

INTRODUCCIÓN

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. Ahora bien, para que su disponibilidad futura sea garantizada, el manejo adecuado debe ser la norma prioritaria. Dada la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, y debido al aumento de las necesidades de ella por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger este recurso y evitar toda influencia nociva sobre las fuentes del preciado líquido.



Los problemas del manejo de los recursos hídricos, tienen que ver con decisiones sobre el uso variado del agua, como esto afecta la cantidad y calidad del agua superficial, subterránea y costera, y como se alteran las funciones de los sistemas naturales que dependen del agua. Un manejo adecuado requiere de un banco de datos confiable y uniforme que, a su vez, asegure una planificación presente y futura que guíe las acciones que se lleven a cabo sobre este recurso.

Para atender los problemas que afectan este recurso y asegurar un buen manejo del mismo, se identificaron los siguientes indicadores.



INDICADORES:

1. Cantidad de Agua Extraída: Tipo I
2. Flujo de Agua en Ríos: Tipo I
3. Millas aptas para actividades de recreación de contacto directo e indirecto en ríos y quebradas: Tipo II
4. Pérdida en el sistema de distribución de agua potable: cantidad de agua no contabilizada: Tipo I
5. Caudal Ecológico: Tipo II
6. Consumo de Agua por Persona: Tipo III
7. Nivel de los Acuíferos: Tipo I
8. Sedimentación de los Embalses: Tipo I



CANTIDAD DE AGUA EXTRAIDA

Tipo I

DESCRIPCIÓN

Este indicador nos muestra la totalidad de agua extraída en ríos, lagos y pozos para satisfacer la demanda por los diferentes usos de la población (residencial, comercial, industrial, agrícola). Su contabilidad es importante porque permite ponderar la suficiencia de este recurso para atender las necesidades actuales y futuras e identificar posibles deficiencias o malas prácticas que atenten contra la sostenibilidad del mismo.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

- Para el desarrollo de este indicador se tomaron datos e información de las siguientes fuentes:
- - Autoridad de Energía Eléctrica (AEE): Extracción y consumo de agua por las centrales generatrices.
 - Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA): Niveles de extracción obtenidos por mediciones constantes. Para este informe, los datos que maneja la AAA no fueron sometidos por dicha agencia.

En Puerto Rico la extracción de agua se realiza para cuatro propósitos:

- suplir agua a las plantas de filtros para consumo directo
- procesos de manufactura e industriales
- riego para la agricultura
- generación de electricidad

En términos de consumo, los datos que se recopilan son parciales y se miden mediante metros de flujo que pueden estar instalados en tomas de agua, plantas de filtración y en la salida de los pozos. Para aquellas facilidades que no cuentan con metros de flujos, éste valor es estimado, ya sea por la capacidad de la bomba de extracción (si aplica) o la capacidad de producción de la planta. Estos datos no fueron sometidos por la AAA, agencia que maneja los mismos, por lo que no se pudo establecer la cantidad de agua que se extrae para consumo.

La AEE utiliza diferentes fuentes de agua para suplir las necesidades de agua potable y generación de electricidad. A continuación se desglosan las fuentes por central:



Central	Fuente		
	Agua de proceso	Agua potable	Agua de mar
Aguirre	Pozo	Pozo	Bahía de Jobos
Costa Sur	Pozo	Pozo	Bahía Guayanilla
Palo Seco	Acueductos	Acueductos	Bahía San Juan
San Juan	Acueductos	Acueductos	Bahía San Juan
Cambalache	Pozo	Acueductos	No aplica
Mayaguez	Acueductos	Acueductos	No aplica

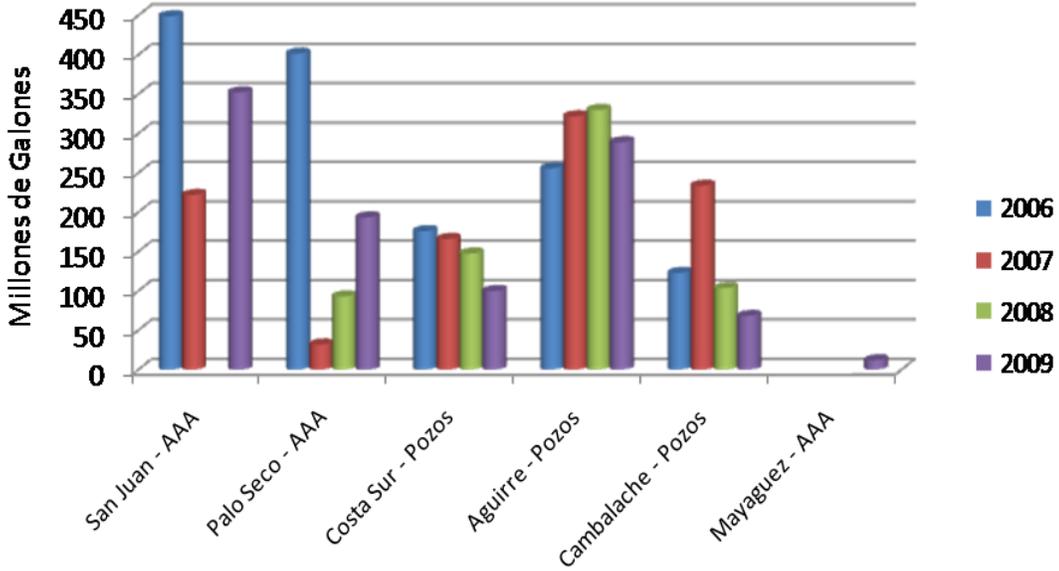
La extracción de agua dulce se mide mediante metros instalados o por diferencia de niveles potenciométricos. En el caso del agua de mar, se obtiene el galonaje total de extracción de agua mediante la capacidad de flujo de las bombas de circulación que son las que extraen el agua de mar. Esto tiene una capacidad fija de galones por hora y, a base del tiempo de operación, se calcula el galonaje total por día. El caudal que se extrae de agua de mar se utiliza para propósitos de enfriamiento (condensación del vapor en el condensador) y se descarga al ambiente a una temperatura más alta. Esta agua de enfriamiento no entra en contacto con aguas de proceso y no se consume. El sistema es de un sólo paso (once-through) cuyo flujo de succión adquiere temperatura y descarga el mismo flujo al cuerpo de agua.

La tabla a continuación indica la cantidad de galones de agua que se utilizaron en las centrales generatrices desde el 2006 al 2009, por fuente.

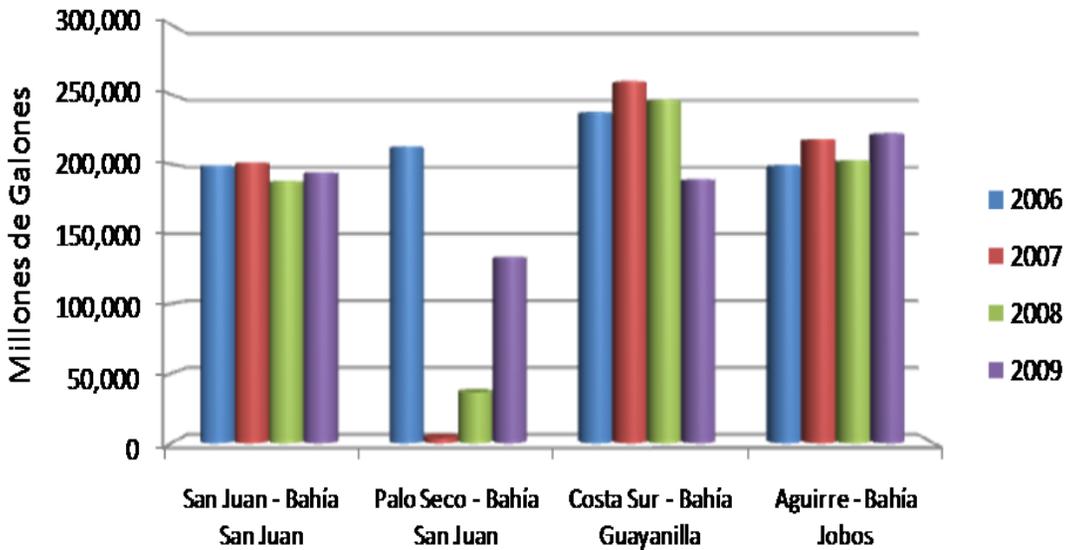
Central	Fuente	Millones de Galones-2006	Millones de Galones-2007	Millones de Galones-2008	Millones de Galones-2009
San Juan	AAA	448.95 ¹	222.01	No disponible	352.25
	Bahía de San Juan	199,202.43	201,164.34	187,902.04	194,187.4
Palo Seco	AAA	401.5 ¹	32.08	93.02	193.4
	Bahía Boca Vieja	212,729.76	3,716.78	36,396.43	133,078.6
Costa Sur	Pozo	175.96	166.06	147.58	99.94
	Bahía Guayanilla	237,436.46	259,535.30	246,291.21	189,173.4
Aguirre	Pozo	255.83	321.94	329.94	288.96
	Bahía de Jobos	199,389.60	217,955.20	202,810.5	222,196
Cambalache	Pozo	122.95	233.64	103.86	68.38
Mayaguez	Acueductos	N/A	N/A	No disponible	12

1. Cantidad que consta de la producción de la planta desmineralizadora, regeneraciones y consumo de agua en las torres de enfriamiento.
2. La Central Palo Seco estuvo fuera de servicio durante el 2007 y operó parcialmente durante el 2008.

