

# TABLA DE CONTENIDO

<b>4.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>4.2</b>	<b>Sector servido por la AAA.....</b>	<b>2</b>
	4.2.1 Demanda insatisfecha .....	3
	4.2.2 Proyecciones de demanda .....	6
	4.2.3 Requerimientos de producción .....	11
	4.2.4 Proyecciones de requerimientos de producción .....	14
<b>4.3</b>	<b>Sector residencial autoabastecido .....</b>	<b>17</b>
<b>4.4</b>	<b>Sector industrial autoabastecido.....</b>	<b>18</b>
<b>4.5</b>	<b>Sector agrícola .....</b>	<b>20</b>
<b>4.6</b>	<b>Requerimientos de producción de usos extractivos .....</b>	<b>22</b>
<b>4.7</b>	<b>Requerimientos de usos recreativos, estéticos y ambientales .....</b>	<b>24</b>

# CAPÍTULO 4

## ESTIMACIÓN Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA Y LOS REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN EN PUERTO RICO

---

### 4.1 Introducción

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.

Los sistemas de abasto de agua potable tienen que producir una cantidad de agua mayor que la demanda para poder satisfacer la misma. La diferencia entre el agua que se registra a la salida de las plantas o pozos y la demanda medida o estimada se denomina como agua no-contabilizada. Este indicador refleja el efecto de factores tales como el consumo ilegal, filtraciones del sistema de distribución y errores de medición, tanto en la producción como en el consumo. Los niveles de agua no-contabilizada son un indicador de la eficiencia del sistema de distribución.

Algunas corrientes en el campo de la ingeniería de servicios públicos utilizan una definición de demanda de agua donde se incluye el agua no-contabilizada como parte de la demanda de agua; no obstante, la norma en Puerto Rico ha sido la de

utilizar la definición en su contexto económico.<sup>1</sup> La utilización de este acercamiento permite identificar y cuantificar estrategias de manejo de demanda e indicadores de eficiencia operacional que pueden resultar confusos si se opta por una definición que englobe el agua no-contabilizada con la demanda.

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

## 4.2 Sector servido por la AAA

El comportamiento histórico del consumo del agua servida por la AAA se presenta en la Ilustración 4.1. 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.

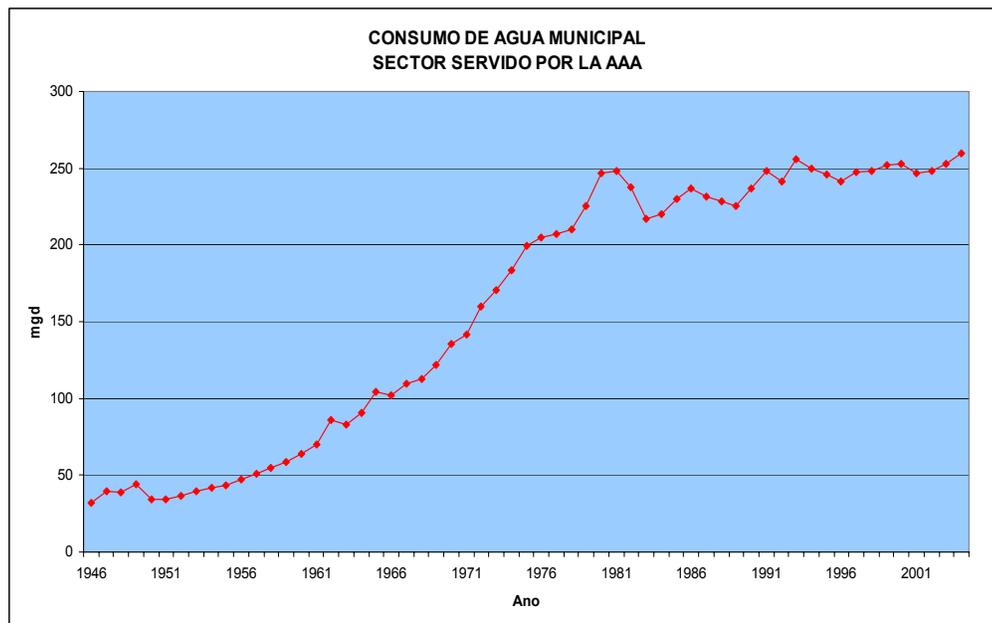


Ilustración 4.1 Consumo de agua municipal servida por la AAA

<sup>1</sup> Para una discusión a fondo de este tema véase Estimación de la demanda de agua municipal, DRNA, 1986 y el “Island Wide Water Supply Implementation Plan”, AAA, 1983.

Como se puede apreciar en la Ilustración 4.2, 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.

