un impacto positivo significativo sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos de la Isla. Estos impactos positivos incluirán:

1. Promover la conservación de las cuencas hidrográficas y sus recursos de agua.
2. Promover mantener flujos mínimos necesarios para la salud y bienestar de los organismos acuáticos en ríos, quebradas, humedales y estuarios.
3. Promover el reuso de aguas usadas con el potencial de restaurar acuíferos, aumentar flujos mínimos a humedales y estuarios, y restaurar lagunas como la de Guánica.

5.9.1 FLORA TERRESTRE

El Plan no tendrá un impacto significativo sobre la flora terrestre. A largo plazo, la conservación de las cuencas, humedales y estuarios resultará en un impacto positivo en estos ecosistemas.

5.9.2 FAUNA TERRESTRE

El Plan no tendrá un impacto a corto plazo significativo sobre la fauna terrestre. A largo plazo, la conservación de cuencas, humedales y estuarios, y el reuso de agua promoverá habitáculos naturales que beneficiarán la fauna terrestre.

5.9.3 HABITÁCULOS ACUÁTICOS

El impacto principal del Plan sobre los habitáculos acuáticos será positivo. El mismo propone garantizar flujos mínimos adecuados para el mantenimiento de los habitáculos acuáticos en embalses, ríos, estuarios y humedales. Los planes de restaurar acuíferos conllevarán la recarga de los mismos con escorrentía y reuso de aguas usadas. Se crearán lagunas y humedales de infiltración, lo que beneficiará la vida acuática y las aves.

5.9.4 HUMEDALES

El Plan tendrá un impacto positivo sobre los humedales en la Isla al promover la conservación de las cuencas donde ubican humedales, garantizar flujos mínimos en los ríos que alimentan humedales, y promover la restauración de acuíferos que alimentan agua a humedales costaneros.

5.9.5 BARRERAS COSTANERAS

El Plan no tendrá impacto sobre la barreras costaneras en las aguas marinas cercanas a Puerto Rico y sus islas limítrofes.

5.10 CALIDAD DE AGUA

Uno de los impactos potenciales positivos más significaticos del Plan será sobre la calidad de las aguas superficiales, subterráneas, estuarinas y costaneras de la Isla. Las siguientes subsecciones proveen detalles sobre estos impactos

5.11 AGUAS SUPERFICIALES

La calidad de las aguas superficiales en la Isla es generalmente pobre, debido a las descargas dispersas de contaminantes y de punto que afectan los ríos, embalses y estuarios. Las aguas usadas domésticas y agrícolas son las principales fuentes de contaminantes en las aguas superficiales de la Isla contaminando las mismas con bacterias y nutrientes en concentraciones que exceden los estándares permitidos por la JCA para cuerpos de agua.

1. La implantación del Plan tendrá efectos menores directos sobre la calidad del agua en las cuencas de la Isla. El Plan no impactará las actividades que generan contaminantes dispersos y de punto en las cuencas de la Isla. A largo plazo, las medidas de conservación y restauración de cuencas tendrá un impacto positivo sobre la calidad del agua superficial.
2. Por otro lado, en algunas cuencas aumentará el uso de agua, lo que pudiera resultar en un impacto negativo sobre la calidad de las aguas superficiales.

5.11.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS

La implantación del Plan tendrá impactos positivos y negativos sobre los recursos de agua subterráneos en la Isla. Estos impactos incluirán:

1. Impactos Positivos:

    a. El Plan incluirá herramientas y medidas que el DRNA podrá utilizar para evaluar la condición de los acuíferos y definir estrategias para su manejo adecuado. Esto minimizará el potencial de extracciones excesivas de agua subterráneas, ubicaciones indebidas de pozos, y permitirá tener un control de las franquicias más efectivo para administrar la extracción vigente a tener con las condiciones hidrogeológicas existentes.
    b. El Plan identificará fuentes potenciales de contaminación a los acuíferos, y coordinará estrategias para eliminar o minimizar este potencial.
    c. El Plan incluirá estrategias para la restauración de acuíferos afectados por intrusión salina y contaminación química. En el caso del Acuífero Profundo de la Costa Norte (anteriormente definido como el Acuífero Artesiano), se preparará un plan de manejo para promover su recuperación.
    d. El Plan incluirá un programa de recarga a los acuíferos mediante desviaciones de aguas superficiales a charcas de recarga y la inyección de aguas usadas de alta calidad en lugares estratégicos.

2. Impactos Negativos:

    a. La implantación del Plan Integral ayudará en la planificación del uso de los acuíferos como fuente de agua para consumo y riego agrícola, de forma sostenible. Esto tiene el potencial de aumentar su uso, resultando en un deterioro a largo plazo de este recurso.

5.11.2 AGUAS SALINAS

La zona costanera de Puerto Rico incluye recursos de agua salina sustanciales que no son utilizados al presente. El desarrollo del Plan incluye cuantificar esta agua salina, e identificar estrategias potenciales para su uso beneficioso. Este impacto será positivo al proveer abastos de agua adicionales en zonas de escasez de agua potable, para riego o industriales.

Estas acciones podrían tener un impacto desfavorable en los acuíferos, dependiendo de los controles que se implanten para asegurar que la extracción de aguas salinas no ocasione intrusión salina adicional que afecte adversamente los acuíferos costaneros.

5.12 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS Y DE JUSTICIA AMBIENTAL

El desarrollo del Plan tiene implicaciones amplias en los aspectos socioeconómicos de la sociedad en Puerto Rico. El Plan es esencial para la conservación, manejo y uso apropiado de este importante recurso natural vital para la salud y el bienestar económico de todos los residentes en la Isla. Aunque Puerto Rico es bendecido por recursos de agua abundantes, el manejo de los mismos hasta el presente ha sido deficiente e inadecuado, afectando su calidad y disponibilidad. Esto ha resultado en que sectores y comunidades enteras sufran de falta de abastos de agua adecuados. Las comunidades y grupos socialmente en desventaja han sido impactados más severamente que los sectores de mayores ingresos económicos. En los casos en que la calidad del agua en los ríos o acuíferos ha sido comprometida por contaminación, aunque los sistemas de la AAA cumplen con los requerimientos federales de agua potable, las instalaciones que purifican el agua tienen que limitar la producción o ejercer controles adicionales. Esto disminuye la cantidad de agua que las unidades producen, afectando el servicio de agua potable.

Con este trasfondo, podemos concluir que el impacto socioeconómico del Plan será beneficioso, ya que:

1. Promoverá la conservación de los recursos de agua, permitiendo que los mismos estén disponibles para ser actualizados por una cantidad mayor de personas .
2. Promoverá mantener flujos en ríos y otros sistemas que sostengan la vida acuática, fomentando la calidad del agua y de los sistemas naturales.
3. Incluirá análisis de las demandas de recursos de agua para actividades recreativas, satisfaciendo esta demanda social.

Desde el punto de vista de justicia ambiental, el Plan cumplirá con los requisitos de la JCA en este renglón al incluir los siguientes elementos:

1. El Plan impactará positivamente todas las cuencas de la Isla, sin importar la condición social de las comunidades en cada región.
2. Las comunidades menos privilegiadas económicamente probablemente se beneficien más de la implantación del Plan que los centros urbanos. Generalmente los grupos sociales de menores ingresos en la Isla residen en comunidades aisladas y rurales. En estos lugares el servicio de agua potable ha sido tradicionalmente deficiente, en parte debido a la falta de infraestructura para potabilizar y distribuir agua a los usuarios rurales. La conservación de los recursos de agua en su fuente ayudará a los programas de agua potable en comunidades especiales y económicamente en desventaja.

5.13 RECURSOS VISUALES

El Plan tendrá un efecto generalmente positivo en los recursos visuales de la Isla. La contaminación de las aguas ayuda a deteriorar la apariencia de los ríos, embalses y estuarios, provocando el crecimiento acelerado de algas y plantas acuáticas. A medida que se implanten los elementos del Plan que resulten en la conservación de las cuencas y mejoras en la calidad del agua, la apariencia de los cuerpos de agua mejorará.

5.14 RECREACIÓN

Los deportes acuáticos son un elemento importante en Puerto Rico. En los embalses se practica la pesca recreativa y navegación. Deportes acuáticos como los kayaks y botes de vela han comenzado a tomar auge en los embalses de la Isla. El turismo es importante en varios de los embalses, incluyendo a Dos Bocas y Guajataca. En proyectos recientes, la recreación es un elemento esencial, como lo es el caso del Embalse de Cerrillos.

La implantación del Plan tendrá impactos positivos y negativos en la recreación acuática. El Plan resultará en medidas de control en el uso de embalses críticos para abastos de agua, para minimizar el potencial de contaminación, debido a accidentes tales como derrames de combustibles. En embalses como Dos Bocas, Carite, Luchetti y Toa Vaca será necesario evaluar las reglas de operación para asegurar que el uso prioritario doméstico se garantice sobre los usos recreativos.

Por otro lado, el mejor manejo de los embalses por parte del DRNA, permitirá optimizar las actividades recreativas en ciertos embalses. En los ríos y estuarios, al mejorar la calidad de agua, el uso recreativo aumentará. La optimización de las reglas de operación de los embalses redundará en el mantenimiento más efectivo de los niveles del agua, minimizando la oportunidad para impactos adversos a la pesca recreativa.

5.15 RECURSOS HISTÓRICOS Y CULTURALES

El desarrollo del Plan pudiera tener efectos adversos sobre recursos culturales e históricos en la Isla. El Plan incluirá estrategias para desarrollo potencial de nuevos embalses en la Isla, dentro y fuera del cauce de los ríos. Estos embalses ocuparán parte de las cuencas donde se ubicarán, en cuyo terrenos pudieran existir recursos arqueológicos ahora no conocidos. También, al proponerse la recarga de acuíferos mediante charcas o lagunas de inflitración, se utilizarían terrenos con potencial de yacimientos arqueológicos. Estas acciones requerirían estudios detallados

arqueológicos y la posible mitigación de yacimientos o lugares históricos que pudieran ser afectados.

5.16 ASPECTOS LEGALES Y REGLAMENTARIOS

Uno de los elementos del Plan es llevar a cabo un estudio legal de las reglas y leyes locales y federales que afectan la conservación, manejo y uso de los recursos de agua. El DRNA y la AEE tienen funciones delegadas en leyes locales que impactan el manejo de los recursos de agua, mientras que la JCA y la JP tienen responsabilidades sobre de control de calidad de las aguas y zonificaciones que pueden afectar el uso. En el sector federal, el U.S. Forest Service (USFS) reglamenta el uso del agua en las reservaciones de bosques federales en la Isla, mientras que agencias como el Cuerpo de Ingenieros (COE) y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (USFWS) reglamentan indirectamente su uso y conservación.

El estudio legal a llevarse a cabo tiene el propósito de evaluar la necesidad de enmendar estas leyes y reglamentos para facilitar la misión del DRNA en la protección y manejo de los recursos de agua. Se espera que el impacto de cualquier enmienda a las leyes y reglamentos vigentes sea positivo, pues el objetivo es optimizar el manejo de los recursos de agua en la Isla.

5.17 IMPACTOS INDIRECTOS Y ACUMULATIVOS

El proceso de análisis ambiental requiere que se lleve a cabo una evaluación de los impactos indirectos y acumulativos de cualquier acción propuesta que pudiera afectar los recursos naturales en la Isla. Las siguientes secciones proveen detalles de los impactos indirectos y acumulativos de la implantación del Plan:

1. Impactos Indirectos: Estos impactos se refieren a los que serán causados por otras acciones indirectamente resultantes de la acción propuesta. La

implantación del Plan tendrá impactos indirectos significativos a largo plazo, incluyendo:

c. Promover la restauración y conservación de las cuencas, ríos, embalses, acuíferos y estuarios.
d. Mejorar y mantener la calidad de agua en estos cuerpos de agua.
e. Aumentos en el uso de agua.
f. Promoverá el reuso de las aguas usadas.
g. Resultará en aumentos en el uso recreativo de los embalses, ríos y estuarios.
h. Pudiera resultar en una disminución en la generación hidroeléctrica, requiriendo a la AEE sustituir parte de esta fuente de energía.
i. Pudiera resultar en un aumento en el riego agrícola, causando efectos secundarios de acumulación de ciertas sales en los suelos irrigados.

5.17.1 CUENCAS HIDROLÓGICAS

La implantación del Plan tendrá efectos positivos indirectos y acumulativos sobre las cuencas hidrológicas, al promover su restauración, conservación y mantenimiento. Esto a su vez, podría ocasionar un uso mayor de las cuencas para otras actividades culturales, tales como la recreación, la agricultura y los desarrollos urbanos, lo cual a su vez pudiera tener impactos acumulativos adversos.

5.17.2 RÍOS

Los impactos indirectos sobre los ríos serán similares a las cuencas, y a largo plazo se promoverán mejoras en la calidad de las aguas y la vida acuática. Esto a su vez inducirá un uso mayor de los ríos para actividades recreativas. Por otro lado, el potencial de uso adicional del agua de los ríos pudiera tener impactos adversos sobre la calidad del agua al disminuir el volumen.

5.17.3 EMBALSES

La restauración y conservación de las cuencas afectará directamente los embalses, al reducirse las tasas de erosión y transporte de sedimentos hacia los embalses,

alargando su vida útil. Esto aumentará su uso para recreación y navegación. Por otro lado, el posible desarrollo de embalses adicionales afectará la vida terrestre en los predios a usarse, obligando a ciertas especies de fauna a emigrar a otros predios. Tambien podría eliminar parte del habitáculo de ciertas especies de flora y fauna.

5.17.4 ESTUARIOS

A largo plazo, los estuarios mantendrán su viabilidad como ecotonos marítimos, al garantizarse flujos mínimos que los conserven. Los impactos indirectos positivos incluirán mantener el ciclo de vida de ciertas especies en los estuarios, y mejorar la calidad de agua lo que a su vez aumentará la vida acuática, la pesca y la recreación en estos sistemas.

5.17.5 HUMEDALES

El efecto indirecto y acumulativo sobre los humedales de la Isla será positivo, al promover mantener flujos residuales en las cuencas que beneficien estos ecosistemas.

5.17.6 ZONA MARÍTIMO TERRESTRE

Los efectos sobre la zona marítimo-terrestre serán mínimos, pues no se afectarán recursos costaneros o marinos. El reuso parcial de las aguas sanitarias generadas por la AAA tendrá un impacto positivo en sectores de las costas donde ahora descargan efluentes primarios y secundarios.

5.17.7 ACUÍFEROS

El efecto indirecto y acumulativo a largo plazo sobre los acuíferos será positivo, al restaurarse los mismos mediante el control de extracciones de agua, previniendo intrusiones salinas adicionales. Se restaurará la calidad del agua mediante remediaciones e inyección de aguas de mejor calidad; y ayudará en la rehabilitación del Acuífero Profundo del Norte mediante un plan de manejo efectivo.

5.17.8 SISTEMAS DE RIEGO

Los sistemas de riego requerirán mejoras estructurales para optimizar su uso adicional que posiblemente resulte al planificar el uso de agua en la agricultura. En algunas instancias, la disponibilidad de agua para riego pudiera reducirse en respuesta a demandas domésticas adicionales.

5.17.9 SISTEMAS DE ACUEDUCTOS

El efecto indirecto sobre los sistemas de acueductos estará relacionado a mayor disponibilidad de agua para usos domésticos en ciertas regiones en consecuencia del cambio o mayor coordinación de uso de embalses de la AEE. Por otro lado, la restauración de los acuíferos y su manejo adecuado pudiera resultar en mayores extracciones de agua subterránea en ciertos sectores, utilizando estos recursos de agua.

5.17.10 SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS

El efecto sobre los sistemas de alcantarillados está atado a los efectos sobre los acueductos, al aumentarse la generación de aguas usadas. Por otro lado, el posible reuso de aguas usadas pudiera requerir mejoras en los sistemas de tratatamiento para cumplir con requisitos de calidad de agua que permitan su inyección a los acuíferos, descarga a lagunas de recarga, o reuso directo en riego agrícola.

5.17.11 RECREACIÓN

Se aumentarán las actividades recreativas en los ríos y ciertos embalses. Por otro lado, se restringirán ciertas actividades recreativas en algunos embalses para su protección y conservación.

5.17.12 NAVEGACIÓN

Los cambios en las reglas de operación de ciertos embalses pudieran afectar la navegación restringiendo el acceso a ciertas áreas, debido a controles en los niveles de agua. Por otro lado, mejoras en la calidad de agua reducirán la cantidad de algas y plantas acuáticas, mejorando la navegación.

5.17.13 TURISMO

La disponibilidad de recursos de agua adicionales y de alta calidad incentivará la industria turística, al facilitar el desarrollo de hoteles y facilidades recreativas adicionales. Por otro lado, las mejoras en la calidad de las aguas superficiales fomentará turismo adicional interno y externo relacionado con los ríos, embalses y estuarios.

5.17.14 COMERCIO

El efecto principal indirecto y a largo plazo sobre el comercio será la disponibilidad de recursos de agua adicionales para su desarrollo y mantenimiento.

5.17.15 INDUSTRIAS

La ubicación de ciertas industrias se restringirá en lugares específicos en las cuencas que sirven de zonas de recarga a acuíferos críticos. Por otro lado, la restauración de acuíferos servirá de incentivo para la ubicación de industrias en lugares donde se mejore la disponibilidad de agua subterránea. Indirectamente, el potencial de contaminación en ciertas regiones aumentará en proporción al aumento en desarrollo industrial adicional.

5.17.16 AGRICULTURA

El Plan tendrá efectos a largo plazo sobre la agricultura, al garantizar recursos de agua sostenibles para desarrollos agrícolas adicionales. Por otro lado, el Plan de Uso de Agua Agrícola, como un subplan del Plan Integral, pudiera resultar en disminuciones en las cantidades de agua disponible para riego a corto plazo pero un aumento a largo plazo.

5.17.17 TRANSPORTACIÓN

Los efectos sobre la transportación estarán restrictos a la navegación turística y comercial en embalses, que pudieran afectarse por cambios en las reglas de operaciones.

5.17.18 ENERGÍA

Existe el potencial de reducir la generación hidroeléctrica en los embalses de la AEE al requerirse cambiar las reglas de operación para atender las demandas domésticas. Por otro lado, existe el potencial de aumentar dicha generación hidroeléctrica al habilitar embalses adicionales con infraestructura de producción de energía.

5.17.19 SISTEMAS MARINOS

No se preveen efectos indirectos o acumulativos sobre sistemas marinos.

5.18 COMPROMISO IRREVERSIBLE DE LOS RECURSOS

El desarrollo e implantación del Plan Integral resultará en el compromiso irrevocable de los recursos de agua para uso doméstico, agrícola, comercial e industrial. El Plan será la herramienta principal que utilice el DRNA para adjudicar el uso futuro de este recurso, promoviendo su conservación.

Indirectamente, será necesario comprometer recursos económicos para las diferentes actividades que forman parte del Plan, incluyendo la restauración de las cuencas, embalses y acuíferos. Será necesario comprometer fondos adicionales para mejorar el tratamiento de las aguas usadas a reusarse en la restauración de acuíferos y riego agrícola.

La implantación del Plan conlleva inversiones sustanciales de fondos y de personal para desarrollar los sistemas de datos y su manejo. Estos recursos no estarán disponibles para otros usos. A largo plazo, el DRNA tendrá que obtener recursos económicos adicionales para mantener la Oficina del Plan de Agua y la base de datos y equipo que se adquirirá para su operación.

5.19 IMPACTOS AMBIENTALES ADVERSOS INEVITABLES

La implantación del Plan conlleva compromisos a largo plazo que resultarán generalmente en beneficios sociales y ambientales. Los impactos adversos inevitables

estarán relacionados principalmente al desarrollo de embalses adicionales, lo que ocupará predios en valles y cuencas, con impactos directos e indirectos sobre los terrenos a usarse. En el caso de aumentos en el riego agrícola, pudieran ocurrir efectos de salinización de suelos a largo plazo. La pérdida potencial de parte de la energía eléctrica generada en los embalses de la AEE pudiera neutralizarse con generaciones adicionales en otros embalses.

5.20 USOS A CORTO PLAZO VERSUS PRODUCTIVIDAD A LARGO PLAZO

El objetivo principal del Plan es promover la conservación y manejo adecuado de los recursos de agua en la Isla, de modo que a largo plazo podamos disponer de recursos adecuados y de alta calidad. La inversión capital a corto plazo redundará en beneficios sustanciales a largo plazo. Los cambios en las reglamentaciones y leyes necesarias para viabilizar la implantación del Plan redundarán en beneficios a largo plazo en la disponibilidad de agua para todos los usuarios, incluyendo los sistemas naturales.

5.21 COMPATIBILIDAD CON LOS OBJETIVOS DE LAS AGENCIAS LOCALES Y FEDERALES, Y GOBIERNOS MUNICIPALES

El Plan Integral cumple con los requisitos de la Ley de Aguas y los principios de las leyes y reglamentos locales y federales de protección ambiental y conservación de recursos naturales. La actualización e implantación del Plan permitirá al DRNA cumplir en forma más efectiva con su deber ministerial de manejo y conservación de los recursos de agua, promoviendo un uso sabio de este recurso vital. Los efectos indirectos de su implantación, incluyendo la conservación de las cuencas y mejoras en la calidad de las aguas, son compatibles con los objetivos de la JCA, la JP, la EPA, el COE, y otras agencias locales y federales responsables del manejo y protección de los recursos naturales de la Isla.