Consumo de Agua



Extracción Agua de Mar



Durante el periodo presentado en este informe (2006 - 2009) se destaca el hecho de que el consumo de agua fresca se redujo en todas las instalaciones, excepto en la Central Palo Seco la cual está en proceso de alcanzar su nivel de producción energética normal.

Aunque la extracción de agua de mar disminuyó para el 2008 en todas las instalaciones (excepto Palo Seco), para el 2009 aumenta levemente para San Juan y el Complejo Aguirre, aunque se mantiene en los niveles históricos típicos. Para el caso de la Central Costa Sur, la extracción de agua de mar disminuyó significativamente comparado con el 2008. En el caso de la Central Palo Seco, tal como indicamos en el párrafo anterior, ésta se encuentra en proceso de alcanzar su nivel de producción energética normal.

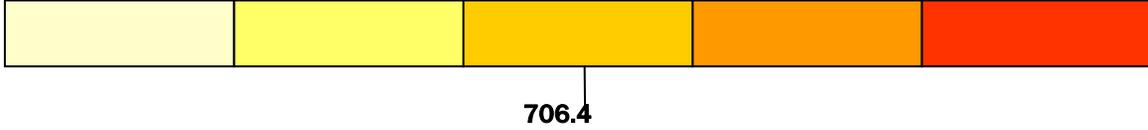
La tendencia que muestra el indicador para el 2009 en la extracción de agua fresca, cuya fuente es la AAA o pozo, es variable y requiere ver cada caso en sus méritos. Cualquier incremento reflejado en la Central San Juan se debe a la operación de las unidades SJ-5 y SJ-6. Estas utilizan agua para el proceso de generación y para el control de emisiones de NOx. La Central Palo Seco refleja un aumento el cual está asociado al retorno a operación normal de las unidades. En el caso de la Central Costa Sur, nuevamente continúa la tendencia de reducción, la cual podemos asociar a la utilización de agua de la planta destiladora de Ecoeléctrica en Guayanilla. La Central Aguirre refleja un leve aumento para este año, en comparación con el año anterior, el cual se puede asociar con la variabilidad en la generación de energía eléctrica. Cabe destacar que la AEE tiene en progreso un proyecto para el Complejo Aguirre que incluye la reutilización de las aguas de proceso, lo que reducirá el consumo de agua, y el suplido de agua cruda al Complejo desde el Canal de Riego del Lago Patillas, lo que eliminará la extracción de agua de pozos para estos fines.

Los límites para la extracción de agua fresca de los pozos los establece el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales mediante el otorgamiento de franquicias de agua. En las franquicias se establecen los límites de extracción total por instalación y los análisis de calidad de agua requeridos para verificar posible intrusión salina ó contaminación al acuífero.

Los límites para la extracción de agua de mar los establece la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA) mediante los Permisos de Descarga (NPDES) para cada instalación. Además, la ley de Agua Limpia establece estándares para evitar el entrapamiento e incrustación de especies marinas por la extracción de agua de mar.

Se utilizó como BM el dato del año 2005 (706.4 MGD) como Año Base (Dato obtenido del Plan Integral de Recursos de Agua). Este dato representa las proyecciones de necesidades de producción para todos los usos de agua extractivos del País, donde se incluyen requerimientos de producción del sector servido por la AAA, residencial auto abastecido, de las industrias auto abastecidas y el sector agrícola.

BENCHMARK



Nota: Al tener sólo los datos sometidos por la AEE, el escenario actual no puede ser reflejado en la gráfica correspondiente al *benchmark*.

LIMITACIONES
 La limitación que tiene este indicador es que no se cuenta con un dato que se pueda medir científicamente para el agua de mar ya que las cantidades son estimadas.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

La AEE tiene proyectos en proceso para mejorar el estado en que se encuentra el recurso de agua fresca.

Según indicado anteriormente, durante el año fiscal entrante la AEE estará comenzando el desarrollo del proyecto para suplir agua al Complejo Aguirre desde el Lago Patillas. Este proyecto se divide en varias etapas y conlleva una planta de ultrafiltración y osmosis a la inversa. Esto reducirá el consumo de agua fresca y evitará la extracción de agua fresca del acuífero del sur, manteniendo dicha extracción sólo como resguardo. De esta manera, se está contribuyendo a que se restaure el acuífero. Este proyecto compite por fondos federales asignados al Programa *State Revolving Fund*, administrado por la JCA.

La Central Costa Sur utiliza como fuente de agua fresca el efluente de la planta destiladora de la Cogeneradora Ecoeléctrica. Esta acción disminuyó la extracción de agua del acuífero.

Para las Centrales San Juan y Palo Seco, actualmente se analizan opciones para reutilizar las aguas de proceso, reduciendo así el consumo de agua. Este esfuerzo está en sus comienzos.

MILLAS APTAS PARA ACTIVIDADES DE RECREACIÓN DE CONTACTO DIRECTO E INDIRECTO EN RÍOS Y QUEBRADAS

Tipo I

DESCRIPCIÓN

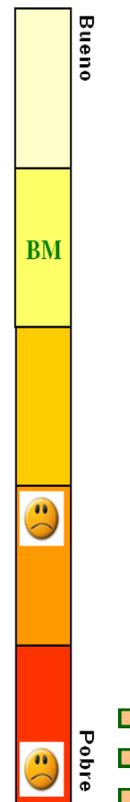
Este indicador mide la cantidad de millas aptas para actividades de recreación de contacto directo e indirecto. Su importancia estriba en que reflejará, de manera directa, la calidad de agua de ríos y quebradas con relación al estándar de Coliformes Totales y Fecales.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Los datos para este indicador son manejados por la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y los mismos se obtienen a través de las siguientes redes de monitoría:

- Red de Muestreo Permanente de Calidad de Agua de Ríos: Veintitrés (23) de las 96 cuencas son monitoreadas. Para propósitos de evaluación y planificación de calidad de agua, la JCA continua agrupando todas las cuencas en cuatro (4) regiones hidrográficas. Se utiliza un total de 53 estaciones de monitoría cuya frecuencia de muestreo es trimestral. (Datos disponibles a través de la página cibernética del United States Geological Survey (USGS, por sus siglas en inglés) <http://waterdata.usgs.gov/nwis>).
- Red de Fuentes Dispersas 319(H): La cuenca del Río La Plata cuenta con 6 estaciones de monitoría y la cuenca del Río Grande de Arecibo con 9 estaciones. La frecuencia de muestreo es trimestral. (Datos disponibles en el Área de Evaluación y Planificación Estratégica de la JCA y en la base de datos electrónica nacional de la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) conocida como STORET en la siguiente dirección www.epa.gov/STORET/).
- Proyecto del Río Grande de Loíza: En este proyecto se cuenta con 5 estaciones con una frecuencia de muestreo trimestral. (Datos disponibles en el Área de Evaluación y Planificación Estratégica de la JCA y en la base de datos electrónica nacional de la Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) conocida como STORET en la siguiente dirección www.epa.gov/STORET/).

Durante el proceso de análisis, los parámetros considerados son Coliformes Fecales y Totales. Para propósitos de esta evaluación se determina el promedio geométrico de los resultados analíticos obtenidos para cada una de las estaciones de monitoría, las cuales son representativas de una cantidad de millas de ríos y quebradas. Este promedio geométrico es comparado con el estándar de calidad



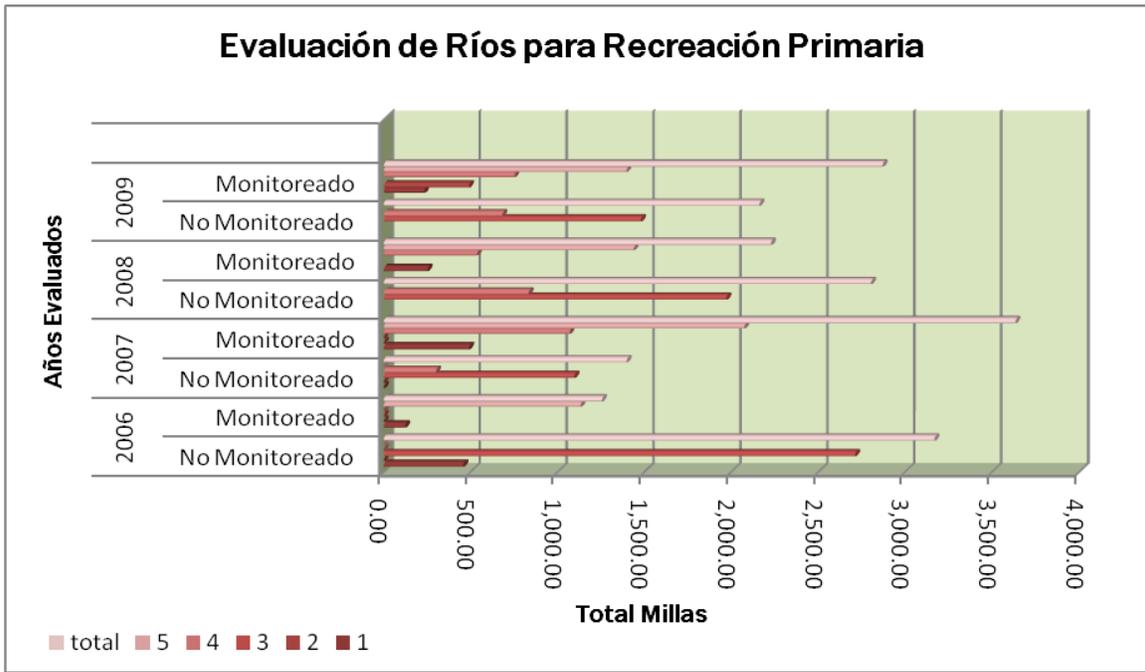
de agua, según establecido en el Reglamento de Estándares de Calidad de Agua (RECA) promulgado por la JCA. Esto resultará en el total de millas que serán aptas para los usos designados de recreación de contacto directo e indirecto. Aunque la reglamentación permite el utilizar métodos analíticos cuantitativos, la mayoría de las veces estos no son utilizados. Se analiza el conteo bacteriano mediante lecturas de colonias en medios de cultivos apropiados. Los resultados son reportados en términos de colonias en 100 mL de muestra.