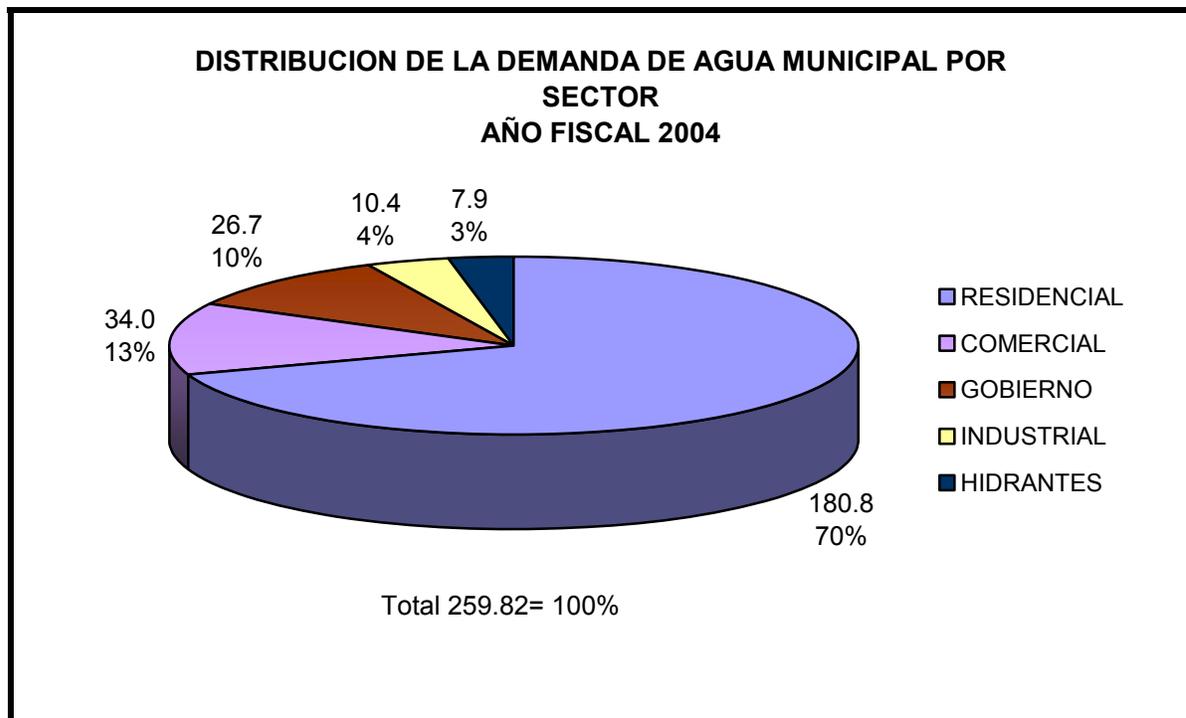


Ilustración 4.2 Distribución del consumo de agua servida por la AAA por sector

### 4.2.1 Demanda insatisfecha

El sector doméstico presenta en la actualidad una situación en donde el total de la demanda no es satisfecha, ya que existen regiones donde se presentan problemas de abasto intermitente y presión baja<sup>2</sup>. La Ilustración 4.3 presenta la localización de

<sup>2</sup> Para una discusión más a fondo del problema de la demanda insatisfecha en Puerto Rico, véase la página 36 del Plan Maestro de Acueductos, 1993.

141 comunidades que el Departamento de la Vivienda y la AAA han identificado con deficiencias crónicas en el servicio de agua potable.



**Ilustración 4.3 Comunidades con deficiencias de abasto 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 asciende 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.<sup>3</sup>

Para estimar la demanda residencial insatisfecha se asigna el consumo por abonado promedio (164.1 gpd) a aquellos municipios que presentan un consumo

<sup>3</sup> 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 sensibilidad respecto al efecto ingreso ocurre sobre los niveles de consumo básico.

por abonado inferior a este promedio<sup>4</sup>. De esta forma la demanda residencial insatisfecha total estará dada por la fórmula:

$$DRI = \sum NAR * (164.1 - CPAR)$$

Donde:

DRI = Demanda de agua residencial insatisfecha

NAR = Número de abonados residenciales en el municipio i

CPAR = Consumo por abonado residencial en el municipio i

i=1,n

Esta fórmula se aplica para cada municipio y luego se suma cada resultado. Por ejemplo, en el caso del Municipio de Juncos el número de abonados residenciales para el 2004 era de 12,316 y el consumo por abonado era de 142.1 gpd. Por lo tanto, la demanda residencial insatisfecha (DRI) se calcula de la siguiente manera:

$$DRI = NAR (164.1 - CPAR)$$

$$DRI = 12,316 (164.1 - 142.1)$$

$$DRI = 270,952 \text{ galones por día}$$

La demanda insatisfecha de los otros sectores, se computa mediante la fórmula:

$$DNRI = \sum (CNR / CR) * DRI$$

i=1,n

Donde:

DNRI = Demanda de agua no residencial insatisfecha

DRI = Demanda de agua residencial insatisfecha en el municipio i

CNR = Consumo no residencial en el municipio i

CR = Consumo residencial en el municipio i

La demanda insatisfecha para otros sectores se calcula para cada municipio a base de la proporción entre la demanda de otros sectores y la demanda residencial, multiplicada por la demanda residencial insatisfecha. En el caso de Juncos, la

---

<sup>4</sup> Compensar por la demanda insatisfecha al diseñar sistemas de abasto es un enfoque conservador que provee para atender necesidades latentes que no son reflejadas por el consumo medido.

demanda de agua no residencial (DNRI) es igual al consumo de agua no residencial (CNR) dividido entre el consumo de agua residencial (CR) y multiplicado por la demanda de agua residencial insatisfecha. El DNRI para el Municipio de Juncos es igual a:

$$\begin{aligned} \text{DNRI} &= \sum_{i=1,n} (\text{CNR} / \text{CR}) * \text{DRI} \\ &= (0.3872 \text{ mgd} / 1.75 \text{ mgd})(0.271 \text{ mgd}) \\ &= 0.06 \text{ mgd} = 60,000 \text{ gal/día} \end{aligned}$$

La sumatoria de  $i$  ocurre a través de todos los municipios que presentan un consumo por abonado inferior al promedio.

El cómputo descrito arroja un estimado de 7.5 mgd como demanda insatisfecha en el sector servido por la AAA. La demanda total para el sector servido por la AAA en el año fiscal 2004 se estima en 267.3 mgd (259.8 + 7.5).

## 4.2.2 Proyecciones de demanda

Las proyecciones de demanda de agua que se presentan en este documento 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 sensibilidad 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  $-.20$  y  $+.30$ , respectivamente<sup>5</sup>.

La demanda promedio por unidad de vivienda es la base del modelo de proyección de demanda de agua utilizado en nuestro análisis. De esta forma, la proyección de la demanda total residencial está dada por la fórmula:

$$DRT = DRPV * TV$$

Donde:

DRT = Demanda de agua residencial total por municipio

DRPV = Demanda de agua residencial promedio por vivienda por municipio

TV = Número total de unidades de vivienda servidas por municipio

El número de unidades de vivienda se proyecta dividiendo las proyecciones de población provistas por la Junta de Planificación (JP) entre el valor del número de personas por unidad de vivienda reportado en el Censo del 2000. El resultado obtenido es ajustado por un factor del porcentaje de viviendas servidas por la AAA, obtenido a partir del número de clientes residenciales de la AAA durante el año 2004.

La demanda promedio por unidad de vivienda se proyecta bajo los siguientes supuestos:

1. El número de personas por unidad de vivienda se mantendrá constante en su valor del año 2000.
2. El precio real del agua se mantendrá constante durante el periodo de proyección.
3. El ingreso familiar mediano por hogar aumentará a la tasa histórica promedio para todo Puerto Rico de 1.3 por ciento anual.

---

<sup>5</sup> Véase Estimación de la Demanda de Agua Municipal, DRNA, 1986.

De esta forma, el modelo de proyección se simplifica de manera tal que el único factor a considerar en el cómputo de la demanda promedio por unidad de vivienda futura lo será la elasticidad ingreso. Por lo que la proyección estará dada por la fórmula:

$$q_{i,t} = q_{i,t-1} + q_{i,t-1} \cdot (d_i \cdot e)$$

Donde:

$q_{i,t}$  = demanda residencial promedio por vivienda en municipio i, año t

$q_{i,t-1}$  = demanda residencial promedio por vivienda en municipio i, año t-1

$d_i$  = cambio porcentual anual en ingreso mediano = 1.3%

$e$  = elasticidad ingreso<sup>6</sup> de la demanda residencial = .30

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 4.1).

**Tabla 4.1 Consumo residencial servido por la AAA**

<b>AÑO</b>	<b>NÚMERO DE ABONADOS</b>	<b>CONSUMO MGD</b>	<b>CONSUMO POR ABONADO GPD</b>	<b>TASA DE CAMBIO ANUAL</b>
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%
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,074,199</b>	<b>174.23</b>	<b>162.18</b>	<b>0.48%</b>

<sup>6</sup> La ecuación utilizada para estimar la elasticidad ingreso en el estudio de referencia es una exponencial, la que arroja un valor constante de la elasticidad, equivalente al coeficiente de regresión. De esta forma, un aumento de 1.3% en el ingreso mediano tendería a aumentar la demanda de agua en 0.39% (0.013 x 0.30).