5.22 CONFLICTOS Y CONTROVERSIAS

Los conflictos y controversias principales de la implantación del Plan incluirán:

1. Alteraciones en la regla de operación de ciertos embalses, afectando la generación hidroeléctrica y la navegación.
2. Requerimientos de flujos residuales y mínimos para la conservación de los ecosistemas acuáticos, confligiendo con planes de la AAA para el desarrollo de nuevos acueductos.
3. Alteración en la prioridad de uso de agua en ciertos ríos y embalses, afectando las prioridades de navegación y recreación a favor de mantener abastos domésticos seguros.
4. Posibles conflictos entre el uso agrícola y el doméstico en varias cuencas donde los recursos de agua son limitados.
5. Utilización de terrenos adicionales en y fuera del cauce de los ríos para posibles embalses.

5.23 RIESGOS INCIERTOS Y DESCONOCIDOS

No se preveen riesgos inciertos y desconocidos con la implantación del Plan.

5.24 PRECEDENTES Y PRINCIPIOS PARA ACCIONES FUTURAS

La actualización e implantación del Plan no resultará en precendentes y principios para otras acciones futuras que las relacionadas a sus objetivos primarios de promover el manejo, conservación y uso de los recursos de agua de la Isla.

6.0 PERSONAL QUE PARTICIPÓ EN LA PREPARACIÓN DE LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA ACTUALIZADA

Ferdinand Quiñones, P.E., Gerente Técnico del Plan Integral, Consultor AAA	Preparación de la DIA-E-A
Fernando Vargas, PE, Gerente Oficina Plan de Aguas, Subsecretario del DRNA	Revisión documento
Alberto Lázaro, P.E., Anterior Gerente Oficina Plan Agua y Subsecretario DRNA	Revisión documento
Marianela Torres, DRNA	Revisión documento
Sigfredo Torres, Hidrólogo AAA	Revisión documento
Myriam Piazza, CSA Group	Redacción y montaje
Rafael Guerrero, PhD, Consultor Oficina Plan de Aguas	Revisión documento
Silvana Palacios, EIT, Consultora Oficina Plan de Aguas	Revisión documento

7.0 PARTICIPACIÓN PÚBLICA

La DIA-E-A ha sido divulgada en forma amplia para promover la participación pública al máximo. Esta divulgación ha incluIdo:

a) Radicación en la JCA y sus oficinas regionales
b) Publicación en la Internet en las páginas de la JCA, el DRNA, la AAA y la AEE
c) Publicación de anuncios púbicos en los periódicos de la Isla sobre la disponibiliad del documento
d) Circulación a las bibliotecas públicas y universitarias principales en la Isla
e) Presentaciones en foros públicos y privados
f) Vistas púbicas de la JCA y el DRNA en San Juan, Ponce, Mayagüez y Humacao en el verano del 2005.

8.0 ENTIDADES Y AGENCIAS A LAS QUE SE CIRCULA LA DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA

Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA)	Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA)
Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA)	Presidente Senado
Autoridad de Energía Eléctrica (AEE)	Presidente Cámara de Representantes
Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura (AFI)	Oficina Infraestructura de la Fortaleza
Autoridad de Transportación y Carreteras (ATC)	Servicio de Conservación de Recursos Naturales Federal (NRCS)
Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP)	Servicio de Pesca y Vida Silvestre (USFWS)
Autoridad de Tierras (AT)	Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS)
Departamento de Agricultura (DA)	Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (COE)
Departamento de Salud (DS)	Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)
Instituto de Cultura Puertorriqueña (ICP)	Universidad Pontificia Católica
Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS)	Universidad Interamericana Recintos: Metropolitano, Ponce y San Germán
Compañía de Fomento Industrial (PRIDCO)	Universidad Metropolitana
Compañía de Turismo	Universidad Politécnica de Puerto Rico Recintos: San Juan, San Germán
Autoridad de los Puertos (AP)	Universidad Sagrado Corazón
Junta de Planificación (JP)	Universidad de Puerto Rico Recintos de Río Piedras, Mayagüez y Ponce
Oficina Estatal de Preservación Histórica (SHPO)	Comisión de Recursos Naturales, Energía y Agricultura del Senado
Oficinas Regionales JCA: Guayama, Humacao, Arecibo, San Juan, Mayagüez y Ponce	Comisión de Recursos Naturales y Calidad Ambiental de la Cámara de Representantes
Gobiernos Municipales de San Juan, Bayamón, Carolina, Cagüas, Humacao, Fajardo, Ponce, Guayama, Mayagüez y Arecibo	El Nuevo Día; El Vocero; Caribbean Business

9.0 AFFIDAVIT CERTIFICACIÓN

NOTARIZED AFFIDAVIT

I, Ferdinand Quiñones, Professional Engineer and Environmental Consultant, license 5310, responsible for the preparation of the Strategic Actualized Environmental Impact Statement for the Integral Plan for the Water Resources of Puerto Rico, in representation of the Office of the Water Plan of the Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources, proponent agency of the document at the Puerto Rico Environmental Quality Board, solemnly swear and certify, that to the best of my knowledge the information in the indicated document that I prepared, is truthful, correct and complete.

And so that it be known, I hereby sign this certification in Brentwood, Tennessee, today, April 12, 2005.

FERDINAND QUIÑONES MARQUEZ
INGENIERO
LICENCIADO
LIC. #5310
PUERTO RICO

Ferdinand Quiñones

Affidavit Number: _____

Sworn and subscribed before me by Ferdinand Quiñones, age 62, Social Security Number 582-88-7107, of 909 Steeplechase Drive in Brentwood, Tennessee, and of the personal circumstances previously described, whom I identified through his driver license issued by the State of Tennessee Number 67889631, with expiration date of January 7, 2007.

In Brentwood, Tennessee, on April 12, 2005.

Notary

BETTENIA G. WILLIAMS
NOTARY
PUBLIC
AT
LARGE
DAVIDSON COUNTY, TENN.

My Commission Expires JULY 21, 2007

10.0 REFERENCIAS

Adams, B.D., and Hefner, J.M., 1996, Puerto Rico wetland resources - National Water Summary 1996: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2425, p. 333-338.

Adams, B.D., and Hefner, J.M., 1999, Humedales (translated in Spanish by Teresa Dopazo): U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2425, 6 p.

Adolphson, D.G., Seijo, M.A., and Robison, T.M., 1977, Water resources of the Maunabo Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 115-76, 38 p.

Anders, R.B., 1968, Reconnaissance of the water resources of the Central Guanajibo Valley, Cabo Rojo, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report (unnumbered), 15 p.

Anders, R.B., 1971, Electric analog model study of water in the Yabucoa Valley, Puerto Rico (Phase-1, Collecting preliminary data and assembling available data): U.S. Geological Survey Open-File Report 71-5, 47 p.

Anderson, H.R., 1976, Ground water in the San Juan metropolitan area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 41-75, 34 p.

Anderson, H.R., 1977, Ground water in the Lajas Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 76-68, 46 p.

Arnow, Ted, 1961, Water-bearing properties of the rocks in the Arecibo-Barceloneta area, Puerto Rico: in Short Papers in the Geologic and Hydrologic Sciences, Articles 147-292, Geological Survey Research 1961, U.S. Geological Survey Professional Paper 424-C, Article 221, p. C201-C202.

Arnow, Ted, and Bogart, D.B., 1959, Water problems of Puerto Rico and a program of water-resources investigations: Transactions of the Second Caribbean Geological Conference, Mayagüez, Puerto Rico, January 4-9, 1959, p. 120-129.

Arnow, Ted, and Crooks, J.W., 1960, Public water supplies in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 2, 34 p.

Atkins, J.B., Pérez-Blair, Francisco, and Pearman, J.L., 1999, Analisis of flow durations for selected streams in Puerto Rico through 1994: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4189, 32 p.

Attanasi, E.D., Close, E.R., and López, M.A., 1975, Techniques for water demand analysis and forecasting: Puerto Rico, A case study: U.S. Geological Survey Open-File Report 75-94, 76 p.

Barnes, H.H., Jr., and Bogart, D.B., 1961, Floods of September 6, 1960, in eastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Circular 451, 13 p.

Bennett, G.D., 1972, Ground water along Río Bucaná at Ponce, Puerto Rico and the effects of a proposed floodway on ground-water quality: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 11, 29 p.

Bennett, G.D., 1976, Electrical analog simulation of the aquifers along the south coast of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 74-4, 101 p.

Bennett, G.D., and Giusti, E.V., 1971, Coastal ground-water flow near Ponce, Puerto Rico: in Geological Survey Research 1971, Chap. D, U.S. Geological Survey Professional Paper 750-D, p. D206-D211.

Bennett, G.D., and Giusti, E.V., 1972, Ground water in the Tortuguero area, Puerto Rico - As related to proposed harbor construction: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 10, 25 p.

Bogart, D.B., Arnow, Ted, and Crooks, J.W., 1960, Water problems of Puerto Rico and a program of water-resources investigations: (included also in Spanish) U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 1, 40 p.

Bogart, D.B., Arnow, Ted, and Crooks, J.W., 1964, Water resources of Puerto Rico - A progress report: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 4, 120 p.

Briggs, R.P., and Akers, J.P., 1965, Hydrogeologic map of Puerto Rico and adjacent islands: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-197, 1 sheet.

Cherry, G.S., 2001, Simulation of flow in the upper north coast limestone aquifer, Manatí-Vega Baja area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4266, 82 p.

Cherry, G.S., and Ramos, Juan, 1995, Water wells on Isla de Culebra, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-369, 24 p.

Cherry, G.S., and Ramos, Juan, 1995, Water wells on Isla de Vieques, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-368, 34 p.

Cobb, E.D., 1978, Estimates of 7-day, 10-year minimum flows at selected stream sites in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-583, 47 p.

Collar, P.D., and Guzmán-Ríos, Senén, 1991, Sedimentation rates and capacity restoration options, Lago Loíza, Puerto Rico: in Drs. Shou-Shan Fan and Yung-Huang Kuo, eds., Proceedings of the Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, March 18-21, 1991, v. 2, p. 15-17 to 15-25.

Colón-Dieppa, Eloy, 1986, Puerto Rico surface-water resources - National Water Summary 1985: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2300, p. 399-406.

Colón-Dieppa, Eloy, and González, J.R., 1981, Ground-water levels and chloride concentrations in alluviul aquifers on the south coast of Puerto Rico, February 1979: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-641, 21 p.

Colón-Dieppa, Eloy, and González, Ralph, 1978, Cross section data for selected Puerto Rico streams: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-882, 153 p.

Colón-Dieppa, Eloy, and Quiñones-Aponte, Vicente, 1985, Estimates of 7-day, 10-year low flow at ungaged streams in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 84-4089, 1 sheet.

Colón-Dieppa, Eloy, and Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1985, A reconnaissance of the water resources of the Central Guanajibo Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 82-4050, 47 p.

Colón-Dieppa, Eloy, and Torres-Sierra, Heriberto, 1991, Puerto Rico floods and droughts - National Water Summary 1988-89: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2375, p. 475-482.

Colón-Dieppa, Eloy, Díaz, P.L., and García, René, 1987, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1985: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-85-1, 400 p.

Conde-Costas, C.E., and Rodríguez-Rodríguez, G.A., 1997, Reconnaissance of ground-water quality in the Manatí quadrangle, Puerto Rico, August-November 1992: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-628, 16 p.

Conde-Costas, C.E., and Rodríguez-Rodríguez, G.A., 1997, Reconnaissance of ground-water quality in the Manatí quadrangle, Puerto Rico, August-November 1992: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-628, 16 p.

Conde-Costas, Carlos, and Gómez-Gómez, Fernando, 1998, Nitrate contamination of the upper aquifer in the Manatí-Vega Baja area, Puerto Rico - Proceedings of the Third International Symposium on Water Resources: Fifth Caribbean Islands Water Resources Congress, American Water Resources Association, July 1998, San Juan, Puerto Rico, p. 15-20.

Conde-Costas, Carlos, and Gómez-Gómez, Fernando, 1999, Assessment of nitrate contamination of the upper aquifer in the Manatí-Vega Baja area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4040, 43 p.

Conde-Costas, Carlos, and Rodríguez, Gilberto, 1997, Potentiometric surface and hydrologic conditions of the upper aquifer in the Manatí-Vega Baja area, north

central Puerto Rico, March 1995: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4184, 1 sheet.

Crooks, J.W., Grossman, I.G., and Bogart, D.B., 1968, Water resources of the Guayanilla-Yauco area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 5, 55 p., 7 pls.

Curtis, R.E., Jr., Aquino, Zaida, Díaz, P.L., and García, René, 1988, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1986: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-86-1, 362 p.

Curtis, R.E., Jr., Aquino, Zaida, Díaz, P.L., and Vachier, Ricardo, 1989, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1987: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-87-1, 356 p.

Curtis, R.E., Jr., Aquino, Zaida, Díaz, P.L., and Vachier, Ricardo, 1989, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1988: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-88-1, 460 p.

Curtis, R.E., Jr., Aquino, Zaida, Díaz, P.L., and Vachier, Ricardo, 1990, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1989: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-89-1, 419 p.

Curtis, R.E., Jr., Aquino, Zaida, Díaz, P.L., and Vachier, Ricardo, 1991, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1990: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-90-1, 514 p.

Curtis, R.E., Jr., Guzmán-Ríos, Senén, and Díaz, P.L., 1984, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1983: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-83-1, 302 p.

Curtis, R.E., Jr., Guzmán-Ríos, Senén, and Díaz, P.L., 1985, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1984: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-84-1, 374 p.

Curtis, R.E., Jr., McKinley P.W., and Colón-Ramos, H.M., 1983, Water resources data Puerto Rico, Water Years 1981-82: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-81-82-1, 414 p.

Dacosta, Rafael, and Gómez-Gómez, Fernando, 1987, Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Guayama quadrangle, Puerto Rico, March 1986: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4162, 1 sheet.

Díaz, J.R., 1973, Chemical quality of water in Caño Tiburones, Puerto Rico, A reconnaissance study carried out in 1967: U.S. Geological Survey Open-File Report, Map Series no. 2, 2 sheets.

Díaz, J.R., 1974, Coastal salinity reconnaissance and monitoring system--south coast of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 74-1, 28 p.

Díaz, J.R., and Jordan, D.G., 1987, Water resources of the Río Grande de Añasco - lower Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-4237, 48 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1993, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1992: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-92-1, 602 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1994, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1993: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-93-1, 568 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1995, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands Water Year 1994: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-94-1, 516 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1996, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1995: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-95-1, 535 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1997, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1996: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-96-1, 548 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1998, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1997: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-97-1, 548 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 1999, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1998: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-98-1, 629 p.

Díaz, P.L., Aquino, Zaida, Figueroa-Alamo, Carlos, Vachier, R.J., and Sánchez, A.V., 2000, Water resources data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, Water Year 1999: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-99-1, 599 p.

Dopazo, Teresa, and Molina-Rivera, W.L., 1995, Estimated water use in Puerto Rico, 1988-89: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-380, 31 p.

Durfor, C.N., and Becker, Edith, 1964, Chemical quality of public water supplies of the United States and Puerto Rico, 1962: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-200, 1 sheet.

Ellis, S.R., 1976, History of dredging and filling of lagoons in the San Juan area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 38-76, 25 p., 4 pls.

Ellis, S.R., and Gómez-Gómez, Fernando, 1975, Water-quality and hydraulic data, San Juan lagoon system, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 75-2, 142 p.

Ellis, S.R., and Gómez-Gómez, Fernando, 1976, Hydrologic characteristics of lagoons at San Juan, Puerto Rico, during a January 1974 tidal cycle: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 38-75, 45 p.

Fields, F.K., 1971, Floods in the Añasco area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-375, 1 sheet.

Fields, F.K., 1971, Floods in the Yabucoa area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-382, 1 sheet.

Fields, F.K., 1971, Floods in the Guayanilla-Yauco area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-414, 1 sheet.

Fields, F.K., 1972, Floods at Caguas, Gurabo, Juncos, and San Lorenzo, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-438, 1 sheet.

Fields, F.K., and Jordan, D.G., 1972, Storm-wave swash along the north coast of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-430, 2 sheets.

Figueroa-Alamo, Carlos, 1991, Sedimentation survey of Lago Toa Vaca, Puerto Rico, July 1985: U.S. Geological Survey Open-File Report 90-199, 9 p.

Gellis, A.C., Webb, R.M.T., Wolfe, W.J., and McIntyre, C.I., 1999, Effects of land use on upland erosion, sediment transport, and reservoir sedimentation, Lago Loíza basin, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4010, 60 p., 1 pl.

Gellis, Allen, 1991, Construction effects on sediment for two basins in Puerto Rico: in Drs. Shou-Shan Fan and Yung-Huang Kuo, eds., Proceedings of the Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, March 18-21, 1991, v. 1, p. 4-72 to 4-78.

Gellis, Allen, 1993, The effect of Hurricane Hugo on suspended-sediment loads Lago Loíza basin, Puerto Rico: Earth Surface Process and Landforms, v. 18, p. 505-517.

Giusti, E.V., 1968, Water resources of the Juana Díaz area, Puerto Rico - A preliminary appraisal, 1966: U.S. Geological Survey Water- Resources Bulletin 8, 43 p.

Giusti, E.V., 1971, Water resources of the Coamo area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 9, 31 p.

Giusti, E.V., 1978, Hydrogeology of the karst of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 1012, 68 p., 2 pls.

Giusti, E.V., and Bennett, G.D., 1976, Water resources of the north coast limestone area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 42-75, 42 p.

Glover, Lynn III, 1971, Geology of the Coamo area, Puerto Rico, and its relation to the volcanic arc-trench association: U.S. Geological Survey Professional Paper 636, 102 p., 4 pls.

Gómez-Gómez, Fernando, 1984, Water resources of the lower Río Grande de Manatí Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4199, 42 p.

Gómez-Gómez, Fernando, 1987, Planning report for the Caribbean Islands Regional Aquifer-System Analysis project: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 86-4074, 50 p., 3 pls.

Gómez-Gómez, Fernando, 1990, Hydrochemistry of the South Coastal Plain Aquifer System of Puerto Rico and its relation to surface-water recharge: in Gómez-Gómez, Fernando, Quiñones-Aponte, Vicente, and Johnson, A.I., eds., Aquifers of the Caribbean Islands, Proceedings of the International Symposium on Tropical Hydrology, San Juan, PR, July 23-27, 1990, AWRA Monograph Series no. 15, p. 57-75.

Gómez-Gómez, Fernando, 1997, Hurricane Hortense: Impact on ground water in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Fact Sheet 012-97, 2 p.

Gómez-Gómez, Fernando, and Guzmán-Ríos, Senén, 1982, Reconnaissance of ground-water quality throughout Puerto Rico, September-October 1981: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-332, 1 sheet.

Gómez-Gómez, Fernando, and Heisel, J.E., 1980, Summary appraisals of the Nation's ground-water resources - Caribbean Region: U.S. Geological Survey Professional Paper 813-U, 32 p., 2 pls.

Gómez-Gómez, Fernando, and Torres-Sierra, Heriberto, 1988, Hydrology and effects of development on the water-table aquifer in the Vega Alta quadrangle, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4105, 54 p.

Gómez-Gómez, Fernando, Dacosta, Rafael, and Orona, Miguel, 1983, Estimated water use in Puerto Rico, 1980 - U.S. Geological Survey Water-Use Information Program: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-689, 1 sheet.

Gómez-Gómez, Fernando, Quiñones, Ferdinand, and Ellis, S.R., 1983, Hydrologic characteristics of lagoons at San Juan, Puerto Rico, during an October 1974 tidal cycle: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-349, 34 p.

Gómez-Gómez, Fernando, Quiñones, Ferdinand, and López, Marisol, 1984, Public water supplies in Puerto Rico, 1983: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 84-126, 102 p.

Gómez-Gómez, Fernando, Rodríguez-Martínez, Jesús, Santiago-Rivera, Luis, Oliveras-Feliciano, M.L., and Conde-Costas, Carlos, 2001, Surface-water, water-quality, and ground-water assessment of the municipio of Caguas, Puerto Rico, 1997-99: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4280, 42 p., 2 pls.

Graves, R.P., 1989, Water resources of the Humacao-Naguabo area, eastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4088, 69 p.

Graves, R.P., 1991, Ground-water resources in Lajas Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 89-4182, 55 p.

Graves, R.P., 1992, Geohydrology of the Aguirre and Pozo Hondo areas, southern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 91-4124, 43 p.

Grossman, I.G., 1961, Ground-water conditions in the lower Tallaboa Valley, Puerto Rico: Geological Survey Research 1961, in Short Papers in the Geologic and Hydrologic Sciences, Article 147-292, U.S. Geological Survey Professional Paper 424-C, Article 222, p. 202-203.

Grossman, I.G., 1962, Stratigraphy and hydrology of the Juana Díaz Formation in the Yauco area, Puerto Rico: Geological Survey Research 1962, in Short Papers in Geology, Hydrology, and Topography, Articles 120-179, U.S. Geological Survey Professional Paper 450-D, Article 137, p. 62-63.

Grossman, I.G., 1963, Geology of the Guánica-Guayanilla bay area, southwestern Puerto Rico: Geological Survey Research 1963, in Short Papers in Geology and Hydrology, Articles 1-59, U.S. Geological Survey Professional Paper 475-B, Article 29, p. 114-116.

Grossman, I.G., Bogart, D.B., Crooks, J.W., and Díaz, J.R., 1972, Water resources of the Tallaboa Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 7, 115 p.

Guzmán-Ríos, Senén, 1988, Hydrology and water quality of the principal springs in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water- Resources Investigations Report 85-4269, 30 p.

Guzmán-Ríos, Senén, 1989, Suspended-sediment data in the upper Río Grande de Loíza basin, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 88-324, 42 p.

Guzmán-Ríos, Senén, and Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1984, Ground-water quality at selected sites throughout Puerto Rico, September 1982 - July 1983: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 84-058, 1 sheet.

Guzmán-Ríos, Senén, and Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1985, Reconnaissance of trace organic compounds in ground water throughout Puerto Rico, October 1983: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 84-810, 1 sheet.

Haire, W.J., 1971, Flooding along the Río Piedras in the San Juan area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Map Series no. 1, 2 sheets.

