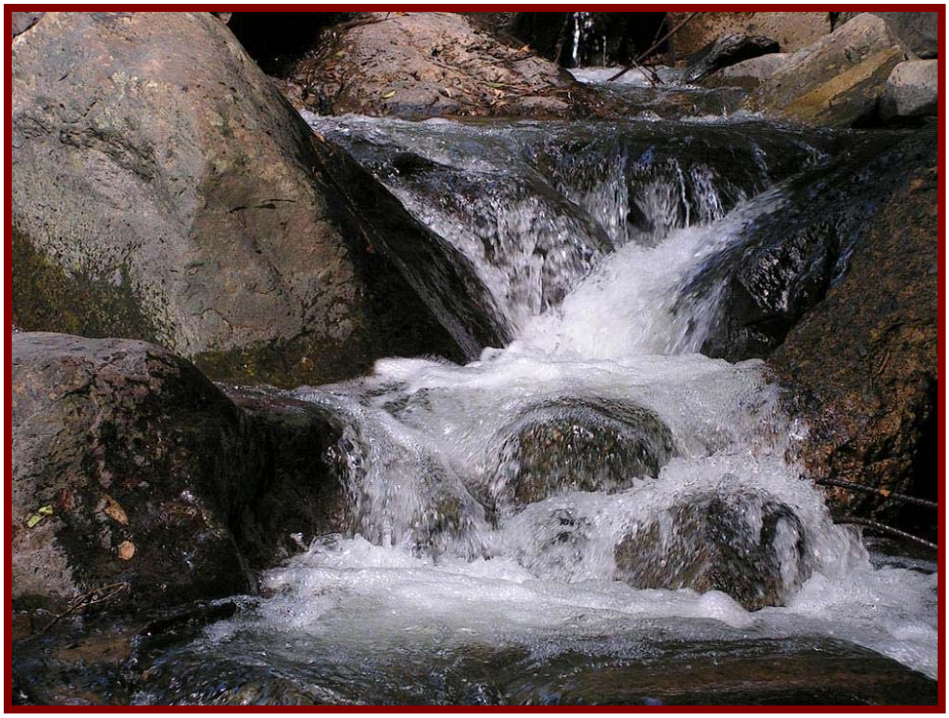
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES



DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ESTRATÉGICA ACTUALIZADA

Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico

Mayo de 2007

Agencia Proponente: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
San Juan, Puerto Rico

Título de la Acción Propuesta: Adopción del Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico

Funcionario Responsable: Hon. Javier Vélez Arocho
Secretario del DRNA
San Juan, Puerto Rico
787-999-2200

Identificación del Documento: Declaración de Impacto Ambiental Estratégica Actualizada

Resumen:

La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976) requiere al Estado Libre Asociado (ELA), a través del Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), "...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..." En específico señala: "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". El Plan Integral de Recursos de Agua ha sido desarrollado a tono con estos requisitos de la Ley de Aguas.

El Plan es el instrumento mediante el cual se expone la política pública y estrategias del Gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico para proteger, conservar y utilizar este recurso natural tan importante. La participación de los diversos sectores (como las agencias gubernamentales, los grupos de interés y la ciudadanía en general) que inciden sobre el recurso, permitirá lograr consensos sobre la forma de utilizar los recursos hídricos y convertir los objetivos particulares de las agencias públicas y del sector privado en responsabilidades compartidas.

El Plan Integral de Recursos de Aguas pretende lograr los siguientes objetivos: 1) Proveer un mecanismo para fomentar un proceso de desarrollo sostenible en el País, donde se armonicen las metas de desarrollo económico, calidad de vida y conservación del ambiente; 2) Asegurar la conservación y protección de los recursos de agua para la generación presente y las futuras; 3) Proveer instrumentos

de apoyo para la planificación y administración de los recursos de agua; 4) Lograr un patrón de utilización eficiente y sostenible del recurso que permita satisfacer las necesidades socioeconómicas presentes y futuras, tomando en consideración el nivel de disponibilidad del recurso.

El Plan es el resultado de un análisis de los recursos hídricos del País mediante un enfoque estratégico, integral y sostenible del mismo. El Plan crea los cimientos para un proceso continuo de análisis y revisión de las estrategias que mejor respondan con el cumplimiento de la política pública del ELA respecto a los recursos hídricos. El Plan analiza el ciclo hidrológico tomando en consideración las manifestaciones y realidades de los sistemas naturales, sociales, económicos y ambientales que dependen del recurso para su permanencia, recuperación y desarrollo.

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. La DIA-E-A evalúa los impactos ambientales potenciales que ocurrirán al implantarse el Plan, 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 del recurso agua.

Fecha de circulación: Mayo de 2007

CONTENIDO

PREÁMBULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PLAN 5

1.1 Base legal 6

1.2 El ciclo hidrológico 7

1.3 Conceptos y asuntos medulares del Plan 10
1.3.1 El Desarrollo Sostenible 10
1.3.2 Lograr un uso y aprovechamiento eficiente del recurso 11
1.3.3 Asegurar el rendimiento e integridad de las fuentes del recurso 11
1.3.4 Planificación integral del recurso 12
1.3.5 Integración entre la administración y planificación del recurso 13
1.3.6 Criterios de uso óptimo, beneficioso y razonable 14
1.3.7 El concepto de rendimiento seguro 14
1.3.8 Requerimiento de flujos ambientales 15
1.3.9 Rendimiento seguro de tomas superficiales 15
1.3.10 Rendimiento seguro de embalses 16
1.3.11 Rendimiento seguro de los principales acuíferos 17

1.4 Proyección de la demanda y producción de agua en Puerto Rico 18
1.4.1 Sector servido por la AAA 18
1.4.2 Sector residencial auto abastecido 30
1.4.3 Sector industrial autoabastecido 31
1.4.4 Sector agrícola 32
1.4.5 Requerimientos de producción de usos extractivos 33
1.4.6 Requerimientos de usos recreativos, estéticos y ambientales 35

1.5 Meta y objetivos del Plan 36

1.6 Políticas y estrategias del Plan 38
1.6.1 Estrategias sostenibles en el desarrollo de nuevas fuentes de abasto 41
1.6.2 Manejo de la erosión y la sedimentación de embalses 42
1.6.3 Uso sostenible de las aguas subterráneas 43
1.6.4 Sostenibilidad de ecosistemas acuáticos 46
1.6.5 Manejo sostenible de los cauces de los ríos 47
1.6.6 Uso y aprovechamiento eficiente del recurso 49
1.6.7 Actividades contaminantes 50
1.6.8 Manejo de sequía 51
1.6.9 Fuentes de agua no-convencionales 52
1.6.10 Usos del territorio 52
1.6.11 Riesgo de inundaciones 55
1.6.12 Sistemas de la AEE 56

1.7 Relación del Plan con otros planes y programas 57

2. DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE NATURAL DE PUERTO RICO 59

2.1 Clima 59

2.1.1 Precipitación y evapotranspiración 59
2.1.2 Temperatura 60
2.1.3 Vientos 63

2.2 Topografía 65

2.3 Suelos 68

2.4 Geología 70

2.5 Uso de terrenos 73

2.6 Hidrología 76
2.6.1 Ríos, embalses y lagunas 76
2.6.2 Ríos 78
2.6.3 Embalses 85
2.6.4 Lagunas 93

2.7 Estuarios 96

2.8 Acuíferos 97
2.8.1 Los manantiales 106

2.9 Zonas inundables 109

2.10 Calidad de agua 112
2.10.1 Calidad de aguas superficiales 112
2.10.2 Aguas subterráneas 112

2.11 Ecosistemas terrestres y acuáticos 116
2.11.1 Bosques 116
2.11.2 Humedales 122
2.11.3 Región del Karso 122

2.12 Zona marítimo terrestre 123

2.13 Especies críticas 124

2.14 Recursos históricos y culturales 129

3. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS ADVERSOS AL MEDIO AMBIENTE 130

3.1 Evaluación general de los posibles impactos ambientales del Plan 130

3.2 Desarrollo de nuevas fuentes de abastos 131

3.3 Abastos de agua 134

3.4 Aguas usadas 135

3.5 Escorrentía pluvial 135

3.6 Energía hidroeléctrica 136

3.7 Zonas susceptibles a inundación 136

3.8 Ecosistemas terrestres y acuáticos 136

3.9 Flora terrestre 137

3.10 Fauna terrestre 137

3.11 Habitáculos acuáticos 137

3.12 Humedales 137

3.13 Barreras costaneras 138

3.14 Calidad del agua 138
3.14.1 Aguas superficiales 138
3.14.2 Aguas subterráneas 139

3.15 Asuntos socioeconómicos y de Justicia Ambiental 139

3.16 Paisaje y valor escénico 140

3.17 Recreación 141

3.18 Recursos históricos y culturales 141

3.19 Usos de terreno 141

3.20 La sostenibilidad como resultado 142

4. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS 143

4.1 Descripción de las alternativas consideradas 143

4.2 Comparación de las alternativas consideradas 143
4.2.1 Implantación del Plan Integral de 1996 como herramienta de manejo de los recursos de agua de la Isla 143
4.2.2 Desarrollo de planes individuales para cada sector de uso de agua, en lugar de un Plan Integral 144
4.2.3 Actualización del Plan Integral de 1996 (Acción Propuesta) 145

4.3 Selección de la alternativa preferida 145

5. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE USOS A CORTO PLAZO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA CONSERVACIÓN, Y EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD A LARGO PLAZO 146

5.1 Comparación de los impactos positivos y negativos 148
5.1.1 Ríos 149
5.1.2 Embalses 149

5.1.3 Estuarios 149
5.1.4 Humedales 149
5.1.5 Los acuíferos....150
5.1.6 Los sistemas de riego....150
5.1.7 Los sistemas de acueductos 150
5.1.8 Los sistemas de alcantarillados....150
5.1.9 Recreación 150
5.1.10 Turismo....151
5.1.11 Las industrias 151
5.1.12 La agricultura....151
5.1.13 Los sistemas marinos 151

6. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS NEGATIVOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE 152

7. EVALUACIÓN DE LA INTERRELACIÓN DEL PLAN CON OTROS PLANES Y PROGRAMAS 154

PERSONAL QUE TRABAJÓ EN LA DIA-E-A.... 159

AGENCIAS CONSULTADAS.... 160

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 161

APÉNDICES.... 174

Apéndice A 175

Estimado de rendimiento seguro para los embalses del País 175

Apéndice B....176

Consumo promedio por abonado 176

Apéndice C 177

Comentarios recibidos....177

PREÁMBULO

El agua es un recurso natural de vital importancia para la vida, crecimiento y desarrollo de los pueblos. Es "[n]o sólo la más básica de las necesidades, sino también el núcleo del desarrollo sostenible"[1]. Su distribución espacial y temporal varía de forma que, mientras es abundante en unas regiones o épocas, en otras es muy limitado. A pesar de ser considerado un recurso renovable, el manejo inapropiado del mismo puede reducir la cantidad disponible y utilizable del recurso. De igual forma, la contaminación irreversible del recurso puede convertirlo en uno agotable. Es por ello que la disponibilidad, calidad y manejo adecuado del recurso representa un gran desafío para Puerto Rico y la mayor parte del mundo.

En el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (Informe, ONU, 2005) se adoptan los siete desafíos de la Declaración Ministerial de La Haya, los cuales sirven como criterios para medir el progreso de los pueblos respecto a la gestión de agua. A éstos se le sumaron cuatro desafíos adicionales para ampliar el alcance del análisis realizado en el Informe. Los once desafíos adoptados por las Naciones Unidas como fundamentales para la administración del recurso agua en cada país son los siguientes:

1. Cubrir las necesidades humanas básicas – asegurar el acceso al agua y a servicios de saneamiento en calidad y cantidad suficientes.

2. Asegurar el suministro de alimentos – sobre todo para las poblaciones pobres y vulnerables, mediante un uso más eficaz del agua.

3. Proteger los ecosistemas – asegurando su integridad a través de una gestión sostenible de los recursos hídricos.

[1] Prof. Klaus Toepfer, Director Ejecutivo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2001.

4. Compartir los recursos hídricos – promoviendo la cooperación pacífica entre diferentes usos del agua y entre Estados, a través de enfoques tales como la gestión sostenible de la cuenca de un río.

5. Administrar los riesgos – ofrecer seguridad ante una serie de riesgos relacionados con el agua.

6. Valorar el agua – identificar y evaluar los diferentes valores del agua [económicos, sociales, ambientales y culturales] e intentar fijar su precio para recuperar los costos de suministro del servicio teniendo en cuenta la equidad y las necesidades de las poblaciones pobres y vulnerables.

7. Administrar el agua de manera responsable, implicando a todos los sectores de la sociedad en el proceso de decisión y atendiendo a los intereses de todas las partes.

8. El agua y la industria – promover una industria más limpia y respetuosa de la calidad del agua y de las necesidades de otros usuarios.

9. El agua y la energía – evaluar el papel fundamental del agua en la producción de energía para atender las crecientes demandas energéticas.

10. Mejorar los conocimientos básicos – de forma que la información y el conocimiento sobre el agua sean más accesibles para todos.

11. El agua y las ciudades – tener en cuenta las necesidades específicas de un mundo cada vez más urbanizado.

Por otro lado, el desarrollo sostenible es un concepto que reconoce que una sociedad desarrollada requiere un balance entre los aspectos económicos, sociales y ambientales. Además, este concepto establece un fuerte sentido de justicia intergeneracional.[2]

[2] Desarrollo sostenible: "Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas." Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland: Nuestro Futuro Común, Oxford University Press, 1987).

El Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico, se concibe como un instrumento para promover el desarrollo reconociendo la necesidad de un balance entre las actividades del ser humano y la protección del ambiente, satisfaciendo las necesidades de la presente generación y salvaguardando el derecho de las futuras generaciones a lo mismo.

La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976) requiere al Estado Libre Asociado (ELA), a través del Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), "...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..." (denominado de aquí en adelante como el Plan Integral de Recursos de Aguas, o el Plan). En específico señala: "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".

El Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) es la agencia asignada por esta legislación para planificar y reglamentar el uso y aprovechamiento, conservación y desarrollo de las aguas de Puerto Rico y para implantar la política pública y normas pertinentes a las aguas de la Isla. La Ley de Aguas ordena al DRNA a ejercer un papel rector y de coordinador de los esfuerzos de la planificación y administración de los recursos de agua, además de exigir que el DRNA establezca la política pública, este Plan Integral y la reglamentación requerida para implantar los mismos.

La demanda de uso del recurso agua aumenta cada día más en proporción al desarrollo socioeconómico en la Isla:

1. Datos históricos del uso de agua en Puerto Rico desde 1960 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. 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 eficiencia en los sistemas de distribución y a la sobrexplotación de las fuentes de agua.

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.

Este nuevo esfuerzo por actualizar un Plan Integral de Recursos de Aguas incorpora adelantos en la tecnología de informática, particularmente los desarrollos ocurridos en los sistemas de información geográfica. Además, tiene un enfoque holístico, adopta las nuevas tendencias observadas en el campo de la planificación integral a nivel internacional y plantea un modelo de desarrollo sostenible aplicado a la planificación y administración del recurso agua.

Finalmente, y a tenor con lo anterior, el Plan reconoce los eventos que ocurrirán como resultado del calentamiento del planeta, el cambio climático y sus impactos a la geografía natural del País.

1. DESCRIPCIÓN DEL PLAN

El Plan Integral de Recursos de Aguas es el instrumento mediante el cual se expone la política pública y estrategias del Gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico para proteger, conservar y utilizar este recurso natural tan importante. La participación de los diversos sectores (como las agencias gubernamentales, los grupos de interés y la ciudadanía en general) que inciden sobre el recurso, permitirá lograr consensos sobre la forma de utilizar los recursos hídricos y convertir los objetivos particulares de las agencias públicas y del sector privado en responsabilidades compartidas.

El Plan reconoce que el agua es un recurso donde los diversos usuarios compiten por el mismo. Por tanto, se debe asegurar que los recursos hídricos puedan ser asequibles por todos los sectores sociales, económicos y ecológicos de una forma sostenible sin poner en peligro su disponibilidad y calidad en el futuro. La optimización del uso y la satisfacción de los objetivos sociales, económicos y ambientales requiere de un análisis integrado.

El Plan crea los cimientos para un proceso continuo de análisis y revisión de las estrategias que mejor respondan con el cumplimiento de la política pública del ELA respecto a los recursos hídricos. El Plan analiza el ciclo hidrológico tomando en consideración las manifestaciones y realidades de los sistemas naturales, sociales, económicos y ambientales que dependen del recurso para su permanencia, recuperación y desarrollo. La importancia del manejo integrado de los recursos naturales responde a la necesidad de restaurar y mantener el equilibrio de los ecosistemas, visto desde un enfoque sistémico en el que cualquiera de sus partes genera efectos en el sistema completo. La interrelación que guardan el agua, el bosque, el suelo y el aire hace indispensable que las estrategias de manejo deban diseñarse para el conjunto, no para elementos aislados. Más aún ante los eventos que se pronostican relacionados al calentamiento del planeta y al cambio climático.

El Plan atiende todos los sectores y brinda atención especial al consumo humano conforme a la Ley de Aguas, la agricultura, el desarrollo económico y social previsto para

Puerto Rico y su interrelación con la protección de los sistemas ecológicos que dependen directamente de este recurso.

1.1 Base legal

La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley Núm. 136 del 3 de junio de 1976) requiere al Estado Libre Asociado (ELA), a través del Secretario del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), "...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..." (denominado de aquí en adelante como el Plan Integral de Recursos de Aguas, o el Plan). En específico señala: "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".

El Plan Integral de Recursos de Agua ha sido desarrollado a tono con estos requisitos de la Ley de Aguas. El objetivo esencial que debe regir todas las actividades de planificación y administración del recurso, según lo dispone la Ley de Aguas: "es proteger al país de la escasez, el mal uso, el desperdicio y la contaminación del agua, para así asegurar el abasto de agua que precisen las generaciones puertorriqueñas presentes y futuras".

Por su parte, la Ley Núm. 267 de 10 de septiembre de 2004, conocida como Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible, establece que el desarrollo de Puerto Rico debe fundamentarse en una economía sostenible y un desarrollo balanceado, armonizando el desarrollo económico con la restauración y protección del ambiente y los recursos naturales y el mejoramiento de la calidad de vida de los puertorriqueños. Las metas económicas, sociales y ambientales deben estar unificadas en el contexto de sostenibilidad y considerar la condición insular.

La Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004, conocida como Ley de Política Pública Ambiental, reconoce los efectos de la actividad humana en los diferentes componentes del

medio ambiente natural, por lo cual declara como política pública del Estado Libre Asociado utilizar todos los medios y medidas prácticas "[p]ara alentar y promover el bienestar general y asegurar que los sistemas naturales estén saludables y tengan la capacidad de sostener la vida en todas sus formas, así como la actividad social y económica en el marco de una cultura de sostenibilidad para mantener las condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía y cumplir con las necesidades sociales y económicas y cualquiera otras que puedan surgir con las presentes y futuras generaciones de puertorriqueños".

La Ley Núm. 170 de 12 de agosto de 1988, según enmendada, conocida como Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme, reconoce la importancia de la participación ciudadana en los procesos de decisiones del Gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico. A tales efectos, el DRNA llevó a cabo un proceso de participación ciudadana mediante una amplia divulgación del Plan entre los distintos grupos y sectores interesados en el tema de los recursos hídricos. Además, celebró vistas públicas para recibir y tomar en consideración los comentarios y recomendaciones escritas u orales presentadas durante dicho proceso.

1.2 El ciclo hidrológico

La Isla de Puerto Rico experimenta una variación significativa respecto a la distribución espacial y temporal de la precipitación pluvial y la escorrentía resultante de ésta. El patrón geográfico de la lluvia en Puerto Rico presenta un contraste entre la Costa Norte, con unas 70 pulgadas de lluvia anual, y la Costa Sur, con unas 35 pulgadas de lluvia anual (véase Ilustración 1-1).

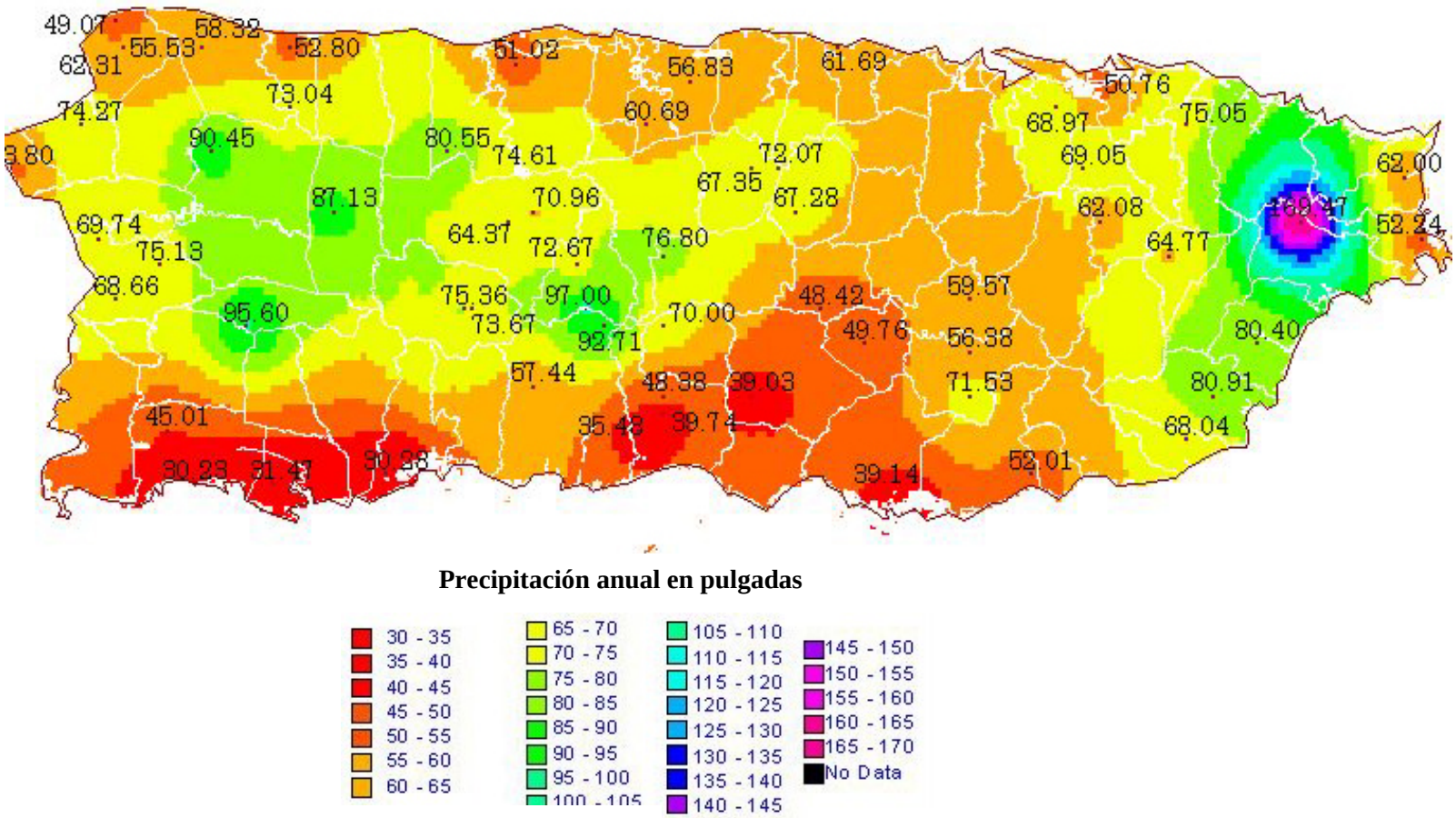
Aproximadamente el 60 por ciento de la lluvia que recibe Puerto Rico regresa a la atmósfera por evaporación y por transpiración de la vegetación (evapotranspiración). Este valor promedio incluye periodos de sequía donde casi toda la lluvia se evapora en las superficies de la vegetación o luego de infiltrarse a los suelos secos, y también incluye periodos de vaguadas y tormentas tropicales donde el suelo está saturado y casi toda la lluvia se descarga por los ríos.

Al comparar la disponibilidad (promedio) de 4,035 mgd de escorrentía superficial más la recarga a los acuíferos, con los 673 mgd utilizados en el año 2004, se puede obtener la impresión de que hay mucha agua en Puerto Rico que no se aprovecha. Este cálculo, a base de valores promedios, no toma en consideración lo siguiente:

- la gran variación en la escorrentía de mes a mes o de año a año,
- la necesidad de dedicar una cantidad significativa para la recarga de los acuíferos para minimizar la intrusión salina y
- las necesidades de agua que tienen los sistemas naturales.

Tomando estos factores en consideración, la disponibilidad del recurso agua está muy limitada en comparación a la tasa de utilización actual. Un balance de agua construido a base de las condiciones promedios incluye la cantidad del agua que consiste en flujo de crecidas, la cual no se puede capturar o utilizar, debido a la pequeña capacidad de los embalses en relación a estos flujos. La alta variabilidad de los flujos y la gran aportación de agua que representan las crecidas hacen que un "balance de agua" no sea un concepto útil para ilustrar la verdadera disponibilidad del recurso proveniente de una cuenca para establecer las estrategias de planificación.

Precipitación Promedio para Puerto Rico, 1971- 2000



Precipitación anual en pulgadas

Ilustración 1-1 Patrón geográfico de lluvia en Puerto Rico

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología, 2006

Los eventos extremos, como son las sequías y las inundaciones, no ocurren uniformemente a través de toda la Isla. La sequía de los años 1967-68, por ejemplo, afectó principalmente la parte Este de la Isla, sin tener efecto significativo en la zona Oeste (Morris y Vázquez, 1990). En contraste, la sequía de 1994-95 afectó un área mayor, aunque partes de la Isla no experimentaron una sequía intensa. La Tabla 1-1 ilustra la variación en intensidad de sequía entre varias partes de la Isla en marzo de 1983 utilizando el "Palmer Meteorological Drought Index" (Palmer, 1965). Se puede observar cómo la intensidad de la sequía varía significativamente entre regiones. Este índice calcula la sequía con una duración de solamente tres meses, un periodo suficientemente extenso como para afectar a los agricultores, pero sin un impacto severo en los embalses que típicamente responden a sequías más prolongadas.

Tabla 1-1. Intensidad de sequía desde enero hasta marzo de 1983. Computado utilizando "Palmer Drought Index" (Datos de NOAA)

Región	Lluvia (pulg.)			Categoría de
Climatológica	Normal	Acumulada	PDI	Sequía
Costa Norte	9.71	2.84	-4.73	Extrema
Costa Sur	3.93	4.06	+1.12	Ninguna
Pendientes Norteñas	9.46	3.23	-3.34	Severa
Pendientes Sureñas	5.96	4.04	-3.19	Severa
Este Interior	11.01	9.52	+0.53	Ninguna
Oeste Interior	9.45	5.72	-3.44	Severa

PDI= Palmer Drought Index, Fuente: DRNA, 1984

1.3 Conceptos y asuntos medulares del Plan

1.3.1 El Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible es un concepto que reconoce que toda sociedad requiere un balance entre los aspectos económicos, sociales y ambientales. Además, este concepto

establece un fuerte sentido de justicia intergeneracional.[3] El Plan por tal razón, se concibe como un instrumento para promover el desarrollo reconociendo la necesidad de un balance entre las actividades del ser humano y la protección del ambiente, satisfaciendo las necesidades de la presente generación y salvaguardando el derecho de las futuras generaciones a lo mismo.

1.3.2 Lograr un uso y aprovechamiento eficiente del recurso

El aprovechamiento eficiente del recurso reduce la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de abasto, evitando los costos económicos, sociales y ambientales asociados a proyectos de aumento en disponibilidad. Para lograr la sostenibilidad resulta necesaria la implantación de estrategias que reduzcan las pérdidas en el sistema de distribución de agua potable y la incorporación del manejo de la demanda.

La atención de las necesidades de uso del recurso agua, por ende, debe asignar prioridad al manejo de la demanda previo a considerar acciones estructurales para aumentar la oferta.

1.3.3 Asegurar el rendimiento e integridad de las fuentes del recurso

Los usos del agua deben garantizar que el agua que se devuelve al ecosistema sea de una calidad y características físicas que no interfiera con otros usos aguas abajo del lugar donde ocurre la actividad. Los niveles de concentración de contaminantes y la adecuacidad del sistema para sostener la vida acuática son elementos claves a considerar en la planificación de estos usos.

En cuanto a los usos de naturaleza extractiva, se debe asegurar que la explotación del recurso no produzca un deterioro que limite su disponibilidad futura. La sobre-explotación de acuíferos costeros provoca un proceso de intrusión salina que podría inhabilitar los mismos de forma permanente. La elaboración de planes de manejo de agua subterránea donde se limiten los niveles de extracción a la recarga del acuífero, debe ser la regla operacional a establecerse.

[3] Desarrollo sostenible: "Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas." Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland: Nuestro Futuro Común, Oxford University Press, 1987).

Por otra parte, la extracción de agua de fuentes superficiales debe proveer para mantener en el cauce de los ríos y sus estuarios una cantidad de agua con una calidad adecuada para sostener la vida acuática existente. También es necesario asegurar que las intervenciones en los cuerpos de agua no destruyan los habitáculos ni interfieran con las migraciones entre río y estuario que las especies requieren para completar su ciclo de vida. En este contexto, para lograr la sostenibilidad se requiere establecer criterios para los siguientes aspectos:

- Flujos ambientales requeridos para preservar la integridad de los ecosistemas.
- Diseño y configuración de tomas de agua.
- Diseño de estructuras que permitan la migración de especies.
- Mantener la morfología de los cauces de los ríos.
- Dilución de contaminantes y concentración de sedimentos.

1.3.4 Planificación integral del recurso

La Ilustración 1-2 presenta una visión conceptual de los elementos que configuran el proceso de planificación integral del recurso agua como uno continuo. La redacción del Plan conforma una primera etapa para la identificación de problemas y la elaboración de soluciones a base de la información y herramientas de análisis disponibles en un momento dado. Para lograr esta continuidad es necesario elaborar un sistema de evaluación que incluya indicadores cuantificables del logro de los objetivos de planificación.

El proceso de planificación es alimentado continuamente por la participación pública y un componente de apoyo tecnológico. Ambos elementos están presentes durante todo el proceso. Es indispensable la inclusión del punto de vista de los usuarios del recurso en la elaboración del Plan para asegurar un proceso acorde con los valores del desarrollo sostenible. Además, los usuarios son los principales afectados con la aplicación de las

políticas públicas relativas a la administración del recurso, tanto en su uso directo como en sus actividades productivas y en la calidad de su entorno.

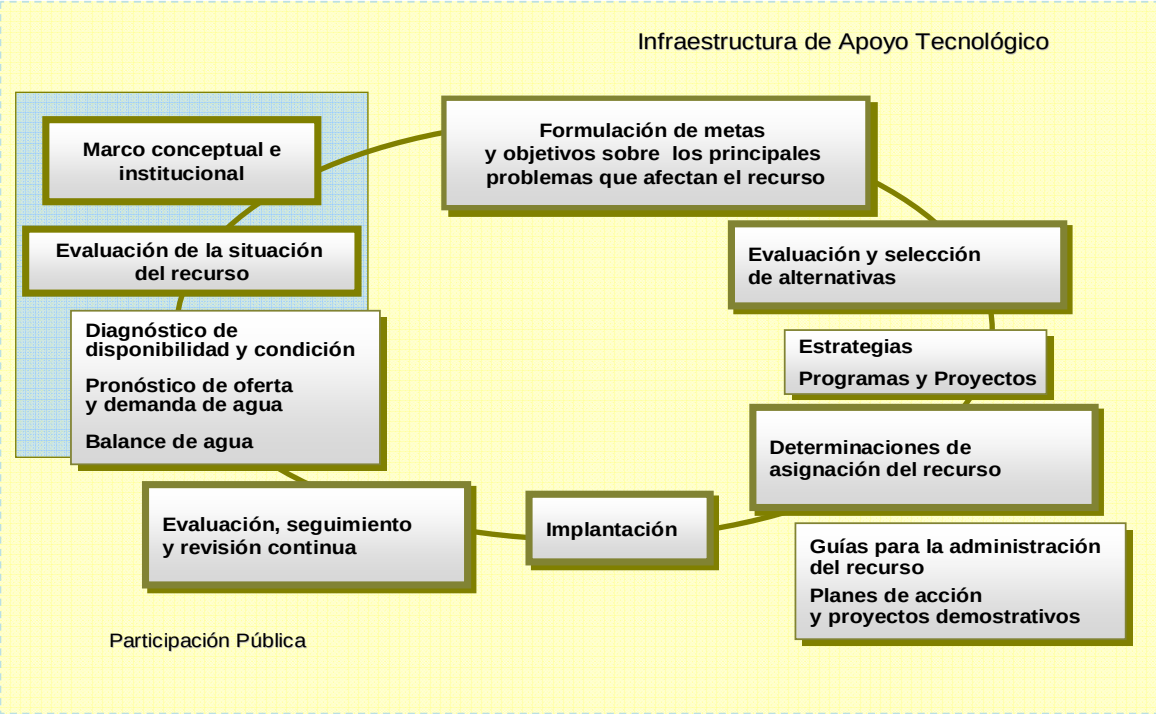


Ilustración 1-2. Diagrama del Proceso de Planificación Integral

1.3.5 Integración entre la administración y planificación del recurso

El Plan se concibe como una herramienta para la acción. Sus productos y recomendaciones deberán formar parte del proceso de toma de decisiones de las agencias con inherencia en la administración del recurso. La planificación y administración del agua son procesos interdependientes en la toma e implantación de decisiones sobre el manejo del recurso. En el proceso de planificación se establecen las políticas públicas, los objetivos específicos y las estrategias o medios para alcanzar estos fines, mientras que en el proceso de administración se implantan estas estrategias. La generación de planes sin los medios adecuados para implantarlos es un ejercicio de poca utilidad; por ende, las tareas de planificación no se deben separar de las de administración.