Las proyecciones para el sector residencial se resumen en la Tabla 4.2. 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<sup>7</sup>.

**Tabla 4.2 Proyecciones de demanda de agua – sector residencial servido por la AAA**

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

Como se indicó anteriormente, 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 utilizará el mismo como base para proyectar otros sectores servidos por la AAA. La demanda de los sectores comercial, gubernamental y otros usos públicos se estima como una proporción constante de la proporción 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 4.3 resume las proyecciones para estos sectores.

**Tabla 4.3 Proyecciones de demanda de agua – sectores comercial, gubernamental y otros usos públicos servidos por la AAA**

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

<sup>7</sup> 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 conexión doble. 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.

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). Nuestro estimado de demanda de agua para el año 2004 es proyectado hasta el 2030 prorrateando el crecimiento esperado por el DDEC entre los años que componen cada período de proyección. La Tabla 4.4 resume nuestras proyecciones para el sector industrial.

**Tabla 4. 4 Proyecciones de demanda de agua – sector industrial servido por la AAA**

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
<b>TOTAL</b>	<b>10.8</b>	<b>12.3</b>	<b>13.8</b>	<b>15.4</b>	<b>17.3</b>	<b>19.4</b>

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 4.5 y la Ilustración 4.4, 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 4.5 Proyecciones de demanda de agua – total sectores servidos por la AAA**

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
<b>TOTAL</b>	<b>267.3</b>	<b>280.3</b>	<b>292.0</b>	<b>302.8</b>	<b>313.0</b>	<b>323.7</b>



Ilustración 4.4 Proyección de demanda municipal

### 4.2.3 Requerimientos 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. La información de producción es recopilada e informada mensualmente por la AAA. El USGS acopia esta información y depura la misma para producir informes de extracción y uso de agua. Durante el año 2004 la AAA produjo 594.9 mgd de agua potable.

La Ilustración 4.5 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.

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 (véase Ilustración 4.5). Valores de agua no-contabilizada en el rango de 10 por ciento a 15 por ciento de la producción se consideran razonables dentro de las corporaciones públicas de abasto de agua<sup>8</sup>.

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 ubicación física de cada una de las plantas de filtración y pozos de extracción de agua subterránea. La Tabla 4.6 presenta la distribución de la producción bruta por tipo de instalación y región de análisis.

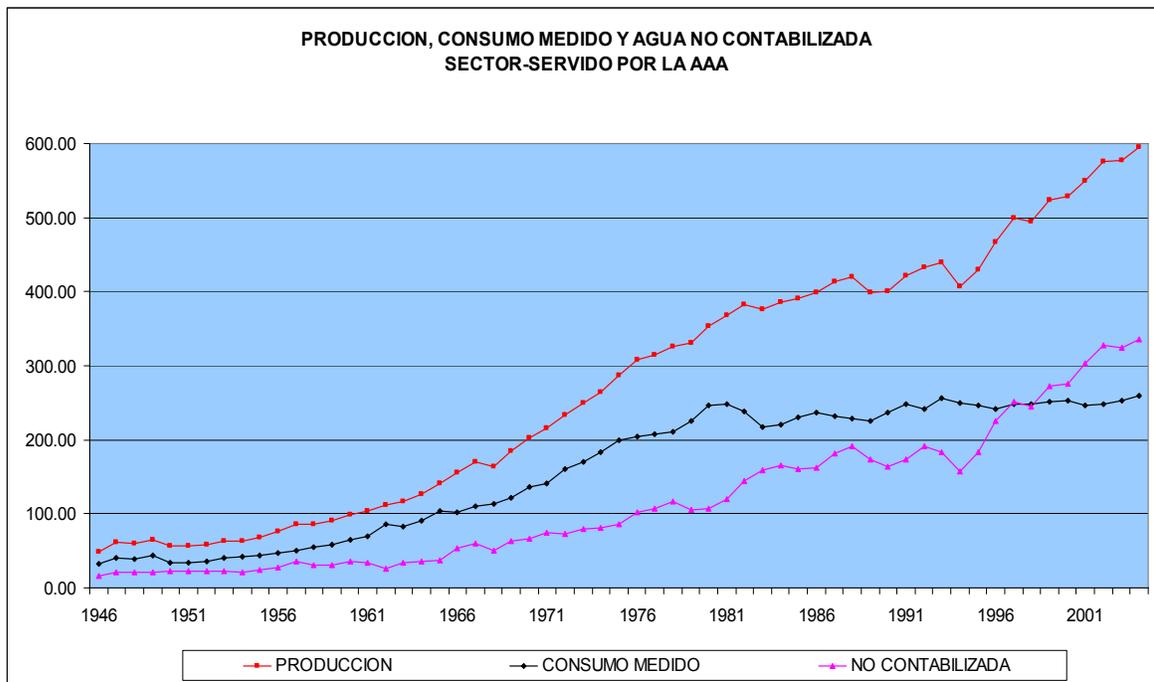


Ilustración 4.5 Producción, consumo medido y agua no contabilizada – Sector servido por la AAA

<sup>8</sup> La AWWA recomienda que el nivel de agua no-contabilizada se debe mantener en 10% o menos.