Haire, W.J., 1971, Floods in the Patillas-Maunabo area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-445, 1 sheet.

Haire, W.J., 1971, Floods in Salinas area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-447, 1 sheet.

Haire, W.J., 1971, Floods in the Guayama area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-446, 1 sheet.

Haire, W.J., 1971, Floods in the Santa Isabel area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-448, 1 sheet.

Haire, W.J., 1972, Flood of October 5-10, 1970 in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 12, 38 p.

Haire, W.J., 1972, Floods in the Río Guanajibo Valley, southwestern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-456, 1 sheet.

Haire, W.J., 1975, Floods in the Carolina-Río Grande area, northeastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-533, 1 sheet.

Haire, W.J., 1975, Floods in the Fajardo-Luquillo area, northeastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-545, 1 sheet.

Haire, W.J., 1978, Floods in the Naguabo area, eastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-584, 1 sheet.

Heisel, J.E., and González, J.R., 1976, Ground-water levels on the south coast of Puerto Rico, February 1976: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-705, 13 p.

Heisel, J.E., and González, J.R., 1979, Water budget and hydraulic aspects of artificial recharge, south coast of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 78-58, 102 p.

Heisel, J.E., González, J.R., and Cruz, Carlos, 1983, Analog model analysis of the north coast limestone aquifers, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-52, 49 p.

Hickenlooper, I.J., 1967, Floods at Barceloneta and Manatí, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-262, 1 sheet.

Hickenlooper, I.J., 1968, Floods at Arecibo, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-271, 1 sheet.

Hickenlooper, I.J., 1968, Floods in the area of Vega Alta and Vega Baja, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-289, 1 sheet.

Hickenlooper, I.J., 1968, Floods in the Mayagüez area of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-288, 1 sheet.

Hickenlooper, I.J., and López, M.A., 1967, Floods in the Ponce area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-261, 1 sheet.

Johnson, K.G., 1972, Floods in the Aguadilla-Aguada area, northwestern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-457, 1 sheet.

Johnson, K.G., 1974, Floods in eastern Lajas Valley and the lower Río Loco basin, southwestern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-532, 1 sheet.

Johnson, K.G., 1981, Flood of September 16, 1975, in Tallaboa Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 80-1283, 5 sheets.

Johnson, K.G., 1982, Flood of September 16, 1975, in the Guanajibo Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-805, 1 sheet.

Johnson, K.G., 1982, Flood of September 16, 1975, in the Guayanilla Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 80-1282, 1 sheet.

Johnson, K.G., 1982, Flood of September 16, 1975, in the Yauco Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-331, 13 p.

Johnson, K.G., and Carrasquillo, R.A., 1982, Floods of October 9, 1970, and September 16, 1975, at Jayuya, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-346, 1 sheet.

Johnson, K.G., and González, Ralph, 1982, Flood of September 16, 1975, in the Guánica area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-480, 1 sheet.

Johnson, K.G., and Quiñones-Aponte, Vicente, 1982, Flood of September 16, 1975, in the Añasco area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-345, 1 sheet.

Johnson, K.G., Quiñones, Ferdinand, and Alicea, José, 1982, Flood of September 16, 1975, at Utuado, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-413, 1 sheet.

Johnson, K.G., Quiñones, Ferdinand, and González, Ralph, 1987, Hydraulic analyses of water-surface profiles in the vicinity of the Coamo Dam and Highway 52 bridge, southern Puerto Rico: Flood analyses as related to the flood of October 7, 1985: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4039, 26

Jordan, D.G., and Gilbert, B.K., 1976, Water supply and waste disposal, Culebra, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations 76-3, 31 p.

Kaye, C.A., 1959, Geology of Isla Mona, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 317-A, 48 p., 2 pls.

Kaye, C.A., 1959, Geology of the San Juan metropolitan area, Puerto Rico, and notes on age of Mona passage: U.S. Geological Survey Professional Paper 317-C, 140 p., 3 pls.

Kaye, C.A., 1959, Shoreline features and quaternary shoreline changes Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 317-B, 140 p., 3 pls.

Kipple, F.P., and others, 1968, Water records of Puerto Rico, 1958-63: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 353 p.

Larsen, M.C., 1990, Landslides caused by the intense precipitation of Hurricane Hugo in El Yunque and surrounding areas:: Boletín Oficial de la Sociedad de Historia Natural de Puerto Rico, v. 24, no. 12, p. 8.

Larsen, M.C., and Parks, J.E., 1998, Map showing landslide susceptibility in the Comerío municipality, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-566, 1 sheet.

Lohr, E.W., 1957, Chemical character of public water supplies of the larger cities in Alaska, Hawaii, and Puerto Rico, 1954: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1460-A, 39 p., 1 pl.

López, M.A., 1962, Floods at Bayamón and Cataño, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-77, 1 sheet.

López, M.A., 1964, Floods at Toa Alta, Toa Baja, and Dorado, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-128, 1 sheet.

López, M.A., 1967, Floods at Humacao, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Hydrologic Investigations Atlas HA-265, 1 sheet.

López, M.A., and Fields, F.K., 1970, A proposed streamflow-data program for Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report, 42 p.

López, M.A., Colón-Dieppa, Eloy, and Cobb, E.D., 1979, Floods in Puerto Rico, magnitude and frequency: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 78-141, 68 p.

McClymonds, N.E., 1967, Water resources of the Guánica area, Puerto Rico - A preliminary appraisal, 1963: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 6, 43 p.

McClymonds, N.E., 1972, Water resources of the Ponce area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 14, 26 p.

McClymonds, N.E., and Díaz, J.R., 1972, Water resources of the Jobos area, Puerto Rico - A preliminary appraisal, 1962: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 13, 32 p.

McClymonds, N.E., and Ward, P.E., 1966, Hydrologic characteristics of the alluvial fan near Salinas, Puerto Rico: in Geological Survey Research 1966, Chap. C, U.S. Geological Survey Professional Paper 550-C, p. 231-234.

McCoy, J.H., 1978, Summary of the water resources of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-971, 24 p.

McGuinness, C.L., 1946, Records of wells in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report, 267 p.

McGuinness, C.L., 1948, Ground-water resources of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report, 277 p.

McKinley, P.W., 1985, Surface water data network analysis for Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4055, 14 p.

Molina-Rivera, W.L., 1996, Ground-water use from the principal aquifers in Puerto Rico during calendar year 1990: U.S. Geological Survey Fact Sheet 188-96, 3 p.

Molina-Rivera, W.L., 1996, Puerto Rico water-use program: public-supply water use and wastewater disposal during 1990: U.S. Geological Survey Fact Sheet 098-96, 3 p.

Molina-Rivera, W.L., 1997, Accuracy of data for selected categories compiled in the Puerto Rico Water-Use Information program: U.S. Geological Survey Fact Sheet 141-96, 4 p.

Molina-Rivera, W.L., 1998, Estimated water use in Puerto Rico, 1995: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-276, 28 p.

Molina-Rivera, W.L., 1998, Quality-Assurance Plan for Water-Use Program activities of the Caribbean District: U.S. Geological Survey Open-File Report 98-547, 13 p.

Molina-Rivera, W.L., and Dopazo, Teresa, 1995, Estimated water use in Puerto Rico, 1986-87: U.S. Geological Survey Open- File Report 95-358, 31 p.

Monroe, W.H., 1976, The karst landforms of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 899, 69 p., 1 pl.

Monroe, W.H., 1979, Map showing landslides and areas of susceptibility to landsliding in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigations Map Series, 1 sheet.

Monroe, W.H., 1980, Geology of the middle Tertiary Formations of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 953, 93 p., 1 pl.

Monroe, W.H., 1980, Some tropical landforms of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Professional Paper 1159, 39 p., 1 pl.

Pérez-Blair, Francisco, 1997, Ground-water resources of alluvial valleys in northeastern Puerto Rico -- Río Espíritu Santo to Río Demajagua area: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4201, 25 p., 2 pls.

Pérez-Blair, Francisco, and Carrasquillo-Nieves, R.A., 1996, Discharge and water quality of streams in the alluvial valleys of northeastern Puerto Rico, March 1994, Río Espíritu Santo to Río Demajagua: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-370, 1 sheet.

Pérez-Blair, Francisco, and Carrasquillo-Nieves, R.A., 1996, Potentiometic surface of the principal alluvial aquifers in the Río Espíritu Santo to Río Demajagua area, Puerto Rico, March 23-24, 1994: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4152, 1 sheet.

Puig, J.C., and Rodríguez, J.M., 1990, Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions near Gurabo and Juncos, Puerto Rico, March 1988: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4059, 2 sheets.

Puig, J.C., and Rodríguez, J.M., 1992, Ground-water resources of the Caguas-Juncos Valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 91-4079, 48 p.

Puig, J.C., and Rodríguez, J.M., 1993, Ground-water resources of the Caguas-Juncos valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 91-4079, 52 p.

Puig, J.C., Rodríguez-del-Río, Félix, and Rodríguez, J.M., 1989, Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions near Caguas, Puerto Rico, March 1988: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 89-4075, 1 sheet

Quiñones, Ferdinand, and Alicea-Ortíz, José, 1985, Agua subterránea en Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 85-642, 6 p.

Quiñones, Ferdinand, and Johnson, K.G., 1987, The floods of May 17-18, 1985, and October 6-7, 1985, in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 87-123, 22 p.

Quiñones, Ferdinand, Colón-Dieppa, Eloy, and Juarbe, Max, 1984, Flow duration at streamflow gaging stations in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 84-127, 93 p.

Quiñones, Ferdinand, Green, Bruce, and Santiago, Luis, 1989, Sedimentation survey of Lago Loíza, Puerto Rico, July 1985: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4019, 17 p.

Quiñones, Ferdinand, Meléndez, Frank, and Bonnet, Carlos, 1989, Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, June 1985: U.S. Geological Survey Open-File Report 86-241, 14 p.

Quiñones-Aponte, Vicente, 1986, Simulation of ground-water flow in the Río Yauco alluvial valley, Yauco, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-4179, 32 p.

Quiñones-Aponte, Vicente, 1986, Water resources of the lower Río Grande de Arecibo alluvial valley, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-4160, 38 p., 1 pl.

Quiñones-Aponte, Vicente, and Gómez-Gómez, Fernando, 1987, Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Salinas quadrangle, Puerto Rico, March 1986: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4161, 1 sheet.

Quiñones-Aponte, Vicente, Gómez-Gómez, Fernando, and Renken, R.A., 1997, Geohydrology and simulation of ground-water flow in the Salinas to Patillas area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4063, 37 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1976, Chemical, physical, biochemical, and bacteriological determinations in Lago Loíza, Puerto Rico, and in its main tributaries, September 1973 - December 1974: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-7, 74 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1976, Chemical, physical, biochemical, and bacteriological determinations in Laguna Tortuguero, Puerto Rico, July 1974 - June 1975: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-5, 39 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1980, Limnology of Lago Loíza, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 79-97, 113 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, 1987, Management and development of surface and ground water: in Krushesky, R.D., ed., Proceedings of the Development of Mineral, Energy, and Water Resources and Mitigation of Geologic Hazards in Central America, U.S. Geological Survey Circular 1006, p. 140-149.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, and Fusté, L.A., 1978, Limnology of Laguna Tortuguero, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 77-122, 86 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, and Peña-Cruz, Gilberto, 1985, Water resources investigations in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands - Programs and activities of the U.S. Geological Survey, Water Resources Division, Caribbean District 1984-1985: U.S. Geological Survey Open-File Report 85-556, 43 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, Gómez-Gómez, Fernando, and Zack, Allen, 1984, Puerto Rico ground-water resources - National Water Summary 1984: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2275, p. 367-372.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, Guzmán-Ríos, Senén, 1986, Determinación de caudal y técnicas de muestreo en agua superficial: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-89, 68 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, López, M.A., and Latkovich, V.J., 1976, Water records of the Río Piedras basin, Puerto Rico, 1971-74: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-3, 111 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, Vázquez, Pedro, and Peña, Rafael, 1977, Chemical, physical, biochemical, and bacteriological characteristics at selected stream sites in Puerto Rico, 1975-76: U.S. Geological Survey Open-File Report 77-237, 176 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, Vázquez, Pedro, and Peña-Cortés, Rafael, 1978, Chemical, physical, biochemical, and bacteriological characteristics at selected stream sites in Puerto Rico 1976-77: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-445, 145 p.

Quiñones-Márquez, Ferdinand, Vázquez, Pedro, Class, Angel, and Peña, Rafael, 1976, Chemical, physical, biochemical, and bacteriological characteristics at selected stream sites in Puerto Rico, 1974-75: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-1, 163 p.

Ramos-Ginés, Orlando, 1994, Effects of changing irrigation practices on the ground-water hydrology of the Santa Isabel-Juana Díaz area, south central Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations 91-4183, 22 p.

Ramos-Ginés, Orlando, 1994, Hydrology, water quality, and potential alternatives for water-resources development in the Río Majada and Río Lapa basins near the Albergue Olímpico, southern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations 91-4174, 35 p.

Ramos-Ginés, Orlando, 1997, Water balance and quantification of total phosphorus and total nitrogen loads entering and leaving the Lago de Cidra, central Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4222, 28 p.

Ramos-Ginés, Orlando, 1999, Estimation of magnitude and frequency of floods for streams in Puerto Rico: new empirial models: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4142, 41 p.,

Rickler, J.G., and others, 1970, Water records of Puerto Rico, 1964-67, Volume 1, north and northeast slopes: U.S. Geological Survey Water-Data Report 71-238, 265 p.

Rickler, J.G., and others, 1970, Water records of Puerto Rico, 1964-67, Volume 2, south and west slopes: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 308 p.

Robison, T.M., and Anders, R.B., 1973, Electric analog model study of the alluvial aquifer in the Yabucoa Valley, Puerto Rico (Phase 2--The planning, construction, and use of the model): U.S. Geological Survey Open-File Report 73-242, 47 p.

Rodríguez, J.M., 1996, Ground-water quality in the Caguas-Juncos valley, Puerto Rico, April to October 1990: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-139, 15 p.

Rodríguez-del-Río, Félix, and Gómez-Gómez, Fernando, 1990, Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Santa Isabel-Juana Díaz area, Puerto Rico, March to April 1987: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 89-4116, 1 sheet.

Rodríguez-del-Río, Félix, and Quiñones-Aponte, Vicente, 1990, Potentiometric surface of the principal aquifer and hydrologic conditions in the Ponce-Juana Díaz area, Puerto Rico, April to May 1987: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 89-4115, 1 sheet.

Rodríguez-Martínez, Jesús, 1995, Hydrogeology of the North Coast Limestone Aquifer System of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 94-4249, 22 p.

Rodríguez-Martínez, Jesús, 1996, Hydrogeology and ground-water/surface-water relations in the Bajura area of the municipio of Cabo Rojo, southwestern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4159, 31 p.

Rodríguez-Martínez, Jesús, 1997, Characterization of springflow in the north coast limestone of Puerto Rico using physical, chemical, and stable-isotope methods: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4122, 53 p, 2 pls.

Santiago-Rivera, Luis, 1992, Low-flow characteristics at selected sites on streams in eastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 92-4063, 46 p.

Santiago-Rivera, Luis, 1996, Low-flow characteristics at selected sites on streams in southern and western Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4147, 46 p.

Santiago-Rivera, Luis, 1998, Low-flow characteristics at selected sites on streams in northern and central Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4200, 53 p.

Santiago-Rivera, Luis, and Quiñones-Aponte, Vicente, 1995, Hydrology of Laguna Joyuda, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 93-4135, 26 p.

Scatena, F.N., and Larsen, M.C., 1991, Physical aspects of Hurricane Hugo in Puerto Rico: Biotropica, v. 23, no. 4A, p. 317-323.

Seiders, V.M., Briggs, R.P., and Glover, Lynn III, 1959, Geology of Isla Desecheo, Puerto Rico, with notes on the great southern Puerto Rico fault zone and quaternary stillstands of the sea: U.S. Geological Survey Professional Paper 739, 22 p.

Sepúlveda, Nicasio, Pérez-Blair, Francisco, DeLong, L.L., and López-Trujillo, Dianne, 1996, Real-time rainfall-runoff model of the Carraízo-reservoir basin in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4235, 112 p.

Soler-López, L.R., 2001, Sedimentation survey results of the principal water-supply reservoirs of Puerto Rico, in Sylva, W.F., ed.: Proceedings of the Sixth Caribbean Islands Water Resources Congress, Mayagüez, Puerto Rico, February 2001, unpaginated CD.

Soler-López, Luis, 1998, Sedimentation survey of Lago Guayo, Puerto Rico, October 1997: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4053, 20 p., 1 pl.

Soler-López, Luis, 1999, Sedimentation survey of Lago de Cidra, Puerto Rico, November 1997: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4144, 19 p., 1 pl.

Soler-López, Luis, 1999, Sedimentation survey of Lago Prieto, Puerto Rico, October 1997: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4169, 11 p., 2 pls.

Soler-López, Luis, 2001, Sedimentation survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 2000: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4043, 25 p., 1 pl.

Soler-López, Luis, 2001, Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, October 1999: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4234, 19 p., 1 pl.

Soler-López, Luis, 2001, Sedimentation survey of Lago Lucchetti, Puerto Rico, March 2000: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4105, 22 p., 2m pl.

Soler-López, Luis, and Carrasquillo, R.A., 2001, Sedimentation survey of Lago Carite, Puerto Rico, October 1999: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4235, 22 p., 1 pl.

Soler-López, Luis, and Webb, R.M.T., and Carrasquillo, R.A., 2000, Sedimentation survey of Lago Guajataca, Puerto Rico, January 1999: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4143, 20 p., 2 pls.

Soler-López, Luis, and Webb, R.M.T., and Carrasquillo, R.A., 2000, Sedimentation survey of Lago La Plata, Puerto Rico, October 1998: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4045, 23 p., 3 pls.

Soler-López, Luis, and Webb, R.M.T., and Pérez-Blair, Francisco, 1999, Sedimentation survey of Lago Garzas, Puerto Rico, September 1996: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4143, 20 p., 2 pls.

Soler-López, Luis, and Webb, R.M.T., and Pérez-Blair, Francisco, 1999, Sedimentation survey of Lago Patillas, Puerto Rico, April 1997: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4030, 14 p., 1pl.

Soler-López, Luis, and Webb, R.M.T., and Pérez-Blair, Francisco, 1999, Sedimentation survey of Lago Yahuecas, Puerto Rico, March 1997: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4259, 15 p., 2 pls.

Soler-López, Luis, and Webb, Richard M.T., 1998, Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, June 1997: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4188, 14 p., 2 pls.

Torres-González, Arturo, 1985, Simulation of ground-water flow in the water table aquifer near Barceloneta, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 84-4113, 39 p.

Torres-González, Arturo, 1985, Use of surface-geophysical techniques for ground-water exploration in the Canóvanas-Río Grande area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4266, 29 p.

Torres-González, Arturo, and Díaz, J.R., 1984, Water resources of the Sabana Seca to Vega Baja area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 82-4115, 53 p.

Torres-González, Arturo, and Gómez-Gómez, Fernando, 1982, Geohydrologic descriptions of selected solid-waste disposal sites in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 81-490, 146 p.

Torres-González, Sigfredo, 1989, Reconnaissance of the ground-water resources of Vieques Island, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 86-4100, 37 p.

Torres-González, Sigfredo, 1991, Compilation of ground-water level measurements obtained by the United States Geological Survey in Puerto Rico, 1958-1985: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 88-701, 163 p.

Torres-González, Sigfredo, and Gómez-Gómez, Fernando, 1987, Potentiometric surface of the alluvial aquifer and hydrologic conditions in the Central Aguirre quadrangle, Puerto Rico, March 1986: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4160, 1 sheet.

Torres-González, Sigfredo, and Rolón-Collazo, L.I., 1990, The interactive computer program MODUMANAG, a data management tool for the modular finite-difference ground-water flow model: in Krishna, J.H., Quiñones-Aponte, Vicente, Gómez-Gómez, Fernando, and Morris, G.L., eds., Tropical Hydrology and Caribbean Water Resources, Proceedings of the International Symposium on Tropical Hydrology, San Juan, Puerto Rico, July 23-27, 1990, AWRA TP

Torres-González, Sigfredo, Planert, Michael, and Rodríguez, J.M., 1996, Hydrogeology and simulation of ground-water flow in the upper aquifer of the Río Camuy to Río Grande de Manatí area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4286, 102 p.

Torres-González, Sigfredo, Gómez-Gómez, Fernando, and Warne, Andrew G., 2002, Ground-Water Resource Assessment in the Río Grande de Manatí Alluvial Plain, Río Arriba Saliente Area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4132, 35 p.

Torres-Sierra, Heriberto, 1985, Potentiometric surface of the upper limestone aquifer in the Dorado-Vega Alta area, north-central Puerto Rico, February 1983: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-4268, 1 sheet.

Torres-Sierra, Heriberto, 1996, Flood of January 5-6, 1992, in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-374, 13 p.

Torres-Sierra, Heriberto, 1997, Flood of October 6-7, 1985, in the Ponce-Santa Isabel area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4166, 2 sheets.

Torres-Sierra, Heriberto, 1997, Hurricane Hortense: Impact on surface water in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Fact Sheet 014-97, 4 p.

Torres-Sierra, Heriberto, 1998, Flood of September 10, 1996, in Bayamón, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4120, 2 sheets.

Torres-Sierra, Heriberto, and Avilés, Ada, 1986, Estimated water use in Puerto Rico, 1980-82: U.S. Geological Survey Open-File Data Report 85-557, 77 p.

Troester, J.W., 1999, Geochemistry and hydrogeologic framework of the saline-freshwater interface and the calculation of net recharge in the Dorado area, north-central Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4030, 36 p.