La evaluación actual de la calidad del agua en Puerto Rico se realizó utilizando cinco categorías de nivel de logro del uso designado con los estándares de calidad de agua. Las categorías de evaluación son:

- **Categoría 1:** Esta categoría incluye las unidades de evaluación en las cuales se cumple con los estándares de calidad de agua aplicables para todos los usos designados conforme al RECA.
- **Categoría 2:** Incluye las unidades de evaluación donde se cumple con los estándares de calidad de agua aplicables a algunos de los usos designados, pero la data disponible no es suficiente para realizar determinaciones de cumplimiento para los demás usos designados conforme al RECA.
- **Categoría 3:** Incluye las unidades de evaluación para las cuales la información disponible es insuficiente para determinar si alguno de los usos designados se está logrando.
- **Categoría 4:** Incluye las unidades de evaluación donde algún uso designado está impedido o amenazado y se anticipa que se cumpla con los estándares de calidad de agua aplicables mediante la implantación de las medidas de control correspondiente, sin la necesidad de desarrollar una carga total máxima diaria para los parámetros específicos que estén causando el problema.
- **Categoría 5:** Incluye las unidades de evaluación donde, por lo menos, uno de los estándares de calidad de agua no se cumple cabalmente y se considera necesario desarrollar una Carga Total Máxima Diaria (TMDL, por sus siglas en inglés) para los parámetros.

La JCA diseñó y estableció un nuevo sistema de segmentación de cuencas para propósitos de planificación e implantación de esfuerzos de restauración. Para poder realizar estos esfuerzos de forma más efectiva, hemos reemplazado el viejo sistema basado en la segmentación de pequeñas porciones de ríos y quebradas individuales por un nuevo sistema basado en la segmentación de cuencas. Ahora, cada cuenca principal está dividida en unidades de evaluación que consisten en subcuencas enteras. Las cuencas menores permanecen como una sola unidad de evaluación o, como mucho, podría estar segmentada en dos unidades de evaluación. Como resultado, las redes de monitoría serán distribuidas de forma tal que sean representativas de las subcuencas.

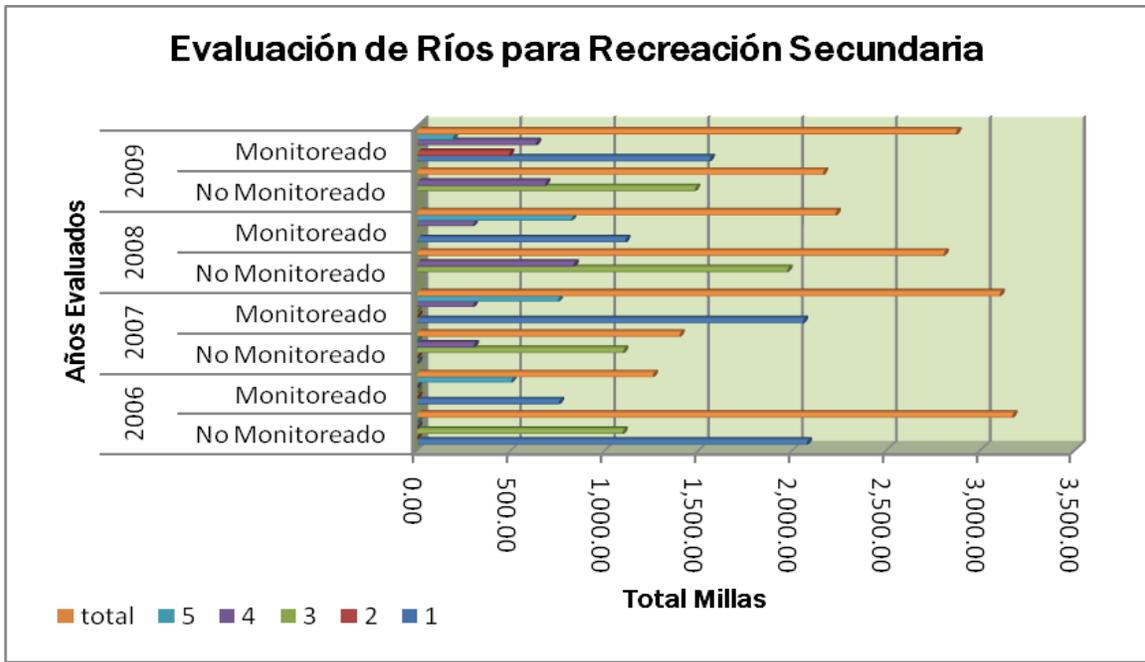
Evaluación de Ríos para Recreación Primaria



Total millas Monitoreadas y Evaluadas: 5,045.4

* No incluye 16.2 millas del Río Tanamá que no aplica para estos usos (millas subterráneas)

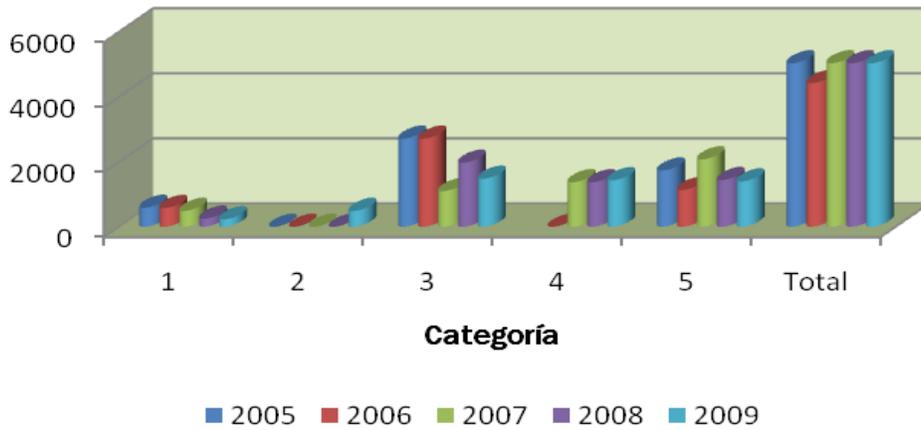
Evaluación de Ríos para Recreación Secundaria



Total millas Monitoreadas y Evaluadas: 5,045.4

* No incluye 16.2 millas del Río Tanamá que no aplica para estos usos (millas subterráneas)

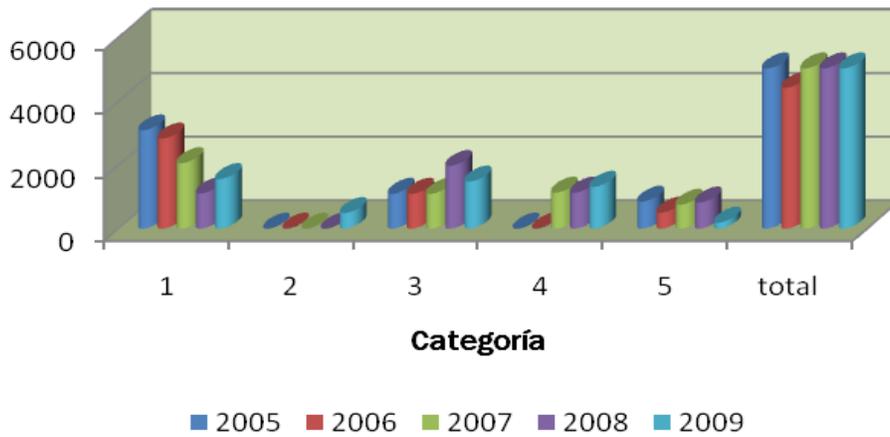
Total de Millas Evaluadas por Categoría/Recreación Primaria



Total millas Monitoreadas y Evaluadas: 5,045.4

* No incluye 16.2 millas del Río Tanamá que no aplica para estos usos (millas subterráneas)

Total de Millas Evaluadas por Categoría/Recreación Secundaria



Total millas Monitoreadas y Evaluadas: 5,045.4

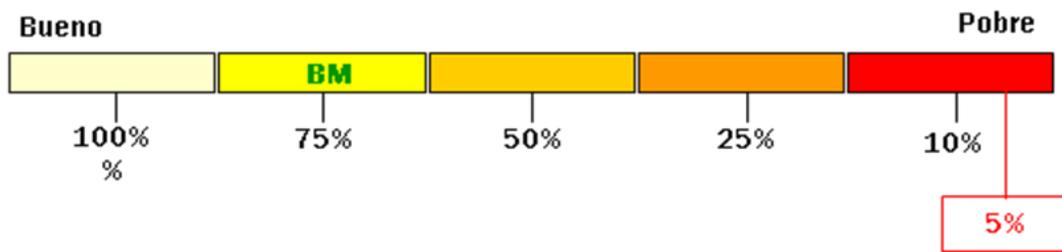
** No incluye 16.2 millas del Río Tanamá que no aplica para estos usos (millas subterráneas)

Para este año no se realizaron estudios sinópticos, no obstante, se obtuvieron datos de calidad de una monitoría externa que se realizó en varios cuerpos de agua de la Isla. El Proyecto *Puerto Rico Stream Survey* realizado por la Agencia Federal de Protección Ambiental, constó de cincuenta (50) estaciones ubicadas estratégicamente con el propósito de obtener una muestra representativa en los ríos y quebradas. En esta monitoría se obtuvo datos de nutrientes y turbidez.