**Tabla 4.6 Producción de agua potable en mgd por región de análisis**

REGIONES	PRODUCCIÓN			TRANSFERENCIAS		PRODUCCION NETA
	SUBTERRANEA	SUPERFICIAL	TOTAL	ENTRAN	SALEN	
ESTE	21.7	89.9	111.6	12.0	13.3	110.3
METRO-POLITANA	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
<b>TOTAL</b>	<b>103.5</b>	<b>491.3</b>	<b>594.9</b>	<b>139.0</b>	<b>139.0</b>	<b>594.9</b>

Los datos de producción bruta por región fueron ajustados por las transferencias entre regiones<sup>9</sup> para obtener un estimado de producción neta que corresponda con la demanda de agua de los sectores servidos por la AAA en cada una de las regiones de análisis.

Las transferencias interregionales incluidas en el análisis fueron las siguientes:

1. Transferencia de 56.0 mgd proveniente de la Región Norte (Superacueducto) a la Región Metropolitana.
2. Transferencia de 57.7 mgd proveniente de la Región Norte (La Plata) a la Región Metropolitana.
3. Transferencia de 13.3 mgd proveniente de la Región Este (El Yunque) a la Región Metropolitana.
4. Transferencia de 12.0 mgd proveniente de la Región Metropolitana (Los Filtros) a la Región Este.

<sup>9</sup> La definición de regiones y los datos de transferencias se toman del Plan Maestro de Acueductos de AAA y Ondeo preparado en el año 2003. Estos valores son representativos y los correctos para el año base del análisis presentado en el Plan (2004) y no tienen que coincidir con la realidad operacional actual de la AAA que ahora cuenta con cinco regiones en vez de cuatro. No obstante, en la discusión sobre los balances de disponibilidad regional, que se presentan en el Capítulo 5, se hará referencia a la incorporación de proyectos nuevos y a las variaciones en las transferencias entre sistemas ocurridas recientemente o proyectadas para el futuro de acuerdo a la información provista por la AAA en enero de 2007.

Al comparar la producción neta contra la demanda de agua total por región de análisis (véase Tabla 4.7) 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.

**Tabla 4.7 Producción, consumo y agua no-contabilizada en mgd por región**

REGION	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
<b>TOTAL</b>	<b>594.9</b>	<b>259.8</b>	<b>335.0</b>	<b>56.3</b>

Los requerimientos de producción representan la cantidad del recurso que sería necesario extraer de las fuentes para satisfacer la demanda total. Para estimar los requerimientos de producción del sector servido por la AAA en la actualidad, se debe sumar la producción registrada y la cantidad del recurso que sería necesario producir para abastecer la demanda insatisfecha.

#### **4.2.4 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 definidas por la AAA en el documento Plan Maestro de Acueductos (2003).

Esto se realiza mediante la ecuación:

$$RP = DA / (1 - PANC)$$

Donde:

RP = Requerimientos de producción

DA = Demanda de agua

PANC = Proporción de agua no-contabilizada (decimal)

El agua no-contabilizada puede dividirse en los siguientes componentes: (1) errores en la medición de la producción, (2) pérdidas físicas debido a filtraciones y (3) lo que la AAA denomina pérdidas comerciales, que incluye el hurto de agua y la subestimación del consumo debido a metros que corren más lento con el paso de los años para así subestimar el consumo real. Las proyecciones de requerimientos de producción que se presentan en este documento incorporan como premisa que los valores de producción informados por el USGS son correctos, por lo que los datos de agua no-contabilizada solo consistirán de las pérdidas físicas y las pérdidas comerciales. Las pérdidas comerciales podrían formar parte de la demanda, ya que representa agua utilizada a pesar que la AAA no tiene la información necesaria para contabilizarla o cobrarla, por lo que es necesario compensar por las mismas al proyectar los requerimientos de producción..

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 de 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 porcentaje de pérdidas continúe creciendo.
2. Con control de pérdidas – El porcentaje de 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, para una reducción total en 25%. Esto corresponde a una

reducción en agua no-contabilizada de 55% en 2005 a 30% en 2030 debido exclusivamente a la eliminación de pérdidas físicas. El valor del agua no contabilizada remanente (30% a nivel Isla) recoge el impacto de las pérdidas físicas no resueltas y las pérdidas comerciales.