Troester, J.W., and Richards, R.T., 1996, Geochemical properties and saline-water intrusion in the valle de Yabucoa alluvial aquifer, southeastern Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4188, 39 p.

Tucci, Patrick, and Martínez, M.I., 1995, Hydrogeology and simulation of ground-water flow in the Aguadilla to Río Camuy area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4028, 39 p.

U.S. Geological Survey, 1973, Water resources data for Puerto Rico, 1968, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 87 p.

U.S. Geological Survey, 1973, Water resources data for Puerto Rico, 1968, Part 2, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 87 p.

U.S. Geological Survey, 1973, Water resources data for Puerto Rico, 1968-72, Part 3, Ground water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 78 p.

U.S. Geological Survey, 1973, Water resources data for Puerto Rico, 1969, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 89 p.

U.S. Geological Survey, 1973, Water resources data for Puerto Rico, 1970, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 90 p.

U.S. Geological Survey, 1973, Water resources data for Puerto Rico, 1971, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 72 p.

U.S. Geological Survey, 1974, Water resources data for Puerto Rico, 1968-72, Part 2A, Water quality records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 410 p.

U.S. Geological Survey, 1974, Water resources data for Puerto Rico, 1972, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 70 p.

U.S. Geological Survey, 1975, Water resources data for Puerto Rico, 1968-72, Part 2B, Water quality records (sediment): U.S. Geological Survey Water-Data Report, 182 p.

U.S. Geological Survey, 1975, Water resources data for Puerto Rico, 1973, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 69 p.

U.S. Geological Survey, 1975, Water resources data for Puerto Rico, 1973, Part 2, Water quality records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 133 p.

U.S. Geological Survey, 1976, Water resources data for Puerto Rico, 1974, Part 1, Surface water records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 66 p.

U.S. Geological Survey, 1976, Water resources data for Puerto Rico, 1974, Part 2, Water quality records: U.S. Geological Survey Water-Data Report, 158 p.

U.S. Geological Survey, 1978, Water resources data for Puerto Rico, Surface and quality-of-water records, Water Years 1975-76, Ground water records, Water Years 1973-76: U.S. Geological Survey Water-Data Report-PR-76-1, 366 p.

U.S. Geological Survey, 1979, Water-resources investigations in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, 1978: U.S. Geological Survey Folder.

U.S. Geological Survey, 1980, Water resources data for Puerto Rico, Surface and quality-of-water records, Water Year 1977, Ground water records, Water Year 1977: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-77-1, 215 p.

U.S. Geological Survey, 1981, Water resources data for Puerto Rico, Water Year 1978: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-78-1, 255 p.

U.S. Geological Survey, 1982, Water resources data for Puerto Rico, Water Years 1979-80: U.S. Geological Survey Water-Data Report PR-79-80, 408 p.

U.S. Geological Survey, 1983, Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands water issues: National Water Summary 1983 - Hydrologic Events and Issues, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2250, p. 200-202.

Vaughan, T.W., 1920, The ground-water resources of the West Indian Islands, St. John, St. Thomas, Culebra and Vieques, and of the eastern end of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Open-File Report.

Veve, T.D., and Taggart, B.E., 1996, Atlas of ground-water resources in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 94-4198, 151 p.

Veve, T.D., and Troester, J.W., 1990, Water-resources investigations in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, 1986-1988: U.S. Geologic Survey Open-File Report 90-122, 39 p.

Ward, P.E., and Truxes, C.S., 1964, Water wells in Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Bulletin 3, 249 p.

Webb, R.M.T., and Gómez-Gómez, Fernando, 1996, Sedimentation survey of Lago Dos Bocas, Puerto Rico, August 1994: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4214, 20 p., 3 plates.

Webb, R.M.T., and Gómez-Gómez, Fernando, 1997, Synoptic survey of water quality and bottom sediments, San Juan Bay Estuary System, Puerto Rico, December 1994-July 1995: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4144, 69 p.

Webb, R.M.T., and Soler-López, L.R., 1996, Sedimentation survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 1995: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4153, 27 p., 1 pl.

Webb, R.M.T., and Soler-López, L.R., 1997, Sedimentation history of Lago Loíza, Puerto Rico, 1953-94: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4108, 18 p., 9 pls.

Webb, R.M.T., Collar, P.D., Schwab, W.C., Goenaga, Carlos, García, J.R., Castro, Roberto, 2000, Assessment of the habitats, biota, sediments, and water quality near the discharge of primary-treated effluent from the Mayagüez Regional Wastewater Treatment Plant, Bahía de Añasco, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4141, 196 p.

Webb, R.M.T., Gómez-Gómez, Fernando, and McIntyre, S.C., 1998, Contaminants in sediments deposited in the San Juan Bay Estuary System (1925-95) - Proceedings of the Third International Symposium on Water Resources: Fifth Caribbean Islands Water Resources Congress, American Water Resources Association, July 1998, San Juan, Puerto Rico, p. 33-38.

Wilson, H.M., 1899, Water resources of Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 32.

Zack, A.L., and Class-Cacho, Angel, 1984, Restoration of freshwater in the Caño Tiburones area, Puerto Rico: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4071, 33 p., 1 pl.

11.0 GLOSARIO DE HIDROLOGÍA

(Las palabras entre corchetes "[ ]" son la traducción al inglés del término definido)

AAA (PRASA): Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, agencia del Estado Libre Asociado de Puerto Rico responsable de operar los acueductos públicos y las plantas de tratamiento de aguas usadas primordialmente domésticas en la Isla, Vieques y Culebra (la AAA opera la planta regional de Barceloneta, que recibe descargas industriales). La AAA sirve agua potable al 97% de la población de 3.9 millones de habitantes (2004). El balance (140,000 habitantes) es servido por sistemas comunales privados denominados "Non-PRASA". Los sistemas sanitarios que opera la AAA sirven a aproximadamente el 55% de la población, mayormente en las zonas urbanas.

Abatimiento [Drawdown]: Se refiere a la reducción del nivel del agua en un pozo debido a una extracción sostenida. El abatimiento es una función de las propiedades del acuífero (conductividad hidráulica, K) y las características del pozo incluyendo su construcción. Se utiliza para estimar las propiedades de los acuíferos en ausencia de pruebas sistemáticas.

Acre [Acre]: Unidad de medida de área superficial, equivalente a 4,047 metros cuadrados o 1.0296 cuerdas.

Acre-Pie o Acres-Pies [Acre-foot or Acre-feet]: Unidad de medida de volumen de agua, equivalente a la cantidad de agua requerida para cubrir un área de un (1) acre a un (1) pie de profundidad. También equivale a 43,560 pies cúbicos o 325,851 galones de agua.

Actividades recreativas sin contacto directo con el agua [Non-contact recreational activities]: Actividades recreativas, como pescar o pasear en bote, que no hay contacto directo con el agua.

Acuacultura [Aquaculture]: Práctica agrícola que consiste en el cultivo de organismos que viven en el agua como peces, crustáceos y algas.

Acuífero [Aquifer]: Parte de una formación geológica que, debido a la porosidad o fracturación del material que la forma y las condiciones hidrológicas, acumula agua que fluye a través de la formación y en cantidad que puede ser extraída. Los acuíferos pueden estar formados por materiales diversos, incluyendo depósitos aluviales y marinos sedimentarios no-consolidados, rocas calizas consolidadas y rocas de origen volcánicas e intrusivas. Una formación geológica puede almacenar agua, pero si esta no fluye, no constituye un acuífero.

Acuífero aluvial [Alluvial aquifer]: Acuífero formado por material no-consolidado, primordialmente arena y grava. Su formación resulta de la acumulación del material

que permite el almacenamiento de agua en los poros o cavidades del material que lo forma. El aluvión es depositado generalmente por los ríos como parte del proceso de erosión de la cuenca.

Acuífero confinado [Confined aquifer]: Acuífero donde el nivel del agua está limitado superior e inferiormente por estratos impermeables, o por estratos de permeabilidad mucho menor que la del propio acuífero.

Acuífero del Sur [Southcoast Aquifer]: Término que se refiere a la serie de acuíferos aluviales costaneros que ocurren en la Región Sur de Puerto Rico. También referido erróneamente como el "Gran Acuífero del Sur". En la Región Sur, desde Patillas hasta Ponce, ocurren una serie de valles aluviales en forma de abanicos que constituyen acuíferos independientes, alimentados por los ríos y la recarga de los sistemas de riego.

Acuífero Inferior, Profundo o Artesiano [Lower, Deep or Artesian Aquifer]: Se refiere al Acuífero Inferior de la Región Norte de Puerto Rico, formado por rocas calizas que se extienden desde Vega Alta hasta Arecibo, pero predomina en la zona de Manatí a Barceloneta. Gran parte del mismo es confinado por depósitos de la Caliza Cibao, resultando en que el nivel potenciométrico exceda la elevación del fondo de la capa confinante. Inicialmente, pozos hincados en este acuífero en la zona de Manatí y Barceloneta fluían sin necesidad de bombeo con presiones de hasta 100 libras por pulgada cuadrada, pero este efecto ha sido agotado por las extracciones excesivas y reducciones en la recarga del acuífero.

Acuífero no-confinado [Unconfined aquifer]: Acuífero cuya superficie superior no está limitada por materiales impermeables sino que está expuesto a la presión atmosférica, a través de los poros del material que lo forma.

Acuífero Superior, Llano o Freático [Superior, Shallow or Phreatic Aquifer]: Se refiere al Acuífero Superior de la Región Norte de Puerto Rico, el cual no es confinado y está formado por depósitos aluviales y rocas calizas que se extienden desde Bayamón hasta Arecibo, en una serie de valles ribereños**.**

AEE (PREPA): Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico, agencia del Estado Libre Asociado que opera la red de plantas termoeléctricas de la Isla. Las plantas de la AEE generaron aproximadamente 5,400 megavatios (MW) en el 2002. La AEE también es dueña de 27 embalses, operados para usos múltiples incluyendo control de inundaciones, generación hidroeléctrica, agua para producir agua potable y riego, navegación y recreación. La AEE es dueña del agua acumulada en los embalses y dispone de la misma mediante ventas a la AAA, agricultores e industrias.

AES [**AES]:** Acrónimo en inglés que quiere decir "American Energy Systems", nombre de la empresa privada que opera en Guayama una planta termoeléctrica para generar electricidad utilizando carbón mineral, con una capacidad generatriz de 454 megavatios.

Agua fresca o dulce [Fresh water]: Aguas superficiales o subterráneas que contienen menos de 1,000 miligramos por litro de sólidos totales disueltos. La reglamentación local establece que el agua fresca para producción de agua potable no puede contener más de 500 mg/L.

Agua potable [Potable water]: Agua que ha sido purificada para consumo humano, de acuerdo a los estándares de calidad especificados en la Ley Federal de Agua Potable Segura.

Agua Reclamada [Reclaimed water]: Sinónimo de agua reciclada.

Agua Reciclada [Recicled water]: Agua producida mediante un proceso de tratamiento de aguas usadas, domésticas, municipales o industriales, de tal calidad que puede ser utilizada para uso directo controlado o beneficioso, que de otra manera so sería posible. Se excluye explícitamente de esta definición el término aguas grises.

Agua Reusada [Reused water]: Sinónimo de agua reciclada.

Agua salina o salada [Saline or salty water]: Agua de mar que contiene hasta 32,000 partes por millón de cloruro de sodio y otras sales en solución.

Agua salobre [Brackish water]: Agua que contiene sales en una concentración significativamente menor que la que contiene el agua de mar. En general, se consideran aguas salobres las aguas que contienen una concentración de sales disueltas entre 1000 y 10,000 mg/L.

Agua superficial [Surface water]: Agua en cuerpos que yacen sobre la superficie del suelo, incluye quebradas, ríos, arroyos, embalses, lagunas, canales, estuarios, humedales y manantiales.

Aguas Costaneras [Coastal waters): Las aguas del mar bajo la jurisdicción del Estado Libre Asociado de Puerto Rico y todas aquellas aguas interiores donde sea sensible el flujo y reflujo del mar.

Aguas de Escorrentía [Runoff or Storm runoff]: Parte de la lluvia que discurre sobre la superficie del terreno y eventualmente forma las quebradas y los ríos. Se refiere también al agua descargada durante una inundación.

Aguas Grises [Gray waters]: Aguas usadas que no han recibido tratamiento proveniente de bañeras, duchas, lavamanos, piletas y máquinas de lavar. No incluye aguas usadas provenientes de inodoros, urinales, fregaderos, lavaplatos o agua utilizada para limpiar pañales.

Aguas navegables [Navegable waters]: En el contexto de la Ley Federal de Agua Limpia, las aguas navegables son todas las aguas superficiales, incluyendo ríos, quebradas, lagos, mares y humedales bajo la jurisdicción del Gobierno Federal.

Aguas subterráneas [Groundwater]: Las aguas que se encuentran en una formación o unidad geológica bajo la superficie de la tierra, bajo el cauce o lecho de un río, quebrada o arroyo, o bajo el fondo del mar, lago, represa u otro cuerpo de agua, independientemente de cual fuere su origen o estado, o de la formación o unidad geológica en la cual se encuentren, fluyan, percolen o se muevan. Se considera también agua subterránea toda la que existe en el interior de cuevas y cavernas.

Aguas Superficiales [Surface waters[: Las aguas que discurren en forma continua o discontinua o discontinuamente en terrenos públicos o privados, o que se encuentran en lagos, embalses o cualquier otro cuerpo de agua sobre la superficie terrestre de Puerto Rico.

Aguas Usadas [Wastewaters[: Son aguas que el ser humano ha utilizado en actividades domésticas, agrícolas e industriales, y que como resultado de ello, contienen contaminantes que las hace no aptas para ciertos usos, como el consumo y el contacto con la piel humana. Las aguas usadas se pueden tratar por medio de tres niveles de tratamiento conocidos como tratamientos primario, secundario y terciario. La AAA descarga un promedio de 243 millones de galones de aguas usadas sanitarias a los ríos, embalses, estuarios y el mar, tratadas a niveles primarios, secundarios o terciarios.

Aguirre [Aguirre]: Barrio en el Municipio de Salinas donde operaba la antigua Central Aguirre para producir azúcar de cañas sembradas en la zona. Se refiere también a la planta termoeléctrica de la AEE en las cercanías de la Bahía de Jobos, con una capacidad generatriz de 900 megavatios.

Aluvión [Alluvium]: Mezcla no consolidada de arenas, gravas, piedras, rocas, arcillas, limos y materia orgánica, material erosionado por la lluvia y la escorrentía sobre las cuencas y arrastrados por los ríos hacia los valles.

Anisotropía [Anisotropy]: Propiedad física de un sistema hidrogeológico donde en un plano, el valor de ;a transmisividad (flujo en forma vectorial) a lo largo del eje de X, no es igual al valor en el eje de Y. Anisotropía es una palabra compuesta que significa no homogéneo.

Año hidrológico [Water Year]: Período continuo de 12 meses consecutivos comenzando en octubre 1ro. de cada año y finalizando en septiembre 30 del año siguiente, utilizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) para presentar datos hidrológicos o meteorológicos. Esta norma se origina de las características del ciclo hidrológico anual en los Estados Unidos continentales. Aunque el ciclo hidrológico anual en Puerto Rico corresponde al período

de un año natural, el USGS publica los datos hidrológicos que recoge en la Isla utilizando el sistema continental de octubre a septiembre del siguiente año.

Área de captación o drenaje [Catchment or Drainage Area]: Área superficial de una cuenca, definida por un punto específico en el cauce de un río, quebrada o embalse, y dividido de otras áreas similares por crestas topográficas de mayor elevación. Varía de acuerdo al punto seleccionado, el cual es conocido como punto de drenaje. Toda el agua que cae en el área y se convierte en escorrentía fluye por este punto.

Área de descarga [Discharge area]: Área seccional o superficial en un acuífero donde parte o el total del flujo hidráulico se descarga a la superficie o a otro cuerpo de agua. Por ejemplo, el Acuífero Llano de la Región Norte descarga hacia varios puntos incluyendo zonas costaneras como la Laguna Tortuguero y el Caño Tiburones, tramos de ríos como el Río Grande de Manatí y el lecho marino, mientras que el Acuífero Artesiano descarga directamente al lecho marino a lo largo de la costa norte.

Área de Influencia de un Pozo [Area of Influence of a Well]: Área circundante a un pozo de extracción de agua que está en operación, en la cual el nivel freático del acuífero se ve alterado por la extracción que se realiza en éste. El efecto se proyecta en forma circular en estilo de cono, y el punto donde se ubica el pozo alcanza la mayor baja en el nivel. En el caso de que existan dos o más pozos cercanos y en operación simultáneamente, podemos encontrar que los niveles alcanzados por los pozos pueden converger en un punto. En ocasiones, dependiendo de la capacidad del acuífero, este efecto puede provocar que uno o todos los pozos existentes en el área de influencia tengan problemas con sus niveles y se afecte su operación.

Área de recarga [Recharge area]: Lugar específico en el área superficial de una cuenca en la cual parte o el total de la escorrentía neta se infiltra al subsuelo, hacia los acuíferos. La Zona del Karso de la Región Norte de la Isla incluye las áreas de recarga del Acuífero Inferior (Artesiano) y parte de las áreas de recarga del Acuífero Superior (Llano o Freático).

Áreas de Superfondo [Superfund Site]): Son aquellos lugares designados oficialmente por la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA, por sus siglas en inglés) donde existen contaminantes peligrosos o tóxicos, y en el cual se proponen o realizan trabajos de remediación o limpieza para remover dichos contaminantes. Incluye terrenos, ríos, embalses, zonas costaneras y acuíferos. En Puerto Rico existen varios lugares de Superhondo de importancia a las aguas subterráneas, en particular los pozos de Vega Alta (Ponderosa); el Vertedero Municipal de Barceloneta; el Vertedero Municipal de Juncos; y la zona petroquímica de Fibers (Guayama), entre otros. Las zonas de actividad militar en Vieques y Culebra han sido nominadas para esta desiganación. Una vez seleccionadas para inclusión en la lista de Superhondo, la EPA inicia programas de investigación de la naturaleza y magnitud de la contaminación para luego planificar su posible limpieza.

Arrastre de fondo [Bedload]: Se refiere a los sedimentos que son transportados en un cauce en el fondo del canal, en comparación con los que se transportan en suspensión en la columna de agua. Es la fracción de las partículas de sedimento que por su tamaño y peso no son suspendidas en la columna de agua por la velocidad de la escorrentía; discurren aguas abajo acarreadas en el fondo por la corriente.

Arroyo [Creek]: Cuerpo de agua de longitud corta y poco profundo, por lo general de flujo permanente y en cierto modo turbulento.

Artesiano [Artesian]: Término comúnmente utilizado para referirse a pozos o acuíferos de los cuales el agua emana sin necesidad de bombearse. Técnicamente se refiere a una propiedad de los acuíferos confinados ó semi-confinados, con nivel potenciométrico del agua en exceso del límite inferior de la capa confinante.

Bacteria Fecal [Fecal Bacteria]: Bacterias que abundan en el tracto intestinal humano y de otros animales de sangre caliente. Su presencia en agua se utiliza como indicador de contaminación con heces fecales y se expresa en colonias por cada 100 mililitros de muestra analizada.

Barreno de Prueba [Test hole; Bore]: Perforación en el subsuelo hecha con el propósito de investigar o probar la existencia de aguas subterráneas, determinar su calidad, o las propiedades hidrogeológicas del acuífero.
Basamento rocoso [Bedrock]: Término geológico que se refiere a la masa de rocas sólidas que forma el fondo de un acuífero.

Bentonita [Bentonita]: Aditivo utilizado en mezclas de lechada de cemento para reducir la concentración o el uso de otras mezclas y reducir la permeabilidad, aumentar la fluidez, y/o controlar el tiempo de consolidación de la lechada y la composición de la pasta aguada resultante. Este aditivo mayormente se utiliza como parte del proceso de sellado de un pozo.

Bosque lluvioso [Rainforest]: En {uerto Rico generalmente se refiere a la zona del Bosque Nacional del Caribe, donde ubica la montaña de El Yunque, que es la zona de mayor lluvia promedio en Puerto Rico. Aunque hay otros bosques lluviosos en las zonas de Carite y Toro Negro, es la zona de El Yunque la que mejor caracteriza este término.

Calidad del agua [Water Quality]: Término genérico que se utiliza para evaluar el grado de pureza química, física y biológica del agua. Es importante conocer la calidad del agua para darle el uso adecuado a las aguas que tenemos disponibles. El agua recibe muchos usos, y cada uno de ellos posee un requisito distinto de calidad. Así, el uso del agua para la recreación requiere una calidad distinta al uso destinado para el consumo humano, el uso industrial o el uso de riego agrícola. Las agencias gubernamentales que reglamentan sobre el medioambiente establecen límites para los indicadores de calidad del agua, de acuerdo con el uso que se le vaya a dar. La Junta de Calidad Ambiental reconoce cuatro usos del agua al regular su calidad: el uso dado

por la vida acuática, el uso dado por su contacto en la natación, el uso dado por su contacto durante la recreación pasiva y el uso dado como fuente de agua potable.

Cambalache [Cambalache]: Zona en el Municipio de Arecibo donde operaba la antigua Central Cambalache para producir azúcar de caña sembrada en la zona cerca del Bosque Estatal de Cambalache. Se refiere también a la planta termoeléctrica de la AEE en las cercanías de la Bahía de Arecibo, con una capacidad generatriz de 247.5 megavatios.

Camisilla [Casing]: El conducto ó tubo metálico o plástico que forma un pozo perforado en un acuífero. La camisilla impide el colapso del material del acuífero en la cavidad perforada que forma el pozo, además de servir de asiento a la bomba que normalmente se instala para extraer el agua. Las camisillas varían en espesor y diámetro dependiendo de la capacidad y profundidad del pozo.