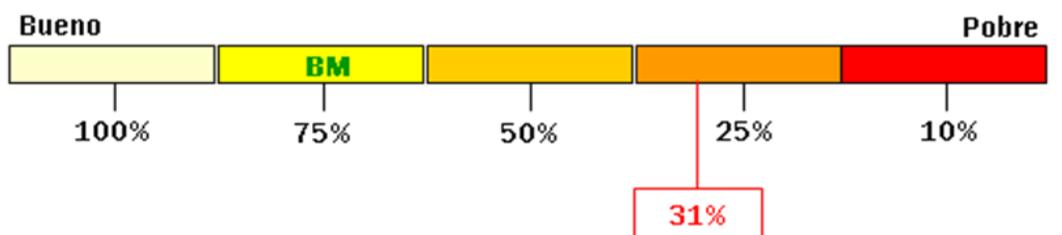
Para el informe 2008 el 44% de los cuerpos de aguas fueron monitoreados. Para este informe del 2009 se monitoreo el 57%. Este incremento es producto del Proyecto *Puerto Rico Stream Survey*, resultando en que unas 2,869.3 millas de un total de 5,045.4 de millas de ríos y quebradas fueron monitoreadas. A raíz de los resultados presentados podemos concluir que 2,053.0 millas de ríos y quebradas monitoreadas requieren que se desarrolle e implante el TMDL..

BENCHMARK El "benchmark" se trabajó basado en el total de millas aptas para los usos designados de recreación de contacto directo e indirecto, o sea, son aquellas áreas monitoreadas que, luego de su evaluación, fueron incluidas en la categoría 1 cumpliendo así con los estándares de calidad de agua aplicables para todos los usos designados.

Recreación Primaria



Recreación Secundaria



LIMITACIONES

Para la JCA, la limitación que presenta este indicador es que la tecnología que se utiliza para determinar el grado de cumplimiento con las normas aplicables, no nos permite discernir e identificar la procedencia del problema. Existen también limitaciones técnicas del método que puede dar falsos positivos y falsos negativos. Para tratar de reducir el grado de error y atender este problema se corren duplicados. Además, no todos los cuerpos de agua son muestreados. La mayoría de los datos disponibles actualmente no pueden ser atribuidos a áreas de captación específicas debido a la ubicación actual de las estaciones. La excepción a estos son los lagos.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

La evaluación de calidad de agua más reciente refleja que aproximadamente el 41% de las millas de ríos y quebradas están impactadas y requieren que se desarrolle e implante un TMDL. Estas millas incluyen ríos y quebradas que formaron parte del Proyecto *Puerto Rico Stream Survey* y que fueron agrupadas bajo la Categoría 3 en el informe anterior.

- La JCA continúa desarrollando e implantando estrategias dirigidas a la restauración de aquellos cuerpos de agua que no alcanzaron cumplir con los estándares de calidad de agua. Entre las acciones implantadas por la JCA para la restauración de ríos, lagos y costas están las siguientes:
 - Implantación del Plan de Acción para la Restauración de Cuencas
 - Desarrollo de TMDL en las cuencas impactadas

Además, continuaremos realizando Estudios Sinópticos, con el propósito de evaluar la calidad de agua en aquellas cuencas que tienen información o datos analíticos insuficientes.

Para alcanzar la preservación y restauración de la calidad de agua y usos designados en nuestros ríos, lagos y costas es necesario el esfuerzo coordinado de agencias gubernamentales, empresas privadas y grupos de ciudadanos organizados, así como también, programas educativos hacia las comunidades y el público en general. Aunque reconocemos que este es un proceso difícil, especialmente cuando existe competencia sobre la utilización de un mismo recurso, estamos comprometidos con la restauración de nuestros recursos de agua.

PERDIDA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE: CANTIDAD DE AGUA NO CONTABILIZADA

Tipo I

DESCRIPCIÓN

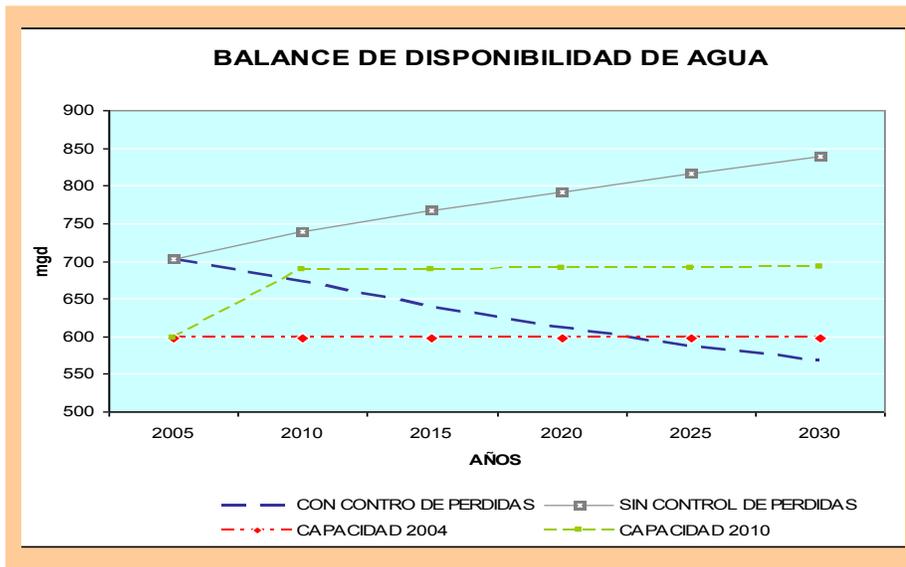
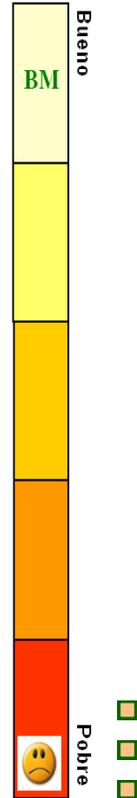
Este indicador mide el volumen de agua extraída por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) de los cauces de cuerpos de agua superficiales y subterráneos de Puerto Rico, que ha potabilizado para uso doméstico y cuanta se ha facturado.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

El Servicio Geológico Federal (USGS) en Puerto Rico mantiene un inventario de uso de agua en el cual se contabiliza el volumen de agua que se utiliza por los diversos usuarios en la Isla (AAA y autoabastecidos [industrial, comercial, Non-PRASA, agrícola]). Los datos se obtienen del informe que esta agencia publica anualmente.

- La AAA mantiene récord de la cantidad de agua que potabiliza y de la cantidad de agua que factura. La diferencia entre ambos números es el agua que no se contabiliza (pérdidas físicas y pérdidas fiscales).

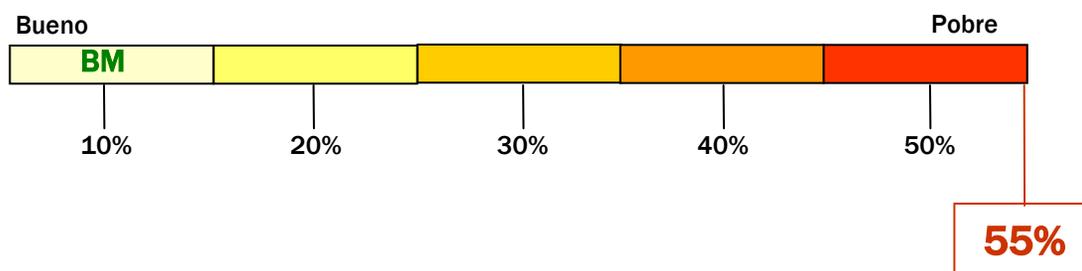
La cantidad de agua no contabilizada representa el volumen de agua que se extrae de los cuerpos de agua de la Isla y que no se conoce si fue aprovechada de forma razonable, beneficiosa y óptima, según ordena la Ley de Aguas. Esto significa que para cada galón de agua que demanda la población, la AAA tiene que extraer un volumen superior (1.8 galón) para satisfacer la demanda. Debido a lo escaso del recurso, un nivel de agua no contabilizada tan alto (más de un 55% del agua que se produce) no es sostenible, pues se agotan las fuentes de agua. Este nivel de agua no contabilizada implica que en proyectos como el Súper Acueducto, que produce alrededor de 100mgd, se desconoce lo que pasa con más de 55mgd.