Los patrones de uso de agua en Puerto Rico se han establecido a través de decisiones que se toman en el día a día. La experiencia ha demostrado que este proceso resulta en la atención de problemas inmediatos, pero que pueden resultar en detrimento de otros a mediano y largo plazo. Tomando en consideración que el desarrollo futuro de Puerto Rico depende en gran medida de la disponibilidad del recurso agua, es indispensable orientar la planificación hacia el establecimiento de patrones de uso y aprovechamiento a largo plazo y hacia un proceso de administración regido por los planes establecidos.

1.3.6 Criterios de uso óptimo, beneficioso y razonable

Por su condición de recurso vital, indispensable para la agricultura, la vida animal y vegetal, y por estar vinculado a las actividades de los diversos sectores socio-económicos, se hace necesario que el Estado intervenga en la planificación del agua, de forma que los intereses de un sector en particular no afecten el interés común. A tales efectos, la planificación y administración del recurso tiene que apoyarse en los siguientes postulados de la Ley de Aguas:

- Primero: el agua es propiedad y riqueza del Pueblo de Puerto Rico.
- Segundo: la adjudicación de un caudal limitado o en conflicto de uso se otorgará a los usos óptimos, beneficiosos y razonables que mejor satisfagan el interés público.

Basado en lo anterior, el Plan establece criterios y prioridades de uso aplicables a todo Puerto Rico. Estos criterios están fundamentados en el análisis del comportamiento hidrológico, la calidad del recurso y el balance ecológico y los usos existentes, propuestos y comprometidos.

1.3.7 El concepto de rendimiento seguro

El rendimiento seguro de una fuente de abasto se define como la cantidad de agua que puede ser extraída de forma confiable durante períodos de sequía. El estándar de diseño para abastos domésticos e industriales es de un 99 por ciento de confianza (Q_{99}). El

cumplimiento con este criterio conlleva proveer un servicio donde no haya racionamiento en más de 36 días en cada década. En el diseño de sistemas de riego es común planificar a base de un nivel de confianza más cercano al 90 por ciento, pero este número varía de acuerdo al valor de la cosecha.

Niveles de confianza altos en el suministro de agua para uso doméstico, sólo pueden ser alcanzados si la capacidad de la planta de filtración coincide con el rendimiento seguro de la fuente de abasto. En muchas áreas de Puerto Rico hay racionamiento de servicio en periodos de precipitación baja debido a que las plantas de filtración normalmente operan a una capacidad muy superior al rendimiento seguro de su fuente de abasto y no pueden mantener su tasa de extracción acostumbrada durante periodos de sequía.

1.3.8 Requerimiento de flujos ambientales

Por regla general se requiere que las tomas nuevas o aquellas rehabilitadas dejen en el río un flujo mínimo equivalente al rendimiento seguro (Q_{99}). Sin embargo, para los pocos ríos que aún preservan sus caudales relativamente intactos, podría ser apropiado aplicar un estándar de flujo mínimo más estricto. Además, se deben tomar las precauciones necesarias en el diseño y operación de sistemas de extracción para mantener las vías migratorias de las especies nativas en cada río.

1.3.9 Rendimiento seguro de tomas superficiales

Por norma, sólo se permite extraer el flujo que excede al que es requerido para sostener las necesidades ambientales del ecosistema acuático. Por lo tanto, el flujo disponible para usos doméstico, industrial y agrícola es, en teoría, el excedente del Q_{99}. Sin embargo, hay muchos sitios en la Isla donde las tomas y los embalses desvían la totalidad del flujo, sin mantener un flujo ambiental aguas abajo. Por esta razón, el DRNA le ha establecido a las franquicias nuevas el requisito de proveer un flujo mínimo ambiental igual o superior al Q_{99}.

Existen tomas de agua en casi todos los ríos de la Isla (véase Ilustración 1-3). El potencial de ampliar sustancialmente el caudal disponible de los ríos es muy poco.

1.3.10 Rendimiento seguro de embalses

El rendimiento seguro de los embalses se define como la razón de extracción que puede sostenerse durante un evento histórico de sequía extrema, sin que sea necesario racionar el agua por más de un uno por ciento (1%) de los días. El Apéndice A presenta estimados de rendimiento seguro para los embalses del País según su volumen de almacenaje actual e incluye los embalses existentes y los propuestos. Los valores de rendimiento seguro que se presentan para los nuevos embalses consideran mantener un flujo, aguas abajo de la presa, equivalente a la totalidad del Q_{99} del río con el objetivo de preservar los ecosistemas acuáticos. La mayoría de los embalses al presente no mantienen un flujo ambiental aguas abajo. El análisis se hace a base de que el racionamiento se inicie una vez el volumen de agua restante en el embalse sea el 75 por ciento de su volumen total y el racionamiento se realiza mediante una reducción de 25 por ciento en su tasa de extracción. Bajo esta regla y los rendimientos informados, los embalses nunca se secan aún con las sequías severas registradas en Puerto Rico hasta la fecha.

El volumen de almacenaje de un embalse es un elemento crítico en la determinación del rendimiento seguro del mismo. La Ilustración 1-4 presenta la relación entre volumen de almacenaje y rendimiento seguro para el embalse La Plata. Esta relación se desarrolla para cada embalse existente y propuesto y se utiliza para ayudar a escoger el volumen de embalses nuevos en la etapa de diseño. Además, se utiliza para cuantificar el impacto de la sedimentación en embalses existentes y propuestos ya que su rendimiento disminuye en la medida en que se pierde capacidad de almacenaje como consecuencia del proceso de sedimentación.

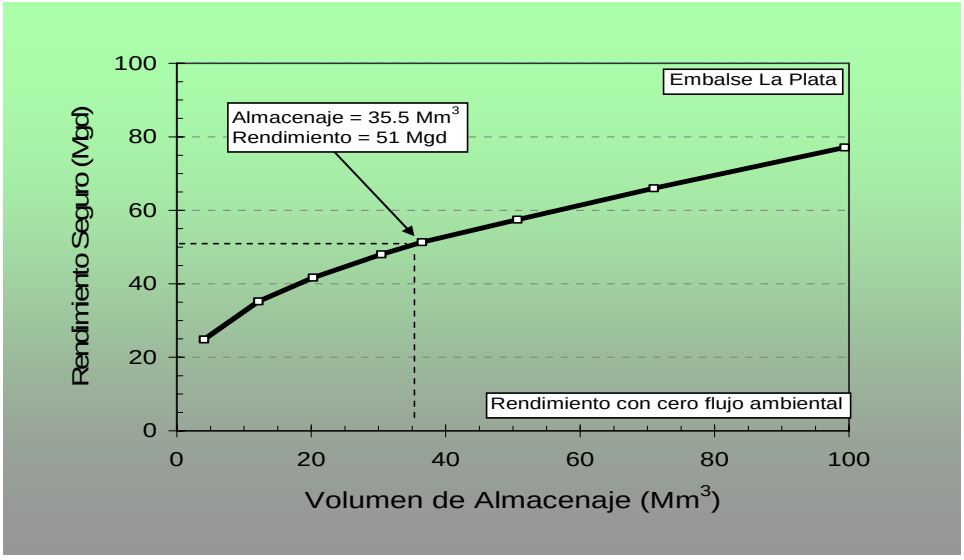


Ilustración 1-4. Relación entre volumen y rendimiento seguro (Q_{99}) para el Lago La Plata en Toa Alta

1.3.11 Rendimiento seguro de los principales acuíferos

El rendimiento seguro de un acuífero se define como la cantidad de agua que puede ser extraída, sin que se produzca un deterioro a largo plazo en la calidad y caudal del mismo. Su valor está determinado por las características físicas particulares de las formaciones geológicas que lo componen y las fuentes de recarga que lo alimentan. En los acuíferos costeros el caudal disponible está muy relacionado a la configuración y operación del sistema de extracción del agua. La explotación sostenible del agua subterránea siempre requiere una razón de bombeo inferior a la totalidad de la recarga, pero en los acuíferos costeros, los cuales contienen agua salobre en adición al agua dulce, la tasa de extracción sostenible debe ser menor que la recarga porque siempre tienen que mantener flujo hacia el mar para frenar el proceso de la intrusión salina.

La intrusión salina es una consecuencia natural del bombeo de pozos costeros, pero un exceso de bombeo puede ocasionar un exceso de la intrusión salina, dañando así partes del acuífero. El impacto de la intrusión salina puede minimizarse manteniendo una razón de bombeo sustancialmente inferior a la recarga promedio.

1.4 Proyección de la demanda y producción de agua en Puerto Rico

La demanda de agua se define como la cantidad del recurso que sería comprado o usado a un precio determinado. Este concepto corresponde a su definición en el contexto económico, entendido como la disposición del consumidor a pagar e incluye la demanda satisfecha (consumo medido) y la demanda insatisfecha. Este parámetro es la base para el diseño de los sistemas de abasto de agua. Es indispensable que estos sistemas provean la cantidad del recurso que se necesita, sin embargo si los mismos se construyen con una capacidad muy superior a lo necesario, se incurre en costos adicionales e ineficiencias que serán pagadas por los usuarios. Además, la proyección de la demanda permitirá identificar conflictos de uso y servirá de base para la asignación del recurso.

A continuación se presentan estimados y proyecciones de demanda de agua y requerimientos de producción para cada uno de los segmentos que configuran el mercado del agua en Puerto Rico.

1.4.1 Sector servido por la AAA

El comportamiento histórico del consumo del agua servida por la AAA se presenta en la Ilustración 1-5. Como se puede observar, la misma presentó un incremento continuo hasta principios de la década del ochenta. Durante esa década se manifiesta una disminución en el consumo, la que se revierte a partir de los años noventa, cuando la variable recupera una tendencia ascendente. No obstante, el ritmo de crecimiento es mucho más moderado que el experimentado en las décadas anteriores a la del ochenta.

Como se puede apreciar en la Gráfica 1-1, durante el año fiscal 2004, el consumo de agua servida por la AAA ascendió a 259.8 mgd. El sector residencial representó el 70 por ciento de la demanda municipal total (180.8 mgd). El sector comercial y el gubernamental siguieron en importancia registrando un consumo ascendente a 34.0 mgd (13%) y 26.7 mgd (10%), respectivamente. La industria servida por la AAA consumió 10.4 mgd, lo que representó un 4 por ciento de la demanda total. Finalmente 7.9 mgd fueron utilizados para usos públicos e hidrantes para combatir incendios.

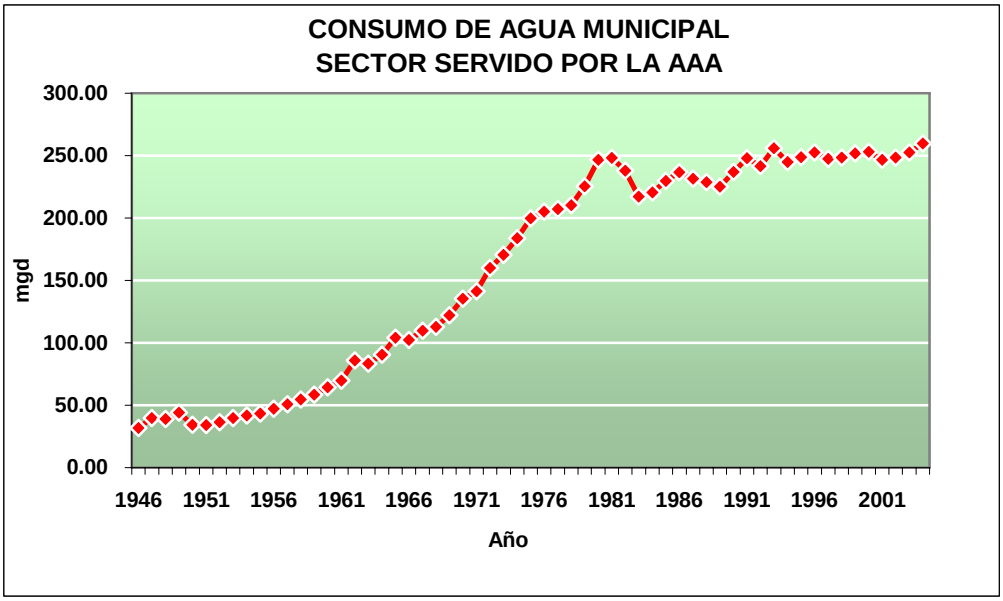
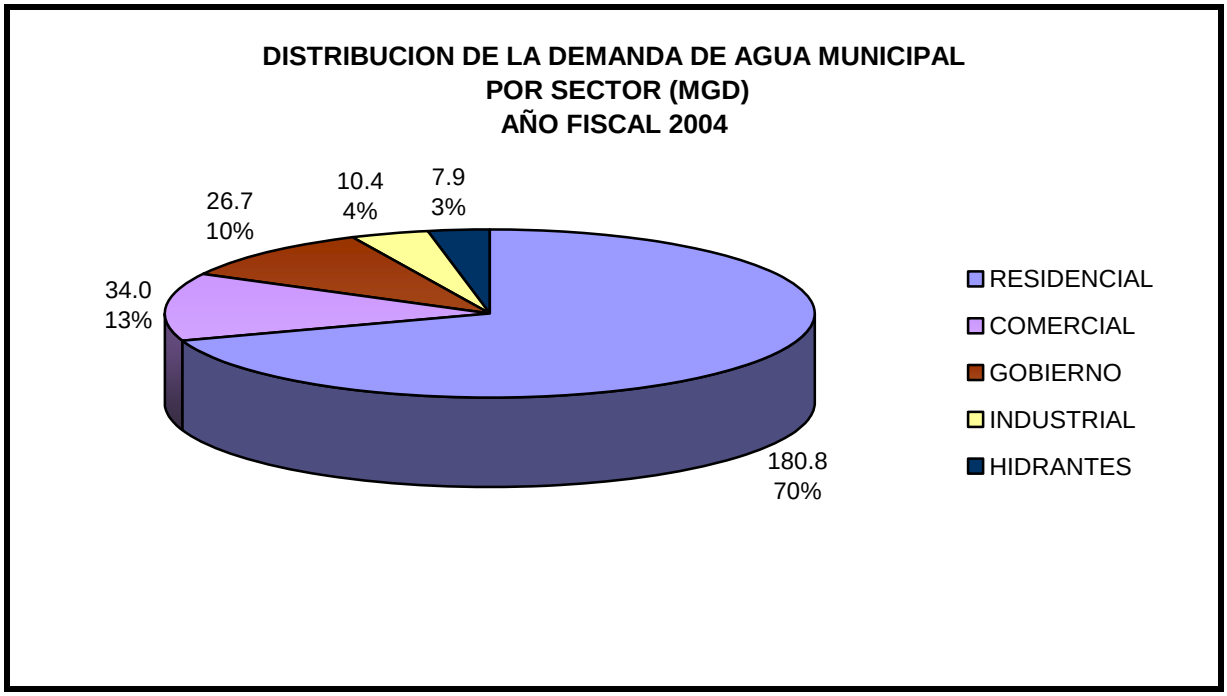


Ilustración 1-5. Consumo de Agua Municipal Servida por la AAA



Gráfica 1-1. Distribución del consumo de agua servida por la AAA por sector, en mgd

Demanda insatisfecha

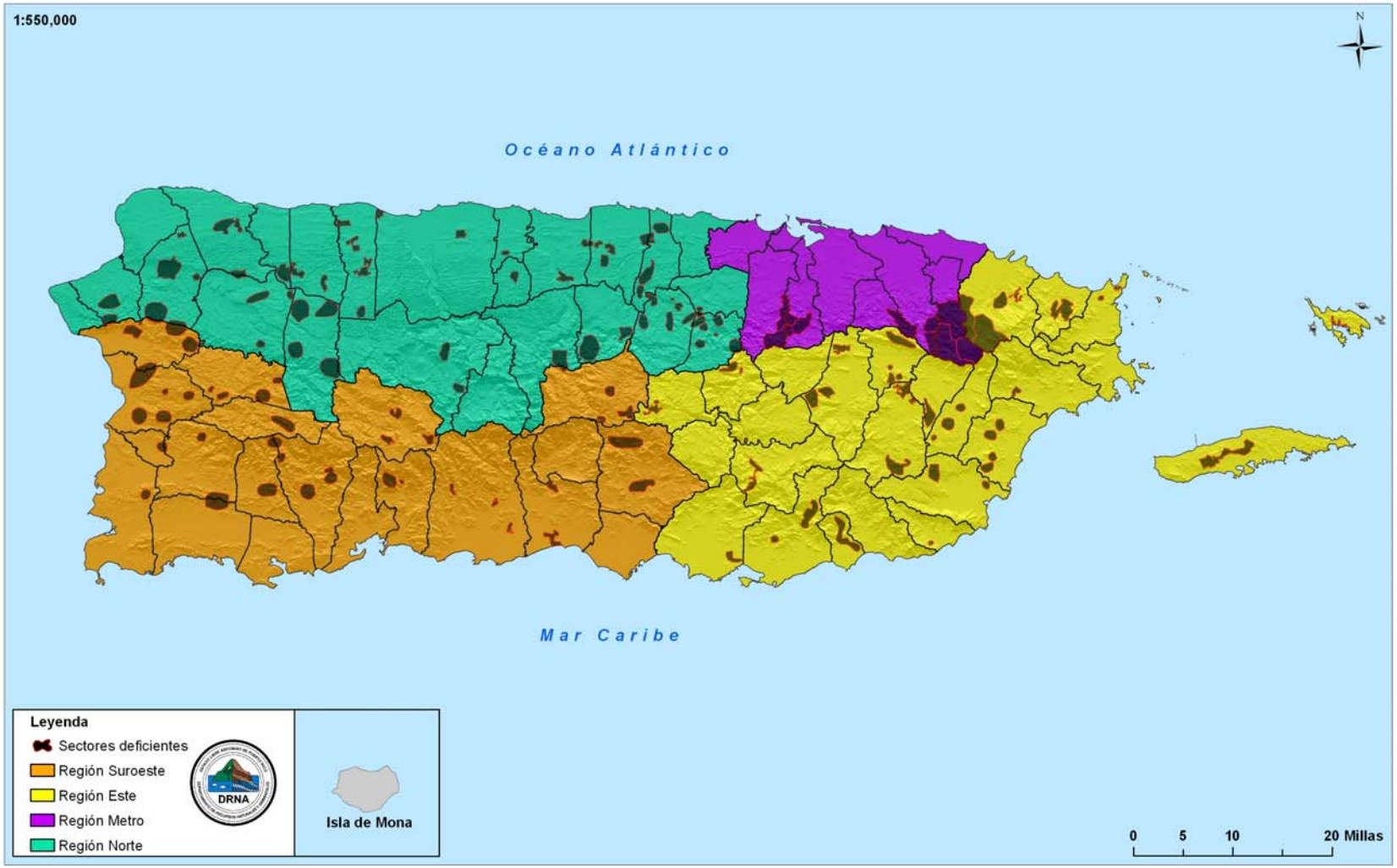
El sector doméstico presenta en la actualidad una situación en donde la demanda no es satisfecha en su totalidad, ya que existen regiones donde se presentan problemas de abasto intermitente y presión baja.[4] La Ilustración 1-6 presenta la localización de 141 comunidades que el Departamento de la Vivienda y la AAA han identificado con deficiencias crónicas en el servicio de agua potable.

A los fines de compensar por la demanda insatisfecha en el sector servido por la AAA, se realizó una evaluación del consumo residencial por abonado a través de los diversos municipios del País. Como se puede observar en el Apéndice B, el consumo promedio por abonado para toda la Isla, durante el 2004, ascendió a 164.1 gpd. No obstante, el mismo fluctúa desde un máximo de 193.9 gpd en el municipio de Dorado, hasta un mínimo de 140.2 gpd en el municipio de Rincón.[5]

El Plan Integral del Recurso Agua establece que un estimado de 7.5 mgd es la demanda insatisfecha en el sector servido por la AAA. La demanda total para el sector municipal servido por la AAA en el año fiscal 2004 se estima en 267.3 mgd (259.8 + 7.5).

[4] Para una discusión más a fondo del problema de la demanda insatisfecha en Puerto Rico, véase la página 36 del Plan Maestro de Acueductos, 2003.
[5] La diferencia en el consumo por abonado entre municipios puede ser el resultado de diferencias en los ingresos promedio de los consumidores. No obstante, la sensitividad respecto al efecto ingreso ocurre sobre los niveles de consumo básico.

Ilustración 1-6. Comunidades con deficiencias de abasto de agua potable



Fuente: AAA, 2006

Proyecciones de demanda

Las proyecciones de demanda de agua que se presentan en el Plan utilizan como insumo los trabajos realizados por la compañía CDM en el documento "Update of Puerto Rico Water Demand Forecast" y esfuerzos anteriores desarrollados por la AAA en 1993 y el DRNA en 1986.

La demanda de agua residencial está determinada, entre otros factores, por la población, el precio del agua, el ingreso personal disponible real de la población, la eficiencia en uso de los equipos domésticos (inodoros, duchas, etc.) y los patrones de uso de agua fuera del hogar (lavado de autos y aceras, riego de plantas, etc.). La teoría económica establece que la demanda de agua residencial varía de forma inversa con el precio de agua y de forma directa con el ingreso personal disponible real. Sin embargo, la sensitividad de la asociación ocurre sobre un nivel de consumo básico, ya que el carácter de recurso indispensable para la actividad humana se manifiesta en una relativa elasticidad respecto a los factores mencionados hasta cierto nivel de consumo. Estudios realizados en Puerto Rico establecen que la elasticidad precio e ingreso de la demanda de agua residencial es del orden de -0.20 y + 0.30, respectivamente.[6]

La demanda promedio por unidad de vivienda es la base del modelo de proyección de demanda de agua utilizado en el análisis. Las proyecciones de demanda residencial promedio por vivienda por municipio se presentan en el Apéndice B. Como se puede observar, el valor promedio para la Isla aumenta de 169.0 gpd en el 2004 a 191.4 gpd en el 2030, lo que representa una tasa de crecimiento anual del orden de 0.40 por ciento anual. Este valor es comparable con la tasa de crecimiento anual de 0.48 por ciento que se ha observado en el consumo residencial por abonado promedio del sector servido por la AAA durante los pasados cuatro años (véase Tabla 1-2).

[6] El aumento de 1.3% en el ingreso mediano tendería a aumentar la demanda de agua en 0.39%. Véase "Estimación de la Demanda de Agua Municipal", DRNA, 1986.

Tabla 1-2. Consumo residencial servido por la AAA, en mgd

AÑO	NÚMERO DE ABONADOS	CONSUMO MGD	CONSUMO POR ABONADO GPD	TASA DE CAMBIO ANUAL
2001	1,048,294	169.60	161.78	N/A
2002	1,065,711	171.57	160.99	-0.49%
2003	1,080,995	174.92	161.82	0.51%
2004	1,101,794	180.83	164.12	1.42%
PROMEDIO	1,074,199	174.23	162.18	0.48%

Las proyecciones para el sector residencial se resumen en la Tabla 1-3. Es importante destacar que la proyección incorpora los supuestos de una virtual eliminación de la demanda insatisfecha y que los sistemas operados por comunidades individuales, que cuentan con conexión de la AAA, pasarán a ser responsabilidad total de la AAA a partir del 2010.[7]

Tabla 1-3. Proyecciones de demanda de agua – sector residencial servido por la AAA, en mgd

CONCEPTO	2004	2010	2015	2020	2025	2030
DEMANDA SATISFECHA	180.8	195.1	202.8	209.8	216.0	222.4
DEMANDA INSATISFECHA	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	186.2	195.1	202.8	209.8	216.0	222.4

La demanda de agua residencial constituye el 70 por ciento de la demanda total servida por la AAA. Ante la evidente predominancia de este sector, se utiliza el mismo como base para proyectar otros sectores servidos por la AAA. La demanda de los sectores

[7] El informe preparado por Technical Consulting Group para la AAA en el 2004, sobre los sistemas Non-PRASA, identifica 59 sistemas, con un estimado de 5,247 familias servidas, que cuentan con doble conexión. Se estimó que la capacidad de producción de estos sistemas es de 2.8 mgd y la demanda de sus clientes se estima en 1.9 mgd. Existen 179 sistemas comunales independientes adicionales que se presume se mantendrán operando separados de la AAA.

comercial, gobierno y otros usos públicos se estima como una proporción constante de la que estos sectores representaron en el 2004 de la demanda residencial en cada municipio. En promedio, los sectores comercial, gobierno y público representaron 18.8%, 14.8% y 4.4% de la demanda residencial en el 2004, respectivamente. La Tabla 1-4 resume las proyecciones para estos sectores.

Tabla 1-4. Proyecciones de demanda de agua – sectores comercial, gobierno y otros usos públicos servidos por la AAA, en mgd

CONCEPTO	2004	2010	2015	2020	2025	2030
DEMANDA SATISFECHA	68.6	72.9	75.4	77.6	79.7	81.9
DEMANDA INSATISFECHA	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	70.3	72.9	75.4	77.6	79.7	81.9

En cuanto a la demanda de agua del sector industrial servido por la AAA, las proyecciones se fundamentan en un estimado de tasas de crecimiento por municipio, elaboradas a partir de datos de expectativas de crecimiento en la demanda de agua del sector, sometidos por el Departamento de Desarrollo Económico y Comercio (DDEC). El Plan estima la demanda de agua para el año 2004, proyectado hasta el 2030, prorrateando el crecimiento esperado por el DDEC entre los años que componen cada período de proyección. La Tabla 1-5 resume las proyecciones para el sector industrial.

Tabla 1-5. Proyecciones de demanda de agua – sector industrial servido por la AAA, en mgd

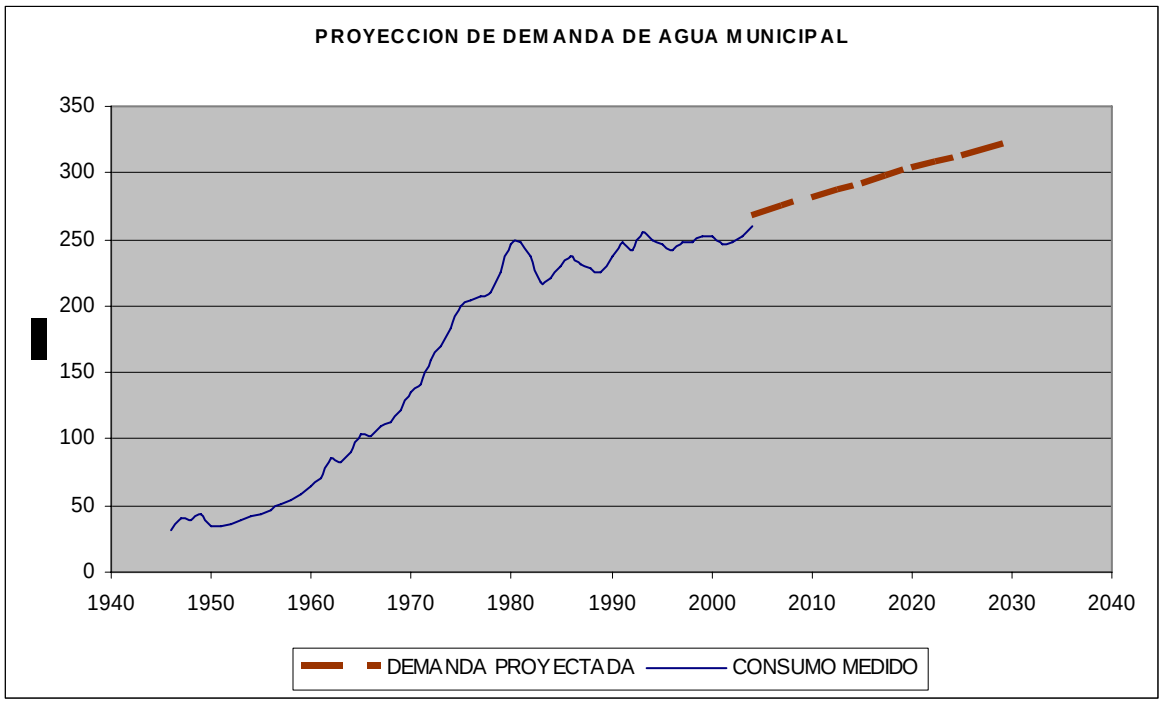
CONCEPTO	2004	2010	2015	2020	2025	2030
DEMANDA SATISFECHA	10.4	12.3	13.8	15.4	17.3	19.4
DEMANDA INSATISFECHA	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	10.8	12.3	13.8	15.4	17.3	19.4

Al agregar las proyecciones de demanda de cada uno de estos sectores, se obtiene la proyección para la totalidad del sector servido por la AAA. Como se puede observar en la Tabla 1-6 y la Gráfica 1-2, la proyección de demanda servida por la AAA aumenta de

267.3 mgd en el 2004 a 323.7 mgd en el 2030, lo que representa un incremento de 56.4 mgd (21.1%) durante el período de análisis.

Tabla 1-6 Proyecciones de de demanda de agua – total sectores servidos por la AAA, en mgd

CONCEPTO	2004	2010	2015	2020	2025	2030
DEMANDA SATISFECHA	259.8	280.3	292.0	302.9	313.0	323.7
DEMANDA INSATISFECHA	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	267.3	280.3	292.0	302.8	313.0	323.7

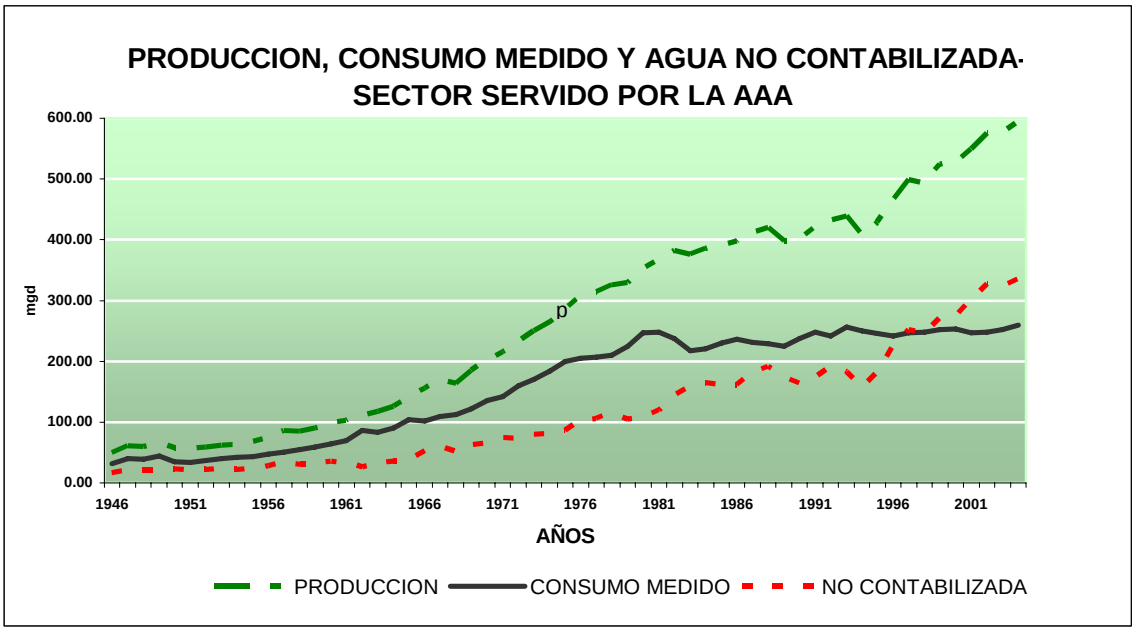


Gráfica 1-2. Proyección de Demanda Municipal

Requerimiento de producción

El volumen de agua tratada, que se introduce al sistema de distribución para satisfacer la demanda de los consumidores, se denomina como la producción del sistema. La AAA opera un sistema de producción que consiste de 130 plantas de filtración y 110 pozos. Durante el año 2004 la AAA produjo 594.9 mgd de agua potable.

La Gráfica 1-3 presenta el comportamiento histórico de la producción, el consumo medido y el agua no contabilizada en el sistema de la AAA. Se observa un crecimiento de los tres indicadores hasta llegar a la década de los ochenta, cuando la producción sigue su patrón ascendente mientras que la demanda se mantiene relativamente estable. Esta situación se traduce en un incremento acelerado en el valor del agua no-contabilizada.