Canal de Guamaní [Guamaní Canal]: Canal que se origina en el Embalse Carite (embalse en la cuenca del Río de La Plata en el norte del Municipio de Guayama), y que conduce agua hacia el suroeste y el sureste en dos ramales, para suplir agua a terrenos agrícolas y las plantas de filtración de la AAA desde Arroyo hasta Salinas, incluyendo a Guayama.

Canal de Patillas [Patillas Canal]: Canal que se origina en el Embalse Patillas, y que conduce agua hacia el oeste hasta Salinas para riego agrícola y abastos públicos. El canal es operado por la AEE como parte del Distrito de Riego de la Costa Sur. Provee agua a la Planta de Filtración de la AAA en Guayama.

Canalización [Chanelization]: Práctica de la ingeniería que confina el cauce natural de los ríos y típicamente se minimizan las curvas y meandros del cuerpo de agua. Estos se construyen con mayor profundidad, con el propósito mejorar la capacidad de flujo y así minimizar inundaciones o para desaguar zonas anegadas, tales como humedales.

Caño Tiburones [Caño Tiburones]: El humedal estuarino de mayor extensión en Puerto Rico, que ocupa un área de 4,000 cuerdas entre el Río Grande de Manatí y el Río Grande de Arecibo. Hasta 1940, el Caño era un reducto de aves y patos salvajes, poblado por árboles de mangle y vegetación típica de humedales costaneros de agua fresca. Aproximadamente 60 millas de canales se excavaron comenzando en 1940 para desaguar los terrenos y sembrar caña de azúcar. Una estación de bombeo en El Vigía cerca del Puerto de Arecibo bombea al mar hasta 100 mgd de agua salobre procedente del Caño. Al bajar el nivel del agua bajo el nivel del mar, aguas salinas comenzaron a penetrar al Caño, afectando los terrenos impidiendo la siembra de cosechas. En el 1998, el DRNA declaró 3,428 cuerdas en el Caño como una reserva forestal y redujo el bombeo para promover su restauración. En este hay diversos hábitats de valor escénico como charcas, canales, áreas boscosas y herbáceas. Posee una vegetación adaptada a las condiciones de saturación como manglares, eneas, helechos de río y plantas flotadoras. Alberga cerca de 127 especies de vida

silvestre, entre nativa y migratoria, así como algunas endémicas, vulnerables o en peligro de extinción. Las fuentes de agua que nutren este humedal son: la lluvia que cae sobre éste, la escorrentía en su cuenca, manantiales de agua dulce y conductos subterráneos que conectan al mar (cáncoras). Al presente la estación de bombeo en El Vigía, cerca del Puerto de Arecibo, es operada por el DRNA para promover la restauración del Caño tiburones al minimizar la intrusión salina en el humedal para mantener y aumentar las especies de vida silvestre en éste. Para esto los niveles de agua fluctuaran entre 37.9 y 49.7 y el ritmo de bombeo no excederá de cuatro pulgadas en 24 horas.

Caonillas o Embalse Caonillas [**Caonillas Reservoir]:** Embalse en la cuenca del Río Grande de Arecibo, en terrenos de Jayuya y Utuado, construido en 1948. El embalse es el segundo en tamaño en la Isla, con una capacidad actual de 33,400 acres-pies. Es parte del sistema hidroeléctrico Caonillas-Dos Bocas operado por la AEE, alimentando a Dos Bocas, el que a su vez suple hasta 100 mgd al Superacueducto de la Costa Norte. Su capacidad actual es de 33,400 acres-pies, con una vida útil estimada en 160 años (a partir del 2004).

Capa Confinada [Confined layer]: Se refiere a una capa de un acuífero ubicada bajo otra capa con una permeabilidad mucho menor, lo que restringe el flujo vertical del agua en el acuífero.

Capacidad Específica, CE [Specific Capacity]: Rendimiento de un pozo (Q) por unidad de abatimiento (s), medido regularmente en galones por minuto/pies de abatimiento, definido por la ecuación **CE = Q/s.**

Carga de sedimentos de fondo [Bedload]: Masa de sedimentos arrastrada en el fondo de un cauce en un período fijo de tiempo. Normalmente se expresa en toneladas por día o por año.

Carga o descarga [Load or discharge]: Cantidad de una sustancia en solución o suspendida en el flujo de un río o quebrada medida en un período de tiempo, generalmente expresado en libras por día o toneladas por año.

Carga térmica [Thermal load]: Cantidad de calor transportado por un río o canal por unidad de tiempo, típicamente expresado en julios por segundo. Se refiere generalmente a las descargas de aguas de enfriamiento cuya temperatura es más alta que la del cuerpo de agua receptor y del medioambiente.

Carga total [Total load]: Suma de todos los componentes, en solución o suspendidos, transportados por un río o quebrada. Cuando se refiere a sedimentos, incluye la carga suspendida más el arrastre de fondo.

Carraízo (Loíza) o Embalse Carraízo [Carraízo Reservoir]: Embalse en la cuenca del Río Grande de Loíza en el municipio de Trujillo Alto, construido por la AAA en 1952, con una capacidad inicial de 21,700 acres-pies. Su nombre oficial es Loíza, pero es

referido la mayor parte del tiempo como Carraízo. El embalse es la fuente más importante de agua para la Zona Metropolitana de San Juan . Este suple hasta 100 mgd de agua a la Planta de Filtración de Sergio Cuevas (Trujillo Alto), que suple agua potable a la parte central y este de la ciudad. Su capacidad actual es de 14,700 acres-pies con una vida útil de 60 años a partir del 2004.

Cauce Legal [Legal channel]: Cauce o canal natural más las riberas. Se entienden por riberas las fajas laterales de los canales de los ríos comprendidos entre el nivel de sus bajas aguas y el que éstas alcancen en sus mayores avenidas ordinarias, y por márgenes las zonas laterales que lindan con las riberas.

Cauce Natural [Natural channel]: El terreno que cubren las aguas en las mayores crecidas ordinarias.

Caudal específico [Specific flow]: Cantidad de agua extraída de un pozo, por unidad de descenso del nivel del agua en la camisilla del pozo luego que el bombeo se estabiliza, expresado generalmente en galones por pié.

Caudal Significativo [Significant Flow]: Ritmo de extracción de agua definido por el DRNA cuando se excede de quinientos mil (500,000) galones al año.

Charca [Pool]: Cuerpo de agua generalmente artificial alimentado por escorrentía local o manantiales resultantes de la excavación que la forma. Existen charcas naturales formadas por depresiones en el terreno donde el fondo es impermeable o donde éste intercepta el nivel freático.

Ciclo Hidrológico [Hydrologic Cycle]: Término que describe el proceso de movimiento de agua, para una zona o región específica, entre la atmósfera, el subsuelo y la superficie del terreno, incluyendo la precipitación, evaporación, transpiración, condensación, escorrentía e infiltración del agua.

Ciclón [Cyclone]: Término climatológico originado del idioma griego que significa arremolinarse y que en Puerto Rico y el Caribe se utiliza para describir disturbios tropicales que exceden en intensidad a las depresiones o tormentas, con velocidad de sus vientos en exceso de 74 millas por hora. Sinónimo de huracán.

Ciénaga [Marsh or wetland]: Área superficial anegada permanentemente por aguas superficiales o subterráneas emergentes, es generalmente un humedal. En Puerto Rico se ha utilizado el término mangle o manglar en forma equivalente a una ciénaga ó humedal.

Coeficiente de Almacenamiento [Storage coefficient]: Propiedad de los acuíferos que provee una medida de su capacidad para almacenar y retener agua. Es expresada matemáticamente por el volumen de agua que un acuífero libera o recibe de almacenamiento en los poros del material que los forma, o por causa de la

compresibilidad del agua o material que compone el acuífero, por unidad de superficie de área del acuífero, por unidad de cambio en elevación.

Coliforme Fecal [Fecal Coliform]: Organismo que pertenece a la familia de bacterias de origen fecal.

Compuesto Orgánico Semivolátil [Semivolatile Organic Compound]: Grupo de compuestos orgánicos sintéticos que se evaporan con relativa facilidad, incluyendo fenoles, talatos e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Son un componente de la gasolina y otros productos derivados del petróleo y un contaminante común en las aguas subterráneas y los suelos.

Compuesto Orgánico Volátil [Volatile Organic Compound]: Grupo de compuestos orgánicos sintéticos que se evaporan con facilidad, incluyendo el cloroformo, cloroetileno, tricloroetileno (TCE) y tetracloroetileno (4-TCE). Son componentes de solventes y removedores de grasa y un contaminante común de las aguas subterráneas en Puerto Rico y todo el mundo. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Salud establecen la cantidad máxima presente de estos compuestos en agua potable, debido a que son cancerígenos potenciales.

Concentración de sedimentos suspendidos [Suspended sediment concentration]: Cantidad de sedimentos en suspensión (no disueltos) en la columna de agua de un río o quebrada, expresada típicamente en miligramos por litro (mg/L).

Concentración de sólidos disueltos [Dissolved solids concentration]: Cantidad total de sólidos (iones y cationes) solventes una solución, típicamente de agua. La presencia de sólidos en solución es un parámetro que ayuda a definir el origen y grado de pureza o contaminación de las aguas superficiales o subterráneas.

Concentración de trasfondo [Background concentration]: Cantidad de una sustancia medida en un lugar específico, que indica una influencia mínima de origen humano (antropogénico).

Condición de Contorno o Frontera [Boundary condition]: Término hidrogeológico que define las condiciones en los límites de un acuífero cuando se llevan a cabo análisis hidrogeológicos, que puede incluir tres (3) tipos de límites o condiciones: ocurre recarga, descarga, o el límite es impermeable.

Conductividad específica [Specific conductivity]: Parámetro que expresa la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica, expresada en microsiemens por centímetro (anteriormente como micromhos por centímetro) a 25 °C. Esta propiedad es una función de la cantidad de sólidos disueltos en el agua en forma de iones, aumentando en proporción a la cantidad de sólidos disueltos. Generalmente la concentración de sólidos disueltos varía entre el 55 al 75 por ciento del valor de la conductividad específica.

Conductividad hidráulica [Hydraulic conductivity]: Propiedad de un acuífero que le permite transmitir agua de un punto a otro y que depende de la porosidad y fractura del material que forma el acuífero, expresada en pies o metros por día. Generalmente expresada con el símbolo "K" en unidades de pies por día o metros por día.

Conexión cruzada [Cross connection]: Una conexión actual o potencial entre un sistema de agua potable o una red de distribución de agua potable y un sistema o una fuente de agua recuperada. Cualquier tipo de dispositivo a través del cual puede ocurrir un flujo en retroceso (back-flow) se considera una conexión cruzada.

Confluencia [Confluence]: Lugar de unión de dos o más corrientes de agua.

Conglomerado [Conglomerate]: Roca sedimentaria no consolidada (en fragmentos) compuesta de materiales de grano con un diámetro mayor de 2 milímetros.

Cono de depresión [Cone of depression]: Se refiere al cono en el nivel freático de un acuífero formado por la extracción de agua por un pozo. El agua que fluye hacia el pozo proviene de los alrededores del mismo. Los efectos del bombeo en los niveles freáticos son mayores a corta distancia del pozo, ya que la cantidad de agua disponible aumenta con la distancia del pozo.

Constituyente disuelto [Dissolved constituent]: Se refiere a aquellos componentes en solución de agua que no traspasan un filtro con poros de 0.45 micrones.

Contaminación [Contamination]: Alterar las propiedades naturales de un cuerpo de agua de forma que ocasione daños o sea perjudicial a la salud humana, o a la de los animales o las plantas, o cauce malos olores o impurezas, o altere adversamente sus propiedades físicas, químicas, microbiológicas o radioactivas, de tal modo que interfiera con el disfrute de la vida o de la propiedad o viole los criterios y normas de pureza que establece la reglamentación al efecto de la Junta de Calidad Ambiental.

Contaminante [Contaminant]: Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos o formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora o fauna o cualquier elemento ambiental, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad.

Control de calidad [Quality control]: Proceso para evaluar la confiabilidad de datos o información. En hidrología y el campo ambiental, se refiere a métodos o procedimientos que permiten determinar si los resultados obtenidos de análisis de muestras de agua o suelos son confiables y representativos del medioambiente.

Corriente [Current]: Se utiliza para definir la velocidad del agua en un cauce así como la cantidad de agua que fluye en un punto (descarga) en un período específico. En este sentido es equivalente a la escorrentía. Normalmente expresada en pies cúbicos por segundo (pcs) o metros cúbicos por segundo (mcs).

Costa Sur [Costa Sur]: Nombre que se usa para identificar los valles de la Región Sur de Puerto Rico. También se refiere a la planta termoeléctrica de la AEE en las cercanías de la Bahía de Guayanilla, con una capacidad generatriz de 1,090 megavatios.

Criterio de Calidad de Agua [Water quality criteria]: Parámetros específicos que definen la calidad de agua que se espera que un cuerpo de agua mantenga para su uso designado. Se refiere a criterios establecidos por la EPA y la JCA para agua cruda y agua potable. Los criterios de calidad de agua establecen niveles específicos de contaminantes en aguas crudas que afectaría la calidad de vida de ser utilizada para beber, natación, agricultura, acuacultura, o procesos industriales, o la salud humana cuando éste se refiere a agua potable.

Criterios Crónicos de Agua Fresca [Fresh Water Chronic Criteria]: Concentración máxima de un contaminante a la que puede exponerse un organismo acuático, en aguas frescas durante un período de cuatro (4) días, sin efectos adversos. Ver criterios de calidad de agua.

Cuenca [Basin]: Área definida por la elevación del terreno, en la cual toda la escorrentía neta fluye hacia los cuerpos de agua que drenan la zona. La cuenca es definida por el Área de Captación.

Cuenca de drenaje [Drainage basin]: Área que tiene una salida única para su escorrentía superficial. Equivalente a Área de Captación.

Cuencas Hidrográficas [Hydrographic basin]: El área de terreno que contribuye al flujo del agua en un río o quebrada. También se conoce como el área de captación. Cada cuerpo de agua, no importa su designación (río, quebrada, laguna, humedal, estuario, embalse, acuífero, manantial o pantano), tiene una cuenca hidrográfica o un área de terreno de donde proceden sus aguas.

Cuerpo de Ingenieros [Corps of Engineers, COE or USACE): Rama del Ejército de Estados Unidos que lleva a cabo proyectos de obras militares y civiles, y que administra para la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA) varios programas de reglamentación de las aguas navegables de los Estados Unidos y Puerto Rico. El COE emite permisos para la construcción de obras en aguas navegables, incluyendo tomas de agua.

Declaración de Impacto Ambiental [Environmental Impact Statement]: Documento que describe y analiza una propuesta acción gubernamental o privada desde el punto de vista de su efecto sobre el ambiente, según lo dispone el Artículo 4(c) de la Ley Número 9 del 18 de junio de 1970, conocida como Ley Sobre Política Pública Ambiental de Puerto Rico, según enmendada.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) [Biochemical Oxygen Demand, BOD]: Medida de la cantidad de oxígeno utilizada en el proceso de descomposición por oxidación de la materia orgánica presente en aguas por acción de las bacterias, en un período de tiempo y a una temperatura específica y bajo ciertas condiciones. Típicamente es medida en cinco días a 20 grados Centígrados y es conocido como DBO_5.

Demanda de agua [Water demand]: Cantidad de agua que se necesita para satisfacer un uso dado, incluyendo el abasto público, la irrigación, la generación de energía eléctrica, la conservación de los sistemas naturales, el almacenaje y otros.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) [Chemical Oxygen Demand,COD]: Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica presente en aguas como resultado del consumo de oxígeno por materiales orgánicos e inorgánicos disueltos o suspendidos en el agua.

Derechos Adquiridos [Acquired rights]: Aquellos derechos para el uso y aprovechamiento beneficioso y razonable de las aguas adquiridos al amparo de la legislación anterior a la Ley de Aguas de Puerto Rico y reconocidos a tenor con las disposiciones de los Artículos 16 y 17 de dicha Ley y del Artículo 6 del Reglamento Num. 6213, conocido como Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico.

Desagüe sub-superficial [Subsurface drainage]: Desagüe poco profundo instalado en un campo irrigado para interceptar los niveles de agua subterránea cuando estas están en creciente. Esto mantiene la superficie del agua en una profundidad aceptable debajo de la superficie del suelo.

Descarga [Discharge]: Flujo o caudal de agua en un canal, corriente, conducto, bomba, tubería de impulsión, estanque o proceso de tratamiento. También, se utiliza para describir la acción de vertir aguas residuales crudas o tratadas a un cuerpo receptor. Usualmente expresada en pies cúbicos por segundo (pcs), metros cúbicos por segundo (mcs) ó millones de galones por día (mgd).

Descarga instantánea [Instantaneous discharge]: Volumen de agua que pasa por un punto en un momento determinado, generalmente expresada en pies cúbicos por segundo (pcs) o metros cúbicos por segundo (mcs).

Descarga promedio [Average discharge]: Se refiere al flujo o escorrentía promedio para un día o año en un río o cauce en un punto específico de una cuenca. El USGS publica en sus informes anuales la descarga promedio diaria (pies cúbicos por segundo) en las estaciones donde mide la escorrentía, así como la descarga promedio anual (en pies cúbicos segundo por año, ó en acres-pies por año).

Descarga total [Total discharge]: Cantidad de agua, sustancia disuelta o suspendida en el agua medida en un punto por unidad del tiempo. En el caso del agua se expresa

en pies cúbicos por segundo, metros cúbicos por segundo o acres-pies. Para sustancias se expresa en libras, kilogramos ó toneladas.

Dique [Dike]: Barrera longitudinal formada por tierra, roca o cemento, que impide el paso del agua. Los diques se utilizan principalmente a lo largo de bancos de ríos, para restringir el agua al canal del río y prevenir inundaciones. Es también, una represa pequeña para formar charcas.

Distrito Riego del Valle de Lajas [Irrigation District of Valle de Lajas]: Sistema de embalses y canales para proveer agua a áreas agrícolas y plantas de producción de agua potable en el Valle de Lajas y la Región Suroeste. El sistema incluye los embalses de Prieto, Yahuecas y Guayo, en la cuenca del Río Grande de Manatí, cuyas aguas son desviadas hacia el sur y el Embalse Luchetti (cuenca Río Yauco) mediante un sistema de túneles bajo la Cordillera Central. Desde Luchetti el agua fluye por otros túneles al Embalse Loco.

Dos Bocas o Embalse Dos Bocas [Dos Bocas Reservoir]: Embalse en la cuenca del Río Grande de Arecibo en territorio de Utuado, construido en 1942 con una capacidad inicial de 30,400 acres-pies. El embalse es parte del sistema hidroeléctrico Caonillas-Dos Bocas operado por la AEE, además de suplir hasta 100 mgd al Superacueducto de la Costa Norte. Su capacidad actual es de 13,200 acres-pies, con una vida útil de 48 años a partir del 2004.

Drenaje divisorio [Drainage divide]: Límite geográfico de una cuenca definido por cambios en elevación que separa cuencas hidrográficas adyacentes.

DRNA (DNER): Acrónimo del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, agencia del Estado Libre Asociado responsable de establecer la política pública y administrar y manejar los recursos de agua de la Isla, entre otras actividades.

Ecoeléctrica [Ecoelectric]: Nombre local de la empresa privada que opera una planta termoeléctrica para generar electricidad utilizando gas natural licuado en la Bahía de Guayanilla, con una capacidad generatriz de 540 megavatios.

Efluente [Effluent]: Se utiliza para definir la descarga de desechos líquidos o gaseosos, con o sin tratamiento generados por diversas actividades humanas que fluye hacia sistemas colectores o directamente a los cuerpos receptores.

Embalse [Reservoir]: Lago artificial que se construye en el proceso de represar un río. En Puerto Rico no hay lagos naturales, aunque hay quienes consideran que las lagunas de agua salobre, como la de Tortuguero, lo son. Las represas y, por consiguiente, los embalses que hay en Puerto Rico, han sido construidos a través de agencias locales como la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE), el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA); y las agencias federales, como el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (COE, por sus siglas en inglés) y el Negociado de

Reclamaciones del Departamento de lo Interior (BLM, por sus siglas en inglés). En la Isla existen 36 embalses mayores que son la fuente principal de agua usada para abasto público (AAA) y riego agrícola. Además, la AEE opera unidades hidroeléctricas en 11 de los embalses generando electricidad.

Embalse Carite o Carite [Carite Reservoir[: Embalse en la parte superior de la cuenca del Río de La Plata, en la Sierra de Cayey en la Región Interior de Puerto Rico al sur de Cayey, construido en 1913 con una capacidad de 11,300 acres-pies (actual de 8,560 acres-pies). Provee agua para abasto público a Cayey hacia el norte y a Guayama hacia el sur por el Canal de Guamaní, además de riego agrícola en la Región Sur.

Embalse Cerrillos o Cerrillos [Cerrillos Reservoir]: Embalse en el Río Cerrillos al norte de la Ciudad de Ponce, construido por el COE y el DRNA en 1991, con una capacidad inicial de 47,900 acres-pies. El embalse suple hasta 22 mgd de agua a las plantas de filtración que sirven la ciudad de Ponce, además de controlar las inundaciones que anteriormente afectaban la ciudad. Su capacidad actual es de 47,300 acres-pies con una vida útil de 958 años a partir del 2004.

Embalse Garzas o Garzas [Garzas Reservoir]: Embalse en la Región Interior de Puerto Rico, en la zona montañosa entre Lares, Adjuntas y Yauco, construido en 1943 con una capacidad inicial de 4,700 acres-pies (actual de 4,060 acres-pies). Suple agua a la planta hidroeléctrica de Garzas y a la Región Sur hacia Peñuelas.