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

La Ilustración 4.6 y las Tablas 4.8 y 4.9 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.

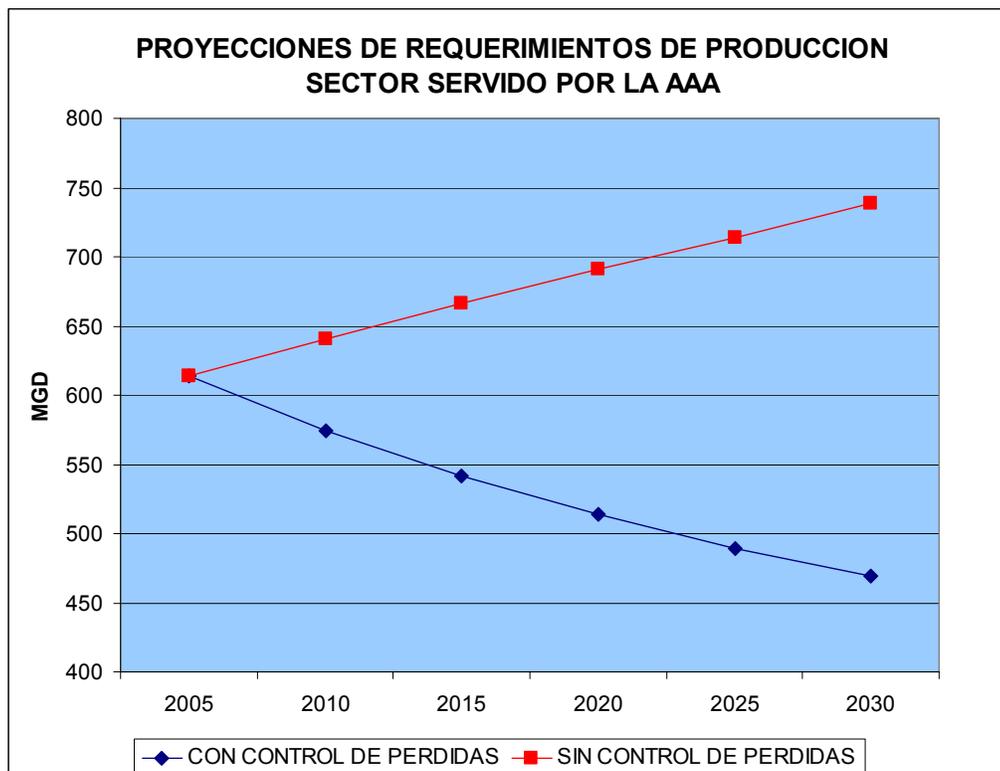


Ilustración 4.6 Proyecciones de requerimientos de producción sector doméstico

**Tabla 4.8 Requerimientos de producción con control de pérdidas**

CONCEPTO	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
<b>TOTAL</b>	<b>613.7</b>	<b>574.0</b>	<b>541.9</b>	<b>514.0</b>	<b>489.4</b>	<b>469.2</b>

**Tabla 4.9 Requerimientos de producción sin control de pérdidas**

CONCEPTO	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
<b>TOTAL</b>	<b>613.7</b>	<b>640.2</b>	<b>666.6</b>	<b>691.3</b>	<b>714.3</b>	<b>738.5</b>

### 4.3 Sector residencial autoabastecido

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 autoabastecimiento. 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 que se presume se mantendrán operando separados de la AAA<sup>10</sup> y su producción se mantendrá constante en su estimado del 2004 (véase Tabla 4.10).

**Tabla 4.10 Proyecciones de requerimiento de producción - sector residencial autoabastecido**

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, dispersos 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.

## 4.4 Sector industrial autoabastecido

La demanda de agua del sector industrial está determinada, principalmente, por los siguientes factores:

- Nivel de producción
- Tipo de producto que se realiza
- Tecnología de proceso utilizada
- Precio del agua
- Costos de disponer efluentes
- Estándares de calidad de efluentes

<sup>10</sup> La AAA informó que no tiene en su programa de trabajo el incorporar los sistemas Non-PRASA que al presente son independientes y no tienen conexión a su sistema.

En Puerto Rico, el sector industrial es abastecido por dos tipos de mercados. El mercado de auto-abastecimiento constituye la fuente de agua para la industria pesada y de alta tecnología. Dentro de este grupo se ubican principalmente las industrias farmacéuticas, petroquímicas y algunas de procesamiento de alimentos. Para este mercado es difícil medir la elasticidad precio de la demanda ya que el precio del agua está dado por el costo de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de extracción, pago de franquicia y el costo de disponer de aguas usadas, un factor importante en promover el reciclaje y conservación del agua.

Es importante señalar que el precio del agua de este mercado es significativamente menor que el que se experimenta en el mercado de la AAA. Por su parte, la industria liviana, categoría en la que se ubican la gran mayoría de las industrias, se abastece del mercado de la AAA. Sin embargo, el nivel de utilización del recurso es marcadamente inferior al de la industria autoabastecida.

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 4.11 presenta la distribución regional del agua extraída por el sector durante el año 2000.

Como se indicó en otros capítulos de este Plan, el potencial de aumento en la extracción de agua subterránea en los acuíferos del País es sumamente limitado. La naturaleza intensiva en el uso de agua plantea restricciones para expandir su práctica de autoabastecimiento. Cualquier propuesta de aumento significativo en el

uso de agua de este sector deberá ser justificado mediante un análisis riguroso del rendimiento seguro del acuífero que servirá de fuente de abasto.

**Tabla 4.11 Estimado de producción del sector industrial autoabastecido**

REGION	MGD
ESTE	3.2
METROPOLITANA	0.3
NORTE	6.0
SUR OESTE	1.9
<b>TOTAL</b>	<b>11.4</b>

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.

## **4.5 Sector agrícola**

Los principales factores que determinan la demanda de agua agrícola son:

- a. Volumen de producción – área bajo cultivo,
- b. Tipo de cultivo o animal que se cría – requerimientos de agua de cada cosecha o especie de animal en específico (uso consuntivo).
- c. Zona de cultivo – permeabilidad del terreno, precipitación de la zona, entre otros.
- d. Sistema de irrigación utilizado – inundación, aspersion foliar o riego por goteo.
- e. Precio del agua – este elemento puede ser un factor determinante en el tipo de sistema de irrigación a utilizar.

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. De esta agua, 30.8 mgd (44.9%) proviene de pozos operados por los propios agricultores y los restantes 37.8 mgd (55.1%) de los sistemas de riego operados por la AEE (véase Tabla 4.12). Para esta fecha existían 199,225 cuerdas bajo cultivo, de las cuales 44,439 utilizaban sistemas de riego de la AEE.

Tabla 4.12 Extracciones para Riego Agrícola 2002

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
<b>TOTAL</b>	<b>30.8</b>	<b>37.8</b>	<b>68.6</b>

Fuente: Datos recopilados por el USGS, 2003

La metodología utilizada para proyectar requerimientos de producción del sector agrícola parte del dato de uso de agua por municipio en el sector agrícola, según computado por un estudio del USGS del año 2002. Dicho dato sólo incluye el agua de riego utilizada para actividades agrícolas y no el de las cosechas que no lo requieren.

Este parámetro se proyecta a base del incremento en la demanda de agua agrícola por municipio para el periodo 2005-2025, estimado por el Instituto de Recursos de Agua de la UPR en su Estudio sobre Demanda de Agua Agrícola (Apéndice C). Se aplica la misma tasa de crecimiento proyectada para la demanda de agua al valor de uso de agua agrícola computado por el USGS para el año 2002. La Tabla 4.13 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 a ser cultivadas, será igual al prevaleciente durante el año 2002 en cada municipio en particular.

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. Las mismas no representan un estimado del agua requerida para satisfacer la demanda potencial de la totalidad de los terrenos con alto potencial agrícola. El logro de este último objetivo requeriría reservar una cantidad de abastos mucho mayor a las proyecciones aquí presentadas y plantearía la posibilidad de conflictos de uso con otros usuarios, particularmente en lo que respecta al abasto disponible en el sistema de riego del Valle de Lajas y en el Valle de Culebrinas.

**Tabla 4.13 Proyecciones de requerimiento de producción sector agrícola**

REGION	AÑO					
	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
<b>TOTAL</b>	<b>68.6</b>	<b>71.7</b>	<b>74.9</b>	<b>78.0</b>	<b>81.1</b>	<b>84.2</b>

## **4.6 Requerimientos de producción de usos extractivos**

Al agregar las proyecciones de requerimientos de producción del sector servido por la AAA, residencial autoabastecido, 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 4.14 y 4.15 presentan un detalle de estas proyecciones por región y sector.

PLAN INTEGRAL DE RECURSOS DE AGUA  
ABRIL, 2008

**Tabla 4.14 Proyecciones de requerimiento de producción de usos extractivos con control de pérdidas**

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
<b>TOTAL</b>	<b>706.4</b>	<b>667.1</b>	<b>638.1</b>	<b>613.3</b>	<b>591.8</b>	<b>574.7</b>

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
<b>TOTAL</b>	<b>706.4</b>	<b>667.1</b>	<b>638.0</b>	<b>613.3</b>	<b>591.8</b>	<b>574.7</b>

**Tabla 4.15 Proyecciones de requerimiento de producción de usos extractivo sin control de pérdidas**

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
<b>TOTAL</b>	<b>706.4</b>	<b>733.2</b>	<b>762.8</b>	<b>790.5</b>	<b>816.7</b>	<b>844.0</b>

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
<b>TOTAL</b>	<b>706.4</b>	<b>733.2</b>	<b>762.8</b>	<b>790.5</b>	<b>816.7</b>	<b>844.0</b>

## 4.7 Requerimientos de usos recreativos, estéticos y ambientales

Los usos recreativos, estéticos y ambientales no son de naturaleza extractiva. No obstante, la satisfacción de su demanda está limitada por los niveles de extracción de agua para otros usos. La extracción de agua de fuentes superficiales debe proveer para mantener en el cauce de los ríos, embalses y estuarios una cantidad de agua con una calidad adecuada para sostener las funciones ambientales de estos ecosistemas acuáticos y para permitir actividades recreativas activas y de contemplación escénica.



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. En este documento se analiza el asunto de los flujos ecológicos y el rendimiento

seguro de las fuentes de abastos desde una perspectiva de desarrollo sostenible. Se reconoce que los ríos y quebradas deben preservar flujos suficientes y con la variabilidad necesaria para preservar los hábitats y necesidades migratorias de las especies acuáticas así como para mantener la salud de las condiciones de los estuarios. Además, deben existir flujos ecológicos en las corrientes superficiales que permitan una adecuada dilución de efluentes sanitarios.

Para propósito de los análisis de disponibilidad del recurso que se realizan en este Plan, los requerimientos de usos ambientales se estiman a base de los flujos ecológicos 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 4.16 presenta los principales requisitos de flujos ecológicos que ha impuesto el DRNA en franquicia otorgadas recientemente.

PLAN INTEGRAL DE RECURSOS DE AGUA  
ABRIL, 2008

**Tabla 4.16 Flujos mínimos requeridos en franquicias de agua otorgadas por el DRNA en MGD**

<b>MUNICIPIO</b>	<b>CUERPO DE AGUA</b>	<b>LUGAR DE LA TOMA</b>	<b>Q<sub>99</sub></b>	<b>FLUJO MINIMO REQUERIDO</b>
AGUADA	RIO CULEBRINAS	TOMA PLANTA CULEBRINAS Y AGUADILLA	17.1	17.00
MAYAGÜEZ	RIO GRANDE DE ANASCO	TOMA PLANTA MIRADERO	40.4	20.00
ARECIBO	RIO GRANDE DE ARECIBO	TOMA PLANTA SANTIAGO VAZQUEZ	41.00	20.00
NAGUABO	RIO BLANCO	TOMA EMBALSE NUEVO	5.25	5.25
		TOMA EXISTENTE EN RIO	8.12	3.40
FAJARDO	RIO FAJARDO	TOMA EMBALSE NUEVO	6.30	2.80
RIO GRANDE	RIO MAMEYES	TOMA EXISTENTE EN RIO	10.7	5.00
CANOVANAS	RIO CANOVANAS	TOMA PLANTA CANOVANAS	3.0	3.00
CANOVANAS	RIO CANOVANILLAS	TOMA PLANTA CANOVANAS	2.4	0.70

Se reconoce que este ejercicio está incompleto y no cubre todos los aspectos necesarios para una adecuada cuantificación de los usos recreativos, estéticos y ambientales. Los mismos deberían hacerse para cada cuerpo de agua en función de las aspiraciones sociales y planes de desarrollo de cada región del País. Este ejercicio contable está fuera del alcance de esta versión del Plan. No obstante, el documento recomienda realizar una serie de proyectos estratégicos entre los que se incluye definir criterios para determinar flujos mínimos ecológicos y proyectos pilotos de planes de manejo de cuenca donde se cuantifique, de forma detallada, las demandas recreativas, estéticas y ambientales de cada cuenca que sea evaluada.

Por otra parte, en el Plan se establece como política pública un límite a la extracción en las nuevas solicitudes de franquicias de agua donde se requiere que, como mínimo absoluto se mantenga el  $Q_{99}$  como el flujo ambiental. En los tramos de los ríos que aún cuentan con un caudal significativo, se recomienda mantener una cantidad superior al  $Q_{99}$ . En el diseño de nuevos embalses, fuera de cauce o que no tengan barreras que interrumpen el flujo aguas abajo de su presa, se requiere mantener un flujo equivalente a la totalidad del  $Q_{99}$  del río y que el embalse mantenga un nivel de agua mínimo de un 20 por ciento del volumen de almacenaje útil como reserva.