Se muestra la tendencia histórica de las necesidades de producción de agua y las necesidades de producción estimadas hasta el 2030. Se muestra una gráfica con una necesidad de agua ascendente bajo la premisa de que no se controlan las pérdidas. Se muestra una gráfica de necesidades de producción de agua decreciente bajo la premisa de que se controlan las pérdidas. El problema de las pérdidas (agua no contabilizada) es un asunto crítico que debe ser corregido con prontitud.

BENCHMARK

Un nivel de pérdidas entre de un 10 por ciento se considera razonable para sistemas de distribución de agua potable. La situación actual del sistema de distribución de agua potable de la AAA está en una condición sumamente pobre, al analizarlo contra el Benchmark.



LIMITACIONES

Mide el por ciento de agua no contabilizada en el sistema de distribución de agua potable pero no distingue la naturaleza, origen o causa de esas pérdidas. Estas pueden ser físicas, por pobre información de datos de producción de agua y de datos de consumo de agua, por metros defectuosos o por ausencia de esos metros. Cada tipo de pérdida requiere una acción diferente. La falta de un sistema de información que permita detectar cada tipo de pérdida es un factor limitante.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

La AAA debe continuar invirtiendo en medidas dirigidas a reducir significativamente el volumen de agua no contabilizada para llevarlo a un valor no mayor del 10% de la producción, y mantener un sistema de información que permita mantener ese nivel de pérdidas bajo (no más de un 10%).

CAUDAL ECOLÓGICO

Tipo II

DESCRIPCIÓN

Este indicador determina el caudal de agua necesario que debe permanecer en los cauces de ríos, quebradas y embalses de Puerto Rico para mantener la vida acuática en éstos de forma sostenible y en condiciones óptimas.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

No existe una metodología única para estimar este valor. Al presente se utiliza el valor de rendimiento seguro al 99% (Q_{99}) como base para establecer el caudal a permanecer en el cauce luego de la extracción de agua para uso doméstico, industrial, comercial o agrícola. Se está trabajando en la selección de la metodología para calcular el caudal ecológico que mejor se adapte a las condiciones de nuestra Isla.

- El análisis estadístico toma en consideración los flujos mínimos en el cauce para determinar el caudal que puede ser extraído de éste, conforme a la necesidad de la biota que utiliza el cauce como hábitat o para alimentarse o cobijarse. Los datos se toman de la información que provee el Servicio Geológico Federal a través de la red de estaciones de aforo y de observaciones de campo. Cada caso se evalúa de forma independiente considerando la cuenca donde ubica la obra propuesta.

LIMITACIONES

No hay un valor ni una metodología establecida, por lo que se trabaja caso a caso.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Ampliar la red de estaciones de aforo para que cubra todos los cauces de la Isla. Establecer estaciones de aforo en cada lugar de río que se utiliza como fuente de agua potable, aguas abajo de la toma para tener certeza de que la extracción no afecta la biota acuática en ese cuerpo. Completar el análisis de las metodologías existentes para calcular el caudal ecológico para adoptar una para Puerto Rico.

FLUJO DE AGUA EN RÍOS

Tipo I

DESCRIPCIÓN

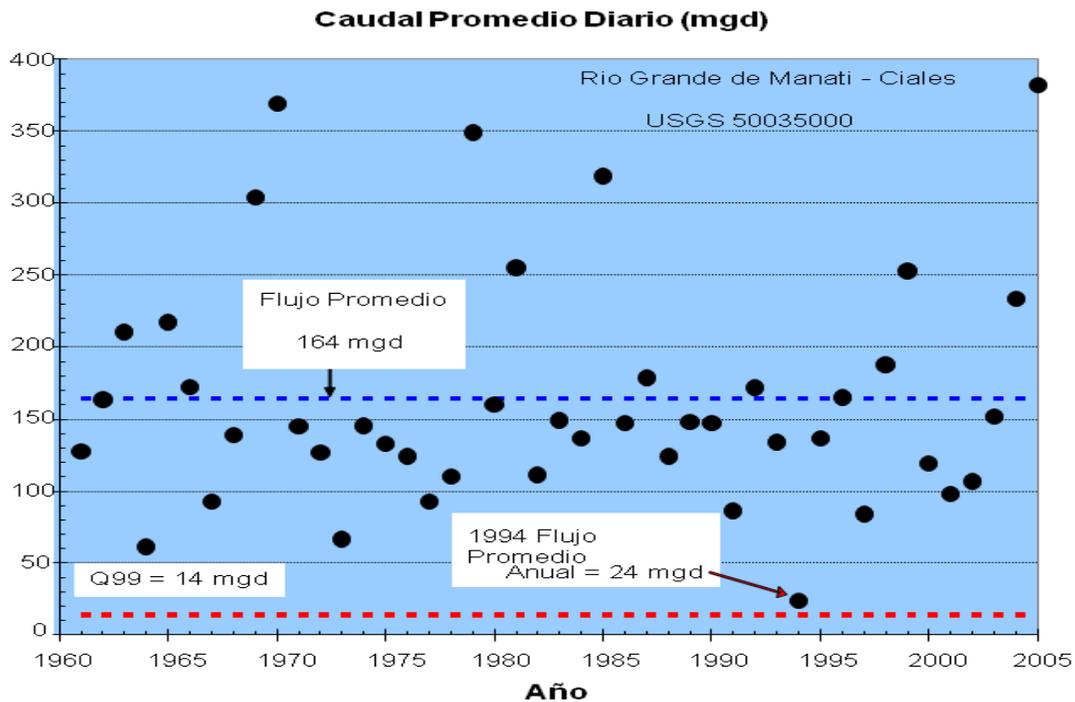
Este indicador mide el caudal de agua en los cauces de ríos de Puerto Rico. En algunos ríos hay instaladas más de una estación para medir el flujo instantáneo y el flujo acumulativo. Con estos flujos se puede estimar el rendimiento seguro¹ de un río para el diseño de tomas de agua potable. También este valor se utiliza para determinar el caudal ecológico de un cuerpo de agua. Además, hay instaladas estaciones de nivel de agua para la mayoría de los embalses, lo que permite poder operar de forma efectiva estos cuerpos de agua.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

- Existen estaciones de aforo en 124 lugares, en distintos cuerpos de agua alrededor de la Isla. Además, existen 29 estaciones de medición de niveles en los embalses de Puerto Rico. El Servicio Geológico Federal, como parte del Programa Sombrilla con las agencias del Gobierno de Puerto Rico, visita 53 estaciones cuatro veces al año para evaluar la calidad de las aguas. Durante la visita se determina el caudal, los parámetros físicos (Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Conductividad), parámetros biológicos (bacterias Coliformes fecales y Coliformes totales) y parámetros químicos (nutrientes, metales, turbidez). Los datos se pueden acceder a través de la siguiente dirección electrónica: <http://nwis.waterdata.usgs.gov/pr/nwis/qwdata>.

Los datos en los ríos y quebradas se toman en pies cúbicos por segundo, son continuos y se almacenan para mantener valores históricos. Estos datos de flujo se pueden acceder en forma tabulada para hacer diversos análisis estadísticos con ellos. Los datos en las estaciones en los embalses se miden en pies sobre el nivel del mar.

1. Rendimiento seguro es el valor de caudal que se encuentra disponible en ese punto el 99% del tiempo.

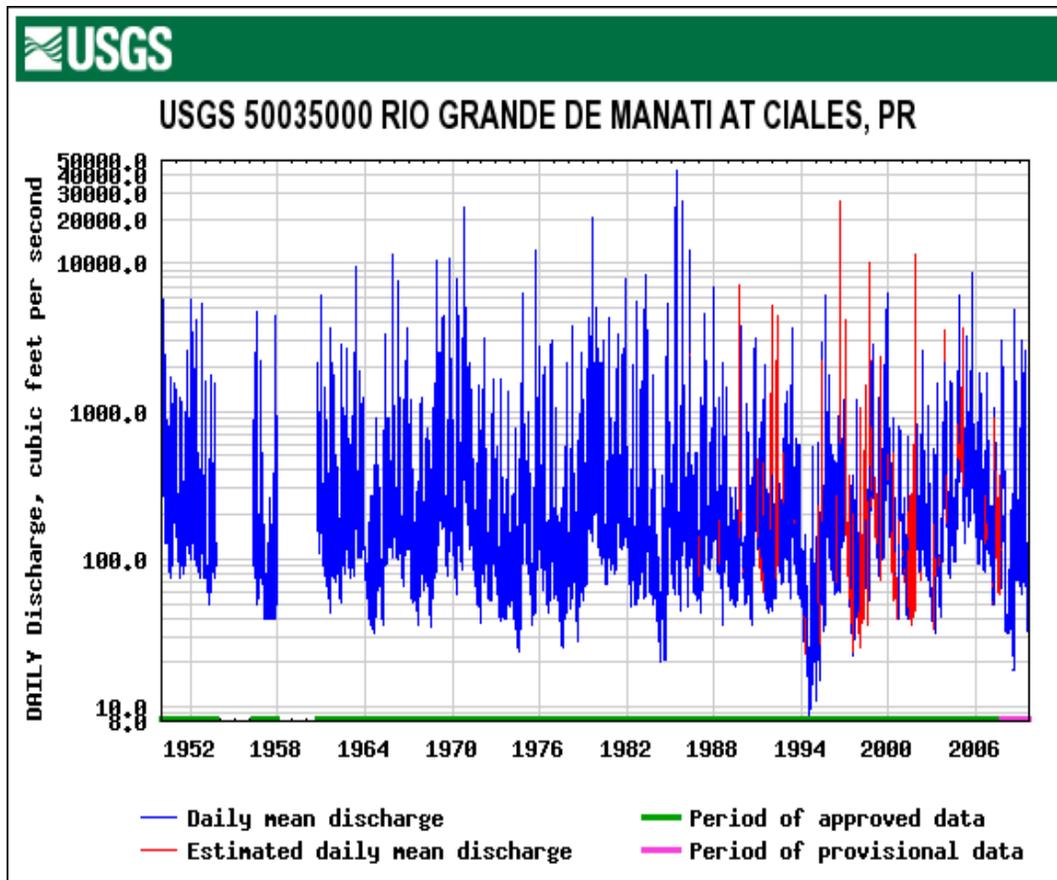


La gráfica arriba ilustra la variabilidad en el caudal del Río Grande de Manatí durante varios años. La descarga del Río Grande de Manatí en el año 1994 (año seco) fue tan sólo el 15% del flujo promedio del récord de 45 años (Estación USGS 50035000, Río Grande de Manatí en Ciales). El 50% del flujo promedio anual es aportado por las crecidas que ocurren en tan sólo el 9% de los días. En contraste, el 50% de los días con menor flujo (182 días al año) aportan solamente 14% del flujo promedio.