Embalse Guajataca o Guajataca [Guajataca Reservoir]: Embalse en la cuenca del Río Guajataca, en la vecindad de la antigua Central Soller en los municipios de Isabela, Quebradillas y San Sebastián. El embalse fue construido en 1928 con una capacidad inicial de 39,300 acres-pies, y es parte del Distrito de Riego de Isabela, descargando hasta 40 mgd de agua desde la represa que lo forma por el Canal de Derivación hasta la vecindad de Isabela. Desde este punto el agua fluye hacia el oeste por los canales de Aguadilla y Moca. El agua fluye hacia las plantas de filtración de la AAA en Aguadilla, Isabela y Ramey, además de sectores agrícolas en la Región Oeste. La capacidad actual del embalse es 33,900 acres-pies, con una vida útil de 481 años a partir del 2004.

Embalse Guayabal o Guayabal [Guayabal Reservoir]: Embalse en la cuenca del Río Jacaguas al norte de Villalba e inmediatamente aguas abajo del Embalse Toa Vaca. Construido en 1913, es parte del Sistema de Riego de Juana Díaz, descargando agua por el Canal de Juana Díaz hacia las zonas agrícolas en Santa Isabel y Juana Díaz y la planta de filtración de la AAA en ese municipio. Guayabal sufre de sedimentación significativa, reduciéndose su capacidad de 9,580 originalmente a 4,800 en el 2004, con una vida útil de 97 años a partir del 2004.

Embalse Guayo o Guayo [Guayo Reservoir]: Embalse en la Región Interior, en la zona montañosa entre Lares y Yauco, parte del Proyecto del Suroeste, suple agua hacia el sur mediante un túnel que descarga al Embalse Lucchetti, desde donde fluye

hacia el Embalse Loco y el Valle de Lajas. Construido en 1956 con una capacidad inicial de 15,565 acres-pies (actual de 13,100 acres-pies).

Embalse Loco [Loco Reservoir]: Embalse en la cuenca del Río Loco cerca de Guánica, en la Región Suroeste de Puerto Rico, parte del Proyecto del Suroeste que alimenta el Canal de Lajas, que distribuye el agua desde Sabana Grande hasta Lajas. La AEE opera el sistema y genera electricidad mediante dos turbinas impulsadas por el agua. El canal puede conducir hasta 27.6 mgd, con un promedio actual de 24 mgd.

Embalse Patillas o Patillas [Patillas Reservoir]: Se refiere al Embalse Patillas, en la cuenca del Río Grande de Patillas en el Municipio de Patillas, construido por la AEE en 1914 con un capacidad inicial de 14,300 acres-pies. El embalse alimenta el Canal de Patillas, que suple agua para riego y abasto a las PF de Patillas y Guayama. Su capacidad actual es de 10,600, con una vida útil de 126 años a partir del 2004.

Embalse Toa Vaca o Toa Vaca [Toa Vaca Reservoir]: El embalse de mayor capacidad en Puerto Rico (55,900 acres-pies), en la Región Sur, construido por el ELA en el 1972 en el Río Toa Vaca al sur de Villalba. El embalse suple agua para abasto público a Ponce y los municipios cercanos. Su capacidad actual es de 51,700, con una vida útil de 394 años a partir del 2004.

EPA (USEPA): Acrónimo de la Agencia de Protección Ambiental Federal, agencia a cargo de la protección del ambiente nacional, y que tiene jurisdicción en Puerto Rico y sus islas limítrofes en la implantación de las leyes federales para la protección del medioambiente y el agua potable.

EPA [Environmental Protencion Agency]: Siglas en inglés para la Agencia Federal de Protección Ambiental.

Erosión [Erosion]: Proceso físico o químico mediante el cual el viento, la lluvia y la escorrentía remueven partículas de suelo y rocas.

Escalera de Peces y Camarones [Fish ladder]: Elemento de diseño a considerar en la construcción de una presa que pueda obstruir el libre fluir de las aguas de un cuerpo de agua superficial, para permitir el paso de camarones, peces y otras especies que se mueven aguas arriba de cuerpo de agua superficial, desde el estuario. Este mecanismo, promueve que se permita el ciclo de reproducción.

Escorrentía [Runoff]: Término general que define la cantidad de agua que discurre por un cauce en un período dado.

Escorrentía anual [Annual runoff]: Agua que fluye en un punto de un canal natural (río) o artificial durante un año, como resultado de la lluvia sobre una cuenca o área. La escorrentía se mide en un punto definido de la cuenca y se expresa en pies cúbicos (equivalente a 7.48 galones) ó acres-pies (43,560 pies cúbicos ó 325,581 galones).

También, se expresa por unidad de área (milla cuadrada) del punto donde se mide (pies cúbicos segundo por milla cuadrada).

Escorrentía neta [Net runoff]: Cantidad de escorrentía en un punto de una cuenca que resulta de la lluvia menos la evapotranspiración e infiltración.

Escorrentía superficial [Surface runoff]: Agua que fluye sobre la superficie del suelo. Incluye el agua de precipitación que no se infiltra al subsuelo y no se evapotranspira.

Escorrentías en pulgadas [Runoff in inches]: Es la profundidad medida en pulgadas, del área de drenaje de una cuenca si las escorrentías en dicha cuenca fueran distribuidas uniformemente durante un período de tiempo dado. Este término se utiliza para poder comparar la lluvia en pulgadas con la escorrentía, en unidades similares.

Espacio Anular [Annular space]: Espacio entre la camisilla de un pozo y la formación geológica en que está construido éste, generalmente rellenado con materiales tales como bentonita (para sellar) o grava y arena, para permitir el paso del agua e impedir el paso de los sedimentos al pozo.

Estación con record parcial [Partial record station]: Lugar en un cuerpo de agua donde las medidas específicas de uno o más criterios hidrológicos son obtenidas en forma interrumpida, en comparación con las estaciones continuas.

Estación de record continuo [Continuous record station]: Lugar en un cuerpo de agua donde se obtienen datos hidrológicos o metereológicos en forma constante mediante instrumentos electrónicos. El USGS mantiene estaciones hidrológicas en los ríos, embalses, pozos y manantiales en la Isla, donde mide el flujo, elevación, características físicas y químicas y otras propiedades. El Servicio Nacional de Meteorología mantiene estaciones similares para medir lluvia y evaporación en Puerto Rico.

Estándares de Calidad de Agua [Water Quality Standards]: Criterios para definir la calidad en aguas crudas, como un punto de referencia para medir las condiciones prevalecientes y establecer metas para alcanzar niveles necesarios para la vida acuática y para actividades humanas.

Estándares o Guías de Agua Potable [Drinking Water Standards or Criteria]: Criterios de concentración máxima para un compuesto en una fuente de agua potable, diseñado para proteger la salud humana. Los estándares para agua potable son establecidos por la EPA y administrados por el Departamento de Salud. La AAA y entidades privadas que operan acueductos públicos en Puerto Rico tienen que llevar a cabo análisis periódicos a base de una serie de criterios que se usan para determinar si la calidad del agua potable cumple con lo establecido bajo la Ley Federal de Agua Potable Segura.

Estuario [Estuary]: Desembocadura de los ríos al mar donde se mezcla el agua fresca y el agua salada, en lo que se denomina la interfase o zona de mezcla. Los estuarios se caracterizan por la productividad biológica y son nichos donde especies de agua fresca y agua salada concurren y se desarrollan en diferentes etapas de su ciclo de vida. En Puerto Rico hay varios tipos de estuarios e incluye aquellos donde la cuña de agua salobre avanza río arriba hasta una milla (Arecibo, Manatí, Espíritu Santo); de aguas frescas (Culebrinas) y zonas intermedias. Las lagunas en la vecindad de San Juan forman el Estuario de la Bahía de San Juan, que es parte de la red nacional de estuarios.

Estuario Nacional de la Bahía de San Juan [**San Juan Bay Estuary**]**:** Reserva nacional estuarina formada por la Bahía de San Juan y las lagunas Condado, San José, Torrecillas y Piñones, además del Caño Martin Peña. Las aguas del sistema están altamente contaminadas con escorrentías urbanas, incluyendo materia de origen fecal de zonas urbanas cercanas al Caño de Martín Peña, donde no existen sistemas sanitarios efectivos.

Estudio sinóptico [Synoptic study]: Estudio intenso de un área en un período de tiempo relativamente corto. En hidrología se refiere a los estudios de un área o cuenca donde se obtienen datos de múltiples puntos en un tiempo corto para obtener un perfil de las condiciones de la zona estudiada.

Eutroficación [Eutrophication]: Proceso físico-químico de enriquecimiento de las aguas con nutrientes, primordialmente nitrógeno y fósforo. También se refiere al proceso mediante el cual en un cuerpo de agua crecen algas marinas y plantas acuáticas en forma acelerada, debido a la abundancia de nutrientes, ocupando la mayor parte de la superficie y fondo del cuerpo de agua afectado. Consiste en un proceso de evolución natural en el tiempo, en el que el agua se enriquece de oxígeno, provocando un aumento de plantas acuáticas, la transformación en zona pantanosa y en última instancia, la transformación en terreno seco. Los cuerpos de agua son clasificados en base a la concentración de nutrientes como oligotróficos (baja), mesotróficos (moderada) e hipereutróficos (alta).

Evapotranspiración [Evapotranspiration]: Es la acción conjunta de evaporación del agua y de transpiración por la acción biológica de las plantas. Pérdida de agua en forma de vapor de la vegetación y de la superficie del suelo hacia la atmósfera.

Factor de Evaporación [Evaporation factor]: Razón de pérdida de agua de la fase líquida a la de vapor por medio de procesos físicos a partir de una superficie de agua expuesta.

Faja Verde [Green belt]: Requerimiento de la ley Núm. 49 del 4 de enero de 2003, según enmendada y el Reglamento de Planificación Núm. 3 (Reglamento de Lotificación y Urbanización) a los efectos de dedicar a uso público una faja de terreno de un ancho mínimo de cinco (5) metros lineales a ambos lados del cauce de un

cuerpo de agua cuando el terreno es sujeto de notificación o la obra propuesta colinda o atraviesa el mismo..

Fisiografía [Physiography]: Descripción de rasgos de la superficie terrestre, enfatizando el origen de su forma.

Flujo [Flow]: Término equivalente a la descarga de agua en un cauce. Medida de volumen que pasa por un punto determinado en un término de tiempo y es expresado en unidades tales como galones por día o acre-pies al año.

Flujo base [Base flow]: Flujo sostenido en un cauce o corriente de agua, que generalmente se debe a la descarga de aguas subterráneas al canal del cauce.

Flujo de agua subterránea [Groundwater flow]: La cantidad de agua subterránea que fluye en una sección transversal de un acuífero. Es también referido como el "Flujo de Darcy", debido a la ecuación de Darcy que define el Flujo Hidráulico (Q) como el producto de la Conductividad Hidráulica (K), la Pendiente o Gradiente Hidráulico (dh/dl), y el Área Seccional (A) bajo consideración. La ecuación de Darcy es Q=(K)(A)(dh/dl)).

Flujo de retorno [Return flow]: Parte del agua de irrigación no consumida y evapotranspirada por los cultivos, que regresa a su fuente o a otro cuerpo de agua.

Flujo laminar o difuso [Laminar or diffused flow]: Flujo no turbulento que ocurre sobre un área extensa, y no en un canal, cuya definición es difícil debido a la dispersión del agua en el terreno. Un ejemplo es el flujo de agua que se observa en un estacionamiento plano luego de un evento de lluvia, cuando una capa de agua fina se desplaza en varias direcciones.

Flujo máximo [Maximun flow]: Flujo instantáneo máximo en un punto fijo de un río, expresado en pies cúbicos por segundo (pcs). Los ríos en Puerto Rico exhiben flujos máximos significativos para el tamaño de sus cuencas, debido a la lluvia intensa que ocurre. Por ejemplo, el flujo máximo conocido en el Río Grande de La Plata en Toa Alta fue de 120,000 pies cúbicos por segundo en el 1928.

Flujo mínimo [Minimun flow]: Flujo más bajo en un cauce de agua medido en tiempo expresado generalmente en pies cúbicos por segundo, pcs. Estadísticamente hay un flujo mínimo equivalente al flujo base, que es la cantidad de agua menor que ocurriría en un punto, para una sequía extrema. Hay varias estadísticas que definen este flujo, incluyendo el 7Q2; el 7Q10; el Q99; el flujo mínimo anual (Qmin); y el flujo anual promedio mínimo (promedio de los flujos mínimos anuales en una estación fija con por lo menos 20 años de datos, denominado el MALF, por sus siglas en inglés)

Flujo o escorrentía total [Total runoff or flow]: La suma de los flujos promedios diarios medidos o estimados en un punto de un río. El USGS expresa este total como

un volumen promedio en pies cúbicos segundo (pcs), o como una masa en acres-pies (un acre-pie es equivalente a 43,560 pies cúbicos).

Flujo promedio diario [Average daily flow]: El promedio de los flujos medidos durante 24 horas en un punto en un río, expresado en pcs. El USGS determina el flujo generalmente en intervalos de 15 minutos, obteniendo un promedio para el día de los 96 valores medidos, publicando anualmente en sus informes y en la Internet una tabla de los flujos promedios diarios para cada día del año, en cada estación continua que opera en la Isla.

Formación Cibao [Cibao Formation]: Formación del período geológico Terciario en la Región del Karso de Puerto Rico, compuesta principalmente de barros, arcilla y materiales calizos de baja permeabilidad. Es la capa confinante del Acuífero Profundo o Artesiano de la Región Norte de la Isla hacia el este.

Formación o Caliza Aguada [Aguada limestone]: Formación del período geológico Terciario en la Región del Karso de Puerto Rico, compuesta principalmente de caliza con pocas impurezas y cambios en estructura y composición lo cual hace difícil de ubicar cuando se compara con la caliza sobrepuesta del Aymamón. La permeabilidad de estos depósitos marinos es relativamente alta hacia el este de Arecibo. Hacia el oeste de Arecibo esta caliza contiene un contenido alto de material terrígeno y arcilla lo cual hace que la misma actúe como zona o capa confinante localmente.

Formación o Caliza Aymamón [Aymamón limestone]: Formación del período geológico Terciario en la Región del Karso de Puerto Rico, compuesta principalmente de caliza bastante pura y alto grado de fracturas en las rocas, usualmente a profundidades que coinciden con el manto freático o con cambios en estructura geológica (formaciones) a mayor profundidad. La permeabilidad de estos depósitos marinos es la más alta en Puerto Rico, usualmente entre 30,000 y 120,000 pies cuadrados por día.

Formación Lares o Caliza Lares [Lares Formation]: Formación del período geológico Terciario en la Región del Karso de Puerto Rico, compuesta principalmente de caliza con impurezas y arcilla en sus fracturas. Esta formación contiene parte de la zona saturada del Acuífero Inferior (Profundo o artesiano) de Puerto Rico. La permeabilidad de estos depósitos marinos usualmente no sobrepasa los 5,000 pies cuadrados por día. Esta caliza se expone a la superficie en el área desde el Río Guajataca hasta el Río Cibuco.

Formación o Caliza Montebello [Montebello limestone]: Formación del período geológico Terciario en la Región del Carso de Puerto Rico, compuesta principalmente de caliza con impurezas. Esta formación contiene parte de la zona saturada del Acuífero Inferior (Profundo o artesiano) de Puerto Rico. La permeabilidad de estos depósitos marinos es relativamente baja. Conjuntamente con la Formación Lares estas calizas constituyen la parte más productiva del Acuífero Inferior (Profundo o Artesiano) de Puerto Rico.

Franquicia [Franchise]: Autorización legal emitida por el DRNA para el aprovechamiento de aguas superficiales, subterráneas o costaneras otorgada por el Secretario a tenor con las disposiciones del artículo 8 del Reglamento 6213, conocido como Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico. La franquicia, una vez otorgada, le concede a su poseedor el derecho a utilizar un volumen determinado de agua por un período de tiempo y sujeto a las condiciones dispuestas en la autorización otorgada y al reglamento citado.

Freático [Phreatic]: Nivel del agua en la zona saturada en un acuífero no-confinado.

Fuente de contaminación de punto o precisas [Point source contamination]: Descarga de contaminantes a cuerpos de agua o sobre el terreno a través de una tubería o canal. Estas pueden ser de origen urbano, industrial o agrícola. Las más comunes incluyen descargas tales como emisarios de plantas de tratamiento de aguas usadas de la AAA, descargas de industrias y charcas de oxidación de ganaderías.

Fuente de punto [Point source]: Fuente precisa. Lo opuesto a fuente dispersa, refiriéndose a una descarga de un fluido o material en un punto determinado.

Fuente dispersa [Non-point source]: Descarga de un fluido o material esparcido en un área extensa proveniente de fuentes múltiples, en vez de en un punto específico. Por ejemplo, las actividades agrícolas representan una fuente dispersa de nutrientes que son transportados por la escorrentía desde las áreas de cultivo hacia cuerpos de agua.

Galería [Gallery]: Sistema para extraer agua subterránea utilizando camisillas horizontales equipadas con rejillas típicas de un pozo. Esto permite extraer una cantidad mayor de agua en zonas donde los depósitos que forman un acuífero tienen poca profundidad. La AAA opera una galería de varios "pozos horizontales" en Toa Alta cerca de la Carretera # 2 que se alimenta del aluvión en el cauce del Río de La Plata, extrayendo hasta 5 mgd de agua que alimenta la PF de la Virgencita. El Municipio de Carolina recientemente instaló un sistema similar en el Río Grande de Loíza para alimentar el acueducto municipal que desarrolla.

Geología [Geology]: Ciencia que trata de la historia de la tierra y de la constitución, origen y formación de los materiales que la componen.

Gradiente Hidráulico [Hydraulic gradient]: Cambio en nivel del agua en la zona saturada de un acuífero por unidad de distancia en una dirección dada. Define la pendiente del nivel del agua o el por ciento de inclinación de la superficie freática de un acuífero libre o de la superficie piezométrica de un acuífero artesiano.

Hidráulica [Hydraulics]: Ciencia que trata de los procesos o fenómenos físicos que controlan el movimiento de las aguas superficiales o subterráneas.

Hidrogeología [Hydrogeology]: Ciencia que estudia la interrelación entre la geología y la hidrología de las aguas subterráneas. Un estudio hidrogeológico investiga las propiedades o características de los acuíferos.

Hidrografía [Hydrography]: Ciencia que trata la descripción y medición de elementos hidrológicos de la superficie del planeta o de un área específica. Incluye elementos descriptivos como cartografía de ríos y embalses y también elementos analíticos como son los estudios de la profundidad en cuerpos de agua.

Hidrología [Hydrology]: Ciencia que estudia la interrelación entre los elementos del ciclo hidrológico, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas, su ocurrencia, movimiento, calidad y disponibilidad.

Humedales [Wetlands]: Ecosistemas terrestres o estuarinos donde los terrenos están inundados la mayor parte del tiempo, aunque reglamentariamente un humedal constituye cualquier zona donde el terreno mantenga cierta cantidad de agua según indicado, lo cual no implica inundabilidad. Los humedales cumplen funciones ecológicas fundamentales, como reguladores de los regímenes hidrológicos y como hábitat de una biodiversidad abundante.

Humedales estuarinos [Estuarine wetlands]: Humedales en la zona costanera de interfase entre el agua fresca y salada, usualmente asociados a la desembocadura de ríos o zonas donde los acuíferos afloran cerca de la costa, proveyendo agua para mantener niveles de inundación o de humedad requeridos para la supervivencia de las plantas que habitan la zona. Generalmente son sistemas de marea en un ambiente de energía baja, donde la salinidad del agua es mayor que 0.5 partes por mil y es variable debido a la evaporación y a la mezcla del agua salada con el agua dulce.

Humedales marítimos [Maritime wetlands]: Humedales expuestos a olas y corrientes del océano abierto y a aguas con una salinidad mayor de 30 partes por mil; presente a lo largo de las costas del océano abierto.

Humedales riberinos [Riverine wetlands]: Humedales ribereños. Humedales en los ríos y canales donde la salinidad derivada del océano es menos de 0.5 partes por mil.

Impermeabilidad [Impearmeability]: Propiedad de los materiales que limita la transferencia o acumulación de agua. En los acuíferos son capas de barro (arcilla) o roca sin francturas que por su naturaleza no permiten el paso o almacenaje de agua.

Instituto Internacional de Dasonomía Tropical [IITF]: Instituto del Servicio Forestal Federal (USFS) ubicado en Puerto Rico que lleva a cabo investigaciones internacionales sobre los bosques. El IITF ubica en el Jardín Botánico de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras, e incluye científicos internacionales que llevan a cabo estudios de los bosques y el medioambiente en Puerto Rico y otros países, incluyendo asuntos relacionados a la ecología de las aguas.

Instituto de Investigaciones de Recursos de Agua [WRRI]: Instituto en el Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico que lleva a cabo investigaciones sobre los recursos de agua en Puerto Rico y sus islas limítrofes. El IIRA recibe fondos del Departamento del Interior Federal, así como de agencias locales y federales.

Intrusión salina [Salt water intrusión]: Proceso mediante el cual el agua salina penetra en un acuífero. En la zona costanera el agua de mar puede penetrar en los acuíferos, a través de los poros del terreno en la costa o en los bancos de canales de ríos o quebradas aguas arriba de la costa. La intrusión salina es un fenómeno natural, consecuencia de las mareas y de la elevación del mar respecto al nivel freático, así como de la porosidad de los acuíferos en la zona costanera. El efecto se intensifica avanzando tierra adentro una cuña de agua salada cuando se remueve por bombeo un exceso sobre la recarga del agua fresca en el acuífero o se bombea a altas intensidades promoviendo avances temporales de la cuña de agua salina ("upconing").

Inundación [Flood]: Desbordamiento del agua fuera de los confines del cauce legal de un cuerpo de agua o inundación por agua procedente de drenajes, en zonas que normalmente no son anegadas. En la agricultura, se refiere a la sobresaturación del terreno hasta el punto de encharcamiento controlado, como método de riego.