Gráfica 1-3. Producción, Consumo Medido y Agua No-Contabilizada – Sector Servido por la AAA

En el 2004, el valor del agua no-contabilizada asciende a 335.0 mgd, lo que representa un 56.3 por ciento de la producción total. Valores de agua no-contabilizada en el rango de 10

a 15 por ciento de la producción se consideran razonables dentro de las corporaciones públicas de abasto de agua.[8]

Los datos de producción promedio por instalación, para el año 2004, fueron obtenidos del USGS, como parte del acuerdo interagencial con el DRNA. La producción bruta de la AAA para cada una de las regiones se estimó a base de la localización física de cada una de las plantas de filtración y pozos de extracción de agua subterránea. La Tabla 1-7 presenta la distribución de la producción bruta por tipo de instalación y región de planificación.

Tabla 1-7. Producción de agua potable en mgd por Región

REGIONES	PRODUCCIÓN			TRANSFERENCIAS		PRODUCCION
	SUBTERRANEA	SUPERFICIAL	TOTAL	ENTRAN	SALEN	NETA
ESTE	21.7	89.9	111.6	12.0	13.3	110.3
METROPOLITANA	0.0	130.9	130.9	127.0	12.0	245.9
NORTE	47.0	200.3	247.3		113.7	133.7
SUR OESTE	34.9	70.2	105.0			105.0
TOTAL	103.5	491.3	594.9	139.0	139.0	594.9

Al comparar la producción neta contra la demanda de agua total por región de planificación (véase Tabla 1-8) se obtienen estimados regionales de agua no contabilizada. El análisis de estos datos evidencia que las regiones Metropolitana y Norte reflejan valores de agua no contabilizada sustancialmente mayores que los que se experimentan en otras regiones del País. En estas regiones resulta crítico atender el problema con prioridad.

[8] La AWWA recomienda que el nivel de ANC se debe mantener en 10% o menos.

Tabla 1-8. Producción, consumo y agua no contabilizada en mgd por Región

REGIONES	PRODUCCION NETA	CONSUMO MEDIDO	AGUA NO CONTABILIZADA	
			TOTAL	%
ESTE	110.3	54.5	55.8	50.6
METROPOLITANA	245.9	96.3	149.6	60.8
NORTE	133.7	57.8	75.9	56.8
SUR OESTE	105.0	51.2	53.8	51.2
TOTAL	594.9	259.8	335.0	56.3

Proyecciones de requerimientos de producción

Las proyecciones de requerimientos de producción se computan a partir de las proyecciones de demanda de agua desarrolladas anteriormente. Las mismas se estiman para cada una de las cuatro regiones de planificación definidas por la AAA en el documento Plan Maestro de Acueductos (2003).

Las proyecciones de este Plan se realizan bajo dos supuestos diferentes respecto al nivel de pérdidas del sistema:

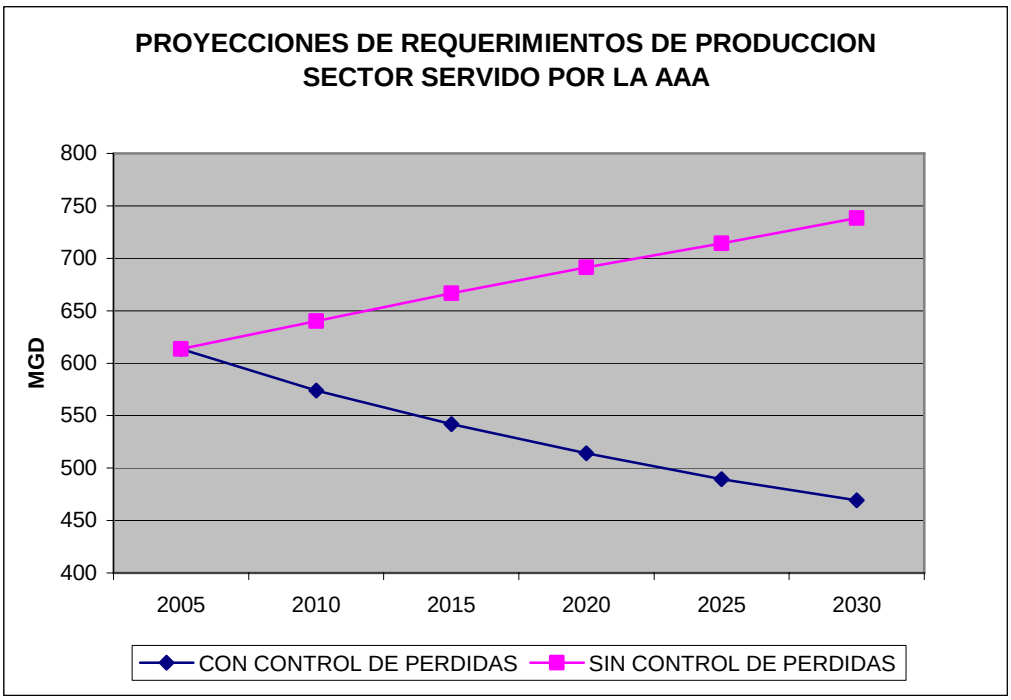
1. Sin control de pérdidas – El porcentaje agua no-contabilizada se mantendrá en el nivel prevaleciente en el año 2004. Este escenario supone que la AAA tendrá que desarrollar medidas para evitar que el por ciento de pérdidas continúe creciendo.

2. Con control de pérdidas - El porcentaje agua no-contabilizada se reducirá de su valor en el 2004 a una tasa de 1 por ciento anual durante el periodo de 2005 a 2030.

El hurto de agua constituye un factor a considerar en los requerimientos de producción y se incorpora a la proyección manteniendo su valor como parte del componente del agua no-contabilizada.

La Gráfica 1-4 y las Tablas 1-9 y 1-10 presentan los dos escenarios de proyección de requerimientos de producción a nivel Isla. Como se puede observar, de no mejorarse la

eficiencia del sistema de distribución de la AAA sería necesaria una ampliación sustancial de la capacidad del sistema. Por el contrario, si se atiende el problema del agua no contabilizada de forma efectiva, la necesidad de expansión del sistema disminuye sustancialmente.



Gráfica 1-4. Proyecciones de requerimientos de producción sector doméstico

Tabla 1-9. Requerimientos de producción con control de pérdidas, en mgd

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
REGION ESTE	117.1	111.7	107.0	102.8	98.9	95.6
REGION METROPOLITANA	248.3	227.2	211.4	198.0	187.0	177.9
REGION NORTE	138.3	131.3	124.5	118.6	112.8	108.1
REGION SUR OESTE	110.0	103.9	99.0	94.6	90.8	87.6
TOTAL	613.7	574.0	541.9	514.0	489.4	469.2

Tabla 1-10. Requerimientos de producción sin control de pérdidas, en mgd

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
REGION ESTE	117.1	123.0	128.7	134.0	138.9	144.0
REGION METROPOLITANA	248.3	256.2	265.3	273.8	282.4	291.5
REGION NORTE	138.3	146.5	153.3	159.7	165.0	170.5
REGION SUR OESTE	110.0	114.5	119.3	123.7	128.0	132.4
TOTAL	613.7	640.2	666.6	691.3	714.3	738.5

1.4.2 Sector residencial auto abastecido

El sector residencial en Puerto Rico es servido, en su gran mayoría, por la AAA. La parte restante de su demanda es satisfecha por sistemas comunitarios independientes, conocidos como Non-PRASA y sistemas individuales de auto-abastecimiento. El informe preparado por la compañía Technical Consulting Group para la AAA en el 2004, sobre los sistemas Non-PRASA, identificó un total de 238 de estos Sistemas Comunales operando en Puerto Rico. Se estima que los mismos sirven un total de 31,595 familias y producen alrededor de 10.7 mgd. Un total de 59 de estos sistemas, con un estimado de 5,247 familias servidas y una producción de 2.8 mgd, cuentan también con conexión al sistema de la AAA.

Para propósitos de proyectar los requerimientos de producción de este sector, se presume que los sistemas con doble conexión pasarán a ser totalmente servidos por la AAA a partir del año 2010. Los restantes 179 sistemas comunales independientes adicionales se presume se mantendrán operando separados de la AAA y su producción se mantendrá constante en su estimado del 2004 (véase Tabla 1-11).

Tabla 1-11. Proyecciones de requerimiento de producción - Sector residencial auto abastecido, en mgd

CONCEPTO	2005	2010	2015	2020	2025	2030
NON PRASA	10.7	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
INDIVIDUAL	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
TOTAL	12.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

En cuanto a los sistemas residenciales individuales, el estudio del USGS sobre uso de agua en el año 2000, estimó un total de 10,000 de éstos, localizados a través de toda la Isla, con una producción total de 2.1 mgd. La proyección para el sector supone que los mismos se mantendrán operando al mismo nivel del año 2000.

1.4.3 Sector industrial autoabastecido

La producción del sector industrial autoabastecido se estimó por el USGS en 11.4 mgd en el año 2000. El estimado se desglosa en 9.6 mgd utilizados por empresas privadas y 1.8 mgd por la AEE. La extracción de agua de este sector se logra mediante la construcción de pozos desarrollados por los propios usuarios. Los mismos están localizados en los acuíferos de la zona de las calizas entre Arecibo y Manatí, y los valles aluviales de Guayama y Yabucoa. Extracciones menores ocurren en los predios de parques industriales en Caguas, Cidra y Bayamón.

La Tabla 1-12 presenta la distribución regional del agua extraída por el sector durante el año 2000.

Tabla 1-12. Estimado de producción sector industrial autoabastecido

REGION	MGD
ESTE	3.2
METROPOLITANA	0.3
NORTE	6.0
SUR OESTE	1.9
TOTAL	11.4

La proyección de necesidades de producción para este sector supone que las mismas se mantendrán idénticas a la producción registrada en el año 2000 durante todo el periodo de análisis (11.4 mgd). El uso de agua asociado al eventual crecimiento del sector de la industria pesada se incorpora al análisis a través de la proyección de las necesidades de producción del sector doméstico servido por la AAA.

1.4.4 Sector agrícola

El sector agrícola en Puerto Rico se abastece de agua proveniente de los tres sistemas de irrigación administrados por la AEE, además de sistemas de auto-abastecimiento construidos por los propios usuarios. Durante el año 2002 el sector agrícola utilizó para propósitos de riego un total de 68.6 mgd (véase Tabla 1-13). De este total, 30.8 mgd (44.9%) provienen de pozos operados por los propios agricultores y los restantes 37.8 mgd (55.1%) de los sistemas de riego que son operados por la AEE. Para esta fecha existían 199,225 cuerdas bajo cultivo, de las cuales 44,439 utilizaban sistemas de riego.

La Tabla 1-14 presenta la proyección de requerimientos de producción del sector agrícola por región y a nivel Isla. El supuesto implícito en esta metodología es que la proporción de cuerdas bajo riego y los métodos de irrigación a ser utilizados en las cuerdas adicionales será igual al prevaleciente, durante el año 2002, en cada municipio en particular.

Tabla 1-13. Extracciones para riego agrícola 2002, en mgd

REGIÓN	SUBTERRANEA	SUPERFICIAL	TOTAL
ESTE	7.6	4.4	11.9
METROPOLITANA	0.7	0.2	0.9
NORTE	6.1	3.6	9.7
SUR OESTE	16.4	29.6	46.0
TOTAL	30.8	37.8	68.6

Fuente: Datos recopilados por el USGS 2003

Es importante señalar que las proyecciones presentadas para el sector agrícola se realizaron tomando en consideración el potencial que representan las áreas designadas como reservas agrícolas y las tendencias del mercado.

Tabla 1-14. Proyecciones de requerimiento de producción sector agrícola, en mgd

REGION	2004	2010	2015	2020	2025	2030
ESTE	11.9	12.4	12.8	13.3	13.7	14.2
METROPOLITANA	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2
NORTE	9.7	10.3	10.8	11.4	11.9	12.5
SUR OESTE	46.1	48.2	50.2	52.3	54.3	56.4
TOTAL	68.6	71.7	74.9	78.0	81.1	84.2

1.4.5 Requerimientos de producción de usos extractivos

Al agregar las proyecciones de requerimientos de producción del sector servido por la AAA, residencial auto abastecido, el de las industrias autoabastecidas y el sector agrícola, se obtienen proyecciones de necesidades de producción para todos los usos de agua extractivos del País. Las Tablas 1-15 y 1-16 presentan estas proyecciones por región y sector.

Tabla 1-15. Proyecciones de requerimiento de producción de usos extractivos con control de pérdidas, en mgd

A. DISTRIBUCION POR SECTOR

SECTOR	2005	2010	2015	2020	2025	2030
SERVIDO POR LA AAA	613.7	574.0	541.9	514.0	489.4	469.2
NON PRASA	10.7	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
AUTO ABASTO INDUSTRIAL	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
AUTOABASTECIDO	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
AGRICOLA	68.6	71.7	74.9	78.0	81.1	84.2
TOTAL	706.4	667.1	638.1	613.3	591.8	574.7

B. DISTRIBUCION POR REGION

REGION	2005	2010	2015	2020	2025	2030
REGION ESTE	139.5	133.1	128.8	125.1	121.6	118.8
REGION METROPOLITANA	249.8	228.8	213.0	199.7	188.7	179.7
REGION NORTE	156.0	148.8	142.6	137.3	132.1	127.8
REGION SUR OESTE	161.1	156.4	153.6	151.3	149.5	148.3
TOTAL	706.4	667.1	638.0	613.3	591.8	574.7

Tabla 1-16. Proyecciones de requerimiento de producción de usos extractivo sin control de pérdidas, en mgd

A. DISTRIBUCION POR SECTOR

SECTOR	2005	2010	2015	2020	2025	2030
SERVIDO POR LA AAA	613.7	640.2	666.6	691.3	714.3	738.5
NON PRASA	10.7	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
AUTO ABASTO INDUSTRIAL	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
AUTOABASTECIDO	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
AGRICOLA	68.6	71.7	74.9	78.0	81.1	84.2
TOTAL	706.4	733.2	762.8	790.5	816.7	844.0

B. DISTRIBUCION POR REGION

REGION	2005	2010	2015	2020	2025	2030
REGION ESTE	139.5	144.4	150.5	156.3	161.6	167.2
REGION METROPOLITANA	249.8	257.8	267.0	275.5	284.1	293.3
REGION NORTE	156.0	164.0	171.4	178.4	184.2	190.3
REGION SUR OESTE	161.1	167.1	173.9	180.3	186.7	193.2
TOTAL	706.4	733.2	762.8	790.5	816.7	844.0

1.4.6 Requerimientos de usos recreativos, estéticos y ambientales

La demanda de agua para usos recreativos, estéticos y ambientales se determina a base de los flujos y niveles mínimos que se deben preservar en corrientes superficiales y embalses de agua para viabilizar dichos usos. El Plan considera el asunto de los flujos ambientales y el rendimiento seguro de las fuentes de abastos desde una perspectiva de desarrollo sostenible.

Para propósito del análisis de disponibilidad del recurso que se realizan en el Plan, los requerimientos de usos ambientales se estiman a base de los flujos mínimos que se deben mantener en los ríos, según estipulados en las restricciones de extracción establecidas en las franquicias de agua otorgadas por el DRNA. La Tabla 1-17 presenta los principales requisitos de flujos mínimos que ha impuesto el DRNA en franquicias otorgadas recientemente.

Tabla 1-17. Flujos mínimos requeridos en franquicias de agua otorgadas por el DRNA - MGD

MUNICIPIO	CUERPO DE AGUA	LUGAR DE LA TOMA	FLUJO MINIMO REQUERIDO
AGUADA	RIO CULEBRINAS	TOMA PLANTA CULEBRINAS Y AGUADILLA	17.00
MAYAGUEZ	RIO GRANDE DE ANASCO	TOMA PLANTA MIRADERO	20.00
ARECIBO	RIO GRANDE DE ARECIBIO	TOMA PLANTA SANTIAGO VAZQUEZ	20.00
NAGUABO	RIO BLANCO	TOMA EMBALSE NUEVO	5.25
FAJARDO	RIO FAJARDO	TOMA EMBALSE NUEVO	2.80
CANOVANAS	RIO CANOVANAS	TOMA PLANTA CANOVANAS	3.00
CANOVANAS	RIO CANOVANILLAS	TOMA PLANTA CANOVANAS	0.70

1.5 Meta y objetivos del Plan

La meta del plan se ha definido de la forma siguiente: "*Manejar los recursos de agua de Puerto Rico de manera sustentable con el propósito de apoyar el desarrollo económico, garantizar la productividad agrícola, proteger la salud y el bienestar de la población y de los sistemas naturales, y elevar el nivel de calidad de vida de los ciudadanos*". Los principios sobre los que descansa esta meta son los siguientes:

1. El manejo sostenible del recurso agua, de manera que las generaciones presentes y futuras tengan acceso al recurso en calidad tal que atienda satisfactoriamente las necesidades del sistema social y el sistema natural.

2. El manejo efectivo y eficiente de los recursos de agua protege la salud, la seguridad y el bienestar de los ciudadanos.

3. La responsabilidad y el compromiso de todos los ciudadanos para conservar y proteger el recurso agua de Puerto Rico.

4. El análisis científico como fundamento en el manejo del recurso agua y el reconocimiento de la interdependencia entre la prosperidad económica y la calidad del ambiente.

5. El uso de la planificación integral para atender la estrecha interrelación entre la cantidad y calidad del agua, así como su dimensión superficial y subterránea.

6. La preparación de una base de datos amplia, accesible y sustentada por información científica y económica para apoyar la toma de decisiones en el manejo del recurso agua.

7. Estimular las acciones locales, regionales y a nivel de cuenca hidrográfica en el manejo del recurso.

8. La participación activa de la ciudadanía, sectores interesados y los diferentes niveles del Gobierno en el manejo adecuado del recurso agua.

9. La revisión periódica del Plan de Agua para incluir nueva información científica e institucional, así como nuevos datos socioeconómicos, culturales y ambientales.

A tenor con la meta definida, el Plan Integral de Recursos de Aguas pretende lograr los siguientes objetivos:

1. Promover la protección de los recursos hídricos,

2. Garantizar la disponibilidad del agua y proteger su calidad,

3. Proveer una base para la toma de decisiones y el establecimiento de prioridades en la instalación de infraestructura, y

4. Proveer continuidad al proceso de planificación y administración del recurso agua.

1.6 Políticas y estrategias del Plan

Existen tres dimensiones sobre las cuales articular las políticas, objetivos y estrategias del Plan (véase Ilustración 1-7). Éstas son:

1. Manejo y uso del recurso
2. Manejo y uso del territorio
3. Instrumentos de apoyo

En la primera, es asunto prioritario las acciones dirigidas a lograr niveles óptimos de eficiencia en la infraestructura de distribución y, principalmente, reducir el agua no-contabilizada del sistema de distribución de la AAA. Igualmente, es medular manejar la demanda previo a considerar acciones dirigidas en el lado de la oferta. Es decir, la atención de las necesidades de uso del recurso agua debe asignar prioridad al manejo de la demanda previo a considerar acciones estructurales para aumentar la oferta. La atención de ambos asuntos tendría el efecto de evitar inversiones públicas dirigidas a ampliar la infraestructura existente y, por tanto, evitar sus impactos ambientales y sociales.

En la segunda, el manejo de la cuenca hidrogeológica y la protección de las áreas de importancia hídrica constituyen acciones cardinales que tienen consecuencias directa y a largo plazo en la calidad y disponibilidad del recurso agua.

En la tercera, el énfasis se dirige a disponer de la información y los datos necesarios para entender y manejar el recurso y que los mismos sean confiables y accesibles.

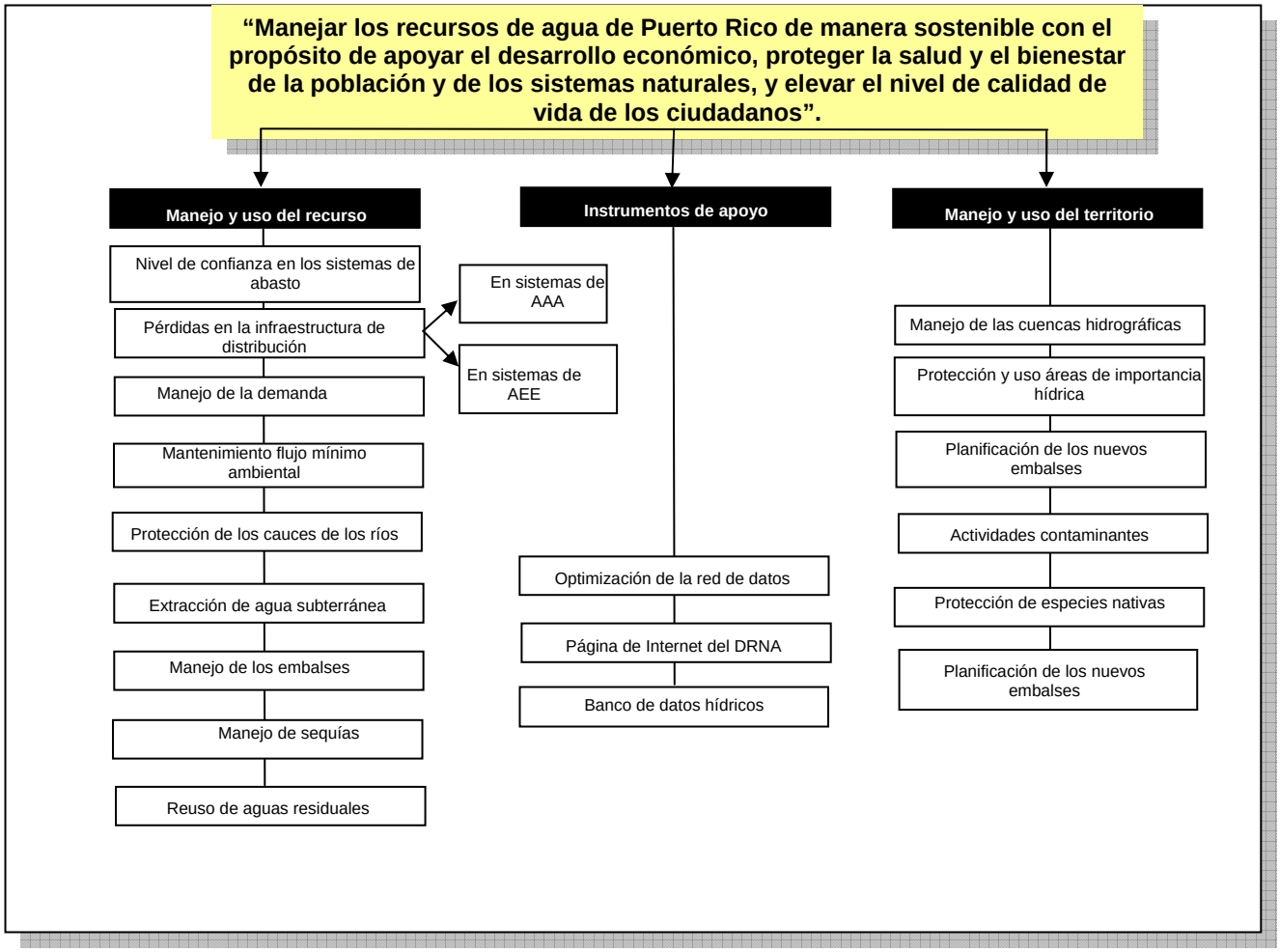


Ilustración 1-7. Organigrama de las dimensiones de intervención del Plan

El Plan Integral presenta las estrategias y guías que permiten hacer un uso sostenible del recurso agua. El desarrollo de las estrategias conlleva una discusión de los aspectos problemáticos más apremiantes en el uso y manejo del mismo, los cuales pueden resumirse como:

a) Degradación de las fuentes de abasto.

b) Uso y aprovechamiento ineficiente del recurso.

c) Déficit en la disponibilidad del recurso en zonas particulares y limitaciones para el desarrollo de nuevas fuentes de abasto.

d) Ausencia de criterios que aseguren el mantenimiento de las funciones ambientales de los sistemas acuáticos.

e) Falta de controles en los usos del terreno y en el manejo inadecuado de la cuenca hidrogeológica.

El Plan incluye soluciones que enfatizan aspectos de uso, conservación y desarrollo del recurso agua. Las mismas incluyen medidas de buen aprovechamiento, políticas públicas, medidas de carácter normativo, estrategias para resolver situaciones concretas, criterios de evaluación, guías para proyectos de desarrollo y mecanismos para garantizar un proceso de planificación continuo y verificable. El Plan además incluye determinaciones de asignación del recurso en áreas donde hay conflictos presentes y potenciales.

Es necesario señalar que el Plan no pretende ser una lista de proyectos a ser realizados en lugares específicos con costos determinados. El Plan orienta y establece las pautas para la toma de decisiones sobre la solución de distintos problemas que afectan el recurso. El Plan no es un documento estático. El mismo pretende ser un documento sujeto a evaluación periódica con el propósito de aclimatarlo a los nuevos cambios sociales y económicos, a los cambios de información recopilada mediante nuevas herramientas de análisis y a los adelantos en la tecnología.

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. Se reconoce que las alternativas para aumentar la disponibilidad del recurso implican costos económicos sustanciales y la escasez de recursos económicos impone límites severos a las opciones viables para el desarrollo de abastos de agua. Además, plantea la posibilidad de que diversos usuarios tengan que competir por la asignación de un mismo recurso.

1.6.1 Estrategias sostenibles en el desarrollo de nuevas fuentes de abasto

En el desarrollo de nuevas fuentes de abasto, resulta crítico asegurar que su diseño permita minimizar los problemas que limitan su sostenibilidad:

- Los embalses nuevos deben ser diseñados para evitar la rápida acumulación de sedimentos, lo que disminuye su capacidad y resulta en altos costos de rehabilitación. Toda propuesta para embalses nuevos debe contener un plan de manejo de su cuenca que reglamente usos y desarrollos en la misma.

- La explotación de aguas subterráneas debe responder a un plan de manejo de aguas donde no se afecte la integridad del acuífero.

- Las tomas superficiales, incluyendo los embalses, deben asegurar un flujo mínimo para mantener las funciones ambientales, y su diseño debe minimizar el impacto sobre los habitáculos y patrones migratorios de especies, así como reducir el efecto sobre el transporte de sedimentos, arenas y gravas necesarios para mantener el equilibrio dinámico de los llanos y el litoral costero.

Es imprescindible que el manejo del agua concentre esfuerzos en acciones dirigidas a mejorar la eficiencia en su uso y asegurar la integridad de los sistemas que sostienen la disponibilidad actual del recurso de las fuentes de abasto ya desarrolladas. En esta dirección el Plan asigna prioridad a proyectos tales como la implantación de un programa que atienda efectivamente el problema de las pérdidas del sistema de distribución (agua no contabilizada), la conservación del agua, el manejo de la sedimentación en los embalses y la protección y optimización de la utilización de los acuíferos para maximizar su rendimiento sostenible.

Los embalses nuevos

Luego de un análisis efectuado en el 2005 sobre los mejores lugares disponibles para la construcción de embalses en todo Puerto Rico, se han identificado un número limitado de lugares adecuados para la construcción de embalses nuevos a los cuales hay que proveerle

protección para evitar su pérdida como resultado de la construcción de viviendas e infraestructura.[9]

La estrategia recomendada es designar o clasificar estos terrenos como áreas de no desarrollo urbano para evitar que se realicen construcciones urbanas en estas áreas.

1.6.2 Manejo de la erosión y la sedimentación de embalses

La disminución en la capacidad de los embalses a consecuencia de la sedimentación reduce gradualmente su rendimiento seguro.

La erosión y generación de sedimentos es un proceso natural y depende de factores tales como la intensidad de la precipitación, la resistencia de los suelos y la pendiente o grado de inclinación del terreno. La erosión se acelera por las actividades del ser humano como la remoción de la capa vegetal y el movimiento de los terrenos.

La mayor parte de los sedimentos son erosionados y transportados hacia los embalses por eventos extremos de lluvia como son las vaguadas y huracanes.

Se pueden considerar cuatro estrategias básicas para el manejo de sedimentos: (1) reducción en el aporte de sedimentos mediante el control de la erosión, (2) manejo hidráulico de los embalses para minimizar la entrada o depósito de sedimentos, (3) aumentar el volumen del embalse y (4) remoción de los sedimentos mediante dragado[10].

El control de la erosión no solamente es una estrategia para reducir las tasas de sedimentación en los embalses, sino también para obtener la producción máxima sostenible del suelo, reducir las pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas y evitar la contaminación de los cuerpos de agua dulce y las aguas y ecosistemas costeros. Una buena cubierta vegetal es la mejor manera de reducir la erosión, pero eventos de lluvias extraordinarios generan deslizamientos y altas tasas de erosión aún en áreas de bosques.

[9] AFI, 2005. Analysis of Potential Reservoir in Puerto Rico
[10] En Morris y Fan (1998) se presentan en mayor detalle los procesos de sedimentación y las opciones para su manejo.

En las áreas identificadas aguas arriba de embalses las acciones deben enfocarse en las actividades de control del uso de terrenos para maximizar la cobertura vegetal y asegurar la estricta implantación de medidas para el control de erosión y sedimentación en los sitios donde hay movimiento de tierra. Los programas de control de erosión y sedimentación administrados por la JCA y la EPA son claves para el control de la erosión en lugares de construcción. El control del uso de terrenos en los suelos clasificados de mayor riesgo o aguas arriba de los embalses es una tarea que compete a la JP y los municipios.

La estrategia de control hidráulico en Puerto Rico se enfoca en dos alternativas. La primera es la de construir los embalses nuevos fuera del cauce para minimizar la entrada de sedimentos hacia los embalses. El embalse fuera de cauce se llena mediante una línea de aducción desde el río hacia el mismo. En el caso de una crecida extraordinaria tanto el flujo de la crecida como su carga de sedimentos, sigue aguas abajo a lo largo del río y no entra al embalse. Las simulaciones llevadas a cabo por Morris (1997) para el diseño de los embalses de Río Fajardo y Río Blanco indican que las aguas de las crecidas grandes no son necesarias para sostener el rendimiento seguro del embalse y que esta estrategia puede reducir en más del 90 por ciento la entrada de sedimentos en comparación con un embalse convencional en el mismo río.

La segunda estrategia hidráulica es manejar las compuertas de una represa convencional para que las aguas de crecidas con su carga de sedimentos pasen a través del embalse con la mayor velocidad posible para así minimizar el depósito de sedimentos. Diferente a las técnicas de control de erosión que tienden a perder efectividad según aumenta la magnitud del evento climatológico, la eficiencia del control hidráulico aumenta de acuerdo a la magnitud del evento.

1.6.3 Uso sostenible de las aguas subterráneas

Los acuíferos representan la fuente de agua más económica en Puerto Rico, ya que pueden producir agua de calidad potable en las mismas áreas de demanda, con simplemente hincar un pozo y activar una bomba. Sin embargo, los recursos subterráneos no se están

explotando de una manera sostenible, lo que resulta en problemas debido a la intrusión salina y la contaminación de sus zonas de recarga.

Para maximizar la tasa de extracción sostenible de los acuíferos, las acciones deben enfocarse en las siguientes estrategias referentes a la recopilación y disponibilidad de datos hidrológicos del agua subterránea.

1. Se debe establecer una red de pozos de monitoreo permanente y a largo plazo. La red debe consistir de pozos de observación del nivel freático, combinado con pozos para observar las variaciones en la localización del frente de agua salina dentro de los acuíferos costeros.

2. Además, debe incluir el acopio de datos de calidad como parte de la red permanente.

3. Los datos de extracción de los pozos de la AAA deben ser informados mensualmente, con datos confiables y con una demora de no más de 60 días.

En cuanto al proceso de intrusión salina se recomiendan las siguientes estrategias esenciales para optimizar la extracción de agua desde acuíferos costeros.

- Construcción y operación de pozos: Para maximizar la extracción de agua dulce se requiere que se utilicen pozos localizados más alejados de la costa, de menor profundidad y se sustituyan los pozos grandes por dos o más pozos de menor caudal, mejorando así la distribución de la extracción dentro del acuífero.

- Información de rastreo: La intrusión salina se detecta cuando el agua con niveles altos de sólidos disueltos empieza a salir por los pozos en producción. Para evitar esta situación se requiere mejor información referente a la localización de la interfase salina dentro del acuífero. La misma se obtiene mediante pozos de rastreo (sin bombeo) que penetren hacia la zona salina para registrar continuamente su comportamiento. Se debe tener también, información referente a la lluvia y otras fuentes de recarga y la tasa de bombeo por los pozos.

- Modelación y diseño: El diseño de sistemas de bombeo para maximizar la extracción de agua dulce de un acuífero costero requiere datos sobre el comportamiento del sistema, modelos adecuados para guiar tanto el diseño como sus parámetros operacionales y datos de rastreo continuo para indicar cualquier ajuste que se pueda requerir.

Recarga de los acuíferos

El aumento y mantenimiento de la recarga hacia el acuífero de la Costa Sur se puede llevar a cabo mediante estrategias de recarga artificial. Una manera es por el bombeo en las áreas cercanas a los ríos, lo cual reduce el nivel freático e induce la recarga del acuífero por el fondo del río. Este mecanismo es particularmente importante en la Costa Sur, donde hay una buena conexión entre el río y el acuífero. Este proceso también ha ocurrido en ríos de la Costa Norte y valles del interior de la Isla. Aunque el desarrollo del agua subterránea se vislumbra como un mecanismo de extracción de agua con poco impacto ambiental, se pueden producir impactos importantes si como resultado se secan los ríos. La implantación de esta estrategia requiere de un cuidadoso análisis ya que pudiera provocar serios impactos ambientales en los ecosistemas que dependen de las aguas del río.

Otra estrategia consiste en la utilización del efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales, la cual fue analizada por el USGS en el área de Ft. Allen y se puede considerar viable en otros lugares (Ej. Santa Isabel). La tercera estrategia que se considera que puede ser viable es el desvío de agua de los ríos, pero solamente bajo condiciones de flujo moderados ya que los sedimentos finos (particularmente las arcillas) que transportan las crecidas pueden reducir sustancialmente la permeabilidad en las áreas de recarga.

En las calizas de la Costa Norte, la fuente principal de la recarga son los sumideros y la infiltración a través del suelo. La utilización de charcas de sedimentación es una estrategia recomendada para proteger sumideros y pozos tragantes en áreas sujetas al movimiento de terreno.

El área de los mogotes al sur de la carretera PR-2 es el núcleo de la recarga en la Costa Norte. Esta zona debe estar orientada hacia la preservación de áreas verdes, particularmente en áreas donde también tiene otros beneficios como la protección de la diversidad biológica y usos ecoturísticos.

1.6.4 Sostenibilidad de ecosistemas acuáticos

Hay una variedad de factores que inciden sobre la supervivencia de las especies nativas y la integridad y diversidad biológica de los ecosistemas acuáticos en Puerto Rico. Entre dichos factores destacan el nivel de flujo (mínimo y alto), la calidad del agua incluyendo niveles mínimos de oxígeno, el mantenimiento de las rutas migratorias tanto en dirección aguas arriba como aguas abajo, el mantenimiento de la configuración morfológica del cauce incluyendo charcas, tramos llanos y una zona de ribera que ofrezca protección a los predadores, y la depredación por especies exóticas.

El agua es el factor ambiental más importante para mantener el hábitat y las rutas migratorias, sostener la capacidad de los ríos para degradar la descarga de desperdicios líquidos, y mantener la circulación en los estuarios. Sin embargo, durante periodos secos hay muchos embalses y tomas de agua que extraen la totalidad del flujo, dejando seco el río aguas abajo.

Las siguientes estrategias son importantes para preservar y mejorar los ecosistemas acuáticos, enfocando de forma prioritaria en los ecosistemas y especies nativas.

1. Establecer prioridades: Es importante mantener o mejorar las condiciones ambientales en los ríos donde aún existen ecosistemas y especies nativas. La identificación de áreas para acciones y protección prioritarias se debe iniciar con un inventario de los ríos de Puerto Rico, para identificar los tramos con las mejores condiciones ecológicas actuales o con el mejor potencial para su restauración. Además, se deben identificar las barreras a la migración y las opciones, si alguna, para su modificación o eliminación.

2. Investigaciones: No se han definido cuáles son las condiciones mínimas necesarias para mantener ecosistemas nativos viables. No se conoce bien la relación entre las configuraciones y operaciones de las obras y las consecuencias en los ecosistemas acuáticos de agua dulce. Las investigaciones relacionadas a los ecosistemas acuáticos deben ser enfocadas hacia la posibilidad de definir estas relaciones para proveer información de utilidad para el manejo del recurso, de una manera que apoye la salud de los ecosistemas.

3. Guías: Se deben preparar guías para el diseño y evaluación de obras y acciones en los ríos dirigidas a establecer medidas que sean prácticas para la preservación y restauración de los ecosistemas y especies nativas. Las guías deben formar la base para diseñar y analizar los impactos ambientales de obras en los ríos. El propósito es establecer, de una forma clara, los impactos potenciales que pueden ocurrir (los cuales son desconocidos para la gran mayoría de los ingenieros que actualmente diseñan obras), establecer los objetivos que tiene el País desde el punto de vista ambiental, y definir diferentes estrategias de diseño y operación que puedan minimizar los impactos ambientales.

4. Control de especies exóticas: Se necesita un control más adecuado de la importación e introducción de fauna y flora acuática, así como la actualización de la lista de especies prohibidas. Se debe considerar que cualquier especie introducida en la Isla eventualmente escapará a los cuerpos de aguas. Este esfuerzo debe enfocar con prioridad las especies consideradas como amenazantes que aún no se han establecido en los ríos de Puerto Rico.

1.6.5 Manejo sostenible de los cauces de los ríos

Las intervenciones en los ríos han provocado múltiples consecuencias en sus cauces. El patrón típico es la incisión o degradación del cauce bajando su nivel a consecuencia de dos acciones principales. La primera acción de degradación del cauce es la extracción de agregados, una actividad llevada a cabo a gran escala desde los años 1950 y aún activa en

algunos ríos. La extracción ha sido el mayor causante de la degradación del nivel de los cauces de los ríos.

La segunda causa está relacionada con el aumento de la fuerza hidráulica a consecuencia de una combinación de cambios en la cuenca hidrográfica, incluyendo particularmente la urbanización y las obras de encauzamiento y canalización. Al aumentar la energía hidráulica en el cauce, aumenta también su capacidad de transporte de sedimento y la tasa de erosión del fondo y de las riberas. Una vez iniciado el proceso de erosión, la tendencia natural es que éste se acelera. La profundización del cauce produce un flujo más profundo durante crecidas, aumentando las fuerzas hidráulicas e incrementando las fuerzas que socavan el fondo y las riberas del río. Las consecuencias más dramáticas son las estructuras de vivienda que se desploman a consecuencia de la erosión progresiva de las riberas.

La estrategia recomendada va dirigida a una revisión integral de las técnicas de canalización y control de erosión utilizadas y de aquellas utilizadas en otros partes del mundo para identificar las más sostenibles en términos de su durabilidad y que a la vez reduzcan el daño ambiental en el cauce de los ríos. La información disponible indica que la utilización de gaviones se debe prohibir por completo en el ambiente fluvial y que las obras de limpieza se deben limitar solamente a las áreas inmediatamente adyacentes a estructuras como canalizaciones formales, puentes o tomas de agua. De hecho, la Ley 49 de 4 de enero de 2003, según enmendada, establece que las limpiezas en los ríos deben limitarse a remover aquellos materiales exógenos del cuerpo de agua que no son producto de procesos geológicos y que obstruyen el libre fluir de las aguas (ej. basura, chatarra, escombros, etc.). La conservación de cauces se define en esta ley como obras en los cauces de los ríos dirigidas a restaurar los bancos que estén erodados y reducir o eliminar el proceso de erosión. Se establece, además, que las obras de limpieza y conservación no podrán alterar la geometría ni el área seccional del cuerpo de agua o interferir con el ciclo de transporte natural de sedimentos hacia la costa.

1.6.6 Uso y aprovechamiento eficiente del recurso

La solución tradicional que se ha seguido en Puerto Rico para atender situaciones de deficiencias en el abasto de agua potable, ha sido aumentar la disponibilidad del recurso mediante la construcción de obras nuevas que aumenten la producción. No obstante, la posibilidad de continuar con este enfoque es cada día más difícil porque ya se han desarrollado los recursos de menor costo y las limitaciones técnicas, económicas y ambientales al desarrollo de fuentes nuevas están en ascenso. Además, muchas de las fuentes previamente desarrolladas no han sido manejadas de manera sostenible y confrontan problemas que están reduciendo su capacidad de producción.

El agua no-contabilizada representa la diferencia entre el volumen informado como producción en las plantas de filtración y los pozos, y el volumen cuya entrega se contabiliza mediante los metros de los consumidores o por consumo estimado. En un sistema con manejo adecuado, el agua no-contabilizada no debe exceder el 15 por ciento. En contraste, en el año 2004, el volumen del agua no-contabilizada en el sistema de distribución de la AAA ascendió al 56 por ciento (329 mgd) de la producción total. Aún más alarmante es que la tendencia en las pérdidas ha ido en aumento. La continuación de las pérdidas en el sistema de distribución de la AAA y la inversión continua en nuevos abastos es un patrón de manejo de agua no sostenible.

Las estrategias recomendadas son las siguientes:

1. Para generar la información necesaria para conocer la contribución de cada componente al problema del agua no-contabilizada de la AAA y de la costo-efectividad de diferentes estrategias para el control de las pérdidas físicas, se recomienda un programa piloto en el cual se realicen auditorías detalladas en cinco sectores representativos del sistema de la AAA. En cada caso se debe medir el agua que entra al área, el consumo real y determinar las pérdidas. El subsiguiente paso será identificar y eliminar las filtraciones de manera permanente y, a base de esta experiencia, elaborar estrategias costo-efectivas para atender el problema a nivel Isla.

2. Como modo de apoyo al consumidor en la conservación de agua, se recomienda la distribución de información escrita (talonario de cobro, cuñas radiales, prensa escrita, Internet, etc.) sobre los ahorros, tanto en agua como en dinero, que pueden lograrse con distintas estrategias de conservación, incluyendo la sustitución de equipos de plomería convencionales por equipo conservador de agua. Este esfuerzo debe concentrarse principalmente en duchas, inodoros y grifos. Experimentos llevados a cabo en Puerto Rico indican que con sólo cambiar el inodoro y la ducha se reduce el consumo de agua dentro de la casa en un 25 por ciento.

   De ocurrir una próxima sequía con el racionamiento del agua, se debe hacer disponible también los "kits" de plomería eficiente, los cuales contienen materiales tales como cabezal de ducha, aireador de grifos, un dispositivo para la reducción de flujos en el inodoro y tabletas de detección de fugas.

3. En el sistema de riego de Isabela se recomienda una auditoría de los usos del agua para determinar con cuánta agua adicional pueden contar los usuarios, incluyendo la creciente utilización por las plantas de filtración de la AAA.

1.6.7 Actividades contaminantes

Los datos de monitoreo establecen que la calidad de las aguas superficiales y subterráneas está afectada por altas concentraciones de bacterias de origen fecal y por nutrientes. Estos contaminantes provienen de descargas domésticas de la AAA, fuentes dispersas e industrias. La contaminación del agua superficial con bacterias y nutrientes no impide que ésta pueda ser utilizada como fuente de agua potable, pero aumenta el costo de su tratamiento y limitan su uso para recreación y actividades de contacto directo.

Por otro lado, existen áreas significativas de acuíferos que están afectadas por la infiltración de contaminantes químicos sintéticos, nitratos de descargas agrícolas y por intrusión salina debido a extracciones de agua de forma excesiva. Las aguas subterráneas

afectadas por estos contaminantes no pueden utilizarse como fuente de agua potable por lo que es urgente que se restaure la calidad de las mismas.

El control de la calidad de las aguas es responsabilidad principal de la JCA junto con la EPA. Para apoyar este esfuerzo dentro del contexto del Plan Integral de Agua, se deben priorizar las actividades de control de calidad tanto de fuentes puntuales como dispersas en las cuencas identificadas como críticas desde el punto de vista del suministro del agua potable y también de la preservación de los ecosistemas acuáticos y especies nativas.

El Plan propone acciones más específicas como las siguientes:

1. Levantar y mantener un inventario de calidad de agua en los acuíferos que refleje la condición de calidad del agua en la totalidad de los acuíferos.

2. Investigar la efectividad de las medidas de mitigación de contaminación de agua implantadas en los sectores doméstico, industrial y agrícola.

3. Estudiar las alternativas de manejo de las aguas pluviales urbanas para minimizar el impacto negativo de este tipo de descarga en la calidad del agua superficial y subterránea.

1.6.8 Manejo de sequía

La mayoría de las regiones del País presentan situaciones de déficit en la disponibilidad de agua bajo condiciones de sequía. Ante esta situación es necesario racionalizar la operación de los sistemas de abasto de forma que se haga el mejor uso posible de los recursos disponibles.

Las estrategias recomendadas son las siguientes:

1. Se recomienda llevar a cabo un análisis hidrológico para proveer guías técnicas para determinar cuándo se debe iniciar el racionamiento y por cuánto se deben reducir las entregas de agua a nivel Isla.

2. Se recomienda un estudio de la utilización conjunta de los recursos de agua de la Costa Norte, enfocando en maximizar el rendimiento del sistema compuesto tanto de fuentes superficiales como subterráneas.

1.6.9 Fuentes de agua no-convencionales

En Puerto Rico existen varias alternativas de fuentes de abasto no-convencionales. Ante las limitaciones que confrontan las fuentes que sostienen la disponibilidad actual, algunas de estas alternativas pueden representar estrategias útiles para Puerto Rico.

Entre las alternativas para el aprovechamiento de fuentes de agua no-convencionales con el mayor potencial se encuentra la reutilización del agua tratada. Existen oportunidades para que esta agua se reutilice mediante: (1) sistemas de riego, (2) sistemas de recarga a los acuíferos y (3) reciclaje directamente hacia los lagos.

1.6.10 Usos del territorio

Resulta incuestionable la relación que existe entre las actividades que se efectúan sobre el territorio y su impacto sobre el recurso agua, su calidad y disponibilidad. Algunas actividades sobre el territorio tienen un impacto mayor en la calidad y disponibilidad del agua.

El Plan adopta un enfoque sistémico con el fin de alcanzar el desarrollo ambiental y ecológicamente sostenible del territorio, del agua y de los recursos vivos a través de la promoción de la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales de una manera equitativa. El elemento principal de esta estrategia es satisfacer las necesidades de las comunidades naturales y de los ecosistemas, al igual que los de la población, por cuenca hidrogeológica.

Manejo de la cuenca hidrogeológica

La cuenca hidrogeológica constituye el ámbito ideal para lograr una mejor integración del manejo del conjunto de los recursos naturales, en general, y del recurso agua, en particular. Además ofrece una delimitación específica, una conexión por el curso de las

aguas que permite la monitoria de su calidad en diferentes áreas y permite hacer aplicaciones en diferentes escalas al pasar de cuencas mayores a principales y hasta subcuencas. Esta dimensión de poder subir y bajar de escala en una cuenca permite analizar estrategias de manejo puntuales (a nivel de subcuenca) con relación a su beneficio en la escala más alta del paisaje o su cuenca mayor.

Un aspecto particular del enfoque de cuencas es que permite analizar las relaciones e interdependencia entre los sistemas biofísicos y socioeconómicos. Este enfoque permite identificar de manera particular las áreas y elementos críticos, vitales o esenciales tanto para los procesos naturales como para los procesos productivos de la sociedad. A través del proceso de planificación en la cuenca se pueden identificar los conflictos que surgen por la competencia entre los usos del terreno y la demanda que se impone en los recursos de cada cuenca, subcuenca o espacio dentro de éstas.

La cuenca hidrogeológica integra, en forma individual, los efectos combinados del clima, fisiografía, geología, uso de terrenos y actividades socio-económicas. Cada cuenca exhibe un patrón único en su régimen hídrico como resultado 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. Los planes de manejo de cuencas hidrogeológicas, con la participación de grupos de interés y la ciudadanía, son necesarios para el desarrollo sostenible.

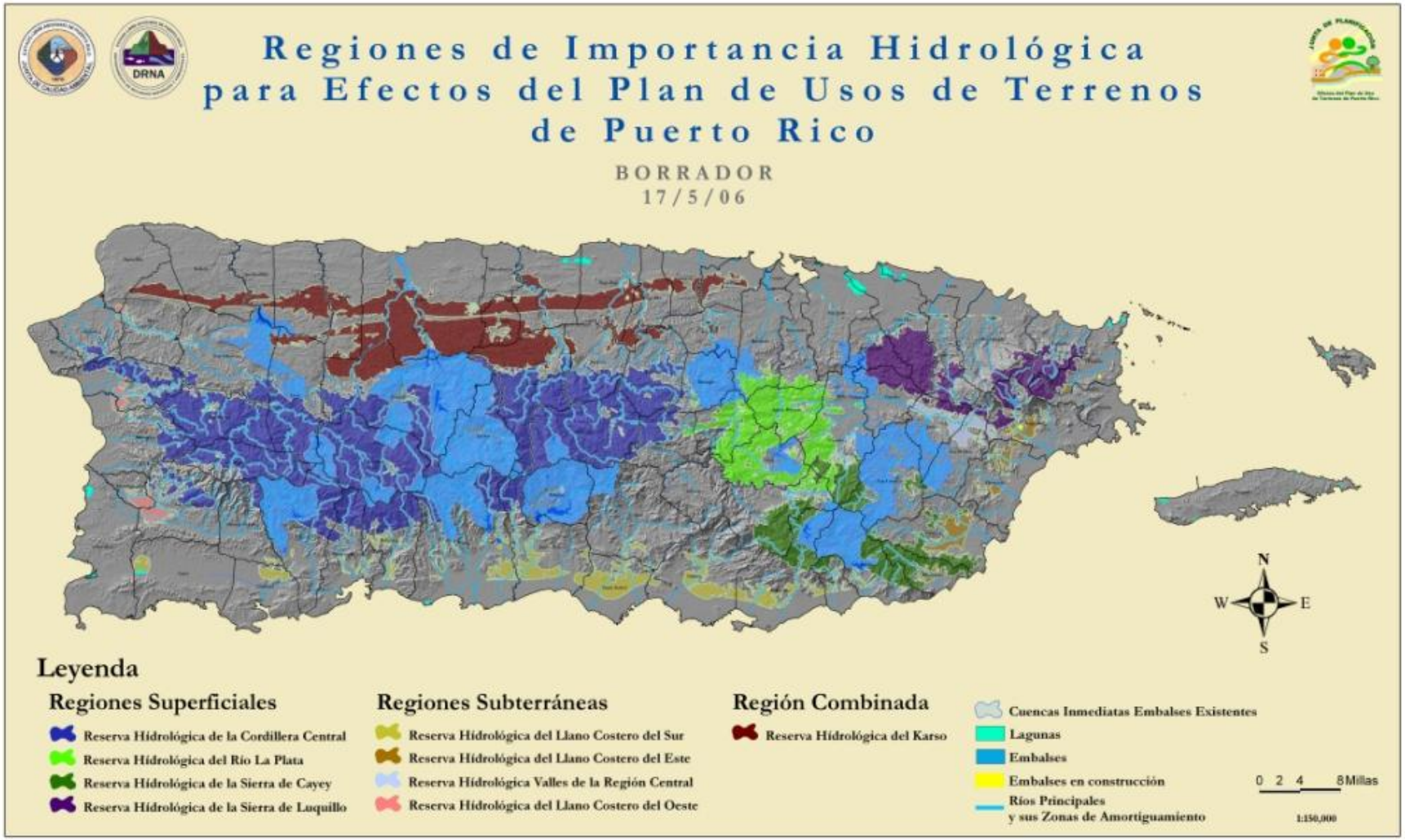


Ilustración 1-8. Áreas de importancia hídrica

La meta de la gestión o manejo integral del recurso agua, preferiblemente a través del manejo integral de las cuencas hidrogeológicas, debe ser garantizar que los procesos de desarrollo sean ambiental y ecológicamente sostenibles. Este paradigma debe guiar los procesos de toma de decisiones a nivel de las agencias del gobierno central, los gobiernos municipales, la comunidad regulada y ser internalizado en los diferentes sectores de la sociedad.

Las estrategias recomendadas son tres:

1. Para proteger las áreas de importancia hídrica (véase Ilustración 1-8), la Junta de Planificación habrá de clasificarla como suelo protegido. Ello debe lograrse en la elaboración del Plan de Uso de Terrenos (PUT) y en la preparación de los planes territoriales de los municipios.

2. Preparar planes de manejo para las cuencas hidrogeológicas.

3. Fomentar la implantación de políticas urbanas que prioricen en la densificación y desalienten construcciones urbanas de baja densidad y el desparrame urbano.

1.6.11 Riesgo de inundaciones

El Plan Integral de Agua no se orienta a resolver los problemas de las inundaciones. Sin embargo, las obras de control de inundación pueden tener un impacto grande sobre el curso de los ríos y los ecosistemas acuáticos. Por ende, cualquier esfuerzo para proteger los ecosistemas acuáticos y manejar el recurso de forma integrada, debe tomar en consideración las limitaciones impuestas por los problemas de inundaciones.

El desbordamiento de los ríos es un fenómeno natural y necesario para la formación de los valles aluviales. La Junta de Planificación (2005) estima que en la Isla existen cerca de 300,000 cuerdas (455 mi^2) de terreno sujeto a inundaciones, de los cuales más de 200,000 cuerdas están ubicadas en la zona costanera.

Las inundaciones dejan de ser un fenómeno natural, esencial para el mantenimiento de los ecosistemas, y se convierten en problemas sociales y económicos, tan pronto la actividad humana se desplaza y ocupa las zonas inundables.

A pesar de la magnitud del problema de las inundaciones, en Puerto Rico no existe un consenso sobre la manera de enfrentar el problema, particularmente en relación a las comunidades de recursos económicos limitados ubicadas en zonas inundables. Además, se siguen construyendo obras de control de inundación y protección de riberas que son ambientalmente muy dañinas y no son sostenibles.

Se recomienda la elaboración de una estrategia integrada para el control de las inundaciones que se dirija a medidas no-estructurales, medidas sostenibles y que asignen prioridad a la protección de los ecosistemas acuáticos.

1.6.12 Sistemas de la AEE

Los tres sistemas de riego operados por la AEE proveen hasta 30 mgd para uso agrícola. Además, suplen el nueve por ciento (50 mgd) del agua que utiliza la AAA en sus plantas de filtración. Ambos usuarios, agricultores y la AAA, necesitan que el agua esté disponible en todo momento lo que implica que debe haber agua en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades.

Por otro lado, la AEE opera seis sistemas hidroeléctricos los cuales se nutren de embalses que a la misma vez tienen otros usos tales como abastos de agua, mitigación parcial de inundaciones y para riego agrícola y recreación. En vista de los aumentos en el costo del combustible que utiliza la AEE en sus plantas termoeléctricas, diversos sectores consideran prudente maximizar la generación hidroeléctrica. Sin embargo, dicha estrategia pudiera ser conflictiva con el uso de agua por parte del sector doméstico y agrícola particularmente durante sequías. Debido a que la Ley de Aguas establece como uso prioritario el uso doméstico, se requiere una coordinación estrecha entre el uso de agua para generación hidroeléctrica y el uso doméstico y agrícola.

Constituye una estrategia necesaria la rehabilitación de los sistemas de riego de la AEE, el mejoramiento de su operación, la coordinación del uso de agua para la generación hidroeléctrica de manera que no se afecte la fuente de abasto para uso agrícola y doméstico, y hacer acopio de la información hidrológica.

También, el Plan propone acciones más específicas como las siguientes:

1. La AEE completará la rehabilitación de todos sus sistemas de riego para diciembre de 2011.

2. Crear un equipo de trabajo interagencial (AEE, DRNA, DA y AAA) para atender la operación adecuada de los sistemas hidroeléctricos del País.

3. Llevar a cabo un estudio sobre la necesidad y viabilidad de aumentar la producción de energía hidroeléctrica para determinar el efecto que su aumento pudiera tener sobre la disponibilidad de agua para otros usos.

4. Recopilar los datos hidrológicos de la AEE, convertirlos en formato electrónico, establecer un procedimiento de cotejo de la calidad de los datos y su actualización continua, y hacer disponible los mismos por Internet.

1.7 Relación del Plan con otros planes y programas

La elaboración del Plan Integral de Aguas ocurre en el contexto de otros esfuerzos de planificación gubernamental en áreas relacionadas con los recursos de agua. En cada una de estas instancias se ha establecido comunicación y se compartieron datos, metodologías y resultados de análisis técnicos pertinentes. Entre estos esfuerzos se encuentran los siguientes:

- Plan de Uso de Terrenos, Junta de Planificación de Puerto Rico

- Revisión del Programa de Manejo de la Zona Costanera, DRNA

- Proyecto de Manejo de Bosques, Negociado de Servicio Forestal, DRNA

- Lugares Potenciales para el Desarrollo de Represas, AFI, 2005
- Estudio sobre la Viabilidad de Aumentar el Abasto de Agua para Uso Doméstico y Agrícola en el Valle de Lajas, AAA, 2006
- Plan Maestro de AAA, ONDEO & AAA, 2003
- Programa de Mejoras Capitales, enero 2006, AAA
- Planes de Ordenamiento Territorial
- Plan de Transportación a Largo Plazo, DTOP-ACT

El Plan de Agua reconoce la importancia de armonizar los esfuerzos de planificación que se realizan en otros ámbitos, como los anteriormente enumerados, para fortalecer el éxito en la implantación de las recomendaciones de los mismos. Por ejemplo, varias de las estrategias propuestas en el Plan quedarían plenamente respaldadas de éstas incorporarse en el Plan de Uso de Terrenos y en los planes territoriales de los municipios. Igualmente se podría apuntar, lo extremadamente necesario que es consolidar los planes de la AAA para reducir el porcentaje de agua no-contabilizada.

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 del recurso agua.

2. DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE NATURAL 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 hidrografía 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 (véase Ilustración 1-1). 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 durante el Huracán Hortense en el 1996).

La evapotranspiración es un factor importante en el balance de agua, ya que la escorrentía disponible en las quebradas y ríos se reduce por su efecto (véase Ilustración 2-1). 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 remueven agua del suelo a través de las raíces, retornando a la atmósfera como vapor de agua. 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.

2.1.2 Temperatura

La temperatura en Puerto Rico no varía significativamente durante el año, con un promedio anual de 82 grados Farenheit (véase Ilustración 2-2). En el ciclo hidrológico la temperatura regula 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.

Ilustración 2-1. Evapotranspiración promedio en Puerto Rico

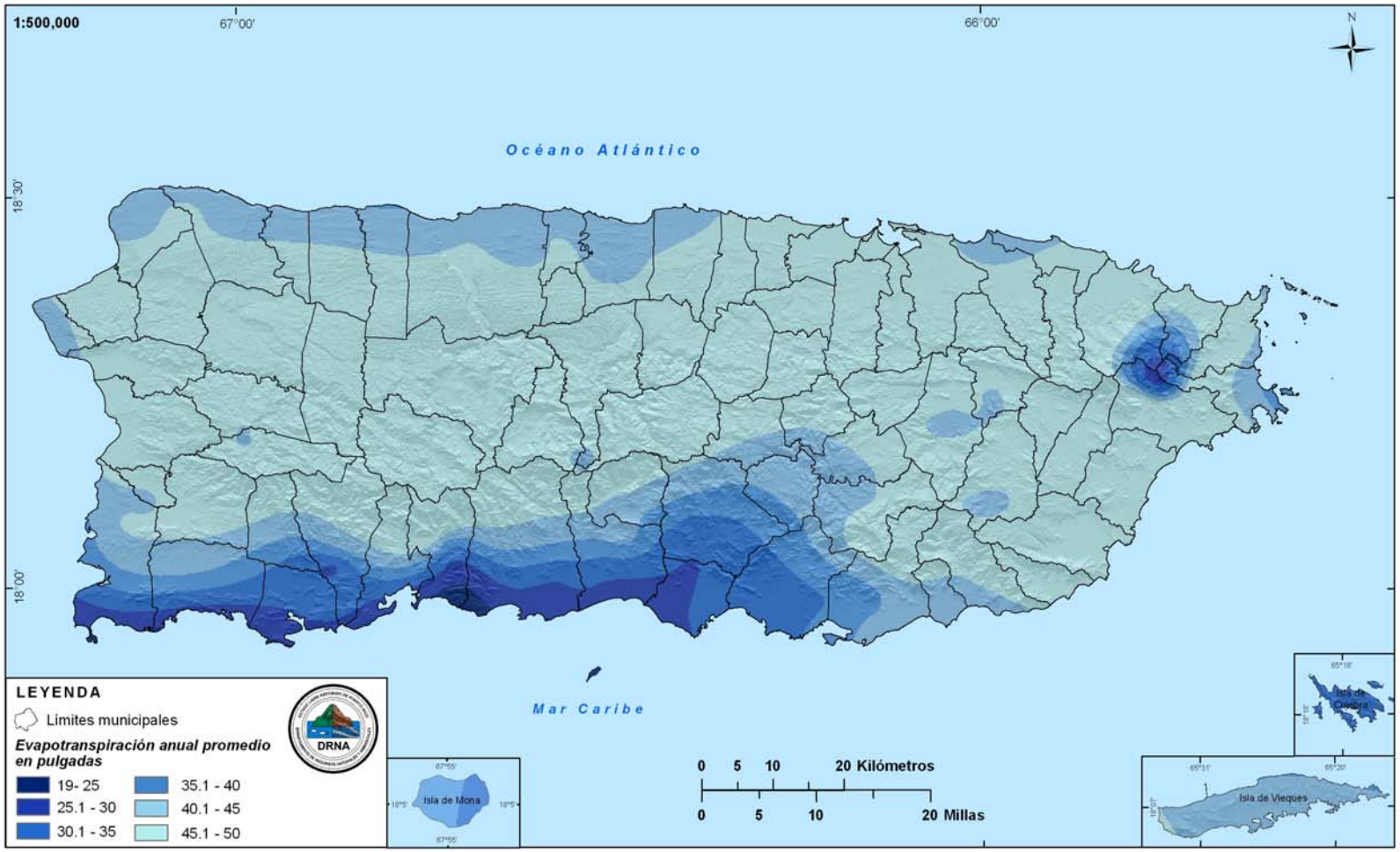
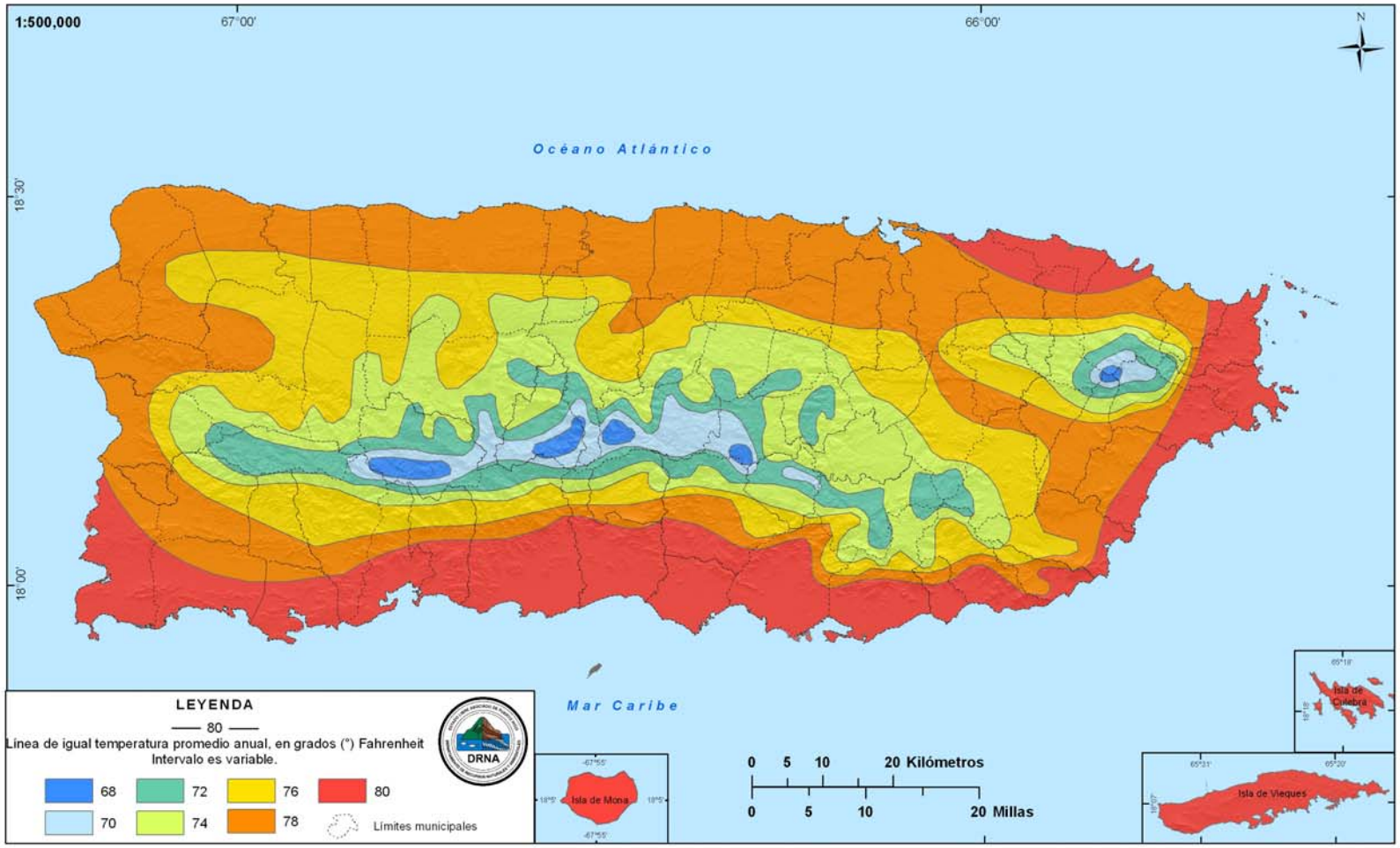


Ilustración 2-2. Temperatura promedio en Puerto Rico



2.1.3 Vientos

Los vientos afectan el ciclo hidrológico y los recursos de agua directa e indirectamente (véase Ilustración 2-3). 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 de agua y la evapotranspiración en 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.

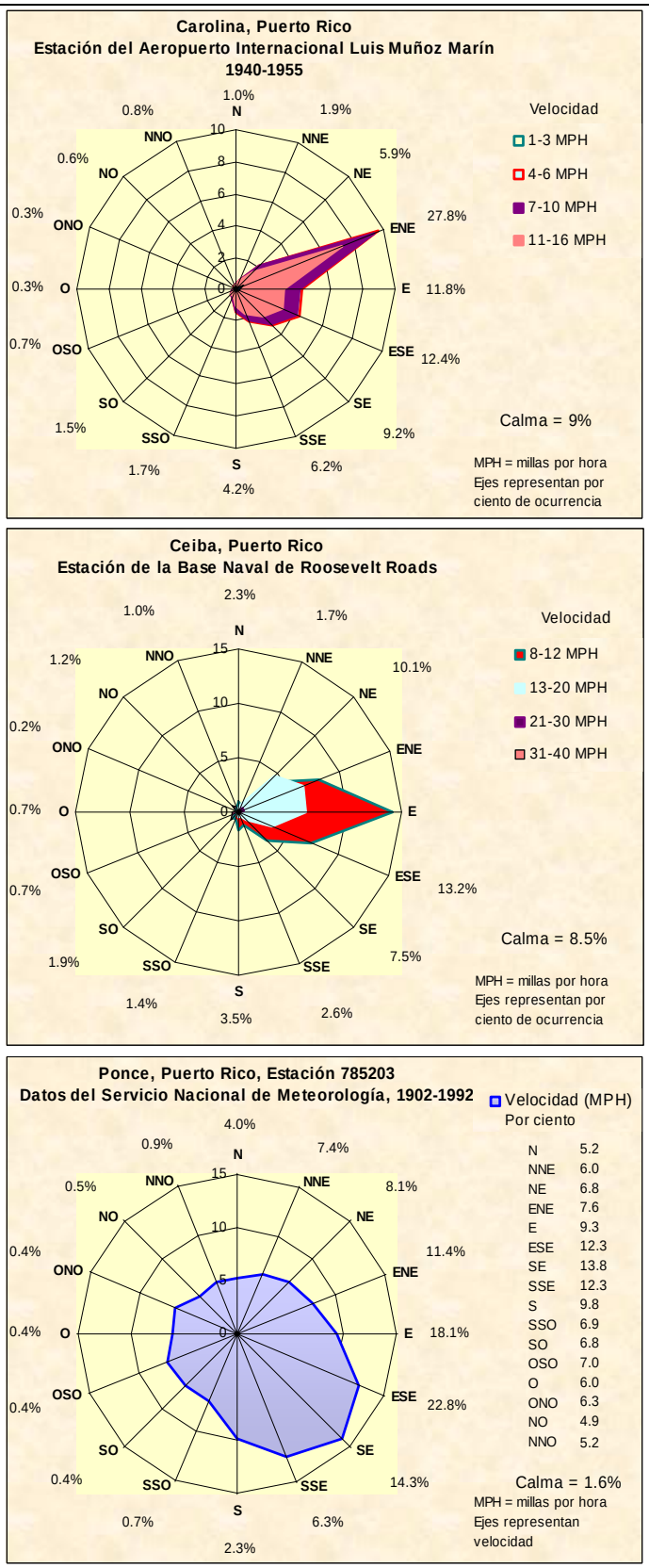


Ilustración 2-3. Rosa de los vientos típicos en Puerto Rico

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 su hidrografía y recursos de agua. 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 presenta en la Ilustración 2-4. La variación en elevación desde la costa hasta los montes de la Cordillera Central es importante en la hidrografía 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. 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 construidos 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 flujos pico de agua fresca juegan un papel importante en el ciclo ecológico de los ríos y los estuarios. En los estuarios, empujan temporalmente 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 desembocadura de algunos ríos, permitiendo el flujo ininterrumpido del agua al mar. Estos eventos 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.

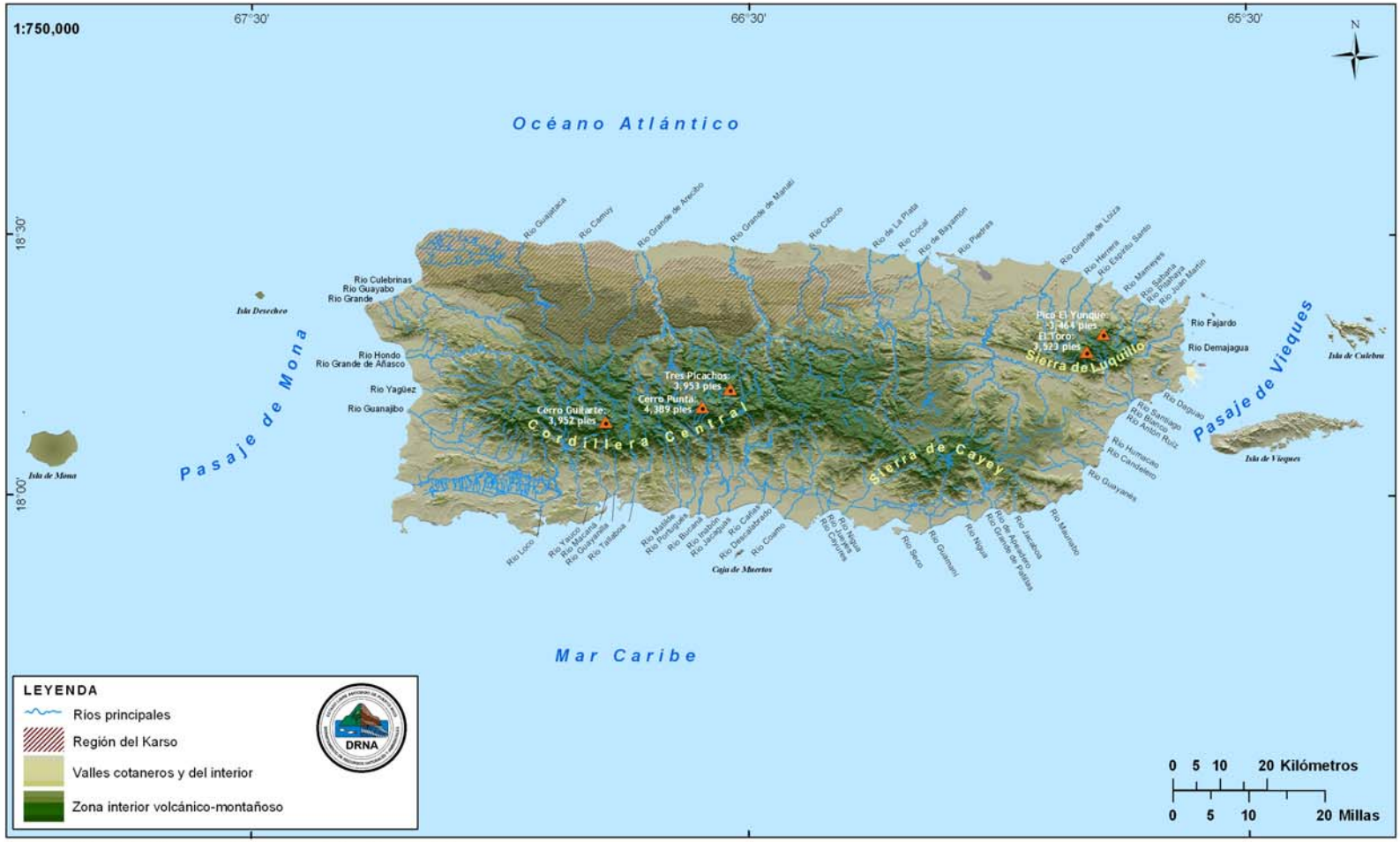


Ilustración 2-4. Topografía general de Puerto Rico

2.3 Suelos

Los suelos de Puerto Rico contribuyen al balance hidrológico de la isla al afectar la escorrentía e infiltración, así como la erosión y transporte de sedimentos. En general, los suelos en las cuencas hidrogeológicas 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 presentan en la Ilustración 2-5.

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. El 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 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.

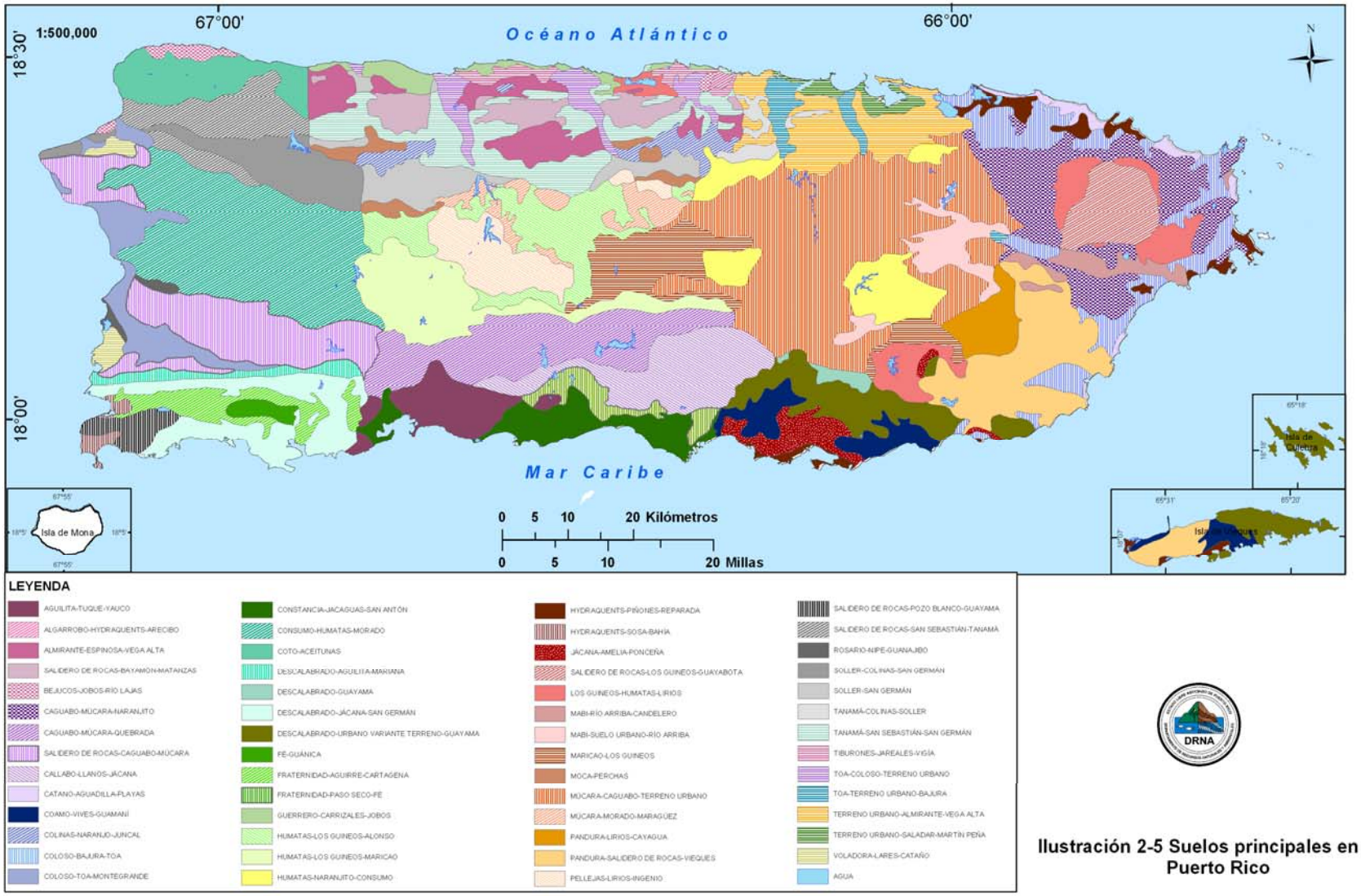


Ilustración 2-5 Suelos principales en Puerto Rico

2.4 Geología

La geología de Puerto Rico es variada. 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 Ilustración 2-6.

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.

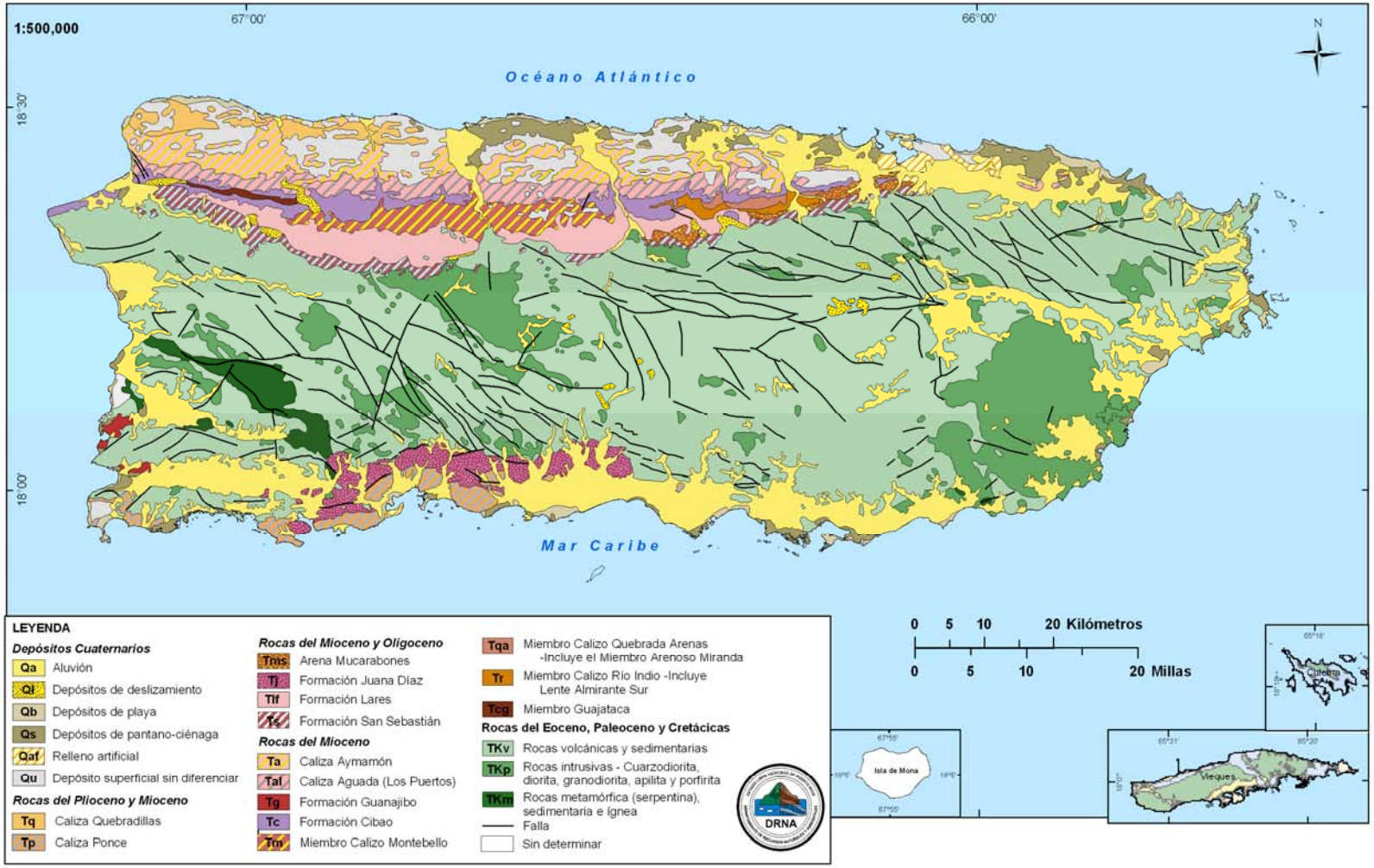
En la Región Sur, depósitos aluviales con espesores de hasta 2,000 pies descansando sobre rocas volcánicas forman una serie de acuíferos aluviales, extendiéndose en tres provincias desde Patillas hasta Guánica. Estos acuíferos proveen aproximadamente el 50 por ciento del agua (25 mgd) para usos domésticos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

Ilustración 2-6. 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 hidrogeológicas 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 Ilustración 2-7 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. Los cambios en los usos de terreno en la Isla continúan afectando la hidrología de ésta y los recursos de agua.

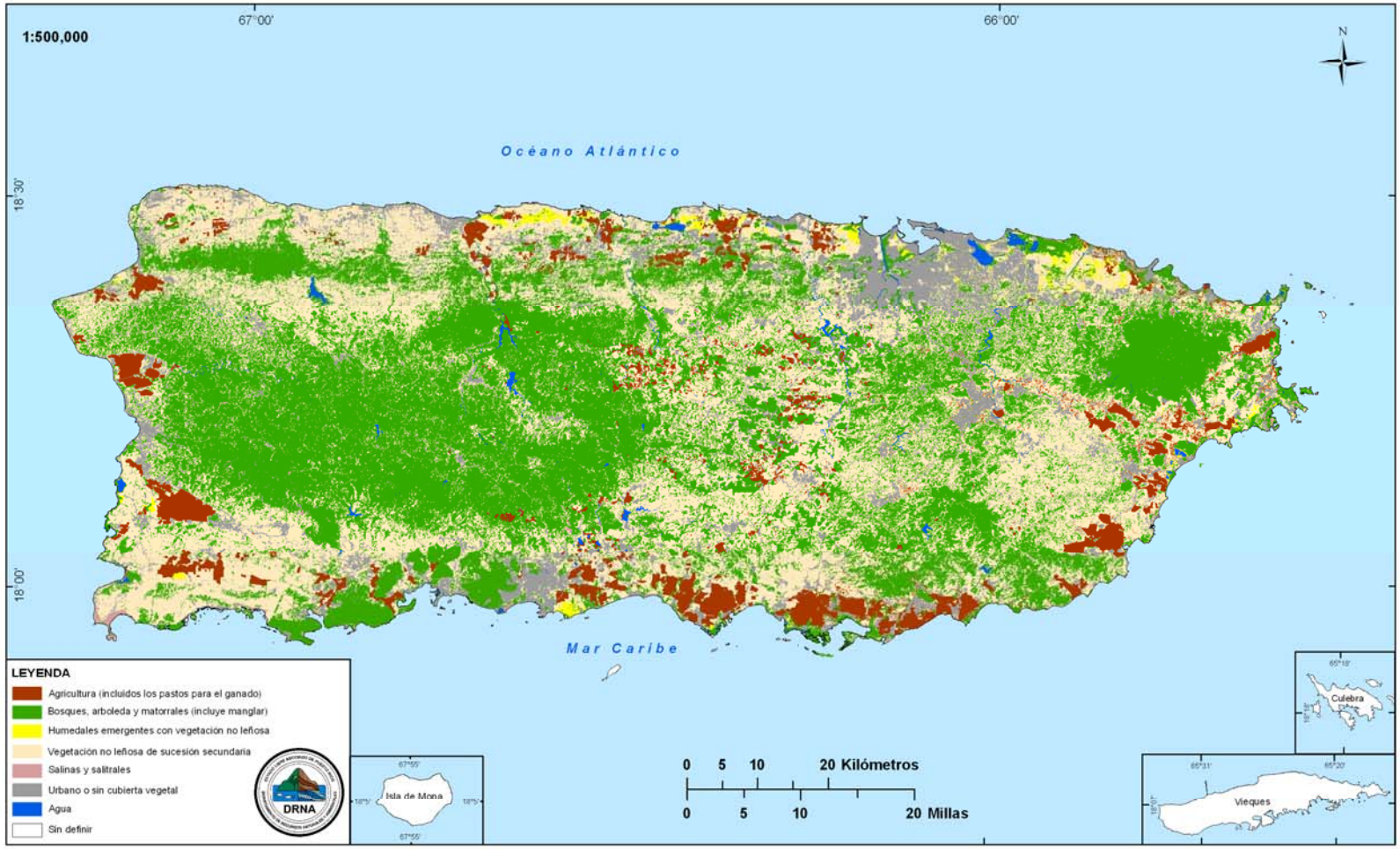


Ilustración 2-7. Mapa general de uso de suelos en Puerto Rico en el 1991

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 Hidrología

La geología, el clima y la topografía de Puerto Rico han resultado en un gran número de cuencas hidrogeológicas que forman un sistema complejo de ríos y acuíferos. Las cuencas se denominan primarias, secundarias o terciarias, dependiendo de su área de captación y caudal de agua.

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 presentan en la Ilustración 2-8.

2.6.1 Ríos, embalses y lagunas

Los recursos hidrológicos superficiales en Puerto Rico incluyen los ríos, 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.

Ilustración 2-8. Cuencas y ríos principales en Puerto Rico

o

2.6.2 Ríos

Puerto Rico cuenta con 224 ríos y 553 quebradas con nombres. Muchos de estos ríos y quebradas son tributarios de otros, como en el caso del Río Grande de Loíza cuya cuenca incluye los ríos Canóvanas, Canovanillas, Bairoa, Turabo, Gurabo, Caguitas y Valenciano, más un gran número de quebradas. Existen 55 ríos principales que descargan hacia el mar (véase Ilustración 2-8) y las características de 24 de éstos se presentan en la Tabla 2-2. En Culebra y Vieques no hay 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 (Ilustración 2-8) 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 a los acuíferos de la zona de rocas calizas a través del gran número de sumideros y cavidades porosas en dicha Región.

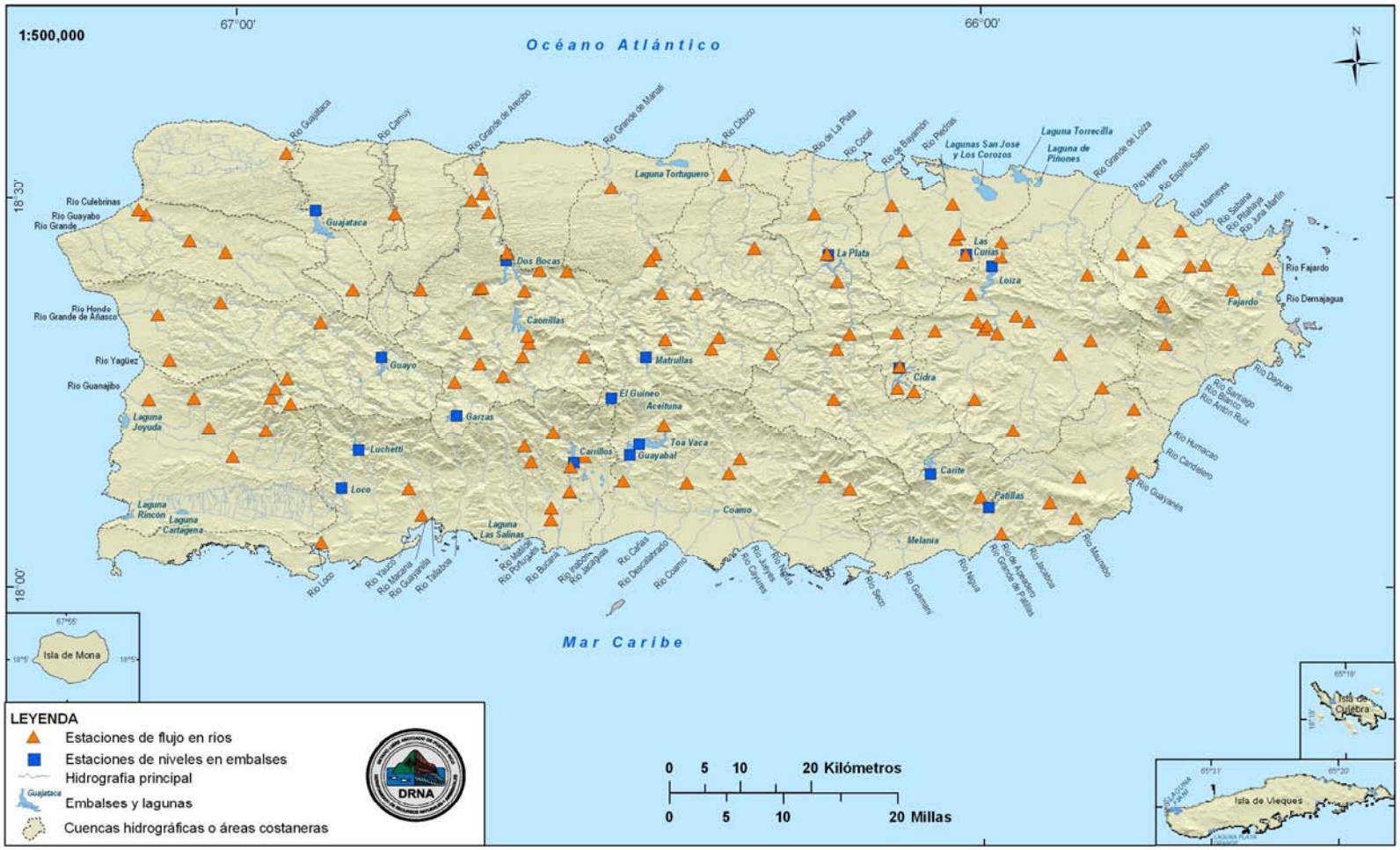
Los ríos más importantes drenan las regiones Norte y Oeste, donde se encuentran las cuencas principales. El análisis de las cuencas en la Isla indica que aproximadamente el 67% del drenaje superficial fluye desde la Cordillera Central hacia los valles costaneros de la Región Norte (Aguadilla hasta Fajardo).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

Tabla 2-2 Características de los Ríos principales Puerto Rico

Nombre/Cuenca	**Área (mi^2)**	**Largo del río (millas)**	**Caudal** (acres-pies/año)	**Embalses**
Río Guajataca	54.99	26.3	70,830	Guajataca
Río Grande de Arecibo	259.61	32.6	348,160	Adjuntas Caonillas Jordán Dos Bocas Garzas Pellejas Viví
Río Grande de Manatí	234.82	56.8	275,820	El Guineo Matrullas
Río Cibuco	91.57	23.8	88,620	
Río de La Plata	241.20	62.2	210,530	Carite Comerío I Comerío II La Plata
Río de Bayamón	89.89	30.3	92,910	Cidra
Río Piedras	26.00	10.7	61,920	Las Curías
Río Grande de Loíza	289.95	44.1	236,890	Loíza
Río Espíritu Santo	26.17	12.6	122,140	
Río Mameyes	15.58	9.5	93,050	
Río Fajardo	26.18	16.4	75,900	Fajardo
Río Blanco	27.67	9.2	82,280	Blanco
Río Grande de Patillas	29.05	14.6	63,170	Patillas
Río Nigua (Salinas)	52.76	10.5	15,740	
Río Coamo	83.99	23.3	18,840	Coamo
Río Jacaguas	59.85	24.7	39,310	Guayabal Toa Vaca
Río Bucaná	28.45	5.7	54,830	Cerrillos
Río Portugués	20.33	18.4	19,200	
Río Guayanilla	25.14	15.5	50,540	
Río Yauco	46.09	24.4	46,500	Luchetti
Río Loco	24.73	21.6	46,500	Loco
Río Guanajibo	127.21	23.8	136,860	
Río Grande de Añasco	180.82	34.8	311,490	Guayo Prieto Yahuecas
Río Culebrinas	103.32	37.3	291,010	
Total	2,165.38	588.8		29

El manejo efectivo de los recursos de agua depende en gran medida de la disponibilidad de datos sobre los diferentes componentes de la hidrología. El USGS mantiene una red amplia de colección de datos hidrológicos que opera continuamente desde 1957. Estos datos permiten analizar los elementos de la hidrología que son de relevancia para el Plan Integral. Los datos disponibles del USGS, los cuales pueden obtenerse directamente en el Internet, incluyen las descargas en los ríos principales 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 Ilustración 2-9.

Ilustración 2-9. Red de estaciones de medir flujos en los ríos en Puerto Rico operadas por el Servicio Geológico Federal



Fuente: Servicio Geológico Federal, 2002

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

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 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
	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

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 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
	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 mil millones 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 mil millones 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.

2.6.3 Embalses

En Puerto Rico no hay lagos naturales, pero existen 36 embalses, 21 de ellos considerados obras mayores construidas por el Estado. El primer embalse, Carite, se construyó en el año 1913, mientras que el más reciente, el embalse del Río Fajardo, comenzó a operar en el 2006. Actualmente se está construyendo un nuevo embalse en el Río Blanco de Naguabo y en etapa de planificación se encuentran los embalses Valenciano y Beatriz. Una característica distintiva de estos dos embalses nuevos es que han sido construidos fuera del cauce del río para reducir la sedimentación y los impactos ambientales. Varios de los embalses pequeños ya están totalmente sedimentados.

La Laguna Tortuguero y la Laguna Cartagena son lagunas de agua dulce naturales, las únicas que quedan en la Isla. La Laguna Guánica también tenía agua dulce, antes de ser drenada en el año 1952 para aumentar el área de producción agrícola en el Valle de Lajas. El Caño Tiburones también fue drenado para uso agrícola.

La ubicación general de los embalses principales se presenta la Ilustración 2-10, mientras que sus características principales se resumen en la Tabla 2-5.

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, 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.

Otro de los usos de los embalses 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), Patillas (Patillas-Guayama-Salinas), e Isabela (Isabela-Aguadilla). Los embalses suplen hasta 40 mgd a estos sistemas de riego.

Los embalses también son utilizados para la producción de aproximadamente el 1.9% de la energía eléctrica que genera la AEE. En el 2003 la AEE generó unos 165,700 megavatios en cinco sistemas hidroeléctricos a través de la Isla. Esta energía a bajo costo se utiliza para suplementar demandas durante períodos picos y mantener una base de electricidad durante períodos de emergencia. 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 energía hidroeléctrica que se genera al presente.

Los embalses son también fuente de recreación en forma de navegación, pesca deportiva y recreación pasiva. 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 pueden 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, algas y ciertas especies de aves 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.

Ilustración 2-10. Embalses y lagunas principales en Puerto Rico

Fuente: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2003

Tabla 2-4. Características de los embalses principales en Puerto Rico

Caracterís-ticas	Caonillas	Carite	Cerrillos	Cidra	Coamo	Dos Bocas	El Guineo	Fajardo	Garzas	Guajataca	Guayabal	Guayo	La Plata	Loco	Loíza	Lucchetti	Matrullas	Patillas	Prieto	Toa Vaca	Yahuecas
Cuenca hidrográfica	Río Grande de Arecibo	Río de La Plata	Río Bucaná	Río Baya-món	Río Coamo	Río Grande de Arecibo	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 Jaca-guas	Río Grande de Añasco
Municipio en que está ubicado	Utuado	Guayama	Ponce	Cidra	Santa Isabel	Arecibo y Utuado	Ciales y Oroco-vis	Fajardo	Adjuntas	Isabela, Quebradillas y San Sebastián	Juana Díaz y Villalba	Adjuntas y Lares	BayamónNaranjito y Toa Alta	Yauco	Caguas, Gurabo y Trujillo Alto	Yauco	Orocovis	Patillas	Lares y Maricao	Villalba	Adjuntas
Año en que se construyó	1948	1913	1991	1946	1914	1942	1931	2004	1943	1928	1913	1956	1974	1951	1953	1952	1934	1914	1955	1972	1956
Dueño	AEE	AEE	DRNA	AAA	AEE	AEE	AEE	AAA	AEE	AEE	AEE	AEE	AAA	AEE	AAA	AEE	AEE	AEE	AEE	AAA	AEE
Usos principales	AAA, Hidro-eléctrico	AAA, Riego	AAA, Control de inunda-ciones	AAA	Riego	AAA, Hidro-eléctrico	Hidro-eléctrico	AAA	Hidro-eléctrico	AAA, Riego	Riego	AAA, Riego, Hidro-eléctrico	AAA	AAA, Riego Hidro- eléc-trico	AAA	Riego, AAA, Hidro-eléctrico	Hidro-eléctrico	AAA, Riego	Hidro-eléctrico	AAA, Riego	Hidro-eléctrico
Tipo represa	H	T	E [d]	H	H	H	E [d]	T	T	T	C [j]	H	H	H	H	H	T	T	H	T	H
Área captación (mi^2)	85.5 [a]	8.20	17.4	8.26	66	170 [a]	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
Elevación tope del vertedor, en pies sobre el nivel del mar	826	1,784	611	1,322	160	295	2,960	179	2,415	664	331	1,460	155	230	135	570	2,455	191	1,485	541	1,471
Largo total de la represa en pies	815	500	1,560	541	*	1,320	565	1,040	910	1,040	1,980	555	774	600	689	571	710	1,070	247	1,740	450
Altura de la represa en pies	235	104	323	105	65	188	125	115	202	123	130	190	131	72	98	178	120	147	98	215	90
Área superficial del embalse en millas cuadradas (mi^2)	1.04	0.46	0.82	0.41	*	0.99	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
Profundidad máxima en pies	131	66	290	61	*	74	72	176	98	89	43	126	89	30	59	84	71	79	32	177	21
Profundidad promedio en pies	51	29	91	18	*	23	33	164	42	41	14	47	35	9.8	17	36	33	31	12	65	5.4
Capacidad original en acres-pies	45,100	11,300	47,900	5,300	2,830	30,400	1,860	4,455	4,700	39,300	9,580	15,565	32,600	1,950	21,700	16,500	3,010	14,300 [q]	621	55,900	1,430
Capacidad según estudio más reciente en acres-pies y fecha (mes, año)	34,300 (feb 2000)	8,710 (oct 1999)	N.D.	4,670 (nov 1997)	115 (1968)	14,600 (oct 1999)	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)
Capacidad estimada para el año 2004 en acres-pies	33,400	8,560	47,300	4,580	*	13,200	1,520	4,455	4,060	33,900	4,800	13,100	27,800	604	14,700	9,060	2,480	10,600 q	107	51,700	69.6
Capacidad restante para el año 2004	74	76	99	86	*	44	82	100	86	86	49	84	85	31	68	55	82	76 q	17	93	4.9

Caracterís-ticas	Caonillas	Carite	Cerrillos	Cidra	Coamo	Dos Bocas	El Guineo	Fajardo	Garzas	Guajataca	Guayabal	Guayo	La Plata	Loco	Loíza	Lucchetti	Matrullas	Patillas	Prieto	Toa Vaca	Yahuecas
en por ciento (%)																					
Tasa de sedimentación promedio en acres-pies/año	209	30	49	12.4	*	277	4.7	NA	10.6	70.6	49.5 k	52.0	161	25.3	245	143	7.6	89.2 q	10.5	131	28.3
Tasa de sedimentación promedio en acres-pies/mi^2/año	2.44	3.66	2.82	1.50	*	1.63	2.85	NA	1.75	2.29	2.35 k	1.93	0.89	3.00	1.18	8.27	1.72	3.54 q	1.09	5.99	1.63
Tasa de sedimentación en toneladas /mi^2/año	3,280	5,020	N.D.	1,990	*	3,570	4,200	NA	1,460	3,080	3,200 k	2,220	1,250	3,890	750	3,250	2,680	4,810 q	2,330	7,670	1,960
Vida útil remanente en años	160	285	958	370	*	48	328	> 2,000 g	385	481	97	269	171	24	60	62	324	126 q	10	394	3
Caudal anual promedio de entrada en acres-pies/año	201,100	31,500	41,500	11,800	*	325,000	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
Tasa promedio anual en que el agua del embalse se renueva	6.0	3.7	0.88	2.6	*	25	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
Estado trófico (datos no publicados del USGS)	Meso-trófico	Meso-trófico	Meso-trófico	Eu-trófico	*	Hiper-trófico	ND	NA	Meso-trófico	Meso-trófico	Hiper-trófico	Eu-trófico	Eu-trófico	Eu-trófi-co	Eu-trófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutró-fico	ND	Eu-trófico	ND

AAA	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados
AEE	Autoridad de Energía Eléctrica
AFI	Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
ELA	Estado Libre Asociado de Puerto Rico
JCA	Junta de Calidad Ambiental
NA	No aplica
ND	No determinado
USCOE	U.S. Army Corps of Engineers
USGS	U.S. Geological Survey
mi^2	millas cuadradas
mgd	millones de galones por día
acre-pie	43,560 pies cúbicos = 325,851 galones
*	Sedimentado, en proceso de restauración

Algunos de los embalses 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 éste es un factor fundamental en la erosión de las cuencas, es también cierto que las tasas naturales de erosión en las zonas tropicales son altas. Estudios del USGS luego del Huracán Hugo (Simon, 1990), establecen que la cantidad de derrumbes ocasionados por las lluvias intensas en terrenos escarpados con densidad alta de bosques 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 relevantes desde el punto de vista hidrológico (véase Ilustración 2-10). Estas lagunas contienen agua salobre o salina debido a que se encuentran en los valles costaneros. 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 2-5. 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

*Incluye aguna Santa Teresa I y II, Mandri I-IV.

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 Tortuguero, 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.

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 (Cabo Rojo) y Las Salinas (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 interfase 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 vasta diversidad ecológica. En la mayor parte de los estuarios ribereños se encuentran comunidades de árboles de mangle y otras especies que actúan como residencia temporal 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 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. Las lagunas costaneras conectadas al mar, también, son consideradas estuarios. La Reserva de Bahía de Jobos (JOBNERR) es considerada estuarina porque recibe flujos significativos de agua subterránea. Los estuarios principales en la Isla se presentan en la Ilustración 2-11.

En comparación, en sistemas donde el flujo del río se reduce significativamente durante la época de sequía, la cuña de agua salada se desplaza aguas arriba. Éste 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 durante el período de sequía, formando una especie de laguna de agua fresca hasta que el próximo evento de agua intenso remueve la berma. 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 desembocadura 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.

2.8 Acuíferos

Puerto Rico posee acuíferos relativamente amplios y con capacidad de producir cantidades significativas de agua de alta calidad. 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 sobre la formación de los acuíferos 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 2004 los acuíferos suplieron aproximadamente 147 mgd de agua para todos los usos. Esto incluyó aproximadamente 103.7 mgd de agua de los acuíferos para abasto público, 32 mgd para riego, 11.3 mgd para la industria y generación eléctrica.

Los acuíferos principales en Puerto Rico y sus características se resumen en la Ilustración 2-12 y la Tabla 2-7.

Ilustración 2-11. Estuarios principales en Puerto Rico

Fuente: USGS, 1972-1979

Ilustración 2-12. Acuíferos principales en Puerto Rico

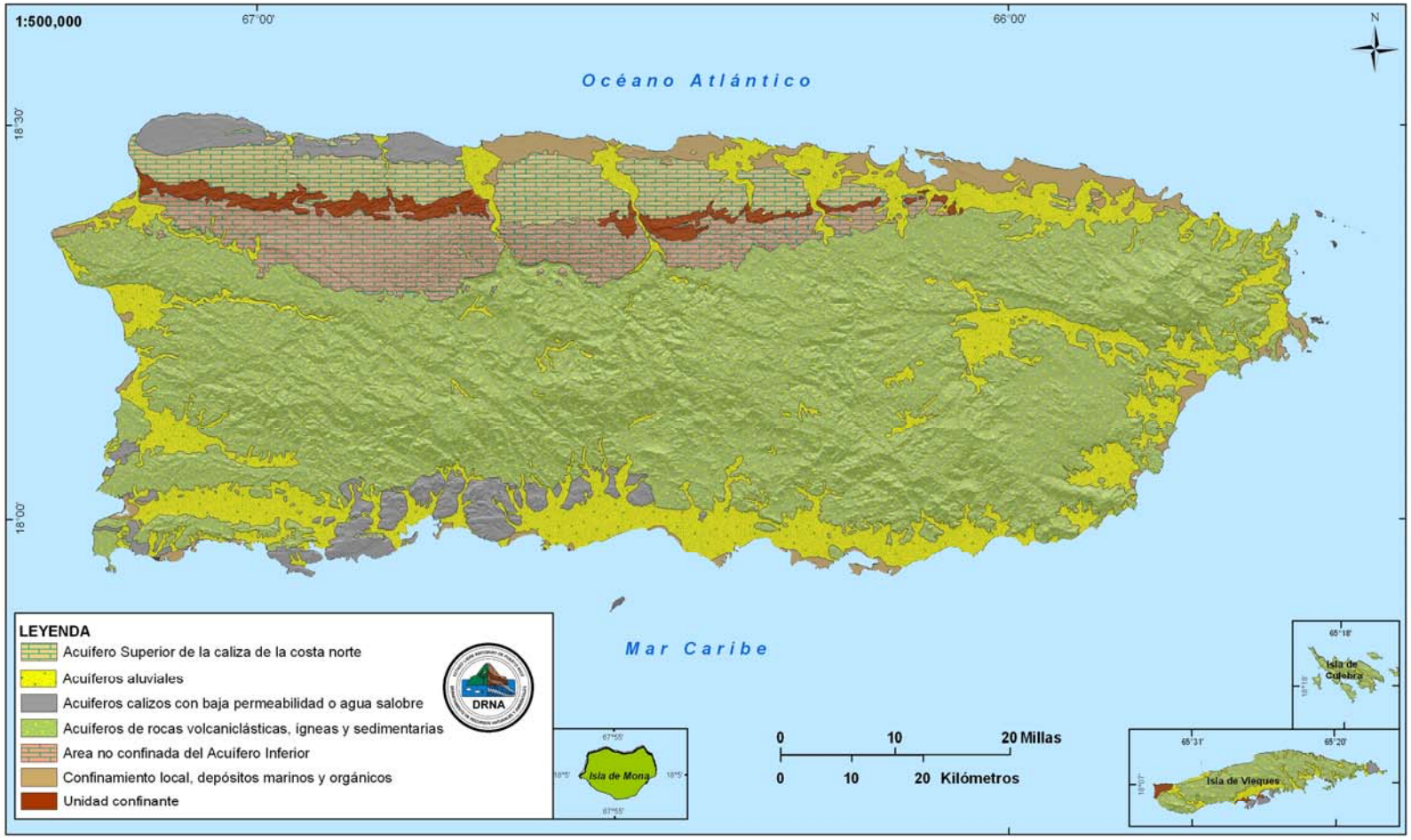


Tabla 2-7. Características generales de los acuíferos principales en Puerto Rico

	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 asuntos 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 Luquillo 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 (véase Ilustración 2-13). 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 de 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 muestra en la Ilustración 2-13. 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.

b. Los acuíferos aluviales de la Región Sur 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, mostrados en las ilustraciones 2-14 y 2-15, están formados generalmente por capas de aluvión depositadas 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.

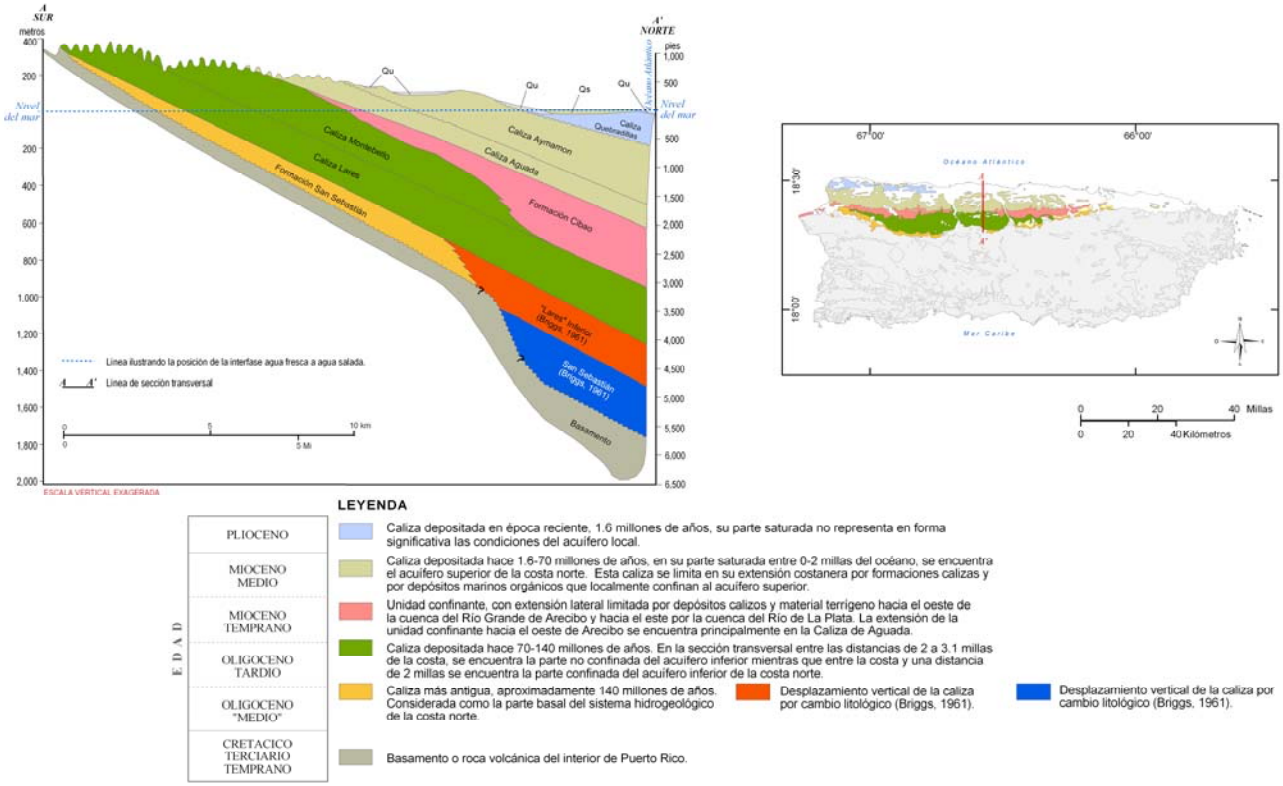
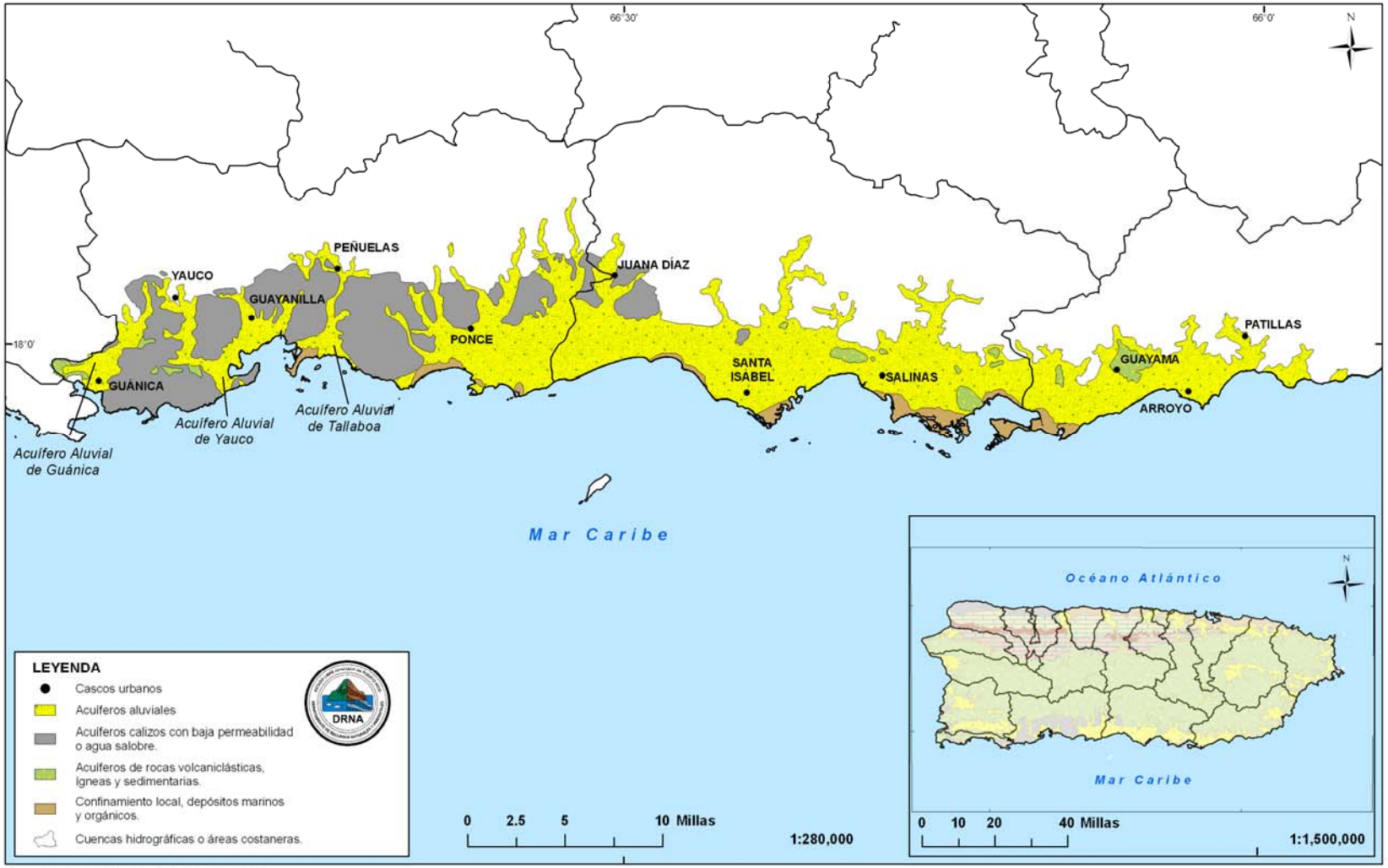


Ilustración 2-13. Sección transversal de los acuíferos de la Costa Norte de Puerto Rico y su extensión lateral

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.

Ilustración 2-14. Acuíferos de la Región Sur o Provincia del Sur de Puerto Rico



Fuente: Modificado del Servicio Geológico Federal, 2000

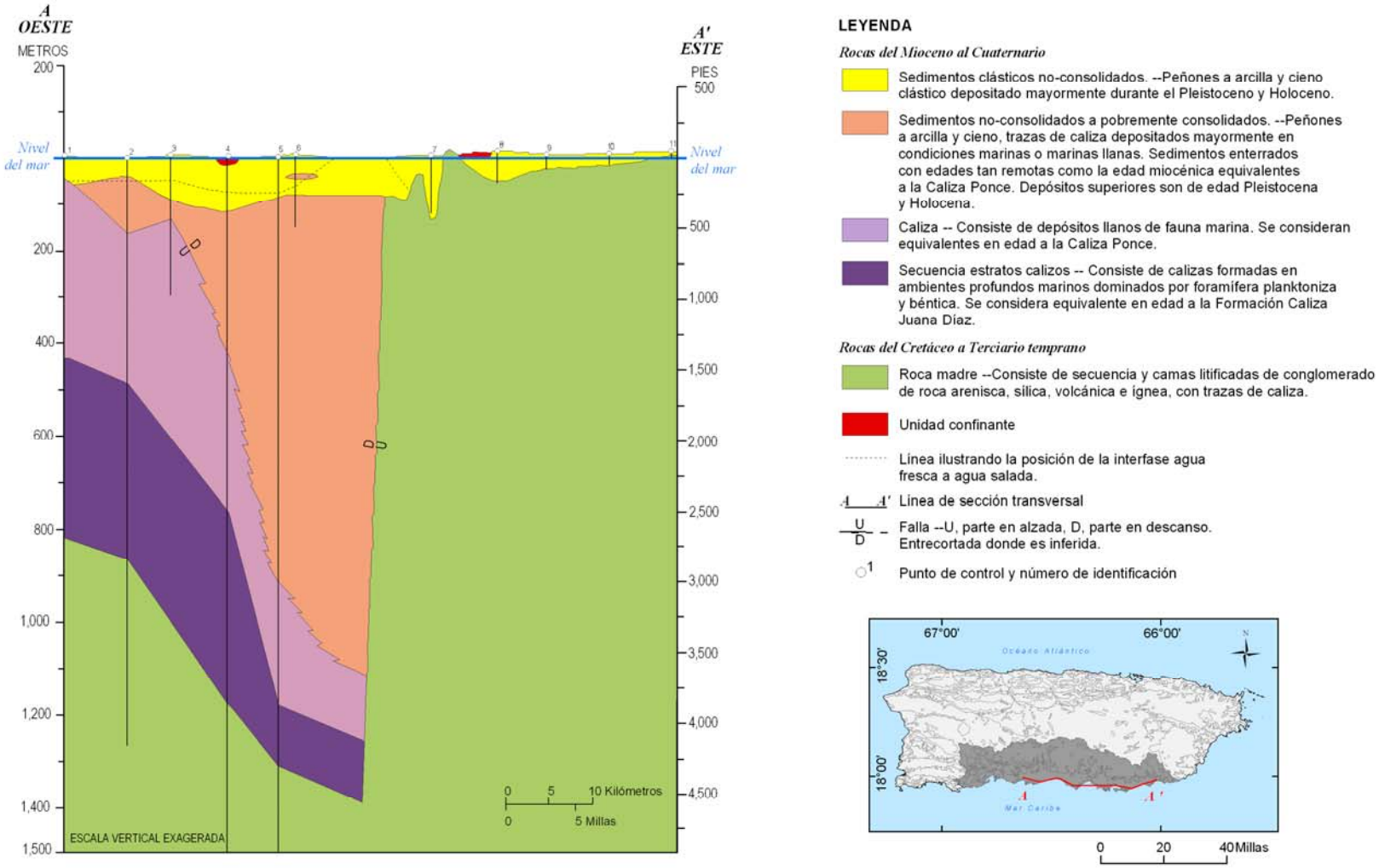


Ilustración 2-15. Secciones transversales de los acuíferos de la Región Sur de Puerto Rico

La implantación del Plan Integral tendrá impactos significativos sobre los acuíferos de la Isla, generalmente positivos. En varios sectores 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. En las áreas de Manatí, Salinas y Santa Isabel las concentraciones de nitratos en los acuíferos han aumentado a niveles que impiden sus usos para agua potable. Las medidas de evaluación y control de los acuíferos que propone el Plan Integral promoverán su conservación y restauración, aunque esto tomará tiempo considerable debido a la complejidad del problema y el costo de rehabilitación.

2.8.1 Los manantiales

Los manantiales son descargas de agua subterránea que afloran a la superficie de acuíferos regionales o locales. En 1988 el DRNA indentificó 250 manantiales y el USGS (Guzmán y otros, 1988) llevó a cabo un estudio donde destaca aquellos de mayor importancia y más caudal (véase Ilustración 2-16 y la Tabla 2-8). Los manantiales no son una fuente significativa de abasto de agua y su potencial no ha sido determinado con precisión.

La implantación del Plan Integral tendrá un efecto positivo sobre los manantiales al reducirse la sobreexplotación de los recursos de agua subterránea.

Ilustración 2-16. Ubicación de los manantiales principales en Puerto Rico

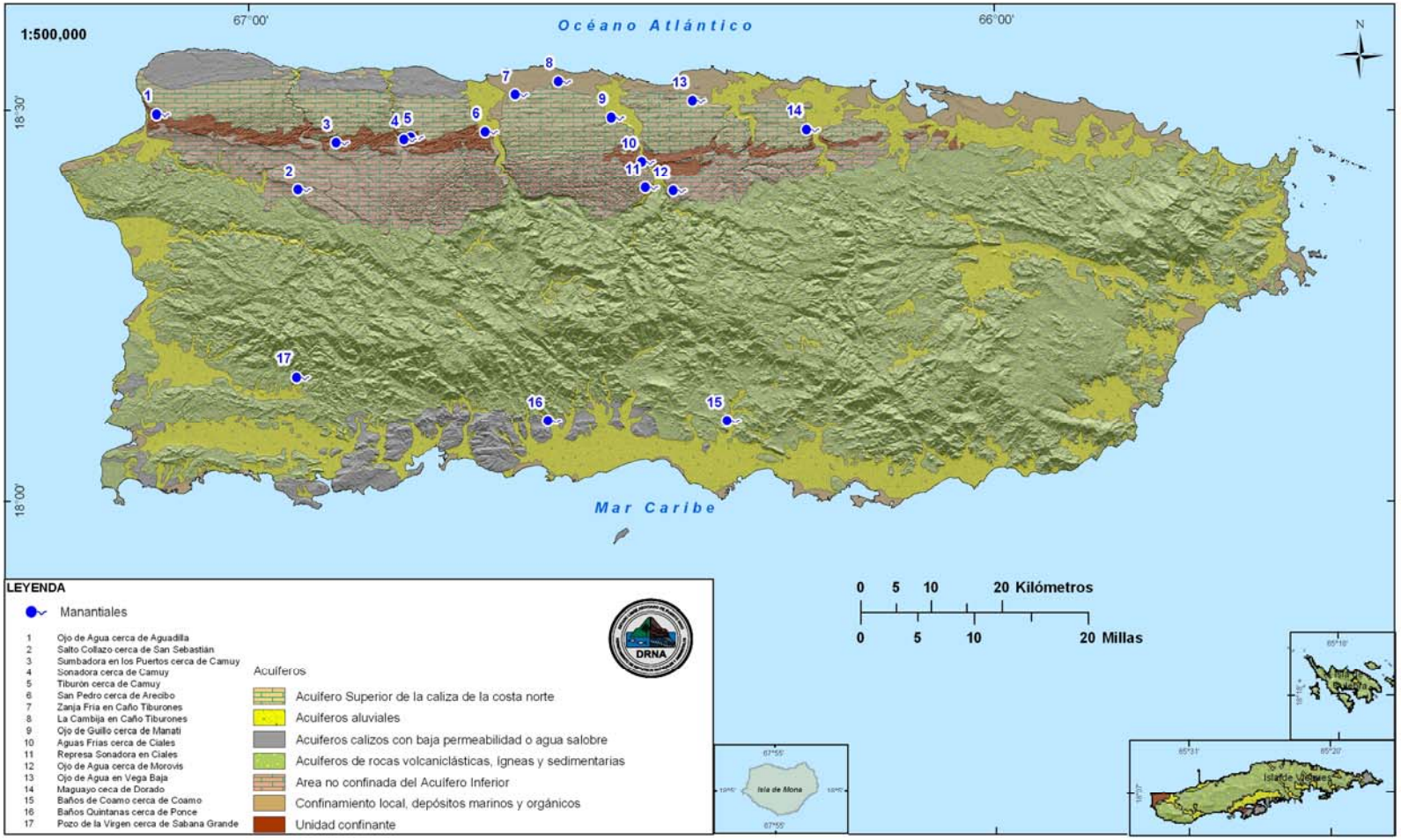


Tabla 2-8. Manantiales principales de Puerto Rico y sus características físicas, químicas y bacteriológicas

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 resultan en escorrentías extremas, ocasionando inundaciones de gran magnitud en las zonas costaneras. Aún en los valles interiores ocurren inundaciones de gran magnitud que afectan zonas urbanas y rurales. La Junta de Planificación estima que aproximadamente 155,000 familias viven en zonas inundables, a pesar de los proyectos de control de inundaciones llevados a cabo por el ELA en cooperación con agencias federales. El Programa Nacional de Seguros de Inundaciones estima en 162,390 las estructuras construidas 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. 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 inundación de FEMA y la JP proveen datos de elevaciones de los niveles de inundación con frecuencias de hasta 100 años (probabilidad de 1% de ocurrir en un año). Las zonas inundables principales de las cuales se disponen mapas de la JP, FEMA y el USGS se muestran en la Ilustración 2-17.

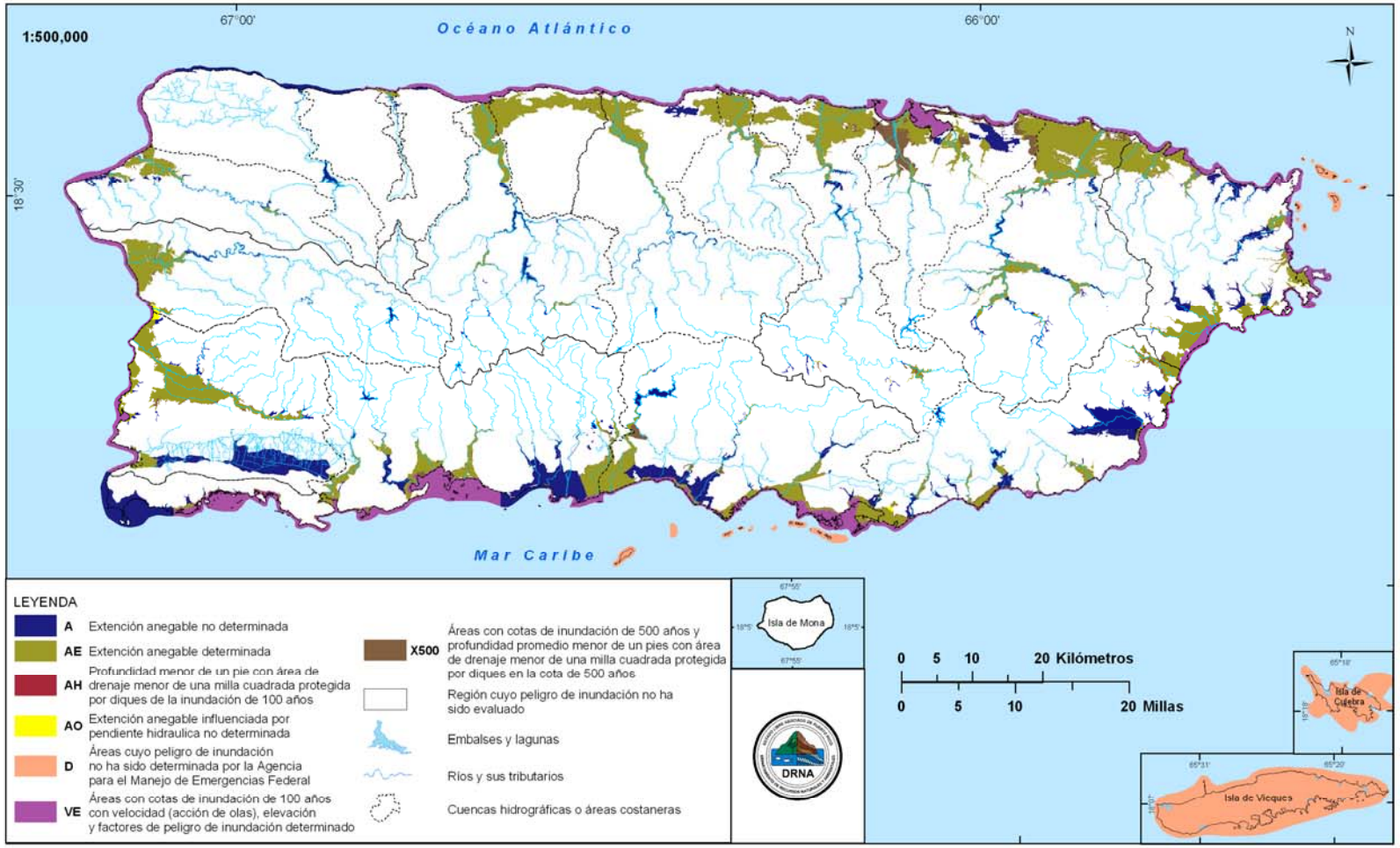
El Reglamento sobre Áreas Especiales de Riesgo a Inundación de la JP establece que las áreas susceptibles a inundaciones se clasificarán por zonas. El mismo toma en consideración su designación en los Mapas de Tasas de Seguro contra Inundaciones, Mapas de Límites de Inundación y del Cauce Mayor o cualquier otra información sobre inundación base y marejadas. Incluyendo además, 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.

Las inundaciones son fenómenos naturales cuya intensidad varía de acuerdo a muchos factores, incluyendo la deforestación y la impermeabilización de las cuencas. Estos factores permiten 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, retrasando 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 una estrategia crucial para el control de las inundaciones.

La implantación del Plan Integral contribuirá a reducir los niveles de las inundaciones en las zonas rurales y urbanizadas en los valles costaneros. 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 prohíban desarrollos adicionales en los valles inundables.

Ilustración 2-17. Zonas inundables en Puerto Rico



Fuente: Agencia para el Manejo de Emergencias Federal, 1999

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 que aproximadamente el 40% de los cuerpos de agua superficiales no cumplen con los estándares de calidad de agua (JCA, 2003). Los estudios del USGS y la JCA demuestran que los contaminantes principales en las aguas superficiales 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 2003 se resumen en la Ilustración 2-18.

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 se ubican. La AAA opera aproximadamente 370 pozos profundos que extraen un promedio de 94 mgd de agua de los acuíferos, principalmente para consumo humano. Las aguas subterráneas 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.

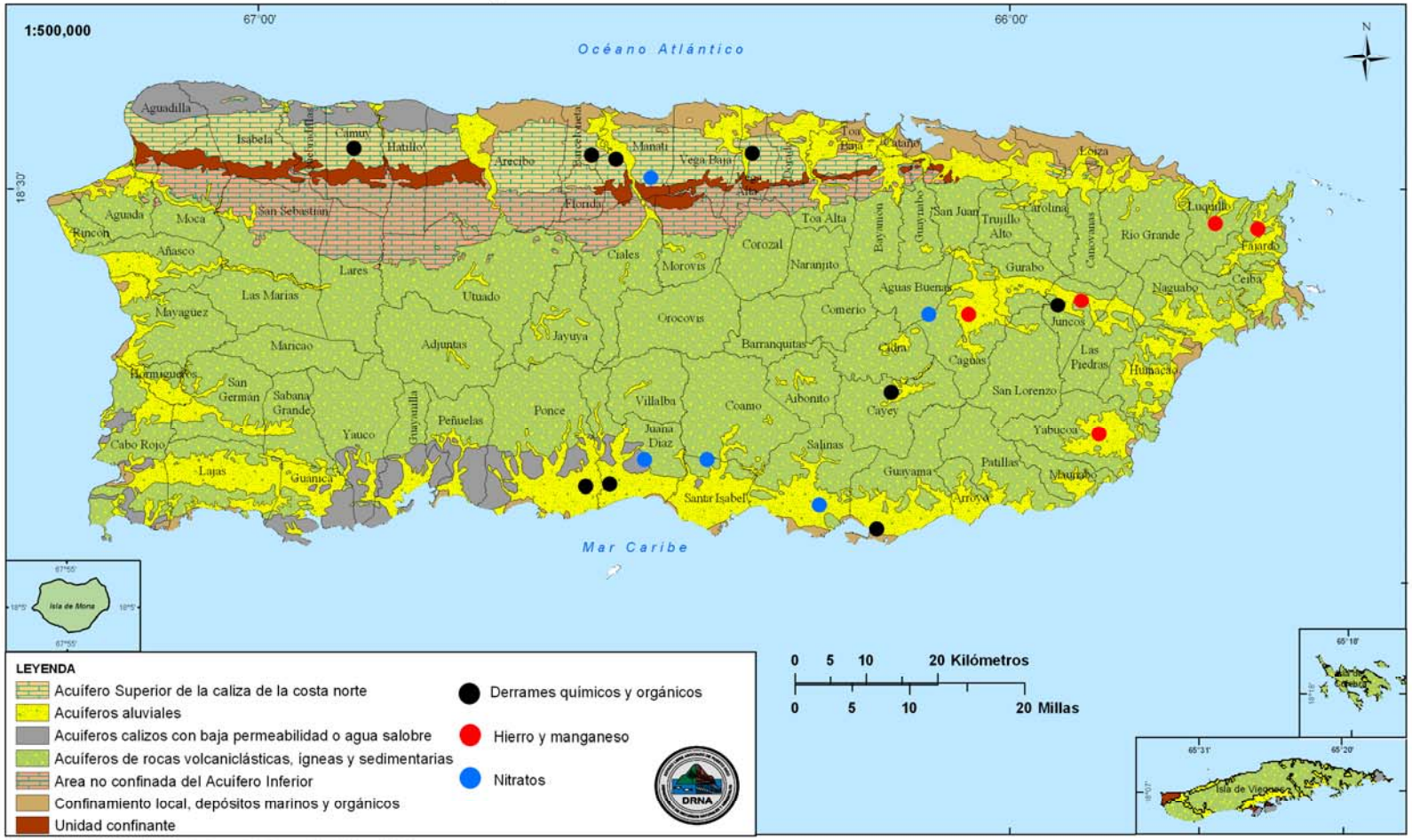
Sin embargo, varios sectores del acuífero llano de la Región Norte y de los acuíferos aluviales de la Región Sur sufren de contaminación química debido a derrames, vertederos antiguos y descargas industriales. Se han identificado aproximadamente 19 lugares en la Isla (véase Ilustración 2-19) donde existe 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 tomará años y requerirá inversiones sustanciales.

Por otro lado, 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.

Ilustración 2-18. Concentración de bacterias de origen fecal en ríos, embalses y lagunas en Puerto Rico para el año 2002

Ilustración 2-19. Lugares principales identificados por la Agencia de Protección Ambiental Federal en Puerto Rico que sufren de contaminación sustancial de las aguas subterraneas



Fuente: Junta de Calidad Ambiental y Agencia de Protección Ambiental, 2000

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 disponibilidad de agua fresca. Estos ecosistemas incluyen los 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 la primera mitad del siglo veinte obedeció al desarrollo de cultivos, principalmente 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 presenta en la Ilustración 2-20; los detalles sobre sus características y tamaño se muestran en la Tabla 2-9.

De importancia especial es el Bosque Nacional El Yunque, 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 agua potable a varias comunidades en las zonas bajas de la región este y al área metropolitana. 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 Carite y Toro Negro presentan características similares y generan cantidades sustanciales de escorrentía que alimentan tributarios de varios 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 de la Isla.

Las actividades que inducirá la implantación del Plan Integral resultarán en impactos positivos a los bosques. 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).
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.

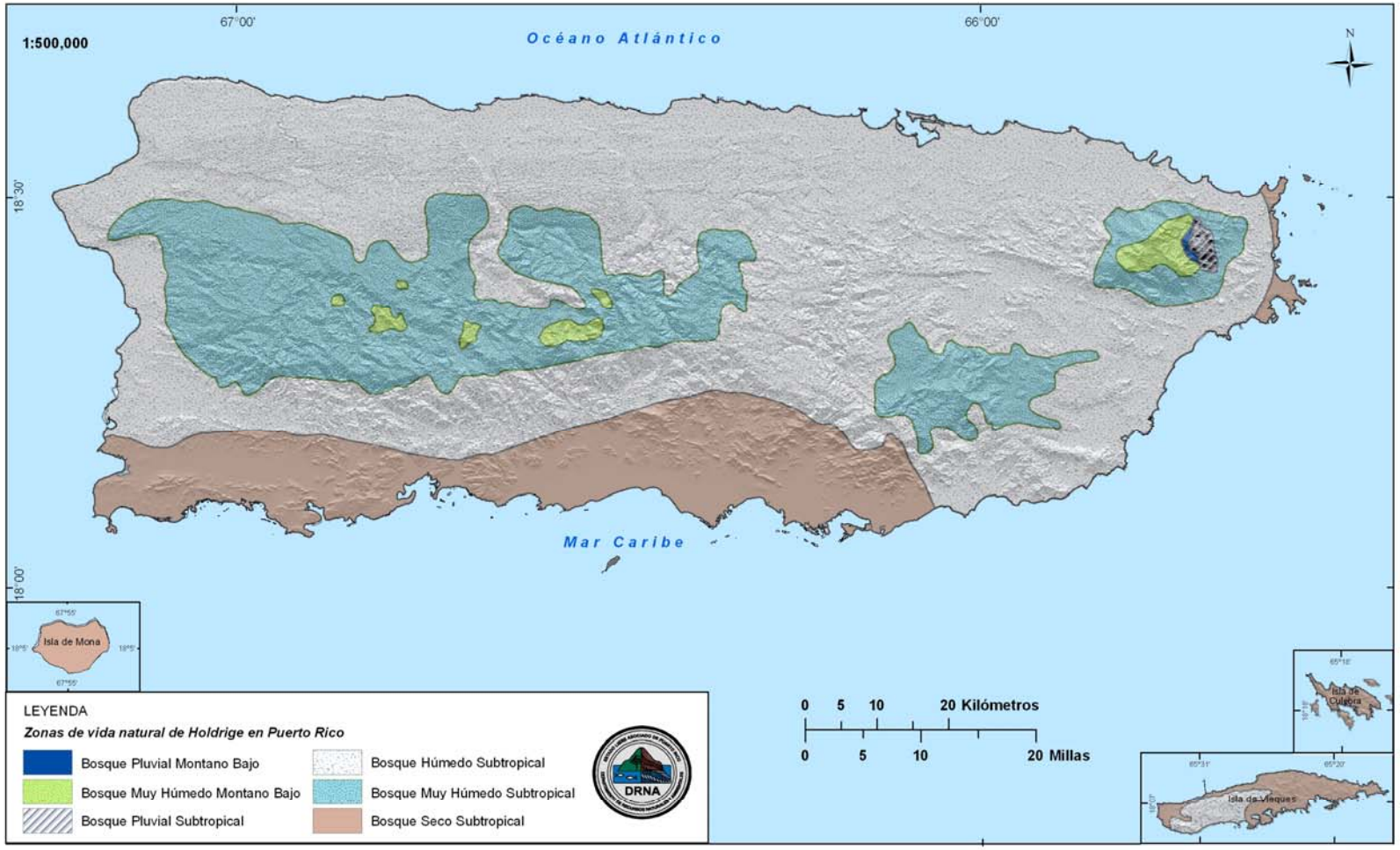
Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
Bosque Nacional del Caribe (El Yunque)	28,000	200	77.9 en las partes más bajs y aproximadamente 65.3 sobre los 1000 metros	Formado por cuatro tipos de bosque: Bosque Pluvial o de Bajura, Bosque 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.
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.
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.

Bosques	Área (cuerdas)	Precipitación Promedio Anual (pulgadas)	Temperatura Grados (Fahrenheit)	Características
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 prístina conservación lo hace único en Puerto Rico.
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.
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 [1]Casa Pueblo Apartado 704, Adjuntas, P.R. 00601
*Valores aproximados obtenidos de la Junta de Planificación
+Se proveerá la información más adelante

Ilustración 2-20. Zonas boscosas de Puerto Rico



Fuente: Servicio Forestal Federal, 1973

2.11.2 Humedales

Los humedales son aquellas áreas que han sido inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas, donde se mantienen comunidades de flora y fauna adaptadas a estas condiciones particulares. Los humedales incluyen generalmente ciénagas, pantanos, terrenos fangosos y similares, los cuales 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 extensión original se estimó en 61,800 cuerdas para el año 1975, se redujeron a menos de 23,000 cuerdas (DRNA, 1998). 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 Puerto Rico. El mantenimiento de flujos ambientales 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*), que se refiere a una región geomorfológica formada predominantemente de roca caliza. En la misma se encuentran estructuras tales como sumideros, mogotes y murallones. 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 (véase Ilustración 2.6). 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 ocasionará efectos e impactos positivos en la Región del Karso. El mantenimiento de flujos ambientales 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

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 y acantilados. El DRNA es responsable del manejo de la zona costanera y de 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. Las especies incluidas en el Inventario del Patrimonio del DRNA 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 ambientales 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 y 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
	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

Flora Categorías	Familia	Nombre		Designación
		Científico	Común	
	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
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

	Familia	Nombre		Status
		Científico	**Común**	
		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
Reptilia	AMPHISBAENIDAE	*Amphisbaena bakeri*	Culebra de dos Cabezas	E
	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. Los habitantes originales 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, no existen conflictos aparentes significativos entre ambas actividades, excepto por el posible desarrollo de embalses adicionales. Estos embalses pudieran tener impactos directos sobre yacimientos o sobre estructuras de valor histórico desconocidos al momento.

3. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS ADVERSOS AL MEDIO AMBIENTE

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 cuantificables. 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. La DIA-E-A sirve de marco general para los documentos ambientales subsiguientes, sean estos Evaluaciones Ambientales o Declaraciones de Impacto Ambiental.

3.1 Evaluación general de los posibles impactos ambientales del Plan

La adopción del Plan Integral de Recursos de Aguas de Puerto Rico tendrá como resultado un mejoramiento significativo de la condición del recurso agua y en general del medio ambiente natural, social y económico del País. Al ser elaborado en el marco de la sostenibilidad, el Plan reconoce las tres dimensiones (desarrollo económico, equidad social y protección ambiental) sobre las que sus recomendaciones deben propiciar resultados positivos.

A tono con lo anterior, las recomendaciones y las estrategias contenidas en el Plan parten, en primer lugar, de la necesidad de aprovechar eficientemente el recurso, lo que implica reducir la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de abasto y evitar con ello los costos sociales y ambientales asociados a proyectos de aumento en disponibilidad.

En segundo lugar, y como parte de los esfuerzos por lograr la sostenibilidad, el Plan hace énfasis en la necesaria implantación de estrategias que reduzcan las pérdidas en el sistema de distribución de agua potable y la incorporación del manejo de la demanda.

En tercer lugar, el Plan persigue asegurar el rendimiento e integridad de las fuentes del recurso. Los usos del agua deben garantizar que la que se devuelve al ecosistema sea de una calidad y características físicas que no interfiera con otros usos aguas abajo del lugar

donde ocurre la actividad. Los niveles de concentración de contaminantes y la adecuacidad del sistema para sostener la vida acuática son elementos claves a considerar en la planificación de estos usos.

En cuanto a los usos de naturaleza extractiva, el Plan es claro en que se debe asegurar que la explotación del recurso no produzca un deterioro que limite su disponibilidad futura y se establece que la extracción de agua de fuentes superficiales debe proveer para mantener en el cauce de los ríos y sus estuarios una cantidad de agua con una calidad adecuada para sostener la vida acuática existente.

También, el Plan es enfático en la necesidad de asegurar que las intervenciones en los cuerpos de agua no destruyan los habitáculos ni interfieran con las migraciones entre río y estuario, que las especies requieren para completar su ciclo de vida.

Finalmente, el Plan formula estrategias dirigidas al manejo de la cuenca hidrogeológica reconociendo la interacción estrecha existente entre lo que ocurre en el territorio de la cuenca y su impacto en la calidad y disponibilidad del recurso agua.

3.2 Desarrollo de nuevas fuentes de abastos

El desarrollo de nuevas fuentes de abastos es la acción que podría implicar impactos ambientales adversos.

En cuanto a los embalses, el estudio de sitios con potencial para la construcción de los mismos, preparado para AFI, reveló las siguientes limitaciones:

- Tienen costos económicos altos. El costo de construcción de un embalse es generalmente superior a $5 millones por cada mgd de rendimiento seguro. Este costo se limita a los costos de construcción de la represa y la compra de terrenos y no incluye el costo de la planta de filtración y otra infraestructura.

- Los embalses convencionales no se consideran sostenibles porque pierden su capacidad rápidamente debido a la sedimentación.

- Tienen impactos sociales grandes debido a que las construcciones residenciales y el desparrame urbano está progresivamente ocupando los sitios más aptos para la construcción de los embalses obligando el desplazamiento de dichas familias.

- Tienen impactos ambientales adversos, incluyendo el consumo de grandes áreas de terrenos (más de 1,000 cuerdas en algunos de los embalses potenciales de mayor capacidad) y la interrupción de vías migratorias acuáticas.

En efecto, los lugares adecuados para la construcción de embalses en Puerto Rico son muy limitados y están siendo amenazados por la presión de desarrollo. Algunas de las áreas identificadas para la construcción de embalses ya no son viables como resultado de construcciones urbanas.

No obstante, el Plan Integral no añade nuevas propuestas a las ya hechas en planes anteriores y sobre las posibles, las circunscribe a cinco:

1. Embalse Q. Beatriz Caguas
2. Embalse Río Casei Añasco
3. Embalse Q. de las Lajas Río Grande
4. Embalse Q. Alicia Aibonito
5. Embalse Valenciano Juncos

De todas formas, el Plan considera la construcción de los posibles embalses dando énfasis a la implantación de estrategias dirigidas a manejar la demanda y reducir las pérdidas de los sistemas de abastos.

De surgir la necesidad, el Plan establece que en el desarrollo de nuevas fuentes de abasto, se asegure que su diseño permita minimizar los problemas que limitan su sostenibilidad, lo que incluye reducir y mitigar sus posibles impactos ambientales.

Finalmente, los probables embalses, por tratarse de obras de gran envergadura y escala, sus impactos ambientales, sociales y económicos requerirán de su correspondiente Declaración de Impacto Ambiental.

En general, el Plan es muy claro en las estrategias que se implantarán para las nuevas fuentes de abastos. Como se señaló en la sección 1.6.1, en el desarrollo de nuevas fuentes de abasto, resulta crítico asegurar que su diseño permita minimizar los problemas que limitan su sostenibilidad:

- Los embalses nuevos deben ser diseñados para evitar la rápida acumulación de sedimentos, lo que disminuye su capacidad y resulta en altos costos de rehabilitación. Toda propuesta para embalses nuevos debe contener un plan de manejo de su cuenca que reglamente los usos y desarrollos en la misma.

- La explotación de aguas subterráneas debe responder a un plan de manejo de aguas donde no se afecte la integridad del acuífero.

- En cuanto a las tomas superficiales, incluyendo los embalses, las mismas deben asegurar un flujo mínimo para mantener las funciones del ecosistemas. Además su diseño debe minimizar el impacto sobre los habitáculos y patrones migratorios de especies, así como reducir el efecto sobre el transporte de sedimentos, arenas y gravas necesarios para mantener el equilibrio dinámico de los llanos, estuarios y el litoral costero.

En lo relacionado al uso de los recursos subterráneos y reconociendo que éstos no han sido explotados de una manera sostenible, el Plan Integral propone las siguientes estrategias para maximizar la tasa de extracción sostenible de los acuíferos:

- Establecer una red de pozos de rastreo permanente y a largo plazo. La red debe consistir de pozos de observación del nivel freático, combinados con pozos para observar las variaciones en la localización del frente de agua salina dentro de los acuíferos costeros.

- Incluir el acopio de datos de calidad como parte de la red permanente. Los datos de extracción de los pozos de la AAA deben ser informados mensualmente, con datos confiables y con una demora de no más de 60 días.

En cuanto al proceso de intrusión salina se recomiendan las siguientes estrategias esenciales para optimizar la extracción de agua desde acuíferos costeros.

- Construcción y operación de pozos: Para maximizar la extracción de agua dulce se requiere que se utilicen pozos más alejados de la costa, de menor profundidad y se sustituyan los pozos grandes por dos o más pozos de menor caudal, mejorando así la distribución de la extracción dentro del acuífero.

- Información de Rastreo: La intrusión salina se detecta cuando el agua con niveles altos de sólidos disueltos empieza a salir por los pozos en producción. Para evitar esta situación se requiere mejor información referente a la localización de la interfase salina dentro del acuífero. La misma se obtiene mediante pozos de rastreo (sin bombeo) que penetren hacia la zona salina para registrar continuamente su comportamiento. Se debe tener también, información referente a la lluvia y otras fuentes de recarga y la tasa de bombeo por los pozos.

- Modelación y Diseño: El diseño de sistemas de bombeo para maximizar la extracción de agua dulce de un acuífero costero requiere datos sobre el comportamiento del sistema, modelos adecuados para guiar tanto el diseño como sus parámetros operacionales y datos de rastreo continuo para indicar cualquier ajuste que se pueda requerir.

3.3 Abastos de agua

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

Según se mencionara anteriormente, el abasto de agua para fines domésticos constituye el uso principal del recurso. También se indicó 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 la construcción de abastos.

La implantación de las estrategias contenidas en el Plan, reducirá la posibilidad de construcción de nuevas fuentes de abastos y la extracción de caudales mayores de los cuerpos de agua. Como resultado, habrá un impacto positivo en la condición ambiental de los ríos y depósitos de agua subterránea.

3.4 Aguas usadas

La implantación del Plan Integral podría aumentar la generación de aguas usadas, al incrementarse el volumen de las mismas como resultado de 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 estudiar para considerar dicho reuso. En particular, y como se señaló anteriormente, el Plan reconoce oportunidades para que esta agua se reutilice mediante: (1) sistemas de riego, (2) sistemas de recarga a los acuíferos y (3) reciclaje directamente hacia los embalses. Al implantarse las estrategias de reuso, el Plan podría reducir la disposición de las aguas usadas.

3.5 Escorrentía pluvial

El Plan tendrá un efecto positivo como resultado de la eventual reducción en las tasas de escorrentía pluvial en las cuencas identificadas para restauración y conservación, y en las áreas de importancia hídrica que serán protegidas. A tales propósitos, el Plan recomienda la elaboración de modelos típicos a ser exigidos a nuevos proyectos de construcción y el

desarrollo de planos modelo, guías de diseño y manuales de procedimientos para el manejo de sistemas pluviales.

3.6 Energía hidroeléctrica

La implantación del Plan Integral pudiera afectar los planes de aumento en la producción de energía hidroeléctrica. En vista de los aumentos en el costo del combustible que utiliza la AEE en sus plantas termoeléctricas, diversos sectores consideran prudente maximizar la generación hidroeléctrica. Sin embargo, dicha estrategia pudiera ser conflictiva con el uso de agua por parte del sector doméstico y agrícola, particularmente durante sequías. Debido a que la Ley de Aguas establece como uso prioritario el uso doméstico, se requiere una coordinación estrecha entre el uso de agua para generación hidroeléctrica y el uso doméstico y agrícola.

3.7 Zonas susceptibles a inundación

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

3.8 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 y sus recursos de agua.

2. Promover el mantenimiento de flujos ambientales necesarios para la salud y bienestar de los organismos acuáticos en ríos, quebradas, humedales y estuarios.

3. Revisar las técnicas utilizadas para la ubicación y operación de las tomas de aguas superficiales.

4. Promover el reuso de aguas usadas con el potencial irrigar campos de golf, aumentar flujos ambientales a humedales y estuarios.

5. La revisión integral de las técnicas de canalización y control de erosión para identificar las más adecuadas en términos de su durabilidad y que a la vez reduzcan el daño ambiental en el cauce de los ríos.

3.9 Flora terrestre

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

3.10 Fauna terrestre

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

3.11 Habitáculos acuáticos

El impacto principal del Plan sobre los habitáculos acuáticos será positivo. El mismo propone garantizar flujos adecuados para el mantenimiento de los habitáculos acuáticos en embalses, ríos, estuarios y humedales, y la conservación de las cuencas y los cauces de los ríos. Además, el Plan propone controlar con rigor la entrada de especies exóticas.

3.12 Humedales

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

3.13 Barreras costaneras

El Plan no tendrá impacto sobre las barreras costaneras en las aguas marinas cercanas a Puerto Rico y sus islas limítrofes. Por el contrario, a largo plazo, la conservación de las cuencas, los cauces de los ríos, humedales y estuarios tendrá un efecto positivo en la condición del litoral costero.

3.14 Calidad del agua

Uno de los impactos potenciales positivos más significativos del Plan será sobre la calidad de las aguas superficiales, subterráneas, estuarinas y costaneras.

3.14.1 Aguas superficiales

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

La implantación del Plan tendrá efectos menores directos sobre la calidad del agua en las cuencas de la Isla. A largo plazo, las medidas de conservación y restauración de cuencas tendrán un impacto positivo sobre la calidad del agua superficial.

Además, anteriormente se describieron las acciones del Plan sobre este asunto:

1. Investigar la efectividad de las medidas de mitigación de contaminación de agua implantadas en los sectores doméstico, industrial y agrícola.

2. Estudiar las alternativas de manejo de las aguas pluviales urbanas para minimizar el impacto negativo de este tipo de descarga en la calidad del agua superficial y subterránea.

3.14.2 Aguas subterráneas

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

- 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 más efectivo de las franquicias para administrar la extracción vigente a tenor con las condiciones hidrogeológicas existentes.

- La identificación de las fuentes potenciales de contaminación a los acuíferos, y la coordinación de estrategias para eliminar o minimizar este potencial.

- Estrategias para la restauración de acuíferos afectados por intrusión salina y contaminación química.

El Plan incluirá un programa de recarga a los acuíferos según presentado en la sección 1.6.3. Además se propone levantar y mantener un inventario de calidad de agua en los acuíferos que refleje la condición de calidad del agua en la totalidad de los acuíferos.

3.15 Asuntos socioeconómicos y de Justicia Ambiental

El desarrollo del Plan tiene implicaciones amplias en los aspectos socioeconómicos de la sociedad puertorriqueña. 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. El manejo de los recursos de agua hasta el presente ha sido deficiente e inadecuado, afectando su calidad y disponibilidad. Esto ha resultado en que sectores y comunidades sufran de falta de abastos de agua adecuados. Las comunidades y grupos socialmente en desventaja han sido más impactados 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 tratan 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, se puede 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 utilizados 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 un análisis de la demanda 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 económicamente menos privilegiadas probablemente se beneficien más de la implantación del Plan que los centros urbanos. Generalmente los grupos sociales de ingresos menores 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.

3.16 Paisaje y valor escénico

El Plan tendrá un efecto generalmente positivo en el paisaje 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 las estrategias del Plan que resulten en la conservación de las cuencas, la protección de las áreas de importancia hídrica y mejoras en la calidad del agua, mejorará la apariencia de los cuerpos de agua y se fortalecerá el valor escénico de áreas extensas del territorio.

3.17 Recreación

Los deportes acuáticos son un elemento importante en Puerto Rico. En los embalses se practica la pesca recreativa y la 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 Dos Bocas y Guajataca. En proyectos recientes, la recreación es un elemento esencial, como lo es el caso del Embalse 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.

3.18 Recursos históricos y culturales

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

3.19 Usos de terreno

Uno de los enfoques medulares del Plan parte del reconocimiento de la relación estrecha entre el manejo del territorio y la calidad y disponibilidad del recurso agua. A esos fines, el Plan recomienda la preparación de planes de manejo de las cuencas hidrogeológicas y,

particularmente, solicita a la Junta de Planificación la protección de las áreas de importancia hídrica mediante la aplicación de las clasificaciones del suelo correspondientes, tanto en el Plan de Uso de Terrenos como en los planes territoriales de los municipios (véase Ilustración 1-8). La consecuencia de esta recomendación es un mejor uso del territorio que, a su vez, debe fomentar reducir y evitar la expansión de la huella urbana (desparrame urbano), proteger las áreas rústicas, las de importancia ecológica y las de valor escénico.

Un uso óptimo del territorio reducirá las inversiones necesarias para expandir la infraestructura si permanece el patrón actual de usos.

3.20 La sostenibilidad como resultado

La implantación de las estrategias del Plan Integral del Recurso Agua producirá un uso eficiente del agua, reducirá los impactos ambientales de su manejo, permitirá el acceso al recurso por los distintos usuarios y reducirá los costos asociados a la construcción de nuevos abastos.

El Plan ofrece una visión integrada de la interpretación de la situación actual del recurso y de las acciones que recomienda en el marco de la sostenibilidad. En ese sentido, plantea el análisis del recurso reconociendo la necesidad del acercamiento a partir de la cuenca hidrogeológica.

Lo anterior, en conjunto, debe permitir apoyar el desarrollo económico del País, fomentar niveles mayores de equidad social y proteger los sistemas naturales de Puerto Rico. De esta forma, el Plan cumplirá con los fundamentos del Desarrollo Sostenible.

4. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004, conocida como Ley de Política Pública Ambiental, el Reglamento de la JCA y la Resolución de la JCA RI-06-1, 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 no tomaría 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:

4.2.1 Implantación 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.

Las desventajas de esta alternativa son:

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.

4.2.2 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.

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.

4.2.3 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. Requiere 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 eficiente 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 redundarán en el manejo y conservación efectiva de los recursos de agua en Puerto Rico.

5. EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE USOS A CORTO PLAZO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA CONSERVACIÓN, Y EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD A LARGO PLAZO

Como se señaló en el Preámbulo de esta DIA-E-A, 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 agua 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 la existencia 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 los sectores ambiental, industrial, agrícola, doméstico y generación hidroeléctrica.

7. Incremento continuo del agua no-contabilizada debido a la ineficiencia del sistema de distribución de la AAA.

8. Inundaciones locales 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.

La actualización del Plan Integral del Recurso Agua atiende cada uno de los nueve asuntos mencionados. En ese sentido, promueve una serie de objetivos, políticas y estrategias que, según han sido presentadas anteriormente, aumentan significativamente la conservación del recurso, su uso eficiente y sostenible, en el contexto del mejoramiento en general del medio ambiente natural. Por lo mismo, el Plan contempla un cambio positivo en la productividad del ambiente natural y fomenta un uso eficiente del recurso y de la infraestructura existente.

Es de suma importancia el énfasis que el Plan dedica a la relación estrecha entre los usos del territorio y el recurso agua. Las recomendaciones dirigidas a formular planes de manejo de la cuenca hidrogeológica, en función del recurso agua, le proveen al Plan un alcance abarcador que promoverá, entre otros resultados:

- la protección de las áreas de importancia hídrica,
- una mejora en la cubierta forestal,
- la protección de áreas de alto valor ecológico,

- el disfrute de nuevas áreas de valor escénico,
- reducción en la erosión del suelo y en la sedimentación de los cuerpos de agua,
- un impacto positivo en la flora y la fauna,
- aumento en la calidad de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos y
- un mejor aprovechamiento y uso del recurso agua para los distintos usuarios.

Muchos de los beneficios del Plan se producirán en el mediano y largo plazo. 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.

5.1 Comparación de los impactos positivos y negativos

El proceso de análisis ambiental requiere que se lleve a cabo una evaluación de los impactos positivos y negativos de cualquier acción propuesta que pudiera afectar los recursos naturales.

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

- Promover la restauración y conservación de las cuencas, ríos, embalses, acuíferos y estuarios
- Mejorar y mantener la calidad de agua en estos cuerpos de agua
- Uso eficiente del recurso agua
- Reducción significativa en el agua no-contabilizada de los sistemas de la AAA
- Promoverá el reuso de las aguas usadas

- Resultará en aumentos en el uso recreativo de los embalses, ríos y estuarios
- Pudiera resultar en una disminución en las expectativas de aumento de generación hidroeléctrica, requiriendo a la AEE sustituir parte de esta fuente de energía

5.1.1 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.

5.1.2 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. También podría eliminar parte del habitáculo de ciertas especies de flora y fauna. El Plan establece que en los posibles nuevos embalses será necesario reducir y mitigar los impactos ambientales.

5.1.3 Estuarios

A largo plazo, los estuarios mantendrán su función como ecotonos marítimos, al garantizarse los flujos suficientes y con la variabilidad necesaria para su conservación. Los impactos indirectos positivos incluirán mantener el ciclo de vida de ciertas especies en los estuarios, y mejorar la calidad del agua lo que a su vez aumentará la vida acuática, la pesca y la recreación en estos sistemas.

5.1.4 Humedales

El efecto indirecto y acumulativo sobre los humedales de la Isla será positivo, al promover mantener flujos ambientales en los cuerpos de agua superficiales y proteger y conservar las cuencas y las áreas de importancia hídrica, todo lo cual beneficiará estos ecosistemas.

5.1.5 Los 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.

5.1.6 Los sistemas de riego

Los sistemas de riego requerirán mejoras estructurales para optimizar su uso. En algunas instancias, la disponibilidad de agua para riego pudiera ser afectada por las demandas domésticas adicionales.

5.1.7 Los sistemas de acueductos

El efecto indirecto sobre los sistemas de acueductos estará relacionado a mayor disponibilidad de agua para usos domésticos en ciertas regiones a consecuencia de la reducción del agua no-contabilizada y a la construcción de nuevos proyectos de abastos. Por otro lado, la restauración de los acuíferos y su manejo adecuado pudiera resultar en aumento en la disponibilidad de agua subterránea en ciertos sectores.

5.1.8 Los 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 tratamiento para cumplir con requisitos de calidad de agua que permitan su descarga a lagunas de retención, o reuso en campos golf.

5.1.9 Recreación

Se aumentarán las oportunidades de recreación en los ríos y ciertos embalses.

5.1.10 Turismo

La disponibilidad de recursos de agua adicionales y de alta calidad incentivará la industria turística, pues, garantizará la disponibilidad del recurso para las instalaciones turísticas y recreativas.

Por otro lado, el manejo adecuado de las cuencas mejorará la calidad de las aguas costaneras, donde ubican las playas que tanto atraen a los visitantes y a los turistas nacionales. Igualmente, la protección de las cuencas y áreas de importancia hídrica permitirá el disfrute de los paisajes que ofrece el País.

Además, las mejoras en la calidad de las aguas superficiales fomentarán turismo adicional, interno y externo, relacionado con los ríos, embalses y estuarios, y fortalecerá el desarrollo del turismo de naturaleza, el sector de mayor crecimiento del turismo a nivel internacional.

5.1.11 Las industrias

El Plan contiene las estrategias que permitirán satisfacer la demanda de agua del sector industrial, a mediano y largo plazo.

La ubicación de ciertas industrias se restringirá en lugares específicos en las cuencas que sirven de zonas de recarga a acuíferos críticos. Indirectamente, el potencial de contaminación en ciertas regiones aumentará en proporción al aumento en desarrollo industrial adicional.

5.1.12 La agricultura

El Plan tendrá efectos a largo plazo sobre la agricultura, al garantizar recursos de agua sostenibles para desarrollos agrícolas adicionales.

5.1.13 Los sistemas marinos

No se contemplan efectos indirectos o acumulativos sobre sistemas 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. La implantación de los planes de manejo de las cuencas ayudará a mantener los sistemas ecológicos de la zona costanera incluyendo los arrecifes de coral y las comunidades bénticas.

6. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS NEGATIVOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

El Plan Integral de Recursos de Agua incluye soluciones que enfatizan aspectos de uso, conservación y desarrollo del recurso agua. Las mismas incluyen medidas de buen aprovechamiento, política pública, medidas de carácter normativo, estrategias para resolver situaciones concretas, criterios de evaluación, guías para proyectos de desarrollo y mecanismos para garantizar un proceso de planificación continuo y verificable. El Plan además incluye determinaciones de asignación del recurso en áreas donde hay conflictos presentes y potenciales.

Como fue discutido en las secciones 1.5, 1.6, 3 y 5 de esta DIA-E-A, el Plan Integral de Recursos de Agua contiene las estrategias y acciones dirigidas al manejo sostenible del recurso agua. Con un enfoque integral y sistémico, el Plan reconoce la importancia cardinal de manejar el agua en el contexto de la protección de la totalidad de los recursos naturales. En ese sentido, los posibles impactos negativos del Plan, sobre el medio ambiente natural, han sido considerados en todos sus extremos y las estrategias y acciones contemplan las medidas remediativas.

El impacto ambiental mayor está vinculado al desarrollo de nuevas fuentes de abastos. Sin embargo, el Plan es enfático en destacar que la necesidad de considerar la construcción de las posibles fuentes, estará enmarcada en la implantación de estrategias dirigidas a manejar la demanda y reducir las pérdidas de los sistemas de abastos.

De surgir la necesidad, el Plan establece que en el desarrollo de nuevas fuentes de abasto, se asegure que su diseño permita minimizar los problemas que limitan su sostenibilidad, lo que incluye reducir y mitigar sus posibles impactos ambientales.

Finalmente, los probables embalses, por tratarse de obras de gran envergadura y escala, y por sus impactos ambientales, sociales y económicos, requerirán de su correspondiente Declaración de Impacto Ambiental.

En cuanto a las tomas superficiales, incluyendo los embalses, las mismas deben asegurar un flujo ambiental para mantener las funciones del ecosistema, y su diseño debe minimizar el impacto sobre los habitáculos y patrones migratorios de especies, así como reducir el efecto sobre el transporte de sedimentos, arenas y gravas necesarios para mantener el equilibrio dinámico de los llanos y el litoral costero.

En lo relacionado al uso de los recursos subterráneos y reconociendo que éstos no han sido explotados de una manera sostenible, el Plan Integral propone:

- Establecer una red de pozos de rastreo permanente y a largo plazo. La red debe consistir de pozos de observación del nivel freático, combinados con pozos para observar las variaciones en la localización del frente de agua salina dentro de los acuíferos costeros.

En resumen, nuevamente se reitera que la adopción del Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico tendrá como resultado un mejoramiento significativo de la condición del recurso agua y en general del medio ambiente natural, social y económico del País.

7. EVALUACIÓN DE LA INTERRELACIÓN DEL PLAN CON OTROS PLANES Y PROGRAMAS

Es importante destacar que desde la década del sesenta, el Gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico ha participado en varios esfuerzos dirigidos a estudiar y presentar recomendaciones sobre aquellos aspectos que afectan la situación de los recursos de agua del País. Entre los estudios realizados están los siguientes:

- Water Resources Assessment for Puerto Rico, DRNA, 1973.
- Water Resources Assessment, WRC & DRNA, 1975.
- Island Wide Water Supply Study for Puerto Rico, USCOE, 1980.
- Island Wide Water Supply Implementation Plan, AAA, 1983.
- Borrador Plan de Agua de Puerto Rico, DRNA, 1984.
- Informe al Gobernador sobre la Situación y Perspectiva de la Demanda y Oferta de Agua en Puerto Rico servida por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA), DRNA, 1988.
- Plan Integral de Conservación, Uso y Desarrollo de los Recursos de Agua de Puerto Rico, DRNA, 1996.
- Borrador Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico, DRNA, 2004.

Cada uno de estos esfuerzos, en su momento, expandió el nivel de conocimiento sobre el recurso y ayudó a sentar las bases respecto a su planificación y administración en Puerto Rico. Dentro del contexto internacional hay que incluir como antecedente la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente de Dublín, 1992, donde se establecieron cuatro principios aún vigentes:

Principio Número 1: El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Principio Número 2: El aprovechamiento y la gestión del agua deben inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.

Principio Número 3: La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.

Principio Número 4: El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

En el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (Informe, ONU, 2005) se adoptan los siete desafíos de la Declaración Ministerial de La Haya, los cuales sirven como criterios para medir el progreso de los pueblos respecto a la gestión de agua. A éstos se le sumaron cuatro desafíos adicionales para ampliar el alcance del análisis realizado en el Informe. Los once desafíos adoptados por las Naciones Unidas como fundamentales para la administración del recurso agua en cada país son los siguientes:

1. Cubrir las necesidades humanas básicas – asegurar el acceso al agua y a servicios de saneamiento en calidad y cantidad suficientes.

2. Asegurar el suministro de alimentos – sobre todo para las poblaciones pobres y vulnerables, mediante un uso más eficaz del agua.

3. Proteger los ecosistemas – asegurando su integridad a través de una gestión sostenible de los recursos hídricos.

4. Compartir los recursos hídricos – promoviendo la cooperación pacífica entre diferentes usos del agua y entre Estados, a través de enfoques tales como la gestión sostenible de la cuenca de un río.

5. Administrar los riesgos – ofrecer seguridad ante una serie de riesgos relacionados con el agua.

6. Valorar el agua – identificar y evaluar los diferentes valores del agua [económicos, sociales, ambientales y culturales] e intentar fijar su precio para recuperar los costos de suministro del servicio teniendo en cuenta la equidad y las necesidades de las poblaciones pobres y vulnerables.

7. Administrar el agua de manera responsable, implicando a todos los sectores de la sociedad en el proceso de decisión y atendiendo a los intereses de todas las partes.

8. El agua y la industria – promover una industria más limpia y respetuosa de la calidad del agua y de las necesidades de otros usuarios.

9. El agua y la energía – evaluar el papel fundamental del agua en la producción de energía para atender las crecientes demandas energéticas.

10. Mejorar los conocimientos básicos – de forma que la información y el conocimiento sobre el agua sean más accesibles para todos.

11. El agua y las ciudades – tener en cuenta las necesidades específicas de un mundo cada vez más urbanizado.

La elaboración del Plan Integral de Aguas ocurre en el contexto de otros esfuerzos de planificación gubernamental en áreas relacionadas con los recursos de agua. En cada una de estas instancias se ha establecido comunicación y se compartieron datos, metodologías y resultados de análisis técnicos pertinentes. Entre estos esfuerzos se encuentran los siguientes:

- Plan de Uso de Terrenos, Junta de Planificación de Puerto Rico

- Revisión del Programa de Manejo de la Zona Costanera, DRNA
- Proyecto de Manejo de Bosques, Negociado de Servicio Forestal, DRNA
- Lugares Potenciales para el Desarrollo de Represas, AFI, 2005
- Estudio sobre la Viabilidad de Aumentar el Abasto de Agua para Uso Doméstico y Agrícola en el Valle de Lajas, AAA, 2006
- Plan Maestro de AAA, ONDEO & AAA, 2003
- Programa de Mejoras Capitales, enero 2006, AAA
- Planes de Ordenamiento Territorial
- Plan de Transportación a Largo Plazo, DTOP-ACT

El Plan de Agua reconoce la importancia de armonizar los esfuerzos de planificación que se realizan en otros ámbitos, como los anteriormente enumerados, para fortalecer el éxito en la implantación de las recomendaciones de los mismos. Por ejemplo, varias de las estrategias propuestas en el Plan quedarían plenamente respaldadas de éstas incorporarse en el Plan de Uso de Terrenos y en los planes territoriales de los municipios. Igualmente se podría apuntar, sobre lo extremadamente necesario de consolidar los planes de la AAA para reducir el porcentaje de agua no-contabilizada.

Por otro lado, el Plan integra otras agencias con inherencia en el manejo del recurso, particularmente, en la implantación de estrategias y planes de acción de los proyectos recomendados.

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 del recurso agua.

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.

PERSONAL QUE TRABAJÓ EN LA DIA-E-A

Las personas a continuación participaron en la preparación de la DIA-E-A, versión año 2005:

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

Las personas a continuación participaron en la preparación de la DIA-E-A, versión abril 2007:

Marianela Torres Rodríguez, Gerente, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Preparación de la DIA-E-A
Alejandro Silva Huyke, Consultor	Preparación de la DIA-E-A
Gregory L. Morris, Consultor	Preparación de la DIA-E-A
José Rivera Santana, Asesor	Revisión documento
Carlos Maysonet Negrón, Asesor	Revisión documento
María T. Rodríguez Mattei, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Redacción y montaje
Francisco Catalá Míguez, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Revisión documento
Eliot Hernández González, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Revisión documento
Jimmy Rodríguez Zamora, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Revisión documento
Harrison W. Flores Ortiz, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Revisión documento
Milagros Negrón Acosta, Oficina Plan de Aguas, DRNA	Redacción y montaje

AGENCIAS CONSULTADAS

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
Servicio Nacional de Meteorología	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Civil Engineers. (1971). Urban Water Resources Management. Denver, Colorado.

Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. (1982). Water Supply Plan: North Coast Area. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1983). Island Wide Water Supply Implementation Plan. San Juan, PR. Santiago Vázquez Flaherty Giavara

_____. (1984). Public Water Supplies in Puerto Rico, 1983. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1984). Informe Anual Area de Operaciones. San Juan, PR.

_____. (1991). Project Planning and Contract Management. San Juan, Puerto Rico.

_____. (Junio, 2003). Plan maestro de recursos hídricos. San Juan, PR: ONDEO de Puerto Rico.

_____. (1996). Estudio de Necesidad de Producción de Agua para Puerto Rico Hasta el Año 2050. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1996). Estudio de Necesidad de Producción de Agua para Puerto Rico Hasta el Año 2050, Proyecciones Estimadas por Barrios. San Juan, Puerto Rico.

_____. (Diciembre, 2003). Plan maestro de acueductos. Tomos I-IV. San Juan, PR: ONDEO de Puerto Rico.

_____. (Diciembre, 2003). Plan maestro de alcantarillados. San Juan, PR: ONDEO de Puerto Rico.

_____. (2006). Plan de mejoras capitales a mediano plazo de la AAA. San Juan, PR. Área de Planificación.

_____. (2005). Viabilidad de aumentar el abasto de agua para usos domésticos y agrícolas en el Valle de Lajas. San Juan, PR. CSA Group.

Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura de Puerto Rico. (1984). Declaración de Impacto Ambiental Acueducto Regional del Noreste. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2000). Water Audit & Conservation Pilot Study. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2003). Acueducto Costa Norte. San Juan, Puerto Rico.

_____, (2005). Analysis of Potential Reservoirs in Puerto Rico (Draft). San Juan, PR. GLM & Associates.

Bacheler, N. M., J. W. Neal & R. L. Noble. (2004). Reproduction of a landlocked diadromous fish population: Bigmouth Sleepers *Gobiomorus dormitor* in a Reservoir in Puerto Rico. Caribbean Journal of Science, 40 (2): 223-231

Benstead, J. P., J. G. March, C. M. Pringle & F. N. Scatena. (1999). Effects of a low-head dam and water abstraction on migratory tropical stream biota. Ecological Applications, 9: 656-668.

Benstead, J. P., J. G. March & C. M. Pringle. (2001). Estuarine larval development and upstream postlarval migration of freshwater shrimps in two tropical rivers in Puerto Rico. Biotropica, 32: 545-548.

Thomlison, JR, Serrano, MI, López TM, Mitchell, T. Zimmerman, JK (1996). Land-use Dynamics In a Post-Agricultural Puerto Rican Landscape (1936-1998). Biotropica 28(4a): 525-536

Black & Veatch Engineers. (1977) Water supply study for entire Island of Puerto Rico except for Ponce region. Report to US Army Corps of Engineeres, Jackosnville.

Blanco, J. F. (2005). Physical habitat, disturbances, and the population ecology of the migratory snail *Neritina virginea* (Gastropoda: Neritidae) in Puerto Rico streams. Tesis doctoral. Universidad de Puerto Rico, Río Piedras. 250p.

Blanco, J. F., & F. N. Scatena. (2005). Floods, habitat hydraulics, and upstream migration of *Neritina virginea* (Gastropoda: Neritidae) in Northeastern Puerto Rico. Caribbean Journal of Science, 41(1): 55-74.

Carro, A. E. (1987). Listado de peces y observaciones sobre la fauna piscícola de la Laguna de Tortuguero. Trigésimo tercer Simposio del Departamento de Recursos Naturales. Páginas: 18-24.

CDM Caribbean Engineers. (2004). PRASA Water Use Characteristics and Water Demand Model Calibration. Carbondale, Illinois.

_____. (2004). Technical Memorandum on Demographic Projections for PRASA Water Demand Forecast. Carbondale, Illinois.

Centro de Estudios Energéticos y Ambientales. (1987). Nueva estrategia para el desarrollo de los recursos de agua en Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1988). Evaluación de los recursos de agua disponibles para irrigación en el área del Proyecto de Biomasa de Aguirre. San Juan, Puerto Rico.

Ching-Morales, C. A. (1982). Desarrollo larval y algunos factores que afectan el ciclo de vida del camaron de río *Macrobrachium heterochirus* (Palaemonidae) bajo condiciones de laboratorio en Puerto Rico. Tesis de Maestria. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. 100 p.

Churchill, Anthony A. (1987). Rural Water Supply and Sanitation Time for a Change. The World Bank. Washington, DC.

Conde-Costas, C., and Gómez-Gómez, F. (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, C., and Gómez-Gómez, F. (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.

Corujo, I. (1980). A study of fish populations in the Espiritu Santo River Estuary. Tesis de Maestria. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. 87 p.

Covich A. P., T.A. Crowl, S. L. Johnson, D. Varza, & D. L. Certain. (1991). Post-hurricane Hugo increases in Atyid shrimp abundance in a Puerto Rican montane stream. Biotropica, 23: 448–454.

Covich, A. P., T. A. Crowl, S. L. Johnson, & M. Pyron. (1996). Distribution and abundance of tropical freshwater shrimp along a stream corridor: response to disturbance. Biotropica 28: 484-492.

Covich, A. P., T. A. Crowl & F. N. Scatena. (2003). Effects of extreme low flows on freshwater shrimps in a perennial tropical stream. Freshwater Biology 48: 1199-1206.

Crowl, T.A., W.H. McDowell, A.P. Covich, & S. L. Johnson. (2001). Freshwater shrimp effects on detrital processing and localized nutrient dynamics in a montane, tropical rain forest stream. Ecology, 82: 775–783.

Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. (1980). Island Wide Water Supply Study for Puerto Rico. San Juan, PR.

Department of Water Resources. (2003). California Water Plan.

Department of Land and Water Resources, Commission on Water Resources Management. (1990). Water Resources Protection Plan-Hawaii Water Plan. George A. L. Yuen and Associates, Inc. Honolulu, HI.

Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. (1973). Water Resources Assessment for Puerto Rico. San Juan, PR: Área de Planificación de Recursos, División de Recursos de Agua.

_____. (1984). Plan de Recursos de Agua de Puerto Rico. (Borrador) San Juan, PR: Área de Planificación de Recursos, División de Recursos de Agua.

_____. (1986). Proyecciones de Demanda y Necesidades de Producción de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. San Juan, PR: Área de Planificación de Recursos, División de Recursos de Agua.

_____. (1985). Water Budget Impacts of Changing Irrigation Conditions in the Santa Isabel and Juana Díaz Area. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1986). Proyección de la Demanda en la Planificación de los Recursos de Agua: Resumen Ejecutivo. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1986). Estimación de la Demanda de Agua Municipal. San Juan, PR: Área de Planificación de Recursos, División de Recursos de Agua.

_____. (1986). Proyecciones de Demanda y Necesidades de Producción de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1986). Strategic plan for Puerto Rico freshwater fish and wildlife. San Juan, PR: Área de Investigaciones Científicas.

_____. (1987). Situación y perspectiva de la demanda y oferta de agua en Puerto Rico servida por la AAA (Borrador). San Juan, PR: Área de Planificación de Recursos, División de Recursos de Agua.

_____. (1988). Informe al gobernador sobre la situación y perspectiva de la demanda y oferta de agua en Puerto Rico servida por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados. San Juan, PR: Área de Planificación de Recursos, División de Recursos de Agua.

_____. (1996). Plan integral de conservación, uso y desarrollo de los recursos de agua de Puerto Rico. San Juan, PR: Oficina del Secretario.

_____. (1998). Guías de resforestación para las cuencas hidrográficas de Puerto Rico. San Juan, PR: Estudios Técnicos Inc. para el Negociado de Servicio Forestal.

_____. (1999). Guánica Lagoon Hydrology & Restoration Alternatives. San Juan, PR: GLM & Associates.

_____. (2000). Forest Legacy for Puerto Rico an Assessment of Need. San Juan, PR: Negociado de Servicio Forestal.

_____. (2003). Condición Hidrogeológica de los Acuíferos de la Región Sur de Puerto Rico y Estrategias para su Restauración (Borrador). Oficina del Plan de Aguas. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2004). Inventario de recursos de agua de Puerto Rico (Borrador). San Juan, PR. Oficina del Plan de Aguas.

_____. (2004). Plan de reuso de aguas usadas de Puerto Rico (Borrador). San Juan, PR: Oficina del Plan de Aguas.

_____. (2004). Update of Puerto Rico Water Demand Forecast, Final Report. San Juan, Puerto Rico. CDM Caribbean Engineers P.S.C..

_____. (2004). Plan integral de los recursos de agua de Puerto Rico (Borrador). San Juan, PR. Oficina del Plan de Aguas.

_____. (2004). Condiciones Hidrogeológicas y Estrategias para la Protección de los Acuíferos Superior e Inferior de la Región Norte de Puerto Rico (Borrador). Oficina del Plan de Aguas. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2004). Características y Condición de los Embalses Principales en Puerto Rico. (Borrador). Oficina del Plan de Aguas, San Juan, Puerto Rico.

_____. (2004). Condiciones Hidrogeológicas de los Acuíferos de la Región Sur de Puerto Rico y estrategias para su restauración. (Borrador). Oficina del Plan de Aguas. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2005). Programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico. (Documento Preliminar). San Juan, PR: Estudios Técnicos Inc. para el Programa de Manejo de la Zona Costanera.

_____. (2005). Estudio del Carso. San Juan, Puerto Rico.

Departamento de Vivienda, Oficina de Comunidades Especiales. (2005). Delineación de las Comunidades Especiales de Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico.

Easa, Said and Chan, Yupo. (2000). Urban Planning and Development Applications of GIS. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia.

Ebers, Randall W. (1990). Public Infrastructure and Regional Economic Development. Cleveland, Ohio.

Economic Development Administration U.S. Department of Commerce. (1997). Public Works Program Performance Evaluation. New Jersey.

Economic Development Quarterly. (2002). Enhancing Sustainable Development by Triple Value Adding to the Core Business of Government. SAGE Publications. Oaks.

Erdman, D. S. (1961). Notes on the biology of the Gobiid fish *Sicydium plumieri* in Puerto Rico. Bulletin of Marine Science of the Gulf and the Caribbean. 11 (3): 448-456.

_____ (1967). Inland game fishes of Puerto Rico. Primera Edición. Departamento de Agricultura, Proyecto de Ayuda Federal F1R San Juan, Puerto Rico.

_____. (1984). Exotic fishes in Puerto Rico. En: W. R. Courtenay and J. R. Stauffer (Eds.). Distribution, biology, and management of exotic fishes. The John Hopkins University Press.

_____. (1986). The Green Stream Goby *Sicydium plumieri* in Puerto Rico. Tropical Fish Hobbyist, February: 70-74.

_____. (1987). Nombres vulgares de peces en Puerto Rico. Informe Técnico 3(2). CODREMAR-NOAA, Departamento de Comercio de los Estados Unidos.

García, J. R. (1981). Ecological aspects of the community of fishes in Joyuda Lagoon. Octavo Simposio del Departamento de Recursos Naturales. Páginas: 60-77.

Gobierno de Cantabria. (2006). Plan Integral de ahorro de agua para Cantabria 2006-2009. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria y MARE. Santander, España

González-Cabán, A. & J. Loomis. (1997). Economic benefits of maintaining ecological integrity of Río Mameyes in Puerto Rico. Ecological Economics, 21: 63-75.

González-Cabán, A., & J. Loomis. (1999). Measuring the economic benefit of maintaining the ecological integrity of the Río Mameyes in Puerto Rico. Res. Paper PSW-RP-240. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, FS-USDA, 61 p.

Greathouse, E. A., J. G. March & C. M. Pringle. (2005). Recovery of a tropical stream after a harvested-related chlorine poisining event. Freshwater Biology 50: 603-615.

Gross, M. R., R. M. Coleman, & R. M. McDowall. (1988). Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration. Science, 239: 1291-1293.

Harty, Harry P. (1984). Guide to Setting Priorities for Capital Investment. The Urban Institute Press. Washington, DC.

Hill, S. (1996). Integrated Resource Planning and Management. Washington DC: Island Press.

Honachefsky, William B. (1999). Ecologically Based Municipal Land Use Planning. Lewis Publishers. Boca Ratón, FL.

Holmquist, J. G., J. M. Schmidt-Gengenbach, & B. B. Yoshioka. (1998). High dams and marine-freshwater linkages: effects on native and introduced fauna in the Caribbean. Conservation Biology, 12: 621-630.

Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). Comisión Brundtland: Nuestro Futuro Común, Oxford University Press. Londres

Jeffcoate, Philip. (1987). The Reduction and Control of Unaccounted-for Water. The World Bank. Washington, D.C.

Johnson S.L., & A.P. Covich. (2000). Day and night differences in freshwater shrimp foraging activity as related to instream flow. Regulated Rivers: Research and Management, 16, 91–99.

Junta de Planificación de Puerto Rico. (1980). Introducción a la Técnica de Beneficio-Costo. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1995). Objetivos y Políticas del Plan de Usos de Terrenos de Puerto Rico. San Juan, PR: Área de Planificación Física.

_____. (2006). Borrador del Plan de Uso de Terrenos. San Juan, PR: Oficina del Plan de Uso de Terrenos de Puerto Rico.

Leeden, F., Troise, F. & Todd, D. (1990). The Water Encyclopedia: Water Use (299-416). Michigan, United States: Lewis Publishers.

Larsen, M.C., (2000). Analysis of 20th century rainfall and streamflow to characterize drought and water resources in Puerto Rico: Physical Geography, v. 21, no. 6.

Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (Según enmendada), Ley 23 de 20 de junio de 1972.

Ley para la Conservación, el Desarrollo y Uso de los Recursos de Agua de Puerto Rico (según enmendada). Ley 136 de 3 de junio de 1976.

Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible. Ley Núm. 267 de 10 de septiembre de 2004.

Ley de Política Pública Ambiental (Según enmendada). Ley Núm. 416 de 22 de septiembre de 2004.

Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme (según enmendada). Ley Núm. 170 de 12 de agosto de 1988.

López, T. del M., T. M Aide, & J. Thomlinson. (2001). Urban expansion and the loss of prime agricultural lands in Puerto Rico. Ambio 30: 49-54.

Lugo, A. E., T. M. López, & O. M. Ramos. (2000). Zonificación de terrenos en la periferia de El Yunque. USDA Forest Service, IITF, General Technical Report. IITF-16 Rio Piedras, Puerto Rico.

Lugo, A. E. y colaboradores. (2001). Puerto Rican Karst: A vital resource. USDA-FS Reporte Tecnico WO-65. 100p

Maddaus, William O. (2001). Water Demand Management Within the Integrated Resource Planning Process. Sacramento, California.

Mahmood, K. (1987). Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, and Mitigation. The World Bank. Washington, D.C.

Maidment, David R. (2002). Arc Hydro GIS for Water Resources. ESRI Press. Redlands, California.

March, J. G., J. P. Benstead, C. M. Pringle, & F. N. Scatena. (1998). Migratory drift of larval freshwater shrimps in two tropical streams, Puerto Rico. Freshwater Biology, 40: 261-273.

March, J. G., J. P. Benstead, C. M. Pringle, & M. N. Ruebel. (2001). Linking shrimp assemblages with rates of detritial processing along an elevational gradient in a tropical stream. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58: 470-478.

March, J. G., C. M. Pringle, M. J. Townsend, & A. I. Wilson. (2002). Effects of freshwater shrimp assemblages on benthic communities along an altitudinal gradient of a tropical island stream. Freshwater Biology, 47: 1-14

March, J. G., J. P. Benstead, C. M. Pringle, & F. N. Scatena. (2003). Damming tropical island streams: problems, solutions and alternatives. Bioscience, 53: 1069-1078.

Ministerio de Medio Ambiente. (2000). Programa Integrado de Gestión de la Demanda de Agua. Alicante, España.

Morris, Gregory L. (1986). The Control of Sedimentation at Carraizo and La Plata Reservoirs. San Juan, Puerto Rico.

Morris, Gregory L. & Malí Vázquez. (1990). The Geographic Distribution of Drought on Two Caribbean Islands: Puerto Rico and St. Kitts. Proceedings of 1990 Intl. Symposium on Tropical Hydrology at San Juan, P.R. American Water Resources Assn., Bethesda.

Morris, Gregory L. & Fan, J. (1998). The Reservoir Sedimentation Handbook. Mc Graw-Hill.

Municipio de Rincón. (2002). Improvements to the Water Supply System of Jagüey, Atalaya and Calvache Barrios. Rincón, Puerto Rico.

Nieves, L. O. (1998). Ecological study of the freshwater stream fishes of the upper Mameyes River (Bisley) in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. Ph.D. Dissertation. George Mason University, Virginia.

North China Water Project. (1987). Water Management Policy Options for the Beijing-Tianjin Region of China. Honolulu, Hawaii.

Oficina de Gerencia y Presupuesto. (1992). Manual de Referencia para el Desarrollo de Indicadores de Esfuerzo y Logro. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1991). Módulo Auto-Instruccional para la Preparación de Planes de Trabajo. San Juan, Puerto Rico.

ONU. (2005). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo

Ortiz-Carraquillo, W. (1981). Notas sobre los crustáceos y peces del Río Matrullas. Science-Ciencia, 8 (1): 9-13.

Ortiz-Zayas, J. & F. N. Scatena. (2004). Integrated water resources management in the Luquillo Mountains. Puerto Rico: An evolving process, 20 (3): 387-398.

Pérez, O. (1999). Abundances, richness, and life histories of freshwater decapods of Puerto Rico. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. 112 p.

Pringle, C. M., G. A. Blake, A. P. Covich, K. M. Buzby & A. Finley. (1993). Effects of omnivorous shrimp in a montane tropical stream: sediment removal, disturbance of sessile invertebrates and enhancement of understory algal biomass. Oecología, 93: 1-11.

Pringle, C.M. (1996). Atyid shrimps (Decapoda: Atyidae) influence spatial heterogeneity of algal communities over different scales in tropical montane streams, Puerto Rico. Freshwater Biology, 35: 125-140.

Pringle C. M., N. Hemphill, W. H. Mc Dowell, A. Bednarek & J. G. March. (1999). Linking species and ecosystems: different biotic assemblages cause instream differences in organic matter. Ecology, 80: 1860-1872.

Programa del Estuario de la Bahía de San Juan. (2000). Comprehensive Conservation and Management Plan for the San Juan Bay Estuary. San Juan, PR: San Juan Bay Estuary Program Office.

Puerto Rico Environmental Quality Board & USDA Natural Resources Conservation Service. (2005). Puerto Rico Erosion and sediment control handbook for developing areas. San Juan, Puerto Rico

Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority. General Statistics Information Bank 1946-1983. San Juan, Puerto Rico.

Puig, J.C., & 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.

Pyron, M., A. P. Covich & R. W. Black. (1999). On the relative importance of pool morphology and woody debris to distributions of shrimp in a Puerto Rican headwater stream. Hydrobiologia, 405: 207-215.

Pyron, M., & A. P. Covich. (2003). Migration patterns, densities and growth of *Neritina punctulata* snails in Río Espíritu Santo and Río Mameyes, Northeastern Puerto Rico. Caribbean Journal of Science, 39: 338-347.

Revista Dimensión. (1994). Ten Concepts on Water Supply and Drought in Puerto Rico. Revista del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico, Segundo Trimestre 1994. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1994). Ponencia sobre proyecto de control de pérdidas. Revista del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico, Segundo Trimestre 1994. San Juan, Puerto Rico.

Rivera, J. (1975). Pesquería en lagos de Puerto Rico. Segundo Simposio del Departamento de Recursos Naturales. Páginas: 164-176

Rivera, J. (1979). Estudio de las poblaciones piscícolas en los lagos Loiza y Guajataca. Tercer Simposio del Departamento de Recursos Naturales. Páginas 1-10

Robert, B. (2002). Enhancing Sustainable Development by Triple Value Adding to the Core Business of Government. Economic Development Quarterly the Journal of the American Economic Revitalization, 16(2), 127-137.

Rodríguez, C. (2004). Abundance and demography of *Cardisoma guanhumi* in Puerto Rico. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. 149 p.

Rodríguez, J.M., (2006). Evaluation of hydrologic conditions and nitrate concentrations in the Río Nigua de Salinas alluvial fan aquifer, Salinas, Puerto Rico, 2002-03: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5062, 38 p.

Santiago, A. T. (1979). Estudio biogeográfico de los camarones en los ríos Yauco y Grande de Arecibo y algunos estudios poblacionales sobre estos animales. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. 139 p.

Scatena, F. N., & Johnson, S. L. (2001). Instream-flow analysis for the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico: Methods and analysis. IITF General Technical Report 11. Río Piedras, Puerto Rico. Forest Service-USDA.

Scatena, F. N. (2001). Ecological rhythms and the management of humid tropical forests. Examples from the Caribbean National Forest, Puerto Rico. Forest Ecology and Management, 154: 453-464.

Scatena, F. N., S. J. Doherty, H. T. Odum, & P. Kharecha. (2002). An Energy evaluation of Puerto Rico and the Luquillo Experimental Forest. IITF General Technical Report 9. Río Piedras, Puerto Rico. Forest Service-USDA.

Taller de Formación Política. (1996). El Agua en Puerto Rico: ¿Crisis de la naturaleza o crisis social? Centro Gráfico Grafito. Vega Alta, Puerto Rico.

Technical Consulting Group. (2004). Actualización del Inventario de Acueductos Independientes ("NON_PRASA") en Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico.

U.S. Army Corps of Engineers. (1980). Puerto Rico Islandwide Water Supply Study. San Juan, Puerto Rico.

_____. (1983). Prototypal Application of a Drought Management Optimization Procedure to an Urban Water Supply System. Springfield, Illinois.

U.S. Department of the Interior / U.S. Geological Survey. (1979). Water Budget and Hydraulic Aspects of Artificial Recharge, South Coast of Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1987). Puerto Rico Ground-Water Quality. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1987). Planning Report for the Caribbean Islands Regional Aquifer-System Analysis Project. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1988). Compilation of Water-Quality Data for the North Coast Limestone Aquifers, Puerto Rico, 1951 to 1987. Open-File Data Report. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1992). Low Flow Characteristics at selected sites on streams in eastern Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1996). Low Flow Characteristics at selected sites on streams in southern and western Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1997). Accuracy of Data for Selected Categories Compiled in the Puerto Rico Water-Use Information Program. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (2001). Surface-Water, Water-Quality, and Ground-Water Assessment of the Municipio of Caguas, Puerto Rico, 1997-99. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2005). Water, Sediment, and Nutrient Discharge Characteristics of Rivers in Puerto Rico, and their Potential Influence on Coral Reefs. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2005). Water, Sediment, and Nutrient Discharge Characteristics of Rivers in Puerto Rico, and their Potential Influence on Coral Reefs. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2005). Guidelines for the protection and management of the ground-water resources of Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (2005). Estimate Water Use in Puerto Rico, 2000. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2005). Sedimentation Survey Results of the Principal Water-Supply Reservoirs of Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico.

_____. (2005). Water, Sediment and Nutrient Discharge Characteristics of Rivers in Puerto Rico, and Their Potential Influence on Coral Reefs. San Juan, PR: Andrew G. Warne, Richard M.T. Webb and Matthew C. Larsen.

United States Geological Survey in cooperation with the Commonwealth of Puerto Rico. (1968). Water Resources of the Juana Díaz Area, Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1972). Water Resources of the Jobos Area, Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

_____. (1971). Water Resources of the Coamo Area, Puerto Rico. Guaynabo, Puerto Rico.

UPR-RUM, Programa SEA GRANT. (1995). Prácticas Sencillas para Mejorar la Disposición de Aguas Usadas el los Sistemas Sépticos Residenciales. Mayagüez, Puerto Rico.

USDA, Forest Service. (2001). Instream-Flow Analysis for the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico: Methods and Analysis. San Juan, Puerto Rico.

UNESCO-División de Ciencias del Agua. (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, Agua para todos, agua para la vida. Ediciones UNESCO – MUNDI PRENSA. Madrid

United States Census Bureau. (2000). Censo del 2000.

United States Department of Agriculture. (1995). Carraízo Lake Watershed River Basin Study. San Juan, PR: USDA Natural Resources Conservation Service.

United States Environmental Protection Agency. (1993). Guidance Specifying Management Measures for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters. Washington, DC: Office of Water.

Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez. (2004). Estudio sobre el uso de agua agrícola en Puerto Rico. Mayagüez, PR. Instituto de Investigaciones sobre Recursos de Agua y el Ambiente de Puerto Rico.

Vermeij G. J. 1987. Evolution and escalation: An ecological history of life. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Williams, E. H., L. Bunkley-Williams, C.G. Lilyestrom & E. A. R. Ortiz-Corps. 2001. A review of recent introductions of aquatic invertebrates in Puerto Rico and implications for the management of nonindigineous species. Caribbean Journal Science, 37: 246-251.

World Wildlife Fund/Adena (2005). Los mercados de aguas y la conservación del medio ambiente: oportunidades y retos para su implantación en España. WWF/Adena. Madrid

APÉNDICES

Apéndice A

Estimado de rendimiento seguro para los embalses del País

Apéndice B

Consumo promedio por abonado

Apéndice C

Comentarios recibidos