El rendimiento seguro de una fuente de abasto se define como la cantidad de agua que puede ser extraída de forma confiable sin producir una escasez intolerable, aún durante la sequía más intensa. El estándar de diseño para abastos domésticos e industriales es de mantener el flujo normal el 99% del tiempo (Q_{99}), o sea, el rendimiento seguro del cuerpo de agua. En un 1% de los días, el racionamiento debe ser de un nivel tolerable. El cumplimiento con este criterio conlleva proveer un servicio donde no haya racionamiento en más de 37 días en cada década. Debido a los impactos económicos adversos y disloques sociales ocasionados por la falta del agua, los sistemas de abasto doméstico e industrial deben proveer un alto nivel de confianza para evitar tener que interrumpir el servicio, aún en períodos de sequía. En el diseño de sistemas de riego es común planificar a base de un nivel de confianza más cercano al 90%, 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, produciendo una reducción dramática en la tasa de extracción acostumbrada durante periodos de sequía. Por ejemplo, durante la sequía de 1994 la extracción del Embalse Carraízo (supliendo a la planta de filtración Sergio Cuevas), fue reducida a solamente 30% de su producción normal, y La Plata fue reducida a 33%.



El caudal en los cuerpos de agua varía de acuerdo a la época del año (lluviosa o seca) y a través de los datos históricos que se almacenan se pueden establecer patrones de flujo (promedios, mínimos, máximos, flujo excedido a distintos por cientos y flujos mínimos históricos, entre otros). Además, con la información que se mantiene se pueden calcular valores de flujo para lugares aguas arriba y aguas abajo del punto de la estación. Para la estación 5003500, el flujo diario promedio es de 239 pies cúbicos por segundo (150 mgd) y el rendimiento seguro (flujo que es igualado o excedido el 99% del tiempo) es de 21 pie cúbico por segundo (14 mgd).

LIMITACIONES

El factor limitante de este indicador es que no hay suficientes estaciones de flujo en muchos puntos de interés, lo que provoca que se tenga que estimar los patrones de flujo en vez de calcularlos.

El indicador es caudal de agua en los cauces de la Isla y para la mayoría de éstos tenemos forma de conocerlo, ya sea directo por los datos del USGS y aforos en el lugar del interés, o indirecto mediante cálculos de precipitación en la cuenca.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Ampliar la red de estaciones de aforo para que cubra todos los ríos de la Isla. Establecer estaciones de aforo en cada lugar de río que se utiliza como fuente de agua potable, aguas abajo de la toma para tener certeza de que la extracción no afecta la biota acuática en ese cuerpo.

- La AAA debe tomar las medidas operacionales y de diseño necesarias para que el nivel de confianza de su servicio sea alto, por lo que la capacidad de los sistemas de extracción de esa agencia no deben ser superior al rendimiento seguro de las fuentes de las que se abastecen.



NIVEL DE LOS ACUÍFEROS

Tipo I

DESCRIPCIÓN

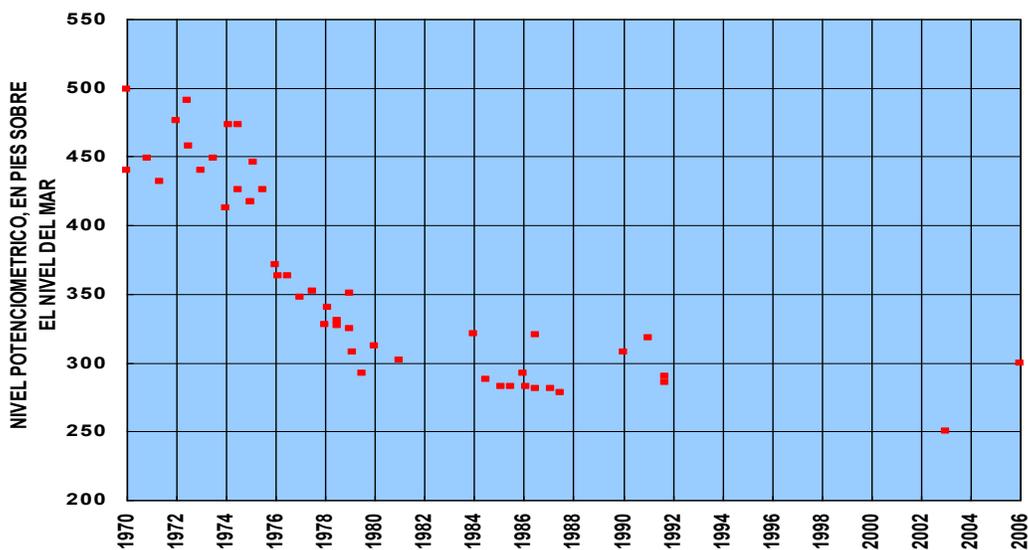
Los acuíferos representan la fuente de agua más económica en Puerto Rico, ya que pueden producir agua de calidad potable en las mismas áreas de demanda con simplemente hincar un pozo, activar una bomba y clorinar. Sin embargo, los recursos subterráneos no se están explotando de una manera sostenible, lo que resulta en problemas de intrusión salina (movimiento de agua subterránea del mar hacia tierra adentro). Además, hay problemas de contaminación en sus zonas de recarga. Este indicador mide el nivel de agua en algunos puntos de los acuíferos de Puerto Rico. Este valor permite estimar la tendencia del acuífero en respuesta al ritmo de extracción a la cual está sujeto y a las recargas de agua (infiltraciones de agua hacia el acuífero).

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

- Existen estaciones de niveles en 95 lugares alrededor de la Isla y siete estaciones en tiempo presente ("real time"). La información está disponible a través de la página de Internet del Servicio Geológico Federal (USGS). Esto permite obtener los datos históricos de la estación y presenta los datos para los últimos siete días de forma instantánea.

Los datos miden, una vez al mes, la profundidad a la que se encuentra el agua medida desde el tope del agua en el acuífero hasta la superficie del terreno y se almacenan de forma histórica. Se pueden acceder en forma tabulada para hacer diversos análisis estadísticos con ellos.

Acuífero artesiano en el Cruce Dávila en Barceloneta



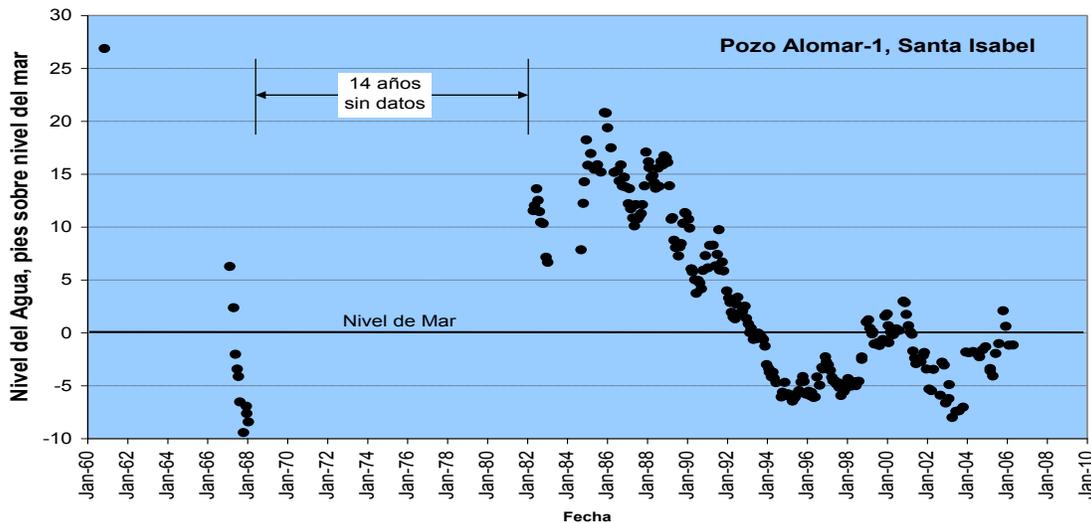
En la ilustración anterior se evidencia el patrón de reducción en los niveles potenciométricos que ha sufrido el acuífero artesiano de la costa norte debido a filtraciones del acuífero artesiano al acuífero freático (conocidos también como acuífero inferior y acuífero superior respectivamente). El nivel de los acuíferos varía de acuerdo a la época del año (lluviosa o seca) y al ritmo de extracción, por lo que se puede establecer una tendencia.

La extracción de agua subterránea de los acuíferos de la Costa Norte ha provocado disminuciones significativas en los niveles del manto freático tanto en el acuífero superior como el acuífero inferior. Los barrios Coto Sur en Manatí y Cruce Dávila en Barceloneta son dos sectores donde el nivel potenciométrico (en un acuífero superior es el nivel a que se encuentra el agua, en el acuífero inferior es el nivel hasta donde subiría el agua de forma natural cuando se hinca un pozo. Ambos niveles se miden con relación al nivel del mar) en los acuíferos ha descendido considerablemente, como resultado de la extracción excesiva de aguas subterráneas

En la zona del Cruce Dávila en Barceloneta, que es un área concentrada de bombeo de aguas subterráneas para uso industrial, el acuífero artesiano (el acuífero inferior) ha experimentado reducciones significativas en los niveles potenciométricos (representada en la ilustración arriba). Pozos que antes fluían naturalmente hacia la superficie del terreno debido a una gran presión artesiana ahora requieren de bombeo. Esta condición se atribuye en parte a la respuesta natural de la extracción excesiva de agua de esa formación y a la pérdida de agua desde el acuífero inferior hacia el acuífero superior a través de filtraciones en pozos abandonados o en pozos con camisillas rotas.

Algún grado de reducción en los niveles de los acuíferos es una consecuencia inevitable del proceso de desarrollar pozos de extracción. Sin embargo, existen herramientas de manejo que pueden maximizar el rendimiento de los acuíferos y evitar la extensión y las consecuencias de la reducción en los niveles potenciométricos de éstos. La explotación de los acuíferos debe ser igual o menor a la recarga de éstos para que la misma sea una sostenible.

Niveles en el acuífero de Santa Isabel



Los niveles en los acuíferos superiores (freáticos) pueden subir significativamente (como efecto de la recarga de mucha lluvia) y bajar en años secos o por bombeo excesivo. Un ejemplo de las variaciones en los niveles del acuífero en el área de Santa Isabel se presenta en la ilustración anterior como resultado de la lluvia en el área y como resultado de la explotación de los mismos.

Históricamente los acuíferos en la Costa Sur recibían mucha recarga del agua entregada por los embalses Guayabal, Carite y Patillas, mediante la infiltración a través de los canales en tierra y la práctica de riego por surcos. El desvío del agua de los embalses de uso agrícola hacia uso doméstico y la creciente utilización de pozos para usos domésticos han reducido la recarga, sustancialmente. El resultado ha sido una reducción en el nivel freático y un problema creciente de intrusión salina, particularmente en la Costa Sur, entre Salinas y Juana Díaz. Para atender esta situación de sobre explotación, el DRNA ha establecido restricciones para extracciones adicionales de agua.

BENCHMARK

Un acuífero freático debe tener su nivel de agua por encima del nivel del mar. Para lograr esto es necesario que la tasa de extracción sea menor que la tasa de recarga del acuífero. No obstante, en la costa puede ocurrir intrusión de agua salobre a un pozo cuando este provoca (por su ritmo de extracción) un abatimiento del agua por debajo del nivel del mar y, en ocasiones, por la profundidad a la que se está extrayendo el agua. Esto puede ocurrir aún cuando la descarga sea inferior a la recarga. Los niveles de agua óptimos podrían ser los niveles antes de desarrollo. Los niveles pobres pueden definirse como aquellos que se aproximan al nivel del mar. Niveles por debajo del nivel del mar, por lo general, provocan daño al acuífero.

LIMITACIONES

El área de los acuíferos es sumamente amplia y no hay suficientes estaciones (pozos de monitoreo) para cubrirlos. Mantener una red amplia es costoso.

CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

Ampliar la red de estaciones de niveles de agua para que cubra una mayor área de los acuíferos de la Isla y mantener las estaciones de niveles vigentes para lograr obtener datos históricos que permitan un mejor análisis de éstos. Además, es necesario añadir a estas estaciones los aparatos necesarios para que midan la conductividad del agua de forma que se pueda detectar de inmediato la intrusión de agua salina en éstos.

SEDIMENTACION DE LOS EMBALSES

Tipo I

DESCRIPCIÓN

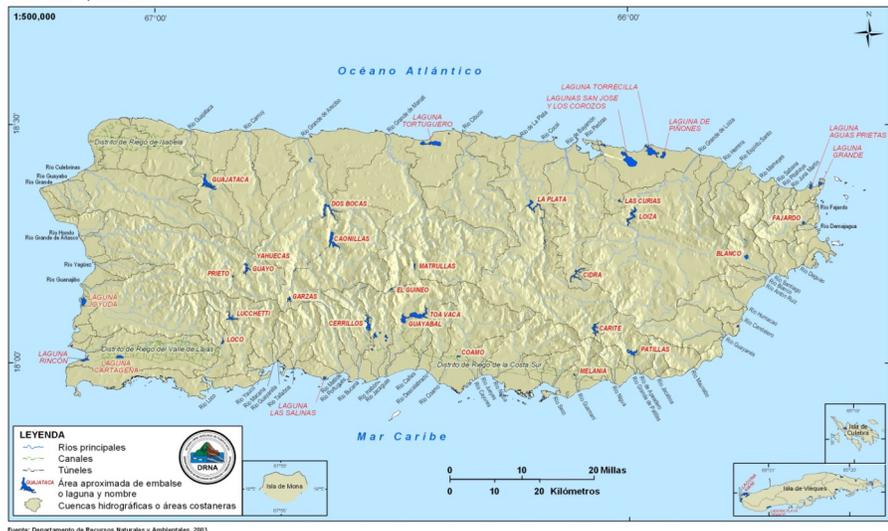
Este indicador se utiliza para cuantificar problemas de sedimentación en los embalses y, por consiguiente, pérdida de capacidad de estos.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

La combinación de suelos empinados, lluvias intensas, el tipo de suelo y el uso que se le da a los suelos hacen que las tasas de erosión y sedimentación sean muy altas en Puerto Rico en comparación con otras áreas del mundo. El alto acarreo de sedimentos de algunos cuerpos de agua y el desarrollo desmedido en las áreas cercanas a los embalses, así como la falta de control de erosión en nuestras cuencas aceleran el proceso de sedimentación de los embalses. En cuencas con embalses los ríos y quebradas transportan los sedimentos erosionados hacia los embalses donde son atrapados. Todos los embalses de la Isla pierden capacidad de almacenaje debido al proceso de sedimentación, pero existe mucha variación en las tasas de sedimentación de un embalse a otro. Los embalses fuera de los cauces de ríos permite controlar los niveles de sedimentos que pueden impactar estos embalses. El agua capturada en estos embalses proviene de las áreas protegidas que forman parte del área de captación de estos embalses y de flujos de ríos cuando los niveles de sedimentos en los mismos es bajo. La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) se enfoca actualmente en construir embalses fuera de los cauces de los ríos (Ej. Embalse Fajardo y Embalse Río Blanco) para aumentar la vida útil de los mismos y reducir significativamente el impacto del acarreo de sedimentos. El Servicio Geológico Federal (USGS) en Puerto Rico mantiene unas tres estaciones índices de muestreo de sedimentos en los cuerpos de agua superficiales de la Isla.

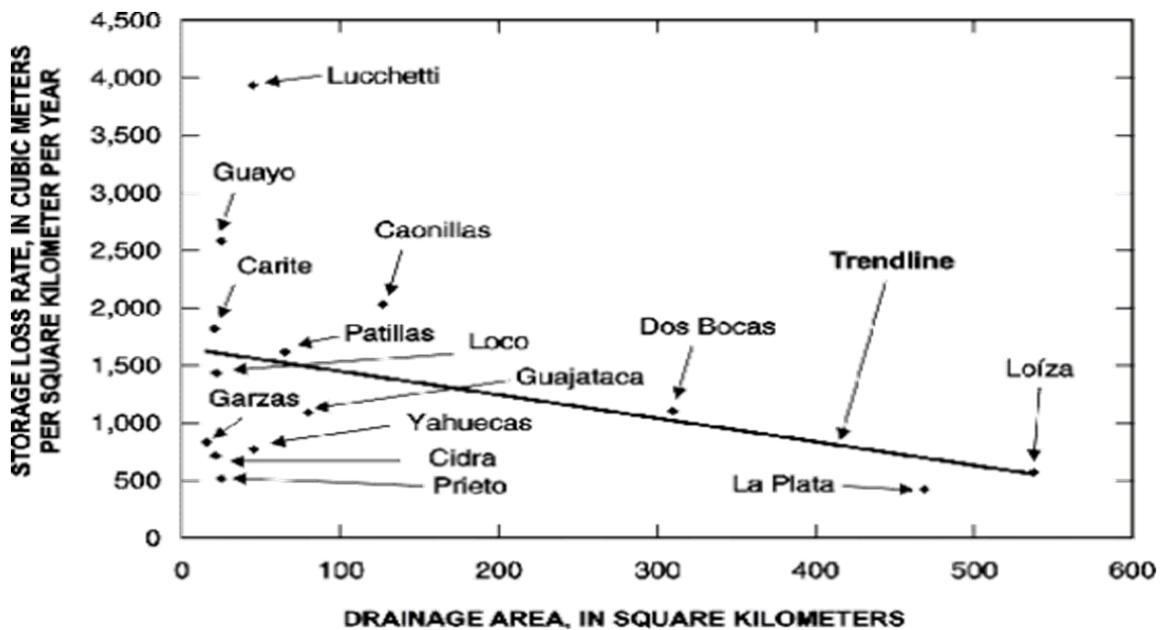


Ilustración 3.6 Mapa de Embalses



Fuente: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, 2003

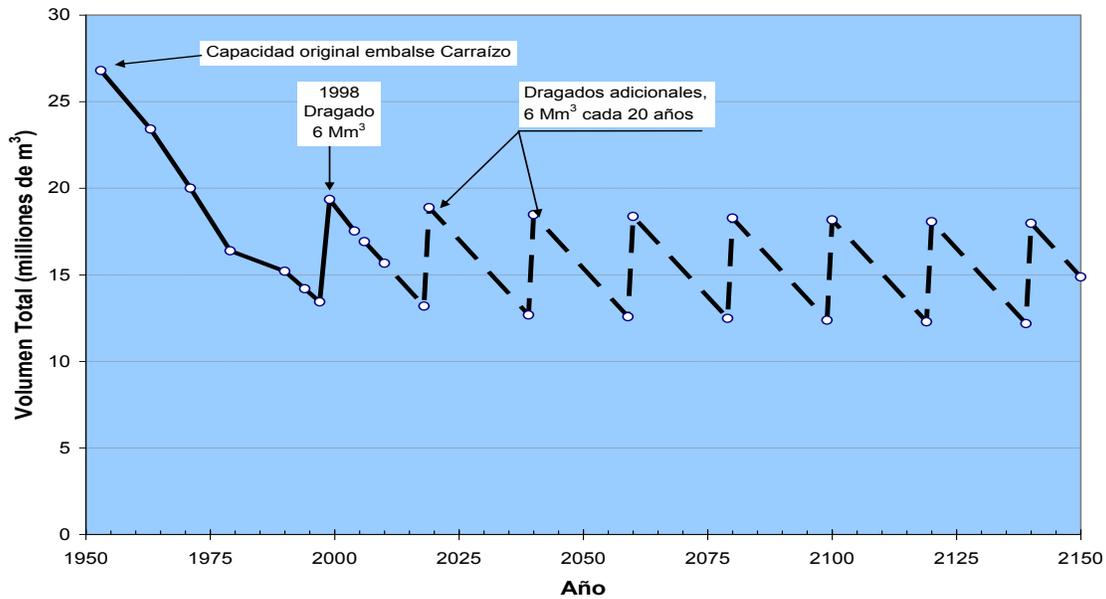
La forma más precisa para medir sedimentación en los embalses es mediante estudios de batimetría. Se toman elevaciones del fondo del embalse para generar la topografía del fondo del mismo. De esta manera se determina el volumen disponible del embalse y se compara con el volumen de diseño del mismo. Con la información levantada de los estudios de batimetría se determina la capacidad existente del embalse y la tasa de pérdida de capacidad anual basada en una carga específica de sedimentos. La mayor parte de las veces, cuando abunda el agua en un embalse, abunda en todos, y no hay espacio para almacenar agua que pudiera transportarse de un embalse a otro. La variable apropiada para medir la disponibilidad de agua potable es la capacidad de almacenaje remanente que tienen los embalses y los niveles de los acuíferos que se utilizan para abastecer esa demanda.



Línea de tendencia

En el caso de los embalses, los datos del USGS demuestran que el problema no es falta de agua, sino de capacidad de almacenaje en los embalses existentes. Como ejemplo, la cuenca del Río Grande de Loíza produce anualmente un promedio de 300,000 acres pies (un acre pie es equivalente a 325,000 galones). En el caso del Embalse de La Plata la producción de la cuenca es un promedio de 190,000 acres-pies, mientras que la extracción en el embalse para la planta de filtración de La Plata es de menos del 40% de la producción, o 78,000 acres-pies, mientras el balance fluye al mar. Lo mismo ocurre esencialmente en todos los embalses (excepto Toa Vaca en Villalba).

En la ilustración que sigue, se muestra el comportamiento histórico del volumen (capacidad) del lago Carraízo y los volúmenes de agua proyectados, tomando en consideración la tasa de sedimentación de Carraízo y los futuros dragados que serían necesarios para recuperar parte del volumen de almacenaje de agua perdido por la sedimentación. Sin embargo, debido al almacenaje limitado del Embalse de Carraízo, se utilizan aproximadamente solo 120,000 acres pies en esa cuenca, fluyendo el balance hacia el mar.

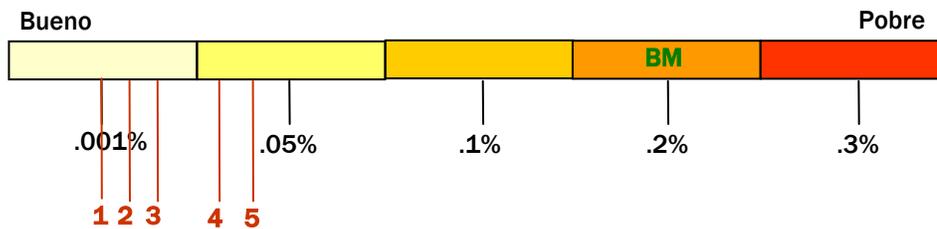


La próxima ilustración muestra la Curva de Sedimentación y capacidad del Embalse Carraízo.



BENCHMARK

La pérdida anual de capacidad del embalse no debe superar el 0.2% de la capacidad original.



1. (0.001%): Cerrillos

2. (0.002%): Cidra, Garzas, Guajataca, Toa Vaca

3. (0.003%): Caríte, El Gulneo, Guayo, Matrullas

4. (0.01%): Caonillas, Dos Bocas, Guayabal, La Plata, Loco, Carraízo, Luchetti, Patillas

5. (0.02%): Prieto, Yahuecas

LIMITACIONES

El volumen de sedimentos que se depositan en un embalse se puede calcular (de forma aproximada) a través de estaciones de muestreo de sedimentos. No hay estaciones de medición de sedimentos en las cuencas de los embalses que permitan conocer la cantidad de sedimentos que mueven los distintos tipos de eventos de lluvia en cada cuenca. Aunque se conoce que la condición natural de los cuerpos de agua superficial (suplen el 55% de los abastos de agua potable) arrastra muchos sedimentos, no se han implantado medidas eficientes para evitar que los sedimentos lleguen a los cuerpos de agua. Además, los estudios de batimetría tienen altos costos, razón por la cual no se realizan con tanta frecuencia.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados y la Autoridad de Energía Eléctrica deben adoptar e implantar un plan para el control de los sedimentos que llegan a sus embalses. Continuar con el diseño de embalses nuevos fuera del cauce o con estructuras que puedan proveer una media vida mayor de 250 años. Iniciar investigaciones sobre la manera de minimizar las tasas de sedimentación en los embalses principales, con énfasis particular en obras de manejo hidráulico, e implantar las medidas de control de erosión.

CONSUMO DE AGUA POR PERSONA

Tipo III

DESCRIPCIÓN

Este indicador nos muestra la cantidad de agua que se consume por persona en PR. Con este indicador se puede hacer un análisis de tendencia entre la cantidad de agua que se consume y el crecimiento poblacional. El resultado de este análisis establecerá la disponibilidad de agua para satisfacer la demanda actual y las necesidades futuras. Esto sustentará los planes y estrategias que se desarrollen para evitar que se agote este recurso renovable por consecuencia del crecimiento poblacional y del desarrollo económico.

Los datos para este indicador son sometidos por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y el Departamento de Salud (DS). Este indicador se está presentando en este informe con los datos del DS ya que la AAA no sometió los datos correspondientes.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

- El Departamento de Salud no cuenta con datos específicos de consumo de agua, sino de población servida, por lo que el consumo de agua potable es estimado.

La población servida por sistema se obtiene del número de conexiones (acometidas) multiplicado por un factor (2.98). Los datos de población servida se recopilan por año fiscal federal.

Según los datos de población sometidos por la AAA al DS, y según el inventario del Departamento de Salud, la población aproximada correspondiente al año fiscal federal 2009 es de 4,296,645 personas. Para el año fiscal federal 2008 se estimó en 4,081,422 personas.

El consumo estimado de agua potable, según datos sometidos por la AAA para el pasado informe, es de 190.4mgd (un promedio de 50gal./día/persona). Revisando la información publicada por la Oficina del Plan de Aguas (OPA), la demanda municipal es de 180.83mgd. En el dato sobre la demanda de agua proveniente del sector residencial, existe una diferencia entre ambos datos obtenidos de aproximadamente un 50%. La AAA estima un consumo de 50gpd mientras que la OPA establece un consumo promedio por abonado de 164.10gpd. Basándonos en el dato de la OPA, la población de abonados de Puerto Rico estaría consumiendo 181mgd.

LIMITACIONES

La falta de uniformidad de los datos no permite desarrollar un escenario real y confiable de la disponibilidad y oferta del recurso agua para sostener los diferentes usos presentes y futuros. Esto, además, trae como consecuencia en no poder establecer un “benchmark” como punto de referencia que nos permita identificar un objetivo hacia la sustentabilidad.