JCA [Environmental Quality Board]: Acrónimo de la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico, agencia del Estado Libre Asociado a cargo de administrar la Ley Sobre Política Pública Ambiental de 1970, conocida como la Ley # 9, que reglamenta la aprobación de los proyectos mediante el sistema de documentos ambientales, incluyendo las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA)..

JP (Planning Board): Acrónimo de la Junta de Planificación de Puerto Rico, agencia del Estado Libre Asociado a cargo de coordinar todas las actividades del sector gubernamental y dirigir al sector privado hacia un desarrollo integrado y balanceado de los recursos de la Isla. Es la agencia responsable de formular e implantar los objetivos y políticas públicas que guían el desarrollo socioeconómico de Puerto Rico, incluyendo administrar las leyes y reglamentos sobre usos de terrenos (Reglamento # 4) mediante el proceso de Consultas de Ubicación. Todo proyecto significativo en Puerto Rico requiere una Consulta de Ubicación para determinar la compatibilidad del uso propuesto de los terrenos con el Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico, así como vistas públicas cuando se requiera una rezonificación.

La Plata o Embalse La Plata [La Plata Reservoir]: Embalse en la cuenca del Río Grande de La Plata en el municipio de Toa Alta, construido por la AAA en 1974, con una capacidad inicial de 32,600 acres-pies. Es la segunda fuente más importante de agua a la Zona Metropolitana de San Juan, supliendo hasta 72 mgd de agua a la Planta de Filtración de Toa Alta, que suple agua potable a sectores de Bayamón, Toa Baja y Cataño. Su capacidad actual es de 27,800 acres-pies, con una vida útil de 171 años a partir del 2004.

Lacustre [lacustrine]: Referente a los lagos o lagunas.

Lago [Lake]: Cuerpo de agua generalmente cerrado formado naturalmente en una hondonada, de tamaño mayor en comparación a una laguna. Se utiliza erróneamente para nombrar embalses formados por represas, tales como los Lagos Carraízo, Dos Bocas, Caonillas y otros, que fueron construidos artificialmente.

Laguna [Lagoon]: Cuerpo de agua generalmente cerrado de tamaño menor que un lago. En Puerto Rico existen lagunas costaneras de agua salobre, de gran importancia como Tortuguero, Joyudas, las lagunas de San Juan (Condado, San José, Torrecillas y Piñones), Fajardo, Cartagena, Guánica, y varias otras de menor tamaño. La Isla de Vieques posee un gran número de lagunas salobres o salinas.

Laguna Cartagena [Cartagena Lagoon]: Laguna natural de agua fresca en el Valle de Lajas, en la Región Suroeste de Puerto Rico.

Laguna Condado [Condado Lagoon]: Laguna de agua salobre en la zona del Condado en San Juan, que forma parte del Estuario de la Bahía de San Juan, conectada a dicha bahía por el Canal de San Roberto en la entrada de la Isla de San Juan, y al Océano Atlántico por el norte.

Laguna Guánica [Guánica Lagoon]: Laguna de agua salobre en el Valle de Lajas, en la Región Suroeste de Puerto Rico.

Laguna Joyuda [Joyuda Lagoon]: Laguna salina en la Región Oeste, al sur de Mayagüez en el sector Joyuda.

Laguna Piñones [Piñones Lagoon]: Laguna de agua salobre en Carolina, en el sector de Piñones al este de San Juan. Conectada a la Laguna Torrecillas por el Canal de Piñones.

Laguna San José [San José Lagoon]: Laguna de agua salina en San Juan, parte del Estuario de la Bahía de San Juan, conectada hacia el oeste a dicha bahía por el Canal de Martín Peña y a la Laguna Torrecillas hacia el este por el Canal de Torrecillas. Sufre de contaminación severa por descargas sanitarias urbanas.

Laguna Torrecillas [Torrecillas Lagoon]: Laguna de agua salobre en Carolina al este de San Juan, parte del Estuario de la Bahía de San Juan, conectada a las lagunas San José (Canal de Torrecillas), a la Laguna de Piñones (Canal de Piñones) y al Océano Atlántico (Boca de Cangrejos).

Laguna Tortuguero [Tortuguero Lagoon]: Laguna natural de agua salobre en la costa del Municipio de Vega Alta, formada por descargas de agua subterránea del Acuífero Llano de la Costa Norte de Puerto Rico. La laguna es parte de una reserva protegida por el DRNA, y ocupa un área de 703 cuerdas (276 hectáreas), con una profundidad promedio de 27.9 pies. El agua en la laguna es levemente salobre debido

a intrusión del mar, descargando un promedio de 8 mgd de agua al mar mediante un canal. Cocodrilos importados se han asentado en la laguna.

Lixiviado [Leachate]: Mezcla de sustancias en solución y suspensión resultante de la acción química y física del agua sobre materiales como basura y residuos industriales. Se utiliza para definir las emanaciones líquidas que produce la lluvia sobre la basura acumulada en los vertederos. Generalmente los lixiviados son de alta toxicidad, conteniendo concentraciones altas de contaminantes como metales, nutrientes y compuestos orgánicos.

Manantial [Spring]: Fuente de agua de origen subterránea. Generalmente son un punto de emanación del agua subterránea que luego discurre por la superficie. En general, el agua en el acuífero que suple un manantial emana en puntos donde la elevación del terreno es menor que la elevación del nivel freático en el acuífero. En Puerto Rico existen cientos de manantiales, primordialmente en la región del norte, en la zona de rocas calizas, algunos de los cuales se utilizan como fuente de agua potable.

Manantial termal [Thermal Spring]: Manantial cuya temperatura es más alta que la del cuerpo receptor del flujo. En general, el agua termal proviene de zonas profundas donde el manto terrestre tiene una temperatura mucho más alta que en la superficie, vaporizando el agua que luego se eleva hacia la superficie por grietas o conductos. En Puerto Rico existen manantiales termales en la Región Sur, en los municipios de Coamo y Ponce. Los manantiales termales de Coamo descargan un promedio de 50,000 galones de agua por día al Río Coamo con una temperatura promedio de 110 grados Farenheit en el punto de emanación en los Baños Termales de Coamo.

Manglar [Mangrove]: Término con el que se identifica el terreno húmedo donde existen comunidades marinas que tiene como componentes principales las especies arbóreas de la clase angiosperma que toleran las salinidades del agua de mar. Este ecosistema incluye las lagunas, bahías, canales, salitrales, lodazales, cayos e islotes asociados a las áreas de mangle.

Mangle [Mangrove tree]: Grupo de especies de árboles o arbustos pertenecientes a diferentes familias y género que poseen una serie de adaptaciones que les permiten colonizar terrenos anegados y sujetos a intrusiones de agua salada. En Puerto Rico, sólo cuatro especies de árboles forman manglares: el mangle rojo, el mangle negro, el mangle blanco y el mangle botón. El árbol de mangle tiene la particularidad de poder crecer donde ningún otro tipo de árbol puede hacerlo: en suelos con altas concentraciones de sal. En Puerto Rico, sólo cuatro especies de árboles forman manglares: el mangle rojo, el mangle negro, el mangle blanco y el mangle botón.

Marea [Tide]: Elevación y descenso periódico del agua en los mares o en grandes lagos debidos a la atracción gravitacional de la Luna y el Sol.

Márgen o banco de un río [River bank]: Los límites del canal de un cauce que contienen el flujo. El banco del río se refiere más específicamente a los márgenes que contienen el flujo en el canal. Dado que en los bancos o márgenes se almacena agua, estos representan una unidad física volumétrica.

Material de fondo [Bottom material]: Mezcla de sedimentos que forman el lecho de un río, laguna, embalse, estuario o bahía.

Microgramos por Litro, µg/L [Micrograms per liter]: Unidad que expresa la concentración de componentes en una solución como el peso (microgramos) del soluto por volumen de unidad (litro) de agua; que equivale a una parte por billón o por mil millones, en la mayor parte de las corrientes de agua y en las aguas subterráneas. Mil microgramos por litro es igual a un miligramo por litro (mg/L).

Miligramos por Litro, mg/L [Milligrams per liter]: Unidad para expresar la concentración de componentes químicos en el agua, como la masa (los miligramos) del componente, por volumen de unidad (litro) del agua. Es equivalente a una parte por millón en la mayor parte de las corrientes de aguas y en las aguas subterráneas. La concentración de sedimento suspendido, se expresa en mg/L y está basada en la masa de sedimento seco por litro.

Mogote [Limestone hill]: Las colinas en forma de cúpulas que predominan en la Zona del Karso de la región norte de la Isla, formadas por la solución por el agua o remoción por el viento del Carbonato de Calcio del que se componen las rocas calizas de la zona.

Nivel del mar [Sea Level]: Elevación de la superficie del mar. Típicamente se mide a largo plazo, promediado, y definido como la elevación del nivel del mar promedio (msl por sus siglas en inglés). El nivel del mar varía de un lugar a otro y con el período de tiempo durante el cual el promedio es calculado y se utiliza como referencia el Dato Nacional Geodético Vertical de 1929.

Nivel freático [Phreatic level]: Superficie o elevación del manto o tope del agua en la zona de saturación de un acuífero no-confinado. En un pozo es la elevación del agua en la camisilla cuando en ausencia de extracción por bombeo (nivel estático).

Nivel Máximo de Contaminante [Maximum Contaminant Level]: El nivel máximo de un contaminante que se permite en el agua para efectos de potabilidad (MCL, por sus siglas en inglés). Se refiere a las concentraciones máximas de ciertos iones o compuestos químicos permitidas por la EPA y el DS en las aguas potabilizadas suplidas para consumo público, incluyendo los sistemas de la AAA, acueductos privados y las aguas embotelladas.

Nutrientes [Nutrients]: En hidrología se refiere principalmente a compuestos de nitrógeno y fósforo, nutrientes principales que afectan la calidad del agua. En general

incluye otros micro nutrientes como metales y otros compuestos que son esenciales para el crecimiento de las plantas.

Organismos Bénticos [Benthic organisms]: Forma de vida acuática que vive en o cerca del fondo del cauce de ríos, o en el fondo de estuarios, embalses, lagunas u océanos.

Orográfico [Orographic]: Referente al efecto del proceso físico mediante el cual parte de la humedad en el aire que asciende por las laderas de las montañas se condensa causando aguaceros. La Cordillera Central de la Isla representa una barrera al movimiento del aire húmedo transportado por los Vientos Alisios en su paso hacia el oeste-suroeste. Para ascender por encima de las montañas, el aire utiliza de su propia energía interna (entalpía), enfriándose. En las laderas norte y oeste de la Isla este efecto orográfico causa aguaceros frecuentes, generalmente en las tardes.

Oxígeno disuelto [Dissolved oxygen]: Concentración de oxígeno en solución a determinadas condiciones de presión y temperatura en la columna de agua de ríos o embalses. Se expresa en miligramos por litro como OD (mg/L) (DO, por sus siglas en inglés).

Palo Seco [Palo Seco]: Barrio en el Municipio de Cataño donde ubica una de las plantas termoeléctricas de la AEE, y a la que se refiere como Palo Seco, con una capacidad generatriz de 602 megavatios.

Pantano [Swamp]: Terreno inundado habitado por vegetación hidrofítica.

Percolación [Percolation]: Flujo de un líquido a través de un medio poroso no saturado, por ejemplo de agua en el suelo, por la acción de la fuerza de gravedad.

Permeabilidad [Permeability]: Capacidad de una roca o de material rocoso para transmitir un fluido. Opuesto a impermeabilidad. No es equivalente a porosidad, que es una propiedad física de los materiales relacionada al espacio entre los poros o partículas.

Permiso [Permit]: En general es una autorización emitida por el Gobierno para una acción reglamentada. Sobre los recursos de agua de Puerto Rico, es la autorización escrita otorgada por el Secretario del DRNA a tenor con las disposiciones de los ártículos 7, 9 y 10 del Reglamento 6213, conocido como Reglamento para el Aprovechamiento, Uso, Conservación y Administración de las Aguas de Puerto Rico, para la construcción, sellado, limpieza, profundización o cualquier alteración a un pozo, toma o represa; o para la construcción u operación de un sistema de recarga y para la construcción u operación de un pozo de remedio o investigación ambiental.

pH [pH]: Medida de acidez en las sustancias, que representa el negativo del logaritmo de la concentración del ión de Hidrógeno (H+). Las aguas naturales exhiben un pH neutral (cerca de 7), mientras que la lluvia, debido a la solución de bióxido de carbono

en la atmósfera que se hidroliza a ácido carbónico, tiene un pH acídico (de hasta 5). La lluvia ácida puede exhibir un pH de hasta 3. Las aguas subterráneas de la Región del Karso exhiben pH de hasta 7.8 debido a la presencia de carbonato de calcio en solución.

Pié cúbico por segundo [Cubil feet per second]: Medida de flujo en el Sistema Inglés, que expresa el caudal instantáneo de un fluido en pies cúbicos por segundo (pcs).

Piedra o roca caliza [Limestone rock]: Rocas compuestas principalmente de carbonato de calcio formadas por la deposición de esqueletos de organismos marinos en el océano. La Región Norte de Puerto Rico, incluyendo la Zona del Karso, incluye aproximadamente 600 millas cuadradas de rocas calizas en cinco formaciones geológicas principales con espesores de hasta 5,000 pies. En la Región Sur de la Isla, desde Peñuelas hasta Salinas, existen aproximadamente 150 millas cuadradas de rocas calizas superficiales o subterráneas, en dos formaciones geológicas principales. En otras zonas de la Isla, incluyendo el Valle de Lajas y áreas de la Cordillera Central también ocurren rocas calizas en cantidades menores. La Isla de Mona es formada por rocas calizas.

Porosidad [Porosity]: Propiedad de los materiales que se define por la razón entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total (Vp/Vt). La porosidad puede ser primaria (los espacios normales entre las partículas relativamente uniformes) o secundaria (debida a cavidades causadas por solución o fracturas). El valor no tiene dimensiones debido a que se utilizan unidades similares, tales como pies cúbicos tanto para los poros como para el volumen total. Se expresa como una fracción decimal o por ciento. La porosidad de los materiales varía desde 0.1 por ciento para el granito hasta 25 por ciento para las gravas. Las rocas calizas generalmente tienen una porosidad de hasta 20 por ciento.

Potencial de evapotranspiración [Potencial Evapotranspiration]: Cantidad máxima de agua que consumiría las plantas si nunca hubiera déficit de humedad en el suelo para su crecimiento.

Pozo [Well]: Cualquier estructura, sistema, proceso, método, artefacto o combinación de éstos, empleados por el hombre con el fin principal o incidental de extraer aguas subterráneas, de hacer determinaciones del nivel de agua u otras características del acuífero o subsuelo, de extraer agua para análisis químico, biológico o radioactivo, o para medir características o condiciones del acuífero.

PRASA [PRASA]: Acrónimo en inglés del nombre de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados en Puerto Rico, que quiere decir "Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority".

Precipitación [Precipitation]: Humedad condensada que cae de la atmósfera sobre la superficie de la tierra, bajo diferentes formas, como lluvia, llovizna, chubasco, nieve,

granizo, niebla, rocío, etc. En Puerto Rico la lluvia es equivalente a la precipitación, no así en los lugares donde la nieve es una parte sustancial de la precipitación total.

PREPA [PREPA]: Acrónimo en inglés del nombre de la Autoridad de Energía Eléctrica en Puerto Rico, que quiere decir "Puerto Rico Energy and Power Authority".

Presión Hidrostática [Hydrostatic pressure]: Presión que ejerce el agua en reposo sobre un punto debido a su peso. Un pié cúbico de agua pesa 62.4 libras, y cuando formado en un cubo de 12 pulgadas en cada lado, en reposo sobre el suelo ejerce dicho peso sobre 144 pulgadas cuadradas de área, lo que produce una presión hidrostática de 0.43 libras por pulgada cuadrada.

Provincia o Provincia Hidrogeológica [Hydrologic or Hydrogeologic Province]: Región hidrológica que incluye una o varias cuencas, generalmente definidas por el ambiente deposicional del material geológico que las forma y por las características fisiográficas y climáticas. Puerto Rico y sus islas adyacentes fueron divididas por McGiness (1948) en ocho (8) provincias hidrológicas incluyendo: Provincias del Norte, Sur, Este y Oeste (región costaneras); Provincia de Lajas (Valle de Lajas); Interior (Zona Montañosa); Islas Adyacentes (Vieques y Culebra); Provincia Mona. En estas provincias se identifican características hidrológicas con cierta similitud y sirven como herramientas de análisis de los recursos de agua regionales.

Prueba de Isótopos [Isotopic test]: Prueba para determinar si dos o más especies del mismo elemento que difieren en el número de masa tiene diferentes números de neutrones en el núcleo. El núcleo debe tener el mismo número de protones (un elemento se caracteriza por su número de protones). Los isótopos de un mismo elemento tienen propiedades parecidas porque tienen la misma configuración electrónica pero difieren levemente en sus propiedades físicas. Un isótopo inestable se llama isótopo radiactivo o radioisótopo. Los isótopos de los elementos son útiles en la química para estudiar los mecanismos de las reacciones químicas. Una técnica común es marcar uno de los átomos de una molécula utilizando un isótopo del elemento. Así es posible seguir el comportamiento del átomo durante el curso de la reacción. Los isótopos también se emplean en estudios cinéticos. Por ejemplo, si el enlace entre dos átomos X-Y se rompe a una velocidad determinada, y Y se remplaza por un isótopo más pesado del elemento Y', entonces la velocidad de la reacción será ligeramente más baja con Y' presente; este efecto cinético isotópico es particularmente notorio con compuestos de hidrógeno y deuterio por su gran diferencia de masas. El uso de esta prueba en el recursos agua puede determinar la edad de una fuente de agua en específica y para evaluar las mezclas de diferentes aguas para determinar tasas de reacciones, y otros procesos químicos o hidrológicos. Es efectivo para poder determinar si su procedencia es del acuífero llano o artesiano. Se considera que el agua del acuífero artesiano tiene una edad mayor de 2,000 años, mientras que la del acuífero llano o freático es relativamente joven entre 1 a 22 días. De encontrase isótopos correspondientes al acuífero artesiano en el lente de agua del acuífero llano, se entiende que existe una transferencia de agua entre los acuíferos, mayormente por alguna falla en la región anular del pozo o por alguna rotura en la camisilla.

Puerto Nuevo [Puerto Nuevo]: Sector en la Zona Metropolitana de San Juan, en la cuenca del Río Piedras. También se refiere a la planta termoeléctrica de la AEE en las cercanías de la Bahía de San Juan, con una capacidad generatriz de 247.5 megavatios, así como a la planta regional de tratamiento de aguas usadas primaria que opera la AAA cercana a la Bahía de San Juan.

Q99 [Q99]: Flujo que es excedido en un punto de un río el 99 por ciento del tiempo. El DRNA en Puerto Rico utiliza el valor del Q99 como una guía del flujo residual necesario para el mantenimiento de la vida ecológica, requiriendo en general que el flujo aguas abajo de una toma se mantenga por lo menos en un 50 por ciento del valor de Q99.

Re-aireación [Reaeration]: Proceso físico por el cual el aire (incluyendo el oxígeno) se disuelven o mezclan nuevamente con el agua, generalmente debido a turbulencia.

Recarga [Recharge]: En hidrología se refiere a la cantidad de agua que se recarga a un acuífero desde la superficie, por infiltración natural o inducida por varios métodos como pozos de inyección o lagunas de infiltración. Un déficit en la recarga en comparación con las extracciones de agua en un acuífero eventualmente resulta en la merma en los niveles freáticos, tal como ocurre al presente en varios sectores de los acuíferos de los valles costaneros de las regiones Norte y Sur de Puerto Rico.

Región o Zona del Karso [Karst Region]: La zona en la Provincia Norte de Puerto Rico donde predominan las rocas calizas, que se extiende desde Aguadilla hasta Carolina en una franja de aproximadamente 15 millas de profundidad desde la costa norte hacia el sur. El término se deriva de la palabra yugoeslava “karst”, y se refiere al sistema de mogotes, dolinas y sumideros en regiones formadas por rocas calizas donde no existe un patrón de drenaje superficial, sino que la mayor parte de la escorrentía se infiltra al subsuelo y los acuíferos por los sumideros. Estas características no predominan en toda la zona de rocas calizas de la Región Norte de Puerto Rico, sino en sectores. Aún así, se ha asumido el término Región del Karso para toda la franja de rocas calizas. Las zonas de mayor concentración de sumideros y mogotes ocurren en los afloramientos de las formaciones Lares, Cibao, Camuy y Aymamón, al sur de los valles aluviales, principalmente desde Toa Alta hasta Quebradillas. La región es de gran importancia ya que son la fuente principal de recarga a los acuíferos de la Provincia del Norte, incluyendo el Acuífero Aluvial (Llano) y el Profundo (Artesiano).

Regíon Este [Eastern Region]: Zona en Puerto Rico equivalente a la Provincia del Este, definida por la divisoria en la Sierra de Luquillo hacia el este hasta la costa en el Océano Atlántico y el Pasaje de Vieques. También se utiliza el término Costa Este.

Región Norte [North Region]: Zona en Puerto Rico equivalente a la Provincia del Norte, definida por la divisoria en la Cordillera Central hacia el norte hasta la costa en el Océano Atlántico. También se utiliza el término Costa Norte.

Regíon Oeste [Western Region]: Zona en Puerto Rico equivalente a la Provincia del Oeste, definida por la divisoria en la Cordillera Central hacia el oeste hasta la costa en el Pasaje de la Isla de Mona. También se utiliza el término Costa Oeste.

Regíon Sur [South Region]: Zona en Puerto Rico equivalente a la Provincia del Sur, definida por la divisoria en la Cordillera Central hacia el sur hasta la costa en el Mar Caribe. También se utiliza el término Costa Sur.

Remanso [Backwater]: Acción o efecto en un cuerpo de agua en el cual su flujo es lento u opuesto al flujo normal del cauce. Zonas de influencia de obstrucciones en el cauce de los ríos donde el agua se detiene o la dirección de su flujo se invierte. En los estuarios ocurre este efecto debido a las mareas.

Rendimiento [Yield]: Generalmente se refiere a la cantidad de escorrentía neta que se produce en un punto dado de un río por unidad de área relativa a dicho punto. El USGS publica, en las estaciones donde mide el flujo continuo, el rendimiento en pies cúbicos por segundo por año, por milla cuadrada (ó acres-pies por año por milla cuadrada). Esta medida permite comparar el rendimiento entre cuencas diversas para estimar valores hidrológicos.

Rendimiento Específico [Specific Yield]: La cantidad máxima de agua que puede ser drenada d eun pie cúbico de un material poroso. Se expresa en por ciento. Usualmente el valor de rendimiento específico es mayor de un cinco por ciento. En las calizas de Puerto Rico este valor fluctúa entre un 10 – 15 por ciento.

Rendimiento Seguro [Safe Yield]: Cantidad de agua sostenible que se puede extraer de un cuerpo de agua, sea un embalse, río o acuífero. En embalses y ríos es la cantidad de agua que se está disponible el 99 por ciento del tiempo (definido como el Q99). Los embalses tienen un rendimiento seguro que depende del volumen disponible para almacenar agua y la cantidad de agua que reciben. El rendimiento seguro de los ríos depende de la lluvia, cubierta y geología de la cuenca que drenan y se determina a base de datos estadísticos del flujo a largo plazo en el punto de interés. En los acuíferos es la cantidad de agua renovable por la recarga cuando los niveles freáticos alcanzan equilibrio. También se utiliza para definir la cantidad máxima de agua que rinde un pozo una vez el nivel del agua en la camisilla alcanza equilibrio durante una extracción por bombeo a largo plazo.

Rendimiento seguro ó sostenible [Safe or Firm Yield]: Término que se utiliza para definir la cantidad de agua que puede extraerse de un punto en un río, un embalse o un acuífero. En cada instancia, su cálculo es diferente, y representa el rendimiento disponible que excede cierta probabilidad, usualmente el 99 por ciento del tiempo. En los ríos el rendimiento seguro se basa en el flujo en el punto seleccionado, mientras que en un embalse incluye la suma del almacenaje distribuido en cierto tiempo más el flujo que suple el río que alimenta el embalse. En un acuífero el rendimiento seguro es parecido al de un embalse, siendo la suma del flujo hidráulico más la cantidad de agua en almacenaje que se extrae para una condición definida de equilibrio con la recarga.

Esto implica que el rendimiento seguro en un acuífero puede ser variable dependiendo del nivel del agua en equilibrio que se mantenga por la recarga natural (ó artificial) luego de cierto bombeo.

Reserva Estuarina de Jobaner [Jobos National Estuarine Research Reserve]: Zona en el Municipio de Salinas cercano a la Bahía de Aguirre, que comprende un ecosistema de humedales costaneros y zonas marítimas-terrestres donde predominan varias especies de árboles de mangle y una variedad de vida silvestre terrestre, acuática y de aves. Su definición como reserva estuarina se basa en la percepción de que la fuente principal de agua fresca a la reserva proviene de las descargas del Acuífero de Salinas. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que esta contribución es una fracción del agua fresca que recibe la zona, y que escorrentías durante lluvias intensas proveen una cantidad mucho mayor de agua al frente costanero que forma la reserva.

Reuso [Reuse]: Uso del agua recuperada para un uso beneficioso directo o un uso controlado que cumpla con los requisitos estatales y locales establecidos.

Reuso Directo [Direct reuse]: Distribución de agua recuperada mediante una red o sistema de distribución para uno o varios usuarios que le darán un uso beneficioso.

Reuso Indirecto [Indirect reuse]:. El agua recuperada se descarga al ambiente antes de ser reusada con propósitos beneficiosos.

Ribereño o riberino [Riverine]: Perteneciente a, o situado en el banco u orilla de un cuerpo natural de corriente de agua.

Riego [Irrigation]: Aplicación artificial de agua al suelo, con el propósito de proporcionar la humedad necesaria para el crecimiento normal de plantas.

Riego por goteo [Drip irrigation]: Un sistema de irrigación en el cual el agua es aplicada directamente a la raíz de las plantas por medio de tubos perforados (orificios, emisores, tubería porosa, o tubo perforado), operados a baja presión. Los aplicadores pueden ser colocados sobre o debajo de la superficie del terreno o pueden ser suspendidos por soportes.

Río [River]: Un río es una corriente de agua continua, y más o menos caudalosa, que desemboca en otra corriente o en el mar. Los ríos existen de forma perenne o intermitente. Los ríos perennes tienen agua todo el año; los intermitentes, sólo durante la época de lluvia.

Roca caliza [Limestone rock]: tipo común de roca de sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, $CaCo_3$). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol. Muchas variedades de caliza se han formado por la unión de caparazones o

conchas de mar, formadas por las secreciones de $CaCo_3$ de distintos animales marinos. La creta es una variedad porosa y con grano fino compuesta en su mayor parte por caparazones de foraminíferos; la lumaquela es una caliza blanda formada por fragmentos de concha de mar. Una variedad, conocida como caliza ovolítica, está compuesta por pequeñas concreciones ovoides, cada una de ellas contiene en su núcleo un grano de arena u otra partícula extraña alrededor de la cual se ha producido una deposición. Ciertos tipos de caliza se usan en la construcción, como la piedra de cantería.

Roca Carbonada [Carbonaceous rock]: Equivalente a roca caliza, son rocas compuestas principalmente de minerales conteniendo una proporción alta de iones de carbonato (CO3), como la caliza y la dolomita que contienen mayormente Carbonato de Calcio o Carbonato de Calcio y Magnesio.

Roca Sedimentaria [Sedimentary rock]: Roca formada por materiales depositados en capas que pueden ser consolidados (por ejemplo, calizas) o no-consolidados (por ejemplo, aluvión).

Sedimentación [Sedimentation]: Proceso geológico y geomorfológico por medio del cual materiales transportados por el viento o el agua se depositan sobre una superficie. En el caso de los embalses, los sedimentos transportados por los ríos causan sedimentación, reduciendo su capacidad. Los valles aluviales en Puerto Rico fueron formados por la sedimentación del aluvión arrastrado por los ríos desde las montañas. En algunas zonas de la Isla hay rocas sedimentarias consolidadas formadas por fangos y cienos depositados por los ríos, cementadas con el tiempo.

Sedimento suspendido [Suspended sediment]: Sedimento que es transportado en la columna de agua en suspensión por una corriente, generalmente expresado en miligramos por litro, o como una masa en toneladas por día o por año.

Sequía [Drought]: Período prolongado de precipitación deficiente en comparación con los promedios anuales o normales, de tal forma que la carencia del agua causa un desequilibrio hidrológico. Las sequías pueden ser regionales o generales y varían en duración. Puerto Rico experimenta un período de relativa sequía anualmente, que generalmente se extiende desde enero hasta finales de abril, aunque en la Provincia o Región Sur puede extenderse hasta agosto. La Isla sufre periódicamente sequías más severas que las anuales, las más recientes en el año 1994 y en el año 2002, aunque estas fueron regionales.

Servicio Geológico Federal [U.S. Geological Survey, USGS]: Agencia del Gobierno Federal que lleva a cabo investigaciones sobre los recursos naturales de los Estados Unidos, incluyendo las aguas, minerales, la geología, topografía y volcanes. En Puerto Rico el USGS lleva a cabo investigaciones sobre los recursos de agua y operar redes de estaciones donde se determina el flujo de los ríos, niveles en los embalses y acuíferos, y la calidad del agua.

Servicio de Conservación de Recursos Naturales [Natural Resources Conservation Service, NRCS]: Agencia del Gobierno Federal anteriormente conocida como el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), que lleva a cabo estudios y proyectos para la conservación de los suelos y las cuencas hidrográficas.

Servicio de Caza, Pesca y Vida Silvestre: [USFWS]: Agencia del Departamento del Interior del Gobierno Federal, responsable por el manejo y preservación de la flora y fauna terrestre y acuática, particularmente las especies en peligro de extinción, amenazadas y protegidas. El USFWS tiene jurisdicción sobre todos los terrenos en Puerto Rico y sus islas limítrofes donde habiten o transiten especies de valor. Aunque no emite permisos, actúa en consulta con el COE, el DRNA y la JCA en determinar el impacto de acciones o proyectos a la flora y fauna terrestre y acuática de la isla.

Servicio Forestal Federal [USFS]: Agencia del Departamento de Agricultura del Gobierno Federal, responsable del manejo y protección de los bosques federales. En Puerto Rico el USFS maneja el Bosque Nacional de Luquillo, incluyendo la zona del Yunque, como parte de la red de bosques nacionales federales. El USFS tiene jurisdicción sobre las aguas que fluyen en el Bosque Nacional de Luquillo, y emite permisos a la AAA para la instalación de tomas de agua en dicha reserva.

Sistema de Agua Potable: Un sistema que provee agua potable.

Sistemas Non-PRASA (Non-PRASA Systems]: Se refiere a los acueductos rurales operados por entidades privadas, incluyendo comités de ciudadanos, cooperativas, industrias y zonas semi-urbanas como Palmas del Mar. Estos sistemas totalizan cerca de 270 en la Isla, extrayendo 12 mgd de aguas superficiales y subterráneas que sirven a 125,000 habitantes en las zonas rurales donde la AAA no presta servicio.

Sólidos disueltos [Dissolved solids]: Minerales o materiales en solución de agua en forma iónica, generalmente expresado en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L). Denominación que reciben todos los sólidos que quedan retenidos en un proceso de filtración final.

Sólidos suspendidos [Suspended solids]: Sólidos insolubles, suspendidos en el agua debido a procesos coloidales, energía, o adhesión, generalmente expresado en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L)

Sólidos totales [Total solids]: La suma de los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos, generalmente expresado en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L).

Sombra de lluvia o **sombra pluviométrica [Rainfall shadow]:** Se refiere al área de una cuenca o región situada en las montañas al lado opuesto de la dirección del viento (sotavento) donde la lluvia es mucho menor que en el lado donde incide el viento (barlovento). El aire húmedo al ascender por las laderas de las montañas donde sopla el viento se enfrían, condensando parte de la humedad en forma de lluvia. Este

fenómeno se conoce como el efecto orográfico. El aire seco que cruza las montañas resulta en la sombra de la lluvia creada. La región sur de Puerto Rico es ejemplo de este proceso, debido a que los vientos prevalecientes en la Isla proceden del este-noreste la mayor parte del tiempo, depositando la lluvia en las laderas norte, recibiendo las laderas sur aire más seco, lo que resulta en menor lluvia en el sur.

Sumidero [Sinkhole]: Cavidad o conducto en el terreno que permite la infiltración rápida de la escorrentía al subsuelo. En la Zona del Karso abundan los sumideros en forma de depresión sobre el terreno, causada por la solución de las rocas calizas a través del tiempo, con un conducto o cavidad que descarga al subsuelo. Los sumideros son fuente importante de recarga de acuíferos en la Región Norte, pero también actúan como conductos de contaminantes hacia las aguas subterráneas, si éstos no se protegen.

Superficie o nivel potenciométrico [Surface or potentiometric level]: Elevación del nivel freático en un acuífero. En los acuíferos no-confinados (como el Acuífero Superior de la Región Norte de Puerto Rico), el nivel potenciométrico es igual que el nivel freático. Esto se debe a que en un acuífero no-confinado la presión atmosférica controla el nivel del agua. En los acuíferos confinados (como en el Acuífero Inferior o Artesiano de la Región Norte de la Isla), el nivel del agua en el acuífero es controlado por la capa confinante y generalmente está a la misma elevación del fondo de la capa confinante. El agua, al no poder moverse verticalmente debido a la capa confinante, si no tiene otra ruta para fluir fuera del acuífero, se presuriza en proporción a la elevación máxima del nivel freático en la zona de recarga. Esto resulta en lo que comúnmente se conoce como la presión artesiana, que depende de este efecto de carga hidráulica ("head"). Al perforarse un pozo en un acuífero confinado (artesiano), el nivel del agua alcanza una elevación equivalente al nivel freático en el área de recarga (menos efectos de fricción). En el Acuífero Profundo o Artesiano de la Región Norte de la Isla, el nivel potenciométrico es varios cientos de pies más elevado que el fondo de la capa confinante.

Tasa de infiltración [Infiltration rate]; Medida del tiempo en que el terreno percola el agua.

Tomas domésticas [Domestic intake]: Punto donde se extrae aguas superficiales para suplir agua para uso doméstico, agrícola o industrial. La AAA opera 120 tomas en los ríos y embalses que suplen las plantas de filtración que producen el agua potable. En la Isla existen aproximadamente 270 tomas privadas para acueductos rurales operados por cooperativas y ciudadanos.

Topografía [Topography]: Descripción de los rasgos de la superficie de cualquier área, pudiendo incluir no sólo formas del relieve natural, sino también los aspectos y objetos antropogénicos.

Transmisividad [Transmisivity]: Propiedad de un acuífero para transmitir agua, definida por el producto de la Conductividad Hidráulica (K) del material que forma el

acuífero y el espesor (b) del acuífero, expresada en la ecuación T=(K)(b) para una unidad del gradiente hidráulico, con unidades en pies cuadrados por día (cuando K es en pies por día). La transmisividad en un acuífero varía, en proporción al espesor, aún cuando las propiedades que definen el valor de K sean uniformes.

Transpiración [Transpiration]: Proceso en el cual el agua se evapora a través de las hojas de las plantas.

Tratamiento primario [Primary treatment]: Proceso de purificar parcialmente las aguas usadas. En la primera fase, una rejilla detiene el paso de grandes escombros como troncos y enseres eléctricos desechados. En la segunda, se utilizan grandes tanques para disminuir el nivel de energía y movimiento del agua, así permitir que se sedimenten los sólidos suspendidos. Este tratamiento remueve 80 por ciento de los sólidos suspendidos en el agua y 35 por ciento de la demanda biológica de oxígeno (BOD, por sus siglas en inglés). Las leyes federales requieren clorinar el efluente antes de descargarlo al medioambiente. Normalmente, las aguas usadas tienen demandas altas de BOD, y en consecuencia, consumen todo el oxígeno disuelto de las aguas donde se descargan, incluyendo los ríos, embalses, lagunas, estuarios, quebradas, y otros cuerpos de agua. El resultado es la el deterioro de la calidad de agua y frecuentemente la mortandad de las especies de flora y fauna acuáticas, particularmente los peces. La AAA opera en Puerto Rico seis (6) plantas regionales primarias (Loíza, San Juan, Bayamón, Arecibo, Aguada y Ponce) que descargan el efluente al mar, autorizadas mediante dispensas a la Ley Federal de Agua Limpia, luego de demostrar que no tienen efectos adversos significativos al ambiente marino.

Tratamiento secundario [Secondary treatment]: Proceso de purificar parcialmente las aguas usadas, que mejora el tratamiento primario, removiendo hasta el 95 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno (BOD) y del total de sólidos suspendidos en las aguas usadas. Su objetivo es mejorar la calidad que el tratamiento primario le dio a las aguas usadas. El tratamiento secundario depende de la actividad biológica y por eso incluye la aeración de las aguas, para añadirle oxígeno, y permitirle a las baterías crecer y consumir la materia orgánica de las aguas usadas. Mientras más oxígeno se añada y más tiempo se le permita al agua estar en contacto con las bacterias, más materia orgánica se consumirá en el proceso. Al final del tratamiento secundario se le añade cloro al agua para matar los microorganismos patógenos de las aguas usadas. El resultado de la actividad de las bacterias es agua con la presencia de poca materia orgánica, pero sí de muchos nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno. Estas aguas normalmente se vierten en cuerpos de agua dulce o en el mar, donde su alto contenido de nutrientes estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas. La AAA opera en Puerto Rico 104 plantas de tratamiento secundarias que descargan su efluente a ríos, quebradas, embalses, estuarios y al mar, mediante permisos NPDES emitidos por la EPA.

Tratamiento terciario [Tertiary Treatment]: Tratamiento avanzado de las aguas sanitarias que es una continuación de los tratamientos primarios y secundarios. Remueve el 99 por ciento de los contaminantes de las aguas usadas. Además de

pasar el agua por los procesos de tratamiento primario y secundario, se utilizan procesos de coagulación con sulfato de alúmina (Al_2SO_4) para remover la mayor parte del fósforo presente. El nitrógeno se remueve por procesos bioquímicos conocidos como nitrificación y denitrificación. En muchas plantas modernas el agua se filtra por membranas porosas que resultan en que el efluente tenga características similares al agua potable, aunque el Departamento de Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos no permiten su uso directo para consumo humano. La AAA opera en Puerto Rico tres plantas terciarias (Caguas, Barranquitas y Santa Isabel) y construye una nueva (Fajardo). Varias industrias operan plantas terciarias para tratar sus efluentes industriales y sanitarios.

Tributario [Tributary]: Un río o quebrada que fluye hacia otro de mayor caudal. Curso de agua que desemboca en un curso mayor o en un lago, embalse o laguna.

Turbidez o turbiedad [Turbidity]: Condición del agua que describe su grado de transparencia, resultante de la solución o suspensión coloidal de partículas. Se determina midiendo el grado de dispersión de un rayo de luz que pasa a través de una muestra de agua y se expresa en unidades de turbiedad (turbidez) Nefelométricas (NTU, por sus siglas en inglés).

Unidad Hidrológica [Hydrologic unit]: Área geográfica en una cuenca o parte de la cuenca definida en los Mapas de Unidades Hidrológicas publicados por el USGS. Cada unidad hidrológica es representada por una cifra de 8 dígitos.

Uso agua comercial [Comercial water use]: Aguas utilizadas (que se consumen) en actividades comerciales, incluyendo tiendas, supermercados, hoteles y toda actividad que no industrial, incluyendo la manufactura y generación de electricidad en plantas termoeléctricas.

Uso agua industrial [Industrial water use]: Aguas utilizadas (que se consumen) en actividades industriales incluyendo la manufactura y la generación de electricidad en plantas termoeléctricas. No incluye la generación hidroeléctrica, ya que esta actividad no consume el agua, sino que se devuelve a los embalses o ríos.

Uso agua salina [Saline water use]: Agua salina para producción de agua fresca para consumo y para actividades industriales. La AEE, empresas generatrices y petroquímicas utilizan grandes cantidades de agua para enfriamiento. La mayor parte del agua salina utilizada en industrias es devuelta al mar, excepto cuando se produce agua fresca.

Uso de agua [Water use]: Utilización que se da a las aguas para actividades humanas, incluyendo el uso en sectores doméstico (agua potable), agrícola, industrial, comercial e hidroeléctrico. El USGS lleva a cabo estudios anuales del uso de la extracción de agua en cada municipio en Puerto Rico, publicando los resultados cada cinco años. Técnicamente, la extracción y el uso no son equivalentes, pues parte de las extracciones se devuelven a los cuerpos de agua y no se usan.

Uso de agua agrícola [Agricultural water use]: Aguas utilizadas (que se consumen) en actividades agrícolas, incluyendo riego, ganadería, avicultura, porquerizas, y otras actividades relacionadas a la agricultura.

Uso de agua hidroeléctrica [Hydroelectric water use]: Agua que se utiliza para generar electricidad en los sistemas de turbinas por gravedad que se operan en embalses y túneles de la Isla. Esta agua se devuelve a los cuerpos de donde se extrae, permitiendo su disponibilidad para otros usos como abasto público, industrias y riego.

Vientos Alisios [Tradewinds]: Corrientes atmosféricas permanentes en la superficie de la Tierra generadas por el calor ecuatorial. En Puerto Rico los Vientos Alisios provienen predominantemente del este-noreste y son la fuente principal del aire húmedo que resulta en aguaceros frecuentes en las laderas de las montañas debido al efecto orográfico.

Zona Costanera [Coastal Zone]: Franja de terreno costanero que se extiende mil (1,000) metros lineales tierra adentro desde la línea de costa y, además, distancias adicionales, hasta donde sea necesario para asegurar que se incluyen los sistemas naturales claves de la costa, así como las aguas y el suelo oceánico o marítimo que se extiende tres (3) leguas marinas (10.35 millas terrestres) agua adentro. Los proyectos públicos o privados dentro de esta franja requieren un endoso especial de la JP bajo el programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico.

Zona Marítimo Terrestre [Maritime Terrestrial Zone]: Es el espacio de las costas o fronteras marítimas de la Isla de Puerto Rico y sus islas limítrofes que baña el mar en su flujo y reflujo, en donde son sensibles las mareas, y las mayores olas en los temporales en donde no son sensibles, e incluye los terrenos ganados al mar, las accesiones y aterramientos que ocasiona el mismo y los márgenes de los ríos hasta el sitio en que es navegable o se hagan sensibles las mareas.

Zona No-Saturada o **Vadosa [Unsaturated or vadose zone]:** Zona en un acuífero sobre la zona saturada donde solamente parte de los poros del material están ocupados por agua, típicamente por efecto capilar.

Zona saturada [Saturated zone]: Zona en un acuífero donde el agua ocupa todos los poros o espacio entre las partículas del material que forma el acuífero.

7Q2 y 7Q10 [7Q2 and 7Q10]: Términos que definen el flujo mínimo (instantáneo o promedio) en un punto de un río o quebrada durante siete días consecutivos, con intervalo de recurrencia de dos (2) años (7Q2) o diez años (7Q10). El 7Q2 tiene una probabilidad de ocurrencia de 50 por ciento, durante el período de un año dado, mientras que la probabilidad del 7Q10 es de 10 por ciento en un año